

Investigaciones Científicas y Agrotecnológicas para la Seguridad Alimentaria



Editores
Jorge Martínez Herrera
Miguel Ángel Ramírez Guillermo
Julio Cámara-Córdova

Investigaciones Científicas y Agrotecnológicas para la Seguridad Alimentaria

COLECCIÓN
JOSÉ N. ROVIROSA
Biodiversidad, Desarrollo Sustentable y Trópica Húmedo

Investigaciones Científicas y Agrotecnológicas para la Seguridad Alimentaria

Jorge Martínez Herrera,
Miguel Ángel Ramírez Guillermo,
Julio Cámara-Córdova,
Editores.



Universidad Juárez
Autónoma de Tabasco

inifap

Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

DR. JOSÉ MANUEL PIÑA GUTIÉRREZ

Rector

DRA. DORA MARÍA FRÍAS MÁRQUEZ

Secretaria de Servicios Académicos

MC RAÚL GUZMÁN LEÓN

Secretario de Investigación, Posgrado y Vinculación

MA RUBICEL CRUZ ROMERO

Secretario de Servicios Administrativos

LCP ELENA OCAÑA RODRÍGUEZ

Secretaria de Finanzas

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

JOSÉ FERNANDO DE LA TORRE SÁNCHEZ

Director General

RAÚL GERARDO OBANDO RODRÍGUEZ

Coord. de Investigación, Innovación y Vinculación

JORGE FAJARDO GUEL

Coord. de Planeación y Desarrollo

EDUARDO FRANCISCO BERTERAME BARQUIN

Coord. de Administración y Sistemas

SERGIO ALBERTO CURTI DIAZ

Director Regional del

Centro de Investigación Regional Golfo Centro

Investigaciones Científicas y Agrotecnológicas para la Seguridad Alimentaria / editores: Jorge Martínez Herrera, Miguel Ángel Ramírez Guillermo, Julio Cámara-Córdova. -- Primera edición. -- Villahermosa, Tabasco: Universidad Juárez Autónoma de Tabasco - Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, 2018.

688 + xi páginas: Ilustraciones. -- (Colección: José N. Roviroso: Biodiversidad, Desarrollo sustentable y Trópico Húmedo).

Incluye referencias bibliográficas.

Primera edición, 2018

D. R. © Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

Av. Universidad s/n, Zona de la Cultura

Col. Magisterial, C. P. 86040

Villahermosa, Centro, Tabasco.

www.ujat.mx

Esta obra fue dictaminada mediante el sistema de pares ciegos, por un Comité Científico interinstitucional que contó con el apoyo de evaluadores de diferentes Instituciones y dependencias públicas, así como por el Consejo Divisional Editorial de Ciencias Agropecuarias de la UJAT. Las denominaciones empleadas y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no implican, de parte de la UJAT, juicio alguno sobre la delimitación de fronteras o límites y la mención de empresas o productos de fabricantes en particular, estén o no patentados, no implica que la UJAT los apruebe o recomiende de preferencia a otros de naturaleza similar que no se mencionan. Aunque la UJAT fomenta la reproducción y difusión parcial o total del material contenido, queda prohibida su reproducción total sin contar previamente con la autorización expresa y por escrito del titular, en términos de la Ley Federal de Derechos de Autor. Su uso para fines no comerciales se autorizará de forma gratuita previa solicitud. La reproducción para la reventa u otros fines comerciales, incluidos fines educativos, podría estar sujeta a pago de derechos o tarifas.

ISBN: 978-607-606-476-4

Revisión de la edición: Jorge Martínez H., Miguel Á. Ramírez G., B. Mejía J. y O. Salazar R.

Responsable de la edición: Julio Cámara Córdova.

Diseño de portada: Ricardo Cámara Córdova, con fotografías de la Dra. Mirna Hernández Pérez, las Mtras.

Matilda Cortazar Ríos y Nelda Guadalupe Uzcanga Pérez; del Dr. Juan Gabriel Angeles Núñez y los

Mtros. Juan Quintanar Olgún y Valentín Melero Meraz.

Diagramado y Compilado en Villahermosa, Tabasco, México.

CONTENIDO

PRÓLOGO	VIII
RECONOCIMIENTO.....	IX
SECCIÓN A: CULTIVOS ANUALES.....	1
MAÍCES EN PRIMAVERA-VERANO EN CAMPECHE, MÉXICO. Villalobos González A, Ruiz García JL, López Hernández MB	2
COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE GENOTIPOS DE MAÍZ CULTIVADOS EN EL CENTRO DE CHIAPAS. Espinosa Paz N, Martínez Sánchez J, Ariza Flores R, Montes Molina JA, Espinosa Trujillo MA, Ramírez Córdova AL	8
CARACTERES CUALITATIVOS DE SEMILLAS DE ECOTIPOS SILVESTRES DE HIGUERILLA <i>Ricinus communis</i> L. DEL CENTRO DE CHIAPAS, MÉXICO. Espinosa Paz N, Martínez Sánchez J, Zambrano López O, Ariza Flores R, Ramírez Córdova AL, Sánchez Martínez R.....	15
RENDIMIENTO DE MAÍZ SAC BEH (QPM) CON FERTILIZACIÓN QUÍMICA Y BIOFERTILIZANTES EN DOS LUVISOLES RÓDICOS DE YUCATÁN, MÉXICO. Ramírez Silva JH, Lozano Contreras MG, Ramírez Jaramillo G, Moguel Ordóñez YB.....	19
EVALUACIÓN DE PRUEBAS DE VIGOR EN SEMILLAS DE DIFERENTES ESPECIES DE <i>Capsicum</i>. Cruz-Guzmán J, Lagunes-Espinoza LC, Pablo-Pérez M	23
COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE GENOTIPOS DE MAÍZ EN MILPA Y MONOCULTIVO. morales-Valenzuela G.....	30
ACCESIONES DE CALABAZA CHIHUA <i>Cucurbita argyrosperma</i> Huber EN PRIMAVERA-VERANO EN CAMPECHE, MÉXICO. Villalobos González A, Rangel Fajardo MA, García Sandoval JA, Tucuch Haas JI	34
RENDIMIENTO DE GRANO Y SUS COMPONENTES EN ARROZ EN RIEGO Y SEQUÍA. López Hernández MB, Arreola Enríquez J, Villalobos González A, Pinzón López LL, Barrios Gómez EJ.....	39
PRODUCCION DE <i>Capsicum chinense</i> var. Orange POR CHUPONES PARA EL DESARROLLO DE TALLOS BAJO HIDROPONIA EN TABASCO, MEXICO. López Carrillo J, Brito Vega H, Gómez Méndez E, Salaya Domínguez JM.....	45
EVALUACIÓN PRODUCTIVA DE LA DIVERSIDAD GENÉTICA DE CALABAZA CHIHUA <i>Cucurbita argyrosperma</i> Huber var. <i>argyrosperma</i> EN LA PENÍNSULA DE YUCATÁN. García Sandoval JA, Villalobos González A	49
CITLALI: VARIEDAD DE PAPA TOLERANTE A LA ENFERMEDAD “ZEBRA CHIP”. Rubio Covarrubias OA, Cadena Hinojosa MA, Vázquez Carrillo MG, Flores López R	55
IS2, NUEVO CLON DE ESTEVIA PARA EL TRÓPICO DE MÉXICO. Ramírez Jaramillo G, Moguel Ordóñez YB, Lozano Contreras MG.....	59
EVALUACION DE RENDIMIENTO DE DOS GENOTIPOS DE <i>Stevia rebaudiana</i> B. BAJO TRES FUENTES DE FERTILIZACION NITROGENADA. Prado García AA, Díaz-Huacuz RS, Manjarrez Juárez FJ	63
GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE MAÍZ OSMOACONDICIONADAS Y CRECIMIENTO DE LAS PLÁNTULAS RESULTANTES: I. EFECTO DE VARIEDAD. Castelán Estrada M, Mejía Ramírez F, Lagunes-Espinoza L, Obrador Olán JJ, Lara Viveros FM	69
FERTILIZACIÓN FOLIAR EN CILANTRO <i>Coriandrum sativum</i> L. Avilés Baeza WI, Campos Macossay MA	76
RENDIMIENTO DE GRANO BAJO REGIMEN DE TEMPORAL DE MATERIALES HIBRIDOS Y AVANZADOS DE MAÍZ EN YUCATAN. Rangel Fajardo MA, Tucuch Haas JI, Bastos Barbudo DdelaC, Villalobos González A, Nava García Jr, Burgos Díaz JA	80

DL₅₀ Y GR₅₀ CON RADIACIÓN GAMMA EN SOYA <i>Glycine max</i> L. Merr. VARIEDAD HUASTECA 100. Gálvez Marroquín LA, Ovando Cruz ME, Alonso Báez M, Maldonado Méndez JJ, Grajales Solís M	86
EFFECTO DE PRODUCTOS DE BAJO IMPACTO EN LA INCIDENCIA Y SEVERIDAD DEL MANCHADO DEL CÁLIZ DE JAMAICA. Gálvez Marroquín LA, Ovando Cruz ME	91
IMPORTANCIA DE LA FECHA DE SIEMBRA EN LA PRODUCCIÓN DE SOYA EN EL ESTADO DE CAMPECHE. Hernández Pérez M, Soto Rocha JM, Rangel Fajardo MA, Tucuch Haas JI, Nava-Padilla R, Ferral-Piña J	95
MORFOLOGÍA DE HELICONIAS DEL BANCO DE GERMOPLASMA DE ORNAMENTALES DEL CAMPO EXPERIMENTAL ROSARIO IZAPA, TUXTLA CHICO, CHIAPAS, MÉXICO. Olivera-de los Santos A, Meléndez-Hernández LL.....	104
RESPUESTA DE LA YUCA PARA RAÍZ <i>Manihot esculenta</i> Crantz A LA FERTILIZACION CON NPK EN UN ACRISOL HUMICO DE TABASCO, MÉXICO. López-López R, Ramírez-Guillermo MA, Martínez-Herrera J, Cámara-Córdova J, Durán-Prado A.....	114
CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS DE CRUZAS VARIETALES Y VARIEDADES SINTÉTICAS DE MAICES AMARILLOS Y SU POTENCIAL PARA EL TRÓPICO HÚMEDO DE MÉXICO. Barrón Freyre S, Sierra Macías M, Rodríguez Montalvo FA	124
RENDIMIENTO Y CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS DE HÍBRIDOS TRILINEALES DE MAÍZ BLANCO PARA EL TRÓPICO HÚMEDO DE MÉXICO. Barrón Freyre S, Sierra Macías M, Rodríguez Montalvo FA.....	131
USO DE FEROMONA EN EL CONTROL DEL GUSANO COGOLLERO <i>Spodoptera frugiperda</i>. de La Cruz-Martínez V, Andrés-Meza P, del Rosario Arellano J, Leyva Ovalle OR, Murguía-González J, Serna-Lagunes R, Espinosa-Calderón A, Sierra Macías M, Tadeo-Robledo M, Gómez-Montiel NO, Rodríguez Montalvo FA, Cebada-Merino M	138
CARACTERIZACIÓN MORFOLOGICA DE LA RAÍZ DE YUCA <i>MANIHOT ESCULENTA</i> CRANTZ, DEL BANCO DE GERMOPLASMA DEL CAMPO EXPERIMENTAL HUIMANGUILLO TABASCO. de Dios L MO, García S A, Rodríguez C M, Sumano L D, Gutiérrez B R, Ruíz B P	144
CONTRIBUCIÓN AL CONOCIMIENTO DEL GUSANO BARRENADOR DE LA CALABAZA CHIGUA <i>Cucurbita Argyrosperma</i> Auber EN HUIMANGUILLO, TABASCO. Ramírez-Guillermo MA, Barrón Freyre S, Hernández-Gómez E, López-Domínguez I, de Los Santos-Ricardez BL.....	150
SECCIÓN B: PLANTACIONES	157
CONTENIDOS DE BORO EN SUELOS DEDICADOS A COCOTERO EN EL ESTADO DE GUERRERO, MÉXICO. Ramírez Silva JH, Aguilar Duarte Y, Ramírez Jaramillo G, Cano-González A, =ropeza Salín CM	158
CORRELACIÓN DEL PODER CALORÍFICO Y LIGNINA DE RESIDUOS DE LA INDUSTRIA DE ASERRÍO EN EL ESTADO DE PUEBLA. AGUILAR Sánchez P, Honorato Salazar JA, Rebolledo García R.....	164
TECNOLOGÍAS DE EXPLORACIÓN GEOFÍSICA APLICADAS AL CAMPO FORESTAL Y AGRÍCOLA. Rodríguez Robles U, Arredondo Moreno T	168
CARACTERIZACIÓN Y SELECCIÓN DE GENOTIPOS DE DURAZNO EN ZACATECAS. Melero Meraz V, Zegbe JA, Herrera MD, Fernández Montes MR	172
PRODUCCIÓN DE BIOMASA DE 20 COLECTAS DE MORINGA BAJO LAS CONDICIONES AGROCLIMÁTICAS DEL SURESTE DE MÉXICO. Basulto Graniel JA, Burgos Díaz JA, Gamboa JA.....	181
FENOLOGÍA Y RENDIMIENTO DE VARIEDADES DE UVA PARA MESA CULTIVADAS EN EL SUB-TRÓPICO SEMI-ÁRIDO TEMPLADO. Zegbe JA, Reveles-Torres LR	186
IMPLEMENTACIÓN DEL MÉTODO DE DISIPACIÓN DE CALOR PARA MEDIR EL FLUJO DE SAVIA EN PALMA DE ACEITE <i>Elaeis guineensis</i> Jacq. Juárez-Bonilla MC, Lagunes-	

Espinoza LC, Vázquez-Navarrete CJ, Rincón-Ramírez JA, Mendoza-Hernández JHR, del Rivero-Bautista N.....	191
EVALUACIÓN DE 20 GENOTIPOS DE <i>Moringa oleifera</i> BAJO CONDICION DE TEMPORAL EN EL VALLE DE APATZINGAN, MICHOACAN. Rico Ponce HR, Reyes Reyes AL.....	196
DEMANDA ACUMULADA DE ENERGÍA Y EFEICIENCIA ENERGÉTICA PARA UN PROCESO DE OBTENCIÓN DE ETANOL Y COGENERACIÓN, A PARTIR DE TALLOS DE SORGO DULCE. Aguilar Sánchez P, Ibarra Gómez AX.....	201
VALORACION DE CUATRO ESPECIES DE LEGUMINOSAS SILVESTRES COMO BIOINDICADORAS DE LA CONTAMINACIÓN DEL SUELO POR PETRÓLEO CRUDO. Cázarez-Ruíz ED, Trujillo-Narcía A, Rivera-Cruz MC, Vega-López A	205
HONGOS ASOCIADOS AL PATOSISTEMA CACAO EN EL ESTADO DE TABASCO, MÉXICO. Torres-de-la-Cruz M, Guillén González CA, Ortiz-García CF, de-la-Cruz-Pérez A, Luna Rodríguez M, Cappello García S.	216
VARIABILIDAD DE LA DENSIDAD BÁSICA DE LA MADERA DE DIEZ CLONES SOBRESALIENTES DE CEDRO ROJO <i>Cedrela odorata</i> L. Honorato Salazar JA, Sánchez Monsalvo V.....	221
CARACTERIZACIÓN DE SEMILLAS DE VEINTE GENOTIPOS SUPERIORES DE CEDRO <i>Cedrela odorata</i> L., CON FINES DE MEJORAMIENTO GENÉTICO EN YUCATÁN. Rivera Leyva RR, García-Cuevas X, Cob Uicab JV	226
<i>Colletotrichum</i> spp. PROCEDENTE DE FRUTOS DE PAPAYA DEL CENTRO DE VERACRUZ, SU CONTROL CON FUNGICIDAS Y EFECTO DEL pH DEL AGUA. Rodríguez Falconi R, Rodríguez Escobar Jg, Rodríguez Quibrera CG.....	232
HIBRIDO DE COCOTERO CHACTEMAL Y SU PROGENIE, EN BASE A LOS COMPONENTES DEL FRUTO. Dominguez CE, Pablo PM, Alejo JA, Cortazar R, Montes RG, Sosa PE.....	240
CARACTERIZACION MORFOLOGICA EN PLANTACIONES DE <i>Jatropha curcas</i> L. EN TABASCO, MEXICO. Rivera Hernández A, Martínez-Herrera J, López-López R, Vázquez Hernández L, Argüello García E.....	245
MATERIA ORGÁNICA Y pH EN SUELOS CULTIVADOS CON CACAO <i>Theobroma cacao</i> L. EN TABASCO, MÉXICO. Ramírez-Guillermo MA, de los Santos-Ricardez BL	252
INCIDENCIA Y SEVERIDAD DE ROYA EN <i>Jatropha curcas</i> L., EN CHIAPAS, MÉXICO. Hernández-Gómez E, Garrido-Ramírez ER, Solís-Bonilla JL, Lopez-Martínez J, Ramírez-Guillermo MA, Martínez Valencia BB.....	258
EVALUACION DE DOS SISTEMAS DE BIOESPACIOS PARA LA PROPAGACION DE PATRONES DE CACAO <i>Theobroma cacao</i> L. Hernández Díaz E, Azpeitia Morales A, Ramírez Sandoval G, Mirafuentes Hernández F.....	261
ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA DE LA PALMA DE ACEITE <i>Elaeis guineensis</i> Jacq. EN EL ORIENTE DEL ESTADO DE CHIAPAS. Gómez-Valenzuela V.....	269
SECCIÓN C: GANADERÍA	273
PROPIEDADES QUÍMICAS Y ACTIVIDAD ANTIHELMINTICA <i>IN VITRO</i> DE EXTRACTOS DE <i>Musa balbisiana</i> Colla. Rivera Torrez DL, Hernández-Villegas MM, Bolio-López GI, Almenares López D.....	274
CAMBIOS EN LOS ÍNDICES HEMATOLÓGICOS EN CORDEROS PELIBUEY POR LA INFECCIÓN CON NEMATODOS GASTROINTESTINALES. González Garduño R, Cruz Tamayo AA, Zaragoza Vera CV, Aguilar Caballero A, Torres Hernández G.....	281
EVALUACIÓN DE ALGUNOS PARÁMETROS RELACIONADOS CON LA PRODUCTIVIDAD DE LAS RAZAS OVINAS PELIBUEY Y BLACKBELLY. Rojas RO, ¹ Murguía OM, ² Nah CHE.....	285
PRODUCCIÓN DE VACUNA CONTRA LA BABESIOSIS BOVINA EN UN BIORREACTOR DE PERFUSIÓN. Álvarez Martínez JA, Rojas-Martínez C, Figueroa Millán JV	289

<i>Babesia bovis</i>: CULTIVO IN VITRO EN MEDIO LIBRE DE SUERO BOVINO. Rojas-Martínez C, Alvarez Martínez JA, Rodríguez-Vivas RI, Figueroa Millán JV	295
CINETICA DE DEGRADACION IN VITRO DE LAS LEGUMINOSAS <i>Clitoria ternatea</i> Y <i>Pueraria phaseoloides</i>. López-Jiménez CE, Hernández-Villegas MM, Aranda-Ibáñez ME, Barrientos-Ramírez L, Bolaños-Aguilar ED, Bolio-López GI.....	301
PARÁMETROS HEMATOLÓGICOS (ERITROGRAMA), EN GANADO BOVINO DE DOBLE PROPÓSITO EN HUIMANGUILLO, TABASCO, MEXICO. López Hernández KG, Báez Ruiz UA...	306
VAINAS DE <i>Caesalpinia coriaria</i> EXHIBEN ACTIVIDAD NEMATICIDA IN VITRO CONTRA LARVAS INFECTANTES DE <i>Haemonchus contortus</i>. García Hernández C, Olmedo Juárez A, Rojo Rubio R, Mendoza de Gives P, Mondragón Anselmo J, Zarza Albarrán MA.....	311
CALIDAD MICROBIOLÓGICA DE LA CARNE DE RES COMERCIALIZADA EN CÁRDENAS, TABASCO. Córdova de la Cruz D, Zaldívar Cruz JM, Hernández Nataren E, Mendoza-Hernández JHR, Hernández Domínguez E	316
EVALUACIÓN ECONÓMICA DE UNIDADES DE PRODUCCIÓN BAJO EL SISTEMA DE DOBLE PROPÓSITO EN SINALOA. Bautista-Martínez Y, Granados-Rivera LD, Espinosa García JA, Cancino S J, López Acevedo EA.....	323
SECCIÓN D: BIOTECNOLOGÍA	327
VARIABILIDAD GENÉTICA DE GENOTIPOS AVANZADOS DE TOMATE DE CÁSCARA <i>Physalis ixocarpa</i> Brot. González-Chavira MM, Pons-Hernández JL, González-Pérez E, Villalobo-Reyes S.....	328
NANOEMULSIONES COMO SISTEMAS ACARREADORES DEL EXTRACTO LIPÍDICO RICO EN ASTAXANTINA OBTENIDO DE CABEZA DE CAMARÓN. Rodríguez Sánchez B, Hernández Becerra JA, García Galindo HS, Rodríguez Blanco L, Ochoa Flores AA	333
COMPARACIÓN DE LA CINÉTICA DE CRECIMIENTO DE UNA LEVADURA COMERCIAL CON UNA CEPA NATIVA, USANDO COMO SUSTRATO JUGO DE CACAO. Sánchez Tosca DG, Morales Cruz R, Arroyo Falconi P, Hernández Vélez RM, Urrieta Saltijeral JM	341
CARACTERIZACIÓN BROMATOLÓGICA DEL RESIDUO DERIVADO DE LA EXTRACCIÓN DE ACEITE DE SEMILLAS NEEM <i>Azadirachta indica</i> A. Juss. Hernández Becerra JA, Ochoa Flores AA, López Cruz JA, García Jiménez R, Ruiz Santiago FL, Valadez Villarreal A.....	348
CALIDAD DE ACEITE DE NAPAHITE <i>Trichilia hirta</i> L. PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL EN MÉXICO. Martínez Valencia BB, Solís-Bonilla JL, Hernández-Gómez E, Zamarripa Colmenero A.....	354
CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE FITOQUÍMICOS DE CHILTEPIN <i>Capsicum annum</i> L. var. <i>Glabriusculum</i>. Medina-Juárez LA, Gámez-Meza N, Hayano-Kanashiro C	358
EFFECTO DEL TRATAMIENTO TÉRMICO CON MICROONDAS EN EL CONTENIDO DE FIBRA DIETÉTICA DE LA PASTA RESIDUAL DE <i>Jatropha curcas</i>. Corzo-Ríos LJ, Martínez-Herrera J, Sánchez-Chino XM, Jiménez-Martínez C.....	363
OBTENCIÓN DE NANOCRISTALES DE CELULOSA A PARTIR DE RESIDUOS AGRÍCOLAS DE PIÑA <i>Ananas comosus</i> L. Merrill POR EL MÉTODO DE HIDRÓLISIS ÁCIDA. Colorado-Torres M, Bolio-López GI, Lucien Veleza L, Valerio Cárdenas C, Córdova-Sánchez S, Hernández-Villegas MM.....	368
SECCIÓN E: TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS.....	376
CAPACIDAD ANTIOXIDANTE Y CONTENIDO DE ESTEVIOSIDOS Y COMPUESTOS FENÓLICOS EN ESTEVIA ELICITADA. Guzman-Maldonado SH, Estefania-Ojeda S, González-Chavira MM, Díaz-Huacuz SR, Pons-Hernández JL.....	377
DETERMINACIÓN DEL VALOR NUTRITIVO DE VARIEDADES DE MAIZ CRIOLLO DEL ESTADO DE PUEBLA. Sánchez Chino X, Jiménez-Martínez C, Ruiz-Victoria RA, Martínez-Herrera J, Corzo-Ríos L, Gil Muñoz A	383

COMPOSICIÓN BROMATOLÓGICA Y CUANTIFICACIÓN DE COMPUESTOS FENÓLICOS EN MALTA DE CEBADA. Sánchez Chino X, Jiménez-Martínez C, Osornio Pedraza A, Corzo Ríos L, Martínez-Herrera J.....	389
ALIMENTO FUNCIONAL: TORTILLAS HORNEADAS. Ruiz Santiago FL, García Jiménez R, Valadez Villarreal A, Hernandez Becerra JA, Rocher Córdova R, Ocaña Gómez M, Silvan Sarao CD.....	395
ACTIVIDAD ANTIBACTERIANA DE LA MIEL TABASQUEÑA CONTRA <i>Escherichia coli</i>. Arias de la Cruz HL, Zaldívar Cruz JM, Nila Méndez AG, Hernández Domínguez E.....	400
EVALUACIÓN SENSORIAL DE GALLETAS ELABORADAS CON HOJAS DE <i>Stevia rebaudiana</i>. Murguía Olmedo Mdelal, Moguel Ordóñez YB.....	406
DETERMINACIÓN DEL COLOR DE LAS MIELES TABASQUEÑAS. López-González MM, Moo-Huchín VMm, Sauri-Duch E, Zaldívar Cruz JM.....	412
DETECCIÓN DE HONGOS EN MAICES DESTINADOS AL CONSUMO HUMANO. Arellano Galicia LJ, Zaldívar Cruz JM, del Rivero Bautista N, Hernández Nataren E, Zúñiga Aguilar JJ.....	417
COMPOSICIÓN BROMATOLÓGICA Y DETERMINACIÓN DE LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DE DOS ACCESIONES DE YUCA <i>Manihot esculenta</i> Crantz DE TABASCO. Felix Ocaña SP, Martínez-Herrera J, López-López R, Jiménez-Martínez C, Sánchez Chino XM.....	424
SECCIÓN F: SOCIOECONOMÍA Y DESARROLLO RURAL.....	429
ANÁLISIS DE LA SUSTENTABILIDAD DEL SISTEMA DE RIEGO POR EXUDACIÓN EN EL CULTIVO DE CHILE HABANERO EN PETÉN, GUATEMALA. Martínez Cuestas MA, Luna Jiménez AL, González Cortés N, Milián Vicente BA.....	430
PROBLEMÁTICA ECONOMICA Y SOCIAL DE LOS POBLADORES DE SAN JOSE DEL CARMEN, MUNICIPIO DE SAN CRISTOBAL DE LAS CASAS, CHIAPAS. Salinas Cruz E; Martínez Sánchez J, Morales Guerra M, Vásquez Ortiz R, Noriega Cantú DH, Contreras Hinojosa JR ²	439
CARACTERÍSTICAS SOCIOECONOMICAS DE LOS AGRICULTORES DE SANDIA EN CAMPECHE, MÉXICO. Uzcanga-Pérez N, Cano-González A, Ramírez Silva JH.....	447
DESARROLLO DE UNA EMPRESA INTEGRADORA COMO CADENA PRODUCTIVA FORESTAL A NIVEL REGIONAL. Stern L, Quintanar Olguin J.....	455
TRANSFERENCIA DE UN MODELO PREDICTIVO PARA LA PRODUCCIÓN DE RESINA DE PINO EN EL EJIDO JORGE DE LA VEGA DOMÍNGUEZ, CINTALAPA, CHIAPAS. Cadena-Iñiguez P, Reynoso-Santos R, López-Báez W, Hernández-Ramos J, Muñoz-Flores HJ, Cruz-Santos E.....	460
GRANDES ACTORES Y SU POTENCIAL CONTRIBUCIÓN A LA SOBERANÍA ALIMENTARIA EN EL SUR DE MÉXICO; UN ANALISIS DE LAS REDES SOCIALES EN EL PROYECTO GRANOS DEL SUR. Cadena-Iñiguez P, Camas-Gómez R, Coutiño-Estrada BJ, Turrent-Fernández A.....	466
POTENCIAL CLIMÁTICO DE YUCA <i>Manihot esculenta</i> Crantz COMO ESPECIE DE INTERÉS PARA PRODUCCIÓN DE BIOPLÁSTICOS EN VERACRUZ, MÉXICO. del Rosario Arellano JL, Andrés-Meza P, Meneses Márquez I, Leyva Ovalle OR, Bolio-López GI, Aguilar Rivera N, Rivera Hernández B, Palma-López DJ, Serna-Lagunes R, Sierra Macías M, Espinosa-Calderón A, Tadeo-Robledo M, Vázquez Carrillo MG, Murguía-González J, Rosas Gonzales X, Becerra Leor EN.....	473
CARACTERIZACIÓN DEL AEROSOL BIOGÉNICO, EN LA CAMPAÑA SLOPE II EN SIERRA NEVADA, ESPAÑA. Uresti-Durán D, Cariñanos-González P, Lyamani H, Alados-Arboledas L.....	482
POTENCIAL DEL RAQUIS DE HOJAS Y RACIMOS DE PALMA DE ACEITE <i>Elaeis guineensis</i> Jacq. PARA LA PRODUCCIÓN DE FIBRAS LIGNOCELULÓSICAS. Muñoz Ríos JC, Cámara-Córdova J, Cantú Garza RA.....	487

SECCIÓN G: MANEJO Y CONSERVACION DE LOS RECURSOS NATURALES	491
MODELO PARA ESTIMAR ALTURA TOTAL E ÍNDICE DE ESBELTEZ A PARTIR DEL DIÁMETRO PARA <i>Bursera Simaruba</i> (L.) Sarg. EN QUINTANA ROO, MÉXICO. Hernández-Ramos J, García-Cuevas X, Hernández-Ramos A, Tamarit Urias JC, Buendía-Rodríguez E, Reynoso-Santos R.....	492
MODELOS DE RAZÓN CON INCLUSIÓN DE EFECTOS ALEATORIOS PARA ESTIMAR VOLUMEN COMERCIAL DE <i>Pinus pseudostrobus</i> EN MICHOACÁN. Hernández-Ramos J, García-Espinoza GG, García-Magaña JJ, Hernández-Ramos A, García-Cuevas X, Martínez-Ángel L.....	497
GENERACIÓN DE UN DIAGRAMA PARA MANEJAR LA DENSIDAD BASADO EN REINEKE PARA <i>Pinus patula</i>. Tamarit Urias JC, Quiñonez Barraza G, de los Santos Posadas HM, Castañeda Mendoza A, Ordoñez Prado C.....	502
MODELO PARA ESTIMAR EL CRECIMIENTO EN DIÁMETRO NORMAL DE <i>Pinus montezumae</i> EN PUEBLA, MÉXICO. Tamarit Urias JC, Ordoñez Prado C, Hernández-Ramos J, García-Cuevas X, Quiñonez Barraza G.....	511
INVENTARIO Y MAPEO DE VARIABLES FORESTALES MEDIANTE MUESTREO TRADICIONAL Y SENSORES REMOTOS EN QUINTANA ROO, MÉXICO. Martínez-Ángel L, García-Cuevas X, Hernández-Ramos J, Pérez-Miranda R, González-Hernández A, Hernández-Ramos A.....	519
EVALUACIÓN DE UN SECADOR SOLAR CON MADERAS DURAS TROPICALES. Quintanar Olguin J.....	527
EFECTO DE <i>Trichoderma</i> sp, EN EL CULTIVO DE SORGO. Ángeles Núñez JA, Herrera Corredor C, Pecina Quintero V.....	531
EVALUACIÓN DE LA RED HIDROAGRÍCOLA DE UN MÓDULO DE RIEGO EN EL NORTE DE MÉXICO. Ramos-Cruz CM, Delgado-Ramírez G, Estrada-Avalos J, López-López R, Miguel-Valle E.....	540
MODELO PARA PREDECIR LA PRODUCCIÓN DE RESINA DE <i>Pinus oocarpa</i> Schiede ex Schltdl. EN EL EJIDO JORGE DE LA VEGA, CHIAPAS, MÉXICO. Reynoso-Santos R, Hernández-Ramos J, Muñoz-Flores HJ, López Báez W, Cadena-Iñiguez P, Cruz Santos E, Rodríguez Chávez EA.....	546
APTITUD FORESTAL PARA ESPECIES NATIVAS EN LA SUBCUENCA DEL RÍO SAN PEDRO EN EL ESTADO DE TABASCO. Ramírez García AR, Galindo Alcántara A, Cámara Cabrales LC, Martínez Zurimendi P, Ruiz Acosta SC, Morales Hernández A.....	552
MANIFESTACION DEL CAMBIO CLIMÁTICO LOCAL Y PROBABLES EFECTOS SOBRE LA APICULTURA EN YUCATÁN. Aguilar Duarte Y, Moguel Ordóñez Y, Reygadas Prado F, Cahuich I, Bautista F.....	563
EFECTO DE LA QUEMA Y REQUEMA EN LA ACTIVIDAD MICROBIANA EN SUELO Y RIZOSFERA DE <i>Saccharum officinarum</i> L. EN EL SURESTE DE MÉXICO. Rivera-Cruz MC, Trujillo-Narcía A, Magaña-Aquino M.....	572
EVALUACIÓN DEL POTENCIAL PRODUCTIVO DE BODIESEL EN POBLACIONES NATURALES DE COYOL <i>Acrocomia aculeata</i> Jacq. Díaz Fuentes VH, Ruíz Cruz PA, Nájera Domínguez W, Martínez Valencia BB.....	578
DRONES PARA EL MONITOREO DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN SISTEMAS NATURALES Y ANTRÓPICOS EN EL ANILLO DE CENOTES DE YUCATÁN. Gijón Yescas GN, Estrada Medina H, Euan Ávila JI, Medina Esquivel RA, Aguilar Duarte Y.....	585
DELIMITACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LA SUBCUENCA DEL RÍO TEAPA EN LA CUENCA BAJA DEL RÍO GRIJALVA. Jiménez Hidalgo AJ, Adalberto Galindo A, Ruiz Acosta SC.....	591

ACTIVIDAD MICROBIOLÓGICA EN SUELO Y RIZOSFERA DE <i>Laguncularia racemosa</i> CONTAMINADOS CON PETRÓLEO INTEMPERIZADO. López-Jiménez JG, Rivera-Cruz MC, Aceves Navarro LA, Sol Sánchez Á, Sarracino Martínez O, Trujillo-Narcía A.....	598
EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL PETRÓLEO A TRAVÉS DEL TIEMPO SOBRE EL CRECIMIENTO, PRODUCCIÓN Y PROTEÍNA DE <i>Leersia hexandra</i> Sw. Orocio Carrillo JA, Rivera-Cruz MC, Aranda-Ibáñez EM, Hernández Galvez G, Mendoza López MR.....	603
ESTUDIOS EDAFOLÓGICO Y DE IMPACTO AMBIENTAL EN UN ÁREA ALUVIAL EN TABASCO. Trujillo-Narcía A, Rivera-Cruz MC, Jiménez-Jiménez JC, Cázarez-Ruíz ED.....	609
DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DE RAÍCES, NÓDULOS Y DENSIDAD DE <i>RHIZOBIUM</i> SPP EN LA LEGUMINOSA ZARZA <i>Mimosa pigra</i> L. Trujillo-Narcía A, Rivera-Cruz MC, Chávez AK, Ramírez SKA, Limón SE, Jiménez J JC.....	619
CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA E HIDROLÓGICA DE UNA SUBCUENCA EN LA CUENCA BAJA DEL GRIJALVA. Triana Acevedo LH, Galindo Alcántara A, Ruiz Acosta SC.....	628
PLANTA EN VIAS DE EXTINCIÓN: <i>Licania platypus</i>, (Hemsl.) Fritsch DISTRIBUCION Y PROPAGACION EN LA REGION DE LA CHONTALPA, TABASCO. Ruiz Beltrán P, Salvador Esparza RM, Olán Vidal Z, Gerónimo Sánchez SJ, Rodríguez Cuevas M, Sumano López D.....	635
ACTIVIDAD ENZIMÁTICA RIZOSFERICA DE <i>Laguncularia racemosa</i> EN SUELO CONTAMINADO CON PETRÓLEO INTEMPERIZADO EN LA VENTA, TABASCO. Ventura Martínez G, Rivera-Cruz MC, Sol Sánchez A, Moscoso Ramírez PA, Velázquez Carmona MA, Trujillo-Narcía A.....	641
MODELACIÓN MATEMÁTICA PARA EL CRECIMIENTO DE GIRASOLES. Sandoval Martínez M.....	646
DIAGNÓSTICO DE LOS SUELOS ÁCIDOS EN LA AGRICULTURA DE LA FRAILESCA, ESTADO DE CHIAPAS. Castillo-Pérez T, Aguilar-Rodas JF, Alvarado-Moreno E, Cruz-Sánchez E, Díaz-Sánchez EI, García-González G, Lara-López E, Limeta-Cuervo XV, López-Sánchez IS, Ocampo-Pérez M, Pineda-Bonilla AI.....	651
SECCIÓN H: ACUACULTURA.....	657
EFICIENCIA ENERGÉTICA EN GRANJAS ACUICOLAS. Márquez Rocha FJ, Jiménez Rodríguez DJ, Ruiz Rodríguez CJ, Sánchez Ramos CA.....	658
ÍNDICE DE AUTORES.....	667
DIRECTORIO DE INSTITUCIONES PARTICIPANTES.....	671
COMITÉ CIENTÍFICO PARTICULAR DE LA PUBLICACIÓN.....	674
SEMBLANZA DE LOS EDITORES.....	675

PRÓLOGO

Tabasco nuevamente se encuentra complacido de propiciar un espacio de reflexión para que los investigadores, extensionistas y productores de varios estados del país se reúnan y aporten los conocimientos científicos que han generado durante el último año.

Estas innovaciones son fundamentales para lograr la seguridad agroalimentaria de la región del trópico húmedo y ser más competitivos en las actividades productivas.

Los resultados de las investigaciones deben mejorar los paquetes tecnológicos generados por las instituciones responsables de la investigación y de acuerdo a la agenda de Innovación ser técnicamente factibles, socialmente aceptables, ecológicamente sostenibles y financieramente rentables.

Los estados del sureste son los más pobres del país y en donde es importante revertir esta situación; por tal razón es urgente generar tecnologías fácilmente transferibles y adaptables que logren resultados económicos positivos en el bolsillo de los productores en el corto plazo.

En este contexto las nuevas áreas del conocimiento deben considerar el enfoque de cadena agroalimentaria; esto significa que las investigaciones actuales no solo requieren del conocimiento para producir mejor, sino también para transformar y comercializar las materias primas de manera más competitiva.

Los desafíos actuales consideran además la generación de tecnologías amigables con el medio ambiente y la oferta de productos que compitan en calidad, inocuidad y precios frente a los importados de otros países.

Todos los estados y los investigadores que hasta hoy han participado tan activamente en las reuniones científicas convocadas por Tabasco, poseen una amplia experiencia en la generación de conocimiento científico, validación y transferencia de tecnologías.

Estamos seguros que la acción coordinada de la comunidad científica, investigadores, productores y proveedores de insumos está en condiciones de aportar el nuevo conocimiento que demanda el país en general y la región del sureste en particular. Solo se necesita de una política pública, que marque el conocimiento al que se requiere tener acceso.

La generación de un conocimiento científico y tecnológico, al igual que otras actividades necesita de liderazgo firme y sustentable para ser exitosa, porque no se puede continuar obteniendo conocimiento que no aporte al mejoramiento económico y sustentable de los productores que los aplican y de sus regiones.

Francisco Herrera León.
Delegado de la SAGARPA en Tabasco.

RECONOCIMIENTO

Al Lic. Arturo Núñez Jiménez, Gobernador Constitucional del estado de Tabasco, por su apoyo e interés en la investigación y desarrollo científico y tecnológico, actividades prioritarias para la seguridad alimentaria del presente siglo.

A la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) en Tabasco y a la Secretaría de Desarrollo Agropecuario, Forestal y Pesquero (SEDAFOP), instituciones que siempre han mostrado interés en la generación de conocimientos científicos en el área agropecuaria y forestal y en la difusión de estos conocimientos en el agro tabasqueño.

A la Fundación Produce Tabasco, A.C., al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y al Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Tabasco (CCYTET), por los apoyos que han brindado a los proyectos de investigación de las diferentes instituciones dedicadas a esta actividad y que hoy presentan muchos de sus resultados en este libro.

A la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, por su participación activa y entusiasta en el comité editorial de este libro y a todas las demás Instituciones Promotoras del libro: Secretaría de Agricultura Ganadería, Desarrollo Rural Pesca y Alimentación, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Universidad Tecnológica de Tabasco, Instituto Tecnológico de la Zona Olmeca, Colegio de Postgraduados-Campus Tabasco, Fundación Produce Tabasco A.C., Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Tabasco, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Universidad Popular de la Chontalpa, Colegio de la Frontera Sur, Instituto Tecnológico de Villahermosa, Universidad Politécnica Mesoamericana, Instituto Tecnológico Superior de Macuspana.

A los promotores directos del libro: Lic. Francisco Herrera León, Dr. Jorge Martínez Herrera, Ing. Manuel Desiderio Fuentes Esperón, M.C. Miguel Ángel Ramírez Guillermo, Lic. Carlos Arce, M.C. Lilia Fraire Sierra, Ph.D. Julio Cámara Córdova, Ph.D. Roberto Antonio Cantú Garza, Dra. Rosa Margarita Hernández Vélez, Mtro. Ricardo Amado Moheno Barrueta, C.D. Ma. Luisa Martínez Gutiérrez, M.C. Gustavo Malagón Marín, M.C. Manuel Moreno Jiménez.

Los Editores

Sección A:
Cultivos anuales

MAÍCES EN PRIMAVERA-VERANO EN CAMPECHE, MÉXICO MAIZE IN SPRING-SUMMER IN CAMPECHE, MEXICO

¹ Villalobos González A, ² Ruiz García JL, ² López Hernández MB

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Edzná. Carretera Campeche-Tixmucuy Km 15.5 Campeche, Camp. C.P. 24529.

²Instituto Tecnológico de China (IT China). Carretera Campeche-China, Camp. C.P. 24520
Autor para correspondencia: villalobos.antonio@inifap.gob.mx

RESUMEN

El suelo y la precipitación es el recurso básico de los agricultores para cultivar diversos cultivos en condiciones de temporal. Bajo este sistema de producción se obtiene el mayor porcentaje (70%) de la producción de maíz-grano en la república mexicana. En Campeche el 95 % de la producción depende del temporal, en el que es vital el uso de maíces con buena respuesta en rendimiento de grano por hectárea. En este contexto, el presente trabajo tuvo como objetivo estudiar la respuesta de un grupo de variedades híbridas sobre el rendimiento de grano y sus componentes en primavera-verano bajo condiciones de temporal en un suelo Luvisol de Campeche. Para ello se incluyó un ensayo con los maíces de grano blanco: MQ8585, HS-23, MP8520, MP8517, DK-415, DK-410 y H-516, y amarillo: DK-7508, que se condujo bajo un diseño de bloques al azar con tres repeticiones en la localidad de Uzahsil Edzná, Campeche, México. La unidad experimental consistió de cuatro surcos de 5.0 m de largo y 0.80 m de separación. Al momento de la siembra (julio 2016) se depositaron dos semillas por golpe para después de la emergencia ralea a una planta y dejar la densidad de población deseada (70,000 plantas/ha). Se fertilizo con la dosis 110N-46P-00K a los 30 días después de la siembra. El material MQ8585 y DK-410 presentaron el mayor ($p \leq 0.05$) número de hileras por mazorca; MQ8585 presentó el mayor ($p \leq 0.05$) número de granos normales por mazorca. El HS-23, MP8520, MP8517, HS-27, DK-415, DK-410 y H-516 de grano blanco presentaron el menor ($p \leq 0.05$) número de granos abortados por mazorca. El MQ8585 y H-516 presentaron ($p \leq 0.05$) mayor rendimiento con 4.8 y 4.0 t ha⁻¹.

Palabras clave: precipitación, maíz, componentes.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de maíz (*Zea mays L.*) es una de las actividades económicas de alta importancia en la mayoría de las regiones agrícolas de los países desarrollados y emergentes en el globo terráqueo. La producción total a nivel mundial es de cerca de 1067 millones de toneladas y el 76% de la producción mundial de maíz se concentrará en cinco países: Estados Unidos, que participa con el 37%; China, que participa con alrededor de 21%; Brasil, con una participación cercana a 8%; y con menores participaciones se encuentran la Unión Europea y Argentina. Mientras que México figura en el quinto lugar con alrededor de 28 millones de toneladas (USDA, 2016).

El rendimiento promedio de maíz en México bajo temporal es de dos toneladas por hectárea (SIAP, 2016). Mientras que en el estado de Campeche en el mismo año (2016) se sembraron alrededor de 189 mil hectáreas de maíz-grano. De las cuales, el 94% se cultiva en primavera-verano en condiciones de temporal (93.7%) y riego (.3%); con un rendimiento promedio de 2 y 4.4 ton/ha⁻¹ bajo temporal y riego. El resto (6%) se labora en otoño-invierno, con siembras de humedad residual (4.7%) y riego (1.3%). El rendimiento promedio oscila entre 1.6 ton/ha⁻¹ con humedad residual y 4.1 ton/ha⁻¹ con riego. Los principales municipios productores son: Hecelchakán, Campeche y Hopelchén, con un rendimiento promedio de 3.6 ton/ha⁻¹ (SIAP, 2016).

En este contexto, en Campeche existen agricultores de bajo recursos que no son capaces de aplicar estrategias de manejo de cultivos que pudieran aminorar limitaciones sobre la reducción de la producción de maíz-grano que se cultiva en condiciones de temporal (también denominado de secano). En tal escenario la introducción de genotipos de maíz mejor adaptados continúa siendo la mejor alternativa. Sin embargo, la mejora genética del maíz tiene diversas limitaciones metodológicas que obstaculizan su avance; entre estas, caracterizar adecuadamente el comportamiento de los genotipos que se están evaluando, es decir, que realizar un correcto fenotipeado es quizás uno de los más evidentes hoy en día (Araus *et al.*, 2010). En este contexto, en Campeche es vital la actualización y generación de componentes tecnológicos para ser implementados a corto plazo en los terrenos de

los productores y favorecer la relación beneficio-costo por hectárea. Ante esto, el presente estudio se planteó la evaluación de materiales de maíz de grano blanco y amarillo en condiciones de temporal en el estado de Campeche, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en condiciones de campo en la localidad de Uzahsil Edzná, en el municipio de Campeche, Camp., México. La localidad se ubica en la zona Centro-Norte del estado de Campeche, sobre la carretera federal 188. Entre las coordenadas 19° 36'31.12" de latitud norte y 90°13'15'.56" de latitud oeste, a una altitud de 35 msnm. En la región predomina el clima tipo cálido subhúmedo. La precipitación y temperatura medias anuales son de 750 mm y 26 °C. La unidad experimental que fue utilizada para la siembra, se caracteriza en el estado de Campeche por ser un tipo de suelo rojo-arcilloso-profundo, denominados *Kancab* o *K'aancab* en la clasificación de suelos elaborados por los antiguos Mayas (Medina *et al.*, 2009) y llamados Luvisoles en la clasificación de la FAO-UNESCO 1970. Durante la preparación del suelo, se realizaron dos pases de rastra: el primero fue mediante el empleo de una rastra semi-pesada y en el segundo se utilizó una rastra más ligera. Se fertilizó con la dosis 110N-46P-00K a los 30 días después de la siembra. Para las demás prácticas agronómicas aplicadas fueron las recomendadas en el paquete tecnológico para la producción de maíz en condiciones de temporal en el estado de Campeche desarrollado por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP, 2016).

La presente evaluación consto de nueve materiales de maíz. De los nueve, ocho fueron de grano blanco (MQ8585, HS-27, MP8520, MP8517, HS-27, DK-415, DK-410 y H-516) y uno de grano amarillo (DK-7508). Se utilizó un diseño de bloques al azar con nueve tratamientos y tres repeticiones. La unidad experimental consistió de cuatro surcos de 6.0 m de largo cada uno, con 0.80 m de separación. Al momento de la siembra (julio 2016) se depositaron dos semillas por golpe para después de la emergencia, al presentar la planta de maíz tres hojas completas ralea a una planta para lograr una densidad de población de 70,000 plantas/ha.

Al momento de la cosecha se contó el número de mazorcas/planta (NMZ) y se registró el peso (g) de mazorca/unidad experimental (PMZ). De total de mazorcas se seleccionaron al azar 21 mazorcas y se alinearon de mayor a menor, y posteriormente se seleccionó una muestra compuesta por cinco mazorcas de la parte central, que fueron utilizadas para el registro de datos de las siguientes variables: número de hileras por mazorca (NHM); se adquirió al contar el número de hileras de la muestra compuesta de mazorcas y obtener el promedio. Número de granos normales por mazorca (NGNM); se obtuvo al contar el número de granos completamente formados o normales, después de desgranar las mazorcas de cada planta. Número de granos abortados por mazorca (NGAM); se obtuvo al contar el número de granos que no alcanzaron su desarrollo completo en la mazorca.

El rendimiento de grano (RG) se estimó con el peso de las mazorcas cosechadas por unidad experimental, cuyo contenido de humedad fue ajustado a 14 % y transformado a rendimiento por hectárea. También se realizó el registro la precipitación y temperatura. La precipitación se obtuvo de los datos almacenados en el pluviómetro colocado en los terrenos del experimento. La temperatura se obtuvo de los datos almacenados en la página Web de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), Servicio Meteorológico Nacional (SMN) 2016 para el estado de Campeche. A los datos se les realizó un análisis de varianza con el programa SAS para Windows Versión 9.0 (SAS, 2002) en forma individual. La comparación de medias se realizó con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Precipitación (PRE) y temperatura (TEM). En la Figura 1, se muestra la distribución de la precipitación (PRE) y temperatura (TEM) que se presentó durante el estudio bajo condiciones de temporal en campo. También en figura se observa que a partir de la siembra (S) a la madurez fisiológica, los maíces evaluados adquirieron un acumulado de lluvia de 477 mm, y que mostro una distribución errática en el crecimiento y desarrollo de los materiales de maíz-grano blanco y amarillo al obtenerse de la siembra a la floración un acumulado de 435 mm de lluvia, y de la floración a la madurez fisiológica un acumulado de 42 mm, respectivamente. En estas condiciones, los maíces presentaron una variación en el número de hileras por mazorca (NHM), número de granos normales (NGNM) y anormales o abortados por mazorca (NGAM), y rendimiento de grano (RG). Estudios sobre características descriptivas en maíz señalan que la planta de maíz de la siembra a la madurez requiere de 500 a 800 mm de PRE, dependiendo de la variedad y del clima. Mientras que su

requerimiento promedio por ciclo es de 650 mm y el uso consultivo varía de 410 a 640 mm, con valores extremos de 300 a 840 mm y una deficiencia de humedad provoca reducción en el RG en función de la etapa de desarrollo (Corral *et al.*, 1999; Villalobos *et al.*, 2016).

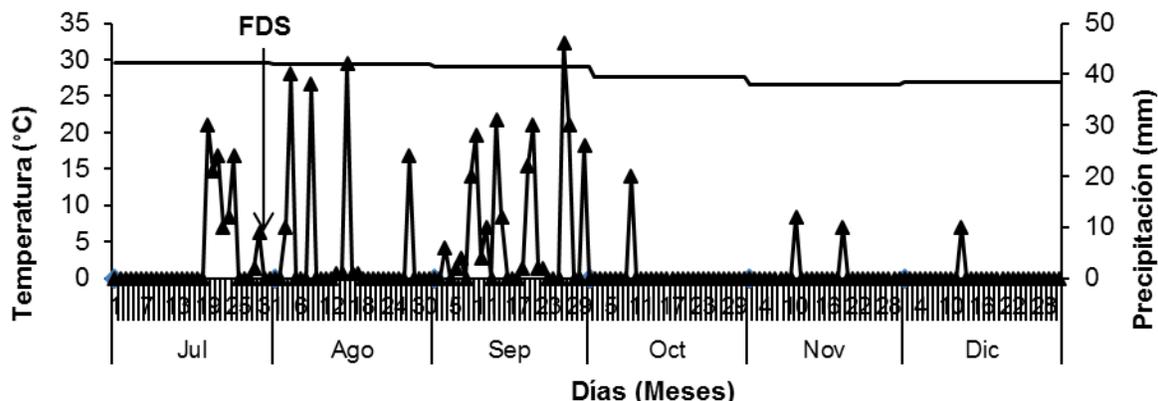


Figura 1. Precipitación y temperatura la localidad de Uzahsil Edzná, Campeche, Camp., México. Ciclo Primavera-Verano 2016; FDS= Fecha de siembra.

En relación a la temperatura, los materiales de maíz estuvieron bajo una presencia de temperatura promedio de 28 °C de la siembra a la madurez fisiológica. La temperatura promedio antes y después de la floración; alrededor de los 62 días después de la siembra (dds) fue de 29°C. Mientras que alrededor de los 64 dds (después de la floración) la temperatura promedio descendió un grado centígrado (28°C), cuando las plantas presentaban mazorcas con grano mazorco. A los 90 días de desarrollo y crecimiento de las plantas de maíz la temperatura descendió un grado más para finalizar en 27 °C. Ramírez *et al.* (2013) señala, que las modificaciones en el crecimiento y desarrollo del maíz en una región definida son determinadas por las condiciones ambientales particulares en que el cultivo se desarrolla; principalmente temperatura ambiental, y estas modificaciones son debido a cambios en los procesos fisiológicos de la planta, en todas las etapas o fases fenológicas de su ciclo biológico.

Harrison *et al.* (2011) indica, que las variaciones en el crecimiento y desarrollo de plantas de maíz es fuertemente influenciada por los efectos de la sincronización y la magnitud de los aumentos en la temperatura; así mismo las tendencias climáticas actuales podría inducir pérdidas substanciales del rendimiento en algunos lugares, y algunos agricultores podrían evitar algunas pérdidas a través de simples cambios a fechas de siembra y tipos de materiales de maíz de grano blanco o amarillo.

Número de hileras por mazorca (NHM). El número de hileras por mazorca (NHM) determinados en las mazorcas de los maíces de grano blanco y amarillo en primavera-verano 2016 bajo condiciones de temporal se muestra en la Figura 2. El MQ8585 y DK-410 presentaron el mayor ($p \leq 0.05$) NHM en comparación con el resto de los materiales. El maíz de grano blanco: HS-23, HS-27 y H-516, y DK-750 de grano amarillo mostraron el menor ($p \leq 0.05$) NHM. Otros estudios en maíz bajo temporal en verano muestran que existe variabilidad en el NHM, al presentar el material SC 2055 un mayor NHM que el híbrido SC 3084, SC 3062 y SC 2066 (Kandil *et al.*, 2017).

Número de granos normales por mazorca (NGNM). Al comparar la respuesta de los materiales de maíz de grano blanco y amarillo (Figura 3), se observó que el material MQ8585 presentó el mayor ($p \leq 0.05$) número de granos normales por mazorca (NGNM) en comparación con el resto de los materiales. Los materiales HS-23, MP8520, MP8517, HS-27, DK-415, DK-410 y H-516 de grano blanco, y DK-7508 de grano amarillo se comportaron de una manera similar para el NGNM. Shim, *et al.* (2017) indica que a medida que se acelere el calentamiento global en el mundo, las altas temperaturas que se originan en los ciclos de producción agrícola y específicamente en condiciones de temporal, afectaran los procesos de determinación de rendimiento de maíz y sus componentes de rendimiento, por ejemplo, el número de granos normales por mazorca.

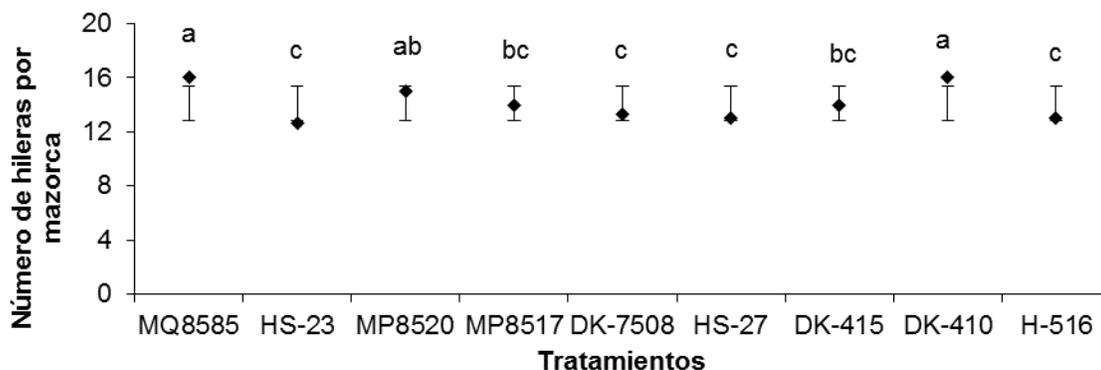


Figura 2. Promedio del número de hileras por mazorca de los materiales de maíz en primavera-verano en condiciones de temporal en Uzahsil Edzná, Campeche, Camp., México; Medias con la misma letra (s) entre tratamientos son estadísticamente iguales con un $\alpha=0,05$.

Número de granos abortados por mazorca (NGAM). El análisis de varianza (Figura 4) indica que para el número de granos abortados por mazorca (NGAM), los genotipos evaluados presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$). El HS-23, MP8520, MP8517, HS-27, DK-415, DK-410 y H-516 de grano blanco presentaron el menor ($p \leq 0.05$) NGAM en comparación con DK-7508 de grano amarillo y MQ8585 de grano blanco, que presentaron en promedio 25 granos más abortados en la mazorca. La diversidad de materiales de maíz de grano blanco y amarillo empleado en la siembra bajo condiciones de temporal en primavera-verano en Campeche, experimenta restricciones que influyen en sus etapas vegetativas y reproductivas, que repercuten en los componentes de rendimiento y ocasionan disminución del rendimiento de grano por hectárea. Estudios realizados por Fischer *et al.* (2011) y Araus *et al.* (2011) en campo señalan, que el maíz al experimentar estrés por restricciones de agua (sequía) en etapa reproductiva, tuvieron mayor pérdida de rendimiento que aquellos que experimentaron sequía durante la fase vegetativa.

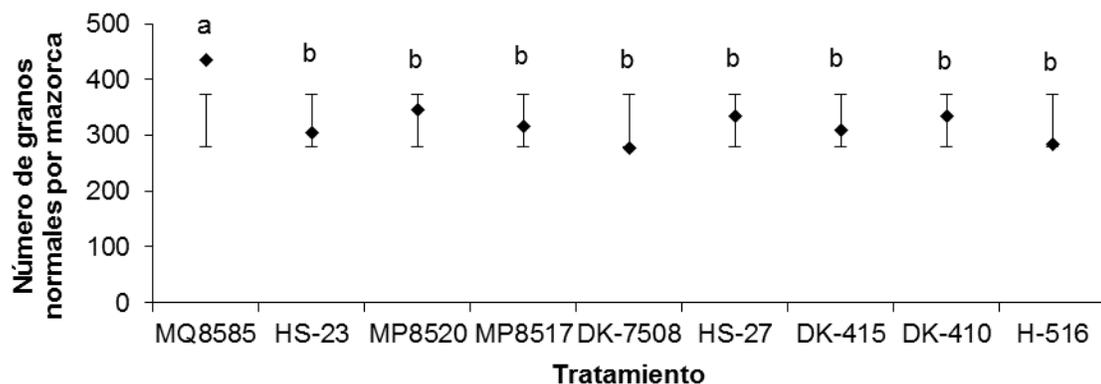


Figura 3. Promedio del número de granos normales por mazorca de los materiales de maíz en primavera-verano 2016 en condiciones de temporal en Uzahsil Edzná, Campeche, Camp., México; Medias con la misma letra (s) entre tratamientos son estadísticamente iguales con un $\alpha=0,05$.

En Campeche año con año, en el ciclo de primavera-verano las limitaciones de agua se originan con mayor frecuencia en la etapa reproductiva, que ocasionan un aumento del NGAM y/o provoca el aborto de óvulos y la esterilidad del polen en algunos materiales de maíz-grano. Daryanto *et al.* (2016) indica que el aborto de óvulos y esterilidad del polen no puede ser revertido añadiendo agua después de originarse una restricción de agua en etapa reproductiva.

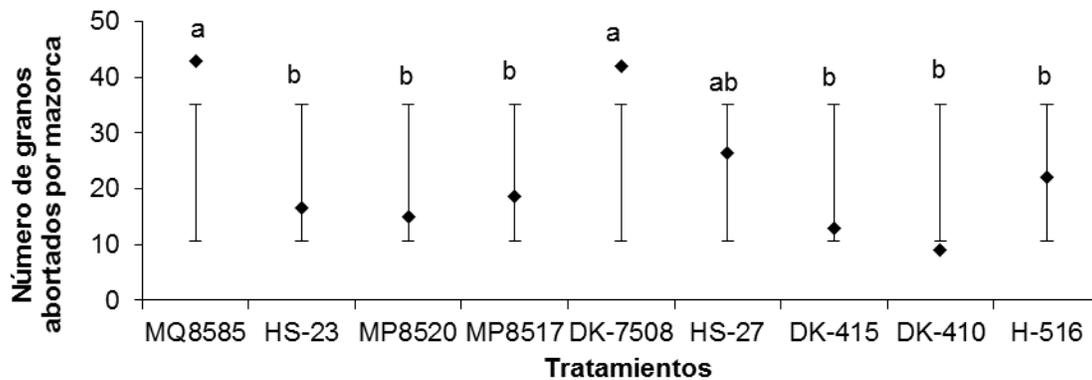


Figura 4. Promedio del número de granos abortados por mazorca de los materiales de maíz en primavera-verano 2016 en condiciones de temporal en Uzahsil Edzná, Campeche, Camp., México; Medias con la misma letra (s) entre tratamientos son estadísticamente iguales con un $\alpha=0,05$.

Rendimiento de grano (RG). Los materiales evaluados en condiciones de temporal en primavera-verano muestran diferencias ($p \leq 0.05$) significativas para el rendimiento de grano (RG). El genotipo MQ8585 presentó el mayor ($p \leq 0.05$) RG, en comparación con los demás cultivares. El material de grano amarillo “DK-7508” presentó el menor RG con un promedio de alrededor de 1.8 t ha^{-1} (Figura 5). Estudios señalan que el RG es un fenómeno complejo que resulta de la interacción de varios factores contribuyentes de altamente influenciados por la variación ambiental (Wattoo, *et al.*, 2009). Otros trabajos indican que la supresión del RG es influenciado por las condiciones climáticas, y principalmente la temperatura presentadas en meses y zonas específicas durante el año, que pueden oscilar entre una reducción del RG de 2 a 25% (Mourtzinis, *et al.*, 2016).

Qiang *et al.* (2016) Indica, que uno de los principales obstáculos para aumentar la productividad del cultivo de maíz (*Zea mays L.*) en el ciclo de primavera-verano es el estrés por altas temperaturas en la etapa de llenado de grano y para resolver estos problemas, deben entenderse los mecanismos fisiológicos del estrés ocasionado por las altas temperaturas en maíces empleados en el ciclo de primavera-verano.

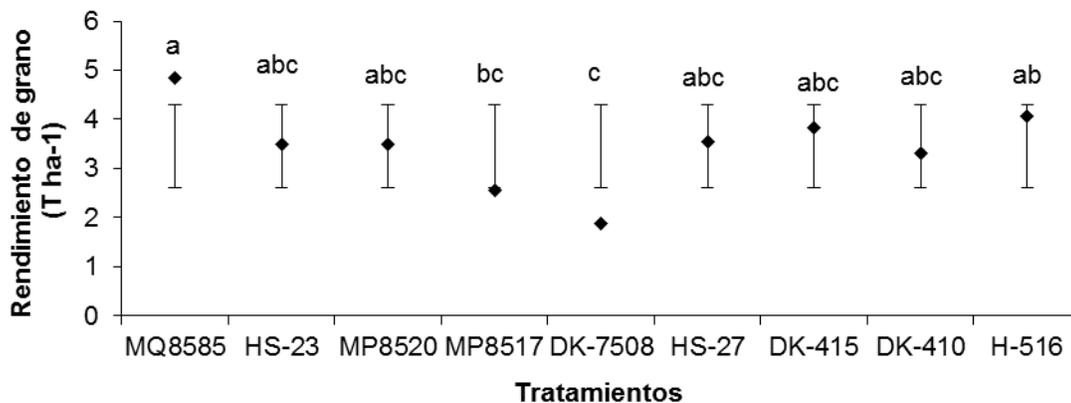


Figura 5. Rendimiento promedio de los materiales de maíz en primavera-verano 2016 en condiciones de temporal en Uzahsil Edzná, Campeche, Camp., México; Medias con la misma letra (s) entre tratamientos son estadísticamente iguales con un $\alpha=0,05$.

CONCLUSIONES

En primavera-verano 2016 bajo condiciones de temporal en el estado de Campeche, los materiales que mostraron mejor respuesta al número de hileras por mazorca fueron el MQ8585 y DK-410. MQ8585 presentó el mayor número de granos normales por mazorca. El HS-23, MP8520, MP8517,

HS-27, DK-415, DK-410 y H-516 de grano blanco presentaron el menor número de granos abortados por mazorca. El MQ8585 y H-516 presentaron mayor rendimiento con 4.8 y 4.0 t ha⁻¹.

LITERATURA CITADA

- Araus, J.L., Sánchez, C., Edmeades, G.O. 2010. Maíz tropical: fisiología del rendimiento y adaptación a sequía. El cultivo del maíz. Temas selectos II. Libro Mundi-Presa México, S.A. de C.V. 227 p.
- Araus J.L, Sanchez C., Edmeades G.O. 2011. Phenotyping maize for adaptation to drought. In: Monneveux P, Ribaut JM, editors. Drought phenotyping in crops: from theory to practice CGIAR Generation Challenge Program; p. 263–83.
- Corral, J.A.R., García, M.G., Trejo, O.C., Parra, M.R., Acuña, G.J.I., López, F.E.H., Murphy, B.F.K. 1999. Requerimientos agroecológicos de cultivos. Libro técnico. 324 p.
- Daryanto, S., Wang, L., Jacinthe, P.A. 2016. Global Synthesis of Drought Effects on Maize and Wheat Production. PLoS ONE, Vol. 5: p 1-15.
- FAO-UNESCO (Food and Agricultural Organization of the United Nations). 1970. Clave de unidades de suelos del mundo. Secretaría de Recursos Hidráulicos. Dirección de Agrología. México, D.F.
- Fischer K.S, Fukai S., Kumar A., Leung H., Jongdee, B. Phenotyping rice for adaptation to drought. In: Monneveux P, Ribaut JM, editors. Drought phenotyping in crops: from theory to practice: CGIAR Generation Challenge Program; 2011. p. 215–43.
- Harrison, L., Michaelsen, J., Funk, C., Husak, G. 2011. Effects of temperature changes on maize production in Mozambique. Clima Res. Vol. 46: p 211-222.
- Kandil, A.A., Sharief, A.E., Abozied, A.M.A. 2017. Maize Hybrids Yield as Affected by Inter and Intra Row Spacing. International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology (IJEAB), Vol. 2, Núm. 2. P 643-652.
- Medina, M.J., Volke, H.V.H., Galvis, S.A., González, R.J.M., Santiago, C.M.J., Cortes, F.J.I. 2009. Propiedades químicas de un luvisol después de la conversión del bosque a la agricultura en Campeche, México. Agronomía mesoamericana, Vol. 20, Núm. 2. p 217-235.
- Mourtzinis, S., Ortiz, V.B. and Damianidis, D. 2016. Climate Change and ENSO Effects on Southeastern US Climate Patterns and Maize Yield. Scientific Reports: p 1-7.
- Qiang, Z.T., Quan, C.Y., Chao, Li., Xiu, Z.J., Peng, Y., Fen, Y.S., Xia, W., Peng, S. The causes and impacts for heat stress in spring maize during grain filling in the North China Plain - A review. Journal of Integrative Agriculture, 15 (12): p 2677–2687
- Ramírez, R.Z., López, S.J.A., Briones, E.F., Varela, F.S.E., Mendoza, C.C.M. 2013. Efecto de la Temperatura sobre las fases de floración de maíz tropical en Tamaulipas. Productividad de las ciencias: cultura y fortaleza para el desarrollo. Universidad Autónoma de Tamaulipas. p 1-4.
- Shim, D., Lee, K.J., Lee, B.W. 2017. Response of phenology- and yield-related traits of maize to elevated temperature in a temperate region. Crop Science. 5: p 305-316.
- USDA, 2016. Foreign Agricultural Service - Production, 2016 Report. Mexico, Grain and Feed Annual. Statistical Analysis System, Versión 9.0 para Windows. 2002. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Villalobos, G.A., López, C.C., López, H.M.B., y Medina, M.J. 2016. Efecto del estrés hídrico y nitrógeno en variedades híbridas y criollas de maíz. Primer Foro Internacional de Talento Mexicano Innovation Match MX. Articulando conocimiento global: p 1-23.
- Wattoo, M.F., Saleem, M., Ahsan, M., Saijad, M., Ali, W. 2009. Genetic Analysis for Yield Potential and Quality Traits in Maize (*Zea mays L.*). American-Eurasian J. Agric. and Environ. Sci., 6 (6): p 723-729

REFERENCIAS INFORMATICAS

- Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2016. Sistema de Información Agropecuarias de Consulta (SIACON). Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Versión 1.1, México, D.F. <http://www.siap.gob.mx/> (consultado el 30 de abril de 2018).
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), Servicio Meteorológico Nacional (SMN), 2017. <http://smn.cna.gob.mx/> (Consultado en abril 2018).

COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE GENOTIPOS DE MAÍZ CULTIVADOS EN EL CENTRO DE CHIAPAS

AGRONOMIC BEHAVIOR OF MAIZE GENOTYPES CULTIVATED IN THE CHIAPAS CENTER

¹Espinosa Paz N, ¹Martínez Sánchez J, ²Ariza Flores R, ³Montes Molina JA, ⁴Espinosa Trujillo MA, ¹Ramírez Córdova AL

¹Campo Experimental Centro de Chiapas. INIFAP. km 3 carretera internacional Ocozocoautla-Cintalapa, Ocozocoautla, Chiapas, Méx.

²Campo Experimental Iguala. INIFAP. Iguala, Guerrero, Méx.

³Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

⁴Universidad NovaUniversitas, carretera a Puerto Ángel km 34.5, Ocotlán de Morelos, Oaxaca, Méx.
Autor para correspondencia: martinez.jesus@inifap.gob.mx

RESUMEN

En la región Centro de Chiapas predomina un clima cálido subhúmedo, en la cual se cultivan 415 mil hectáreas de maíz cada año, con un rendimiento de 2.1 ton/ha y de baja rentabilidad para las familias rurales. Una alternativa para mejorar la producción, es el uso de genotipos con alto potencial de rendimiento. El objetivo de la investigación fue evaluar genotipos experimentales de maíz en tres ambientes agroecológicos de la región Centro de Chiapas para conocer su potencial de rendimiento.

En el ciclo agrícola Primavera-Verano 2017, se evaluaron seis genotipos de maíz bajo un diseño experimental de bloques al azar con cuatro repeticiones. Los genotipos mostraron diferencias significativas ($P < 0.05$) para el rendimiento de grano, días a floración masculina y femenina, altura de planta y de mazorca y número de granos por hilera, mientras que no mostraron diferencias significativas para la interacción genotipo por ambiente. Los resultados indican que: 1. El genotipo de mayor rendimiento y estabilidad fue DK-390 de Monsanto, el cual se usó como testigo. 2. El ambiente con los rendimientos más altos fue la localidad de Francisco Villa, Villa Flores, Chiapas; 3. Las variables de la altura de la planta, altura de la mazorca y días a floración masculina y femenina se consideran aceptables para el Centro de Chiapas.

Palabras clave: *Semillas Aspros, interacción genotipo x ambiente, rendimiento.*

INTRODUCCIÓN

La región Centro de Chiapas, comprende el área de influencia de 25 de municipios en Chiapas, México. La altitud sobre el nivel de mar varía de 600 a 800 metros, con clima cálido subhúmedo y una precipitación media anual de 1000 mm. En esta región, el maíz es el cultivo anual más importante por su superficie sembrada y genera mano de obra, según el SIAP (2017), se siembran 415 mil hectáreas con un rendimiento promedio de 3.2 toneladas por hectárea ($t\ ha^{-1}$) y representa el 72 % del área sembrada del estado de Chiapas. Aproximadamente, el 80 % de los genotipos usados en la región son semillas comercializadas de diferentes empresas y en el resto de la superficie es con variedades criollas, que mantienen los productores por varias décadas (Martínez *et al.*, 2016).

Los programas de mejoramiento genético de la diferentes empresas cuentan con su germoplasma de maíz, por lo que generan genotipos de diferentes estructura genética; dentro de éstos, forman variedades de polinización libre (VPL), variedades sintéticas (VS), híbridos de cruce simple (HCS), híbridos de cruces dobles (HCD), híbridos trilineales (HTL) e híbridos intervarietales (HIV), para lograr una mayor adaptación a los diferentes ambientes agroecológicos (Ramírez *et al.*, 2015, González *et al.*, 2016). Por lo tanto, antes de recomendar un genotipo a los productores para su siembra, se requiere evaluar su respuesta fenotípica en varios ambientes agroecológicos. Por tal motivo, se evalúan las características fenotípicas más importantes, como son: altura de planta y de la mazorca, días a floración masculina y femenina, cobertura de las brácteas de la mazorca, rendimiento del grano y sus componentes morfológicos, entre otros (Márquez *et al.*, 2009, Martínez *et al.*, 2016).

El rendimiento de grano es una característica cuantitativa, que está manifestada por muchos genes e interactúan con los factores bióticos y abióticos (Martínez *et al.*, 2016). La interacción genotipo-ambiente y la estabilidad del rendimiento merecen atención primordial, para la evaluación de los genotipos desarrollados en diferentes circunstancias de la producción (Córdova, 1991), por lo que es necesario la integración de los conceptos de estabilidad para definir el comportamiento de cultivares evaluados a través de ambientes contrastantes (Córdova, 1991).

En este caso, es importante definir cuáles son los genotipos sobresalientes para rendimiento de grano, adaptación y estabilidad ambiental, por lo que se evalúan estas propiedades en multi-ambientes para recomendar su uso de manera comercial (Crossa *et al.*, 2006). La adaptación se refiere al mejor comportamiento relativo de un genotipo en la mayoría de los ambientes de prueba, mientras que la estabilidad hace mención al comportamiento fenotípico de un genotipo en varios ambientes y con un buen rendimiento (Cooper, 1999; Fuentes *et al.*, 2005). Hanson (1970), define al genotipo estable y que tiene la variabilidad mínima posible, cuando se desarrolla en diferentes ambientes. El estudio de la interacción genotipo x ambiente (GE) en el mejoramiento genético vegetal es importante, ya que es el resultado de la respuesta de cada genotipo frente a las variaciones ambientales (Crossa *et al.*, 2006). Para lograr mayores avances en el mejoramiento genético de una especie, es necesario establecer correctamente las metodologías a usar en la evaluación de la interacción genotipo x ambiente (GE), para estimar con precisión la respuesta diferencial de los genotipos a través de los ambientes de prueba (Canales *et al.*, 2016).

Una de las metodologías para determinar la estabilidad del rendimiento es mediante la magnitud de la desviación a partir de la regresión lineal; es decir, por medio del cuadrado medio de la desviación de la regresión. En este modelo una variedad con media alta, coeficiente de regresión $\beta_i=1$ y desviación no significativamente diferente de cero ($\delta_2 \text{ di} = 0$) se considera como la variedad estable ideal (Canales *et al.*, 2016). Para tener mayores avances en el mejoramiento genético de una especie, es necesario establecer correctamente las metodologías a usar en la evaluación de la interacción genotipo x ambiente (GE), que sirven para estimar con precisión la respuesta diferencial de los genotipos a través de los ambientes de prueba (Canales *et al.*, 2016).

El modelo de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (AMMI), que consiste en combinar las técnicas del análisis de varianza y de componentes principales (ACP); en este, el análisis de varianza permite estudiar los efectos principales de genotipos y ambientes, mientras que la interacción genotipo x ambiente (IGA) se trata de forma multivariada mediante el ACP, por lo tanto se realiza una nueva parametrización del modelo de regresión para mejorar la interpretación de la interacción (Zobel, 1988).

Para interpretar los resultados obtenidos del análisis AMMI, de acuerdo con Yan *et al.* (2000) citado por Crossa y Vargas (2000), es utilizar los efectos combinados de genotipos (G) y de la interacción genotipo por ambiente (IGE) en la evaluación del rendimiento, que obtienen los gráficos denominados GGE (genotipo (G) + interacción genotipo x ambiente (GE)) biplot, que facilitan la identificación visual de los genotipos y los ambientes de evaluación. Generalmente, los gráficos GGE biplot se confeccionan aplicando los dos primeros componentes principales (CP1 y CP2). Así, el genotipo del vértice responde mejor a los ambientes de evaluación (Yan *et al.*, 2000 citado por Crossa y Vargas, 2000; Canales *et al.*, 2016).

MATERIALES Y MÉTODOS

Los experimentos se establecieron durante el ciclo agrícola Primavera-Verano 2017 en las localidades de Francisco Villa, Villa Flores (730 msnm); San Luis, Suchiapa (600 msnm) y en Ocozocoautla (800 msnm), ubicados en la región Centro del estado de Chiapas, México. En los tres sitios, el clima es cálido subhúmedo con lluvias en verano y presencia de sequía intraestival durante la segunda quincena de julio y primera de agosto, que contrastan por la intensidad de este fenómeno, la cual fue condición necesaria en la evaluación y selección de genotipos (Córdoba, 1991). El suelo es de textura arcillosa, profundo, de mediana fertilidad, plano y sin pedregosidad.

La empresa Comercializadora de semillas MEGASEN ubicada en Comonfort, Guanajuato, México, proporcionó la semilla de los genotipos experimentales: XT-3402, XT-7605, XT-7602, XT-7604, DK-390 y Pioneer P3966W. Estos dos últimos se usan en siembras comerciales en el Centro de Chiapas. Todos los genotipos mostraron superioridad del 90 % de germinación.

Los genotipos se distribuyeron en los tres sitios experimentales, que se establecieron para la siembra en un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones (experimentos en serie). La unidad experimental consistió de cuatro surcos de cinco metros de longitud cada uno y 0.8 metros de separación (16 m^2), mientras que la parcela útil estuvo formada por los dos surcos centrales (8 m^2).

La preparación del terreno en los tres sitios, consistió en un barbecho, rastra y el surcado. Las siembras se realizaron los días 27, 29 y 28 de junio en las localidades de San Luis, Francisco Villa y Ocozocoautla, respectivamente. Se aplicaron 150 kilogramos de nitrógeno, 100 de fósforo y 30 de

potasio por hectárea en todos los sitios, aplicando toda la cantidad del fósforo y potasio y la mitad del nitrógeno en la siembra y la otra mitad se aplicó aproximadamente a los 45 días después de la siembra. Para el control del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda* L.) y *Diabrotica spp.*, se aplicó clorpirifos a la dosis de 0.48 kg i.a. ha⁻¹. Para el control de maleza se aplicó atrazina a 0.5 kg i.a. ha⁻¹ y paraquat a de 0.5 kg i.a ha⁻¹ en preemergencia. Con una población de 62500 plantas por hectárea. La cosecha se realizó a los 140 días después de la germinación. La precipitación ocurrida fue de 1550, 1250 y 950 mm en Francisco Villa, Ocozocoautla y San Luis, respectivamente, y la temperatura promedio mensual varió de 21 a 23 °C.

Variables evaluadas fueron las siguientes: días a floración masculina (DFM), días a floración femenina (DFF), altura de la planta (AP), altura a la mazorca (AM), longitud de la mazorca (LM), diámetro de la mazorca (DM), hileras por mazorca (HM), granos por hilera (GH) y rendimiento de grano (REND) al 14 % de humedad en el grano. Este último se obtuvo con la ecuación siguiente: REND (kg ha⁻¹) = PCaj x % de grano x Factor de humedad del grano x Factor de conversión a hectárea. Dónde: PCaj= Peso de campo de mazorca por parcela ajustado con la fórmula de IOWA (PCaj= PC (1 + ((fallas/No. de plantas reales) x 0.33)), % de grano= Peso de grano de cinco mazorcas/peso de cinco mazorcas x 100, Factor de humedad= (100 – humedad del grano en cosecha) /86, Factor de conversión a hectárea =10 000 m²/superficie de la parcela útil (8 m²).

Se realizó un análisis de la varianza combinado (ANOVA) para cada una de las variables. Posteriormente, para la evaluación de la interacción genotipo x ambiente (GA) y la estabilidad del rendimiento se aplicó el modelo de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (AMMI), que consiste en combinar las técnicas del ANOVA y el análisis de componentes principales (ACP) en un solo modelo, por lo tanto el ANOVA permite estudiar los efectos principales de genotipos y ambientes, mientras que la interacción genotipo x ambiente (IGA) se trata de forma multivariada en el ACP, donde se realiza una nueva parametrización del modelo de regresión para mejorar la interpretación de la interacción (Zobel, 1988). La representación gráfica de AMMI se obtuvo por un biplot, el cual mostró el producto patrón de la interacción.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza combinado (Cuadro 1) mostró diferencias estadísticamente entre genotipos (G), para las características siguientes: rendimiento de grano, altura de planta, altura de la mazorca, días a floración masculina, días a floración femenina y número de granos por hilera. Entre ambientes hubo diferencias significativas para todas las variables antes mencionadas, con excepción del rendimiento. La interacción genotipo x ambiente (IGA) no mostró diferencias significativas.

Los valores del coeficiente de variación (CV) fueron de 1.7 (DFF) a 24 % (REND), lo que indica un control aceptable (<25%) de la variabilidad experimental (López, 2017). Resultados similares fueron reportados por Canales *et al.*, (2016) al evaluar híbridos trilineales androestériles de maíz en varios ambientes del Valle de Toluca, México. Los resultados mostraron una variación fenotípica entre los genotipos evaluados, lo cual permite seleccionar a los más sobresalientes. Los ambientes de evaluación representan las condiciones agroecológicas, donde se cultiva el maíz en la región Centro de Chiapas y por ser contrastantes, ya que mostraron efectos diferentes y esta condición es necesaria en la evaluación de germoplasma en proceso de mejoramiento genético (Córdoba, 1991). La posible explicación a la no significancia estadística de la IGA es que los genotipos enviados por la empresa MEGASEM para su evaluación en Chiapas, se hayan formado genéticamente con material de origen similar.

Cuadro 1: Significancia estadística del análisis combinado para las diversas características fenotípicas de genotipos de maíz en tres ambientes. Ciclo Primavera – Verano 2017.

F.V.	REND	AP	AM	DFM	DFF	LM	DM	NH	GH
Genotipo (G)	*	**	**	**	**	n.s.	n.s.	**	n.s.
Ambiente (A)	n.s.	**	**	**	**	**	**	n.s.	n.s.
G x A	n.s.	n.s.	n.s.	*	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
C.V. (%)	24	6.9	6.9	2.6	1.7	7.3	11.5	5.1	8.6

Los *y** indican nivel de significancia a P<0.05 y P<0.01, respectivamente; N.S = No Significativo; C.V.= Coeficiente de Variación. Las variables REND = Rendimiento de grano (kg ha⁻¹); AP = altura de planta (m); AM = altura a mazorca (m); DFM = días a floración masculina (DDS); DFF = días a floración femenina (DDS); LM = Longitud de mazorca (cm); DM = diámetro de mazorca (cm); NH = número de hileras; GH = granos por hilera.

En el Cuadro 2, se presenta el análisis de Gollob (Gollob, 1967) citado por Crossa y Vargas, (2000), el cual permite conocer la significancia estadística de los componentes del modelo AMMI (Crossa y Vargas (2000); se observa al componente 1 (CP1) (efectos de genotipos), que resultó significativo estadísticamente, mientras que no ocurrió de manera similar para el componente 2 (CP2) (efectos de la interacción genotipo x ambiente). Los genotipos mostraron variabilidad fenotípica entre sí, al considerar los tres ambientes de evaluación. Por su parte, Canales *et al.*, (2016), no encontraron diferencias significativas para los componentes CP1 y CP2 al evaluar ocho genotipos en ocho ambientes. El CP1 explicó al 70.8 % de la suma de cuadrados de la interacción genotipo por ambiente. En este mismo cuadro se observa diferencia significativa entre genotipos.

Cuadro 3: Cuadrados medios y significancia estadística de la prueba Gollob, para los componentes del modelo multiplicativo AMMI para los seis genotipos evaluados en tres ambientes. Ciclo Agrícola Primavera – verano 2017

Fuente de variación	SS	PORCENT*	PORCENAC	DF	MS	F	PROBF
ENV	9.33	13.57	13.57	2	4.67	2.41	0.099n.s.
GEN	40.72	59.22	72.79	5	8.14	4.21	0.003*
ENV*GEN	18.71	27.21	100.00	10	1.87	0.97	0.483n.s.
PC1	13.25	70.81	70.81	6	2.21	1.10	0.374 n.s.
PC2	5.46	29.19	100.00	4	1.37	0.68	0.608 n.s.
PC3	0	0	100	2	0	0	1
Residuales	104.5625	0	0	54	1.93634	NA	NA

* Porcentajes con respecto a la suma de cuadrados de la interacción genotipo x ambiente.

El rendimiento de grano es la característica de mayor interés en los ensayos de evaluación de genotipos de maíz, que está determinado por muchos genes e interactúan fuertemente con las condiciones ambientales (Márquez *et al.*, 2009; Martínez *et al.*, 2016). En el Cuadro 3, se presentan los rendimientos obtenidos en cada ambiente, por lo que se obtuvieron 6.26 t ha⁻¹ en promedio en el sitio de Francisco Villa, VillaFlores, Chiapas, mismo que superó en un 36 % a los registrados para los sitios experimentales de Ocozocoautla y San Luis, Suchiapa. Estos resultados se deben a que, en Francisco Villa, la precipitación fue mayor y sin presencia de sequía intraestival; sin embargo, en San Luis y Ocozocoautla se presentó un periodo de sequía intraestival (sin lluvia) de 15 y 10 días, respectivamente; esta sequía ocurrió durante el periodo de floración y en esta etapa la planta de maíz es altamente susceptible al déficit hídrico y la demanda es alta (Espinosa, 1995; Márquez *et al.*, 2009). En Francisco Villa, Villaflores, el suelo es ácido y se ha manejado bajo labranza cero desde 2013 y en 2015 se realizó la aplicación de cal agrícola de 1 t ha⁻¹, para incrementar el pH del suelo y disminuir a menos en 8 % la saturación de aluminio.

Los genotipos XT 3402, XT 7605 y DK.390 destacaron del resto, con rendimientos de 5.98, 6.08 y 7.21 t ha⁻¹ (Cuadro 3), respectivamente, los cuales resultaron similares al testigo (Tukey 05). Para la longitud de la mazorca no hubo diferencias significativas entre los genotipos, mientras que por el número de hileras no destacó el genotipo PIONEER 3966W. Estos rendimientos superan al rendimiento promedio de 3200 kg ha⁻¹, con respecto a los obtenidos por los productores; por lo tanto, el uso de cualquiera de estos genotipos será económicamente rentable.

En el Cuadro 4, se presentan las alturas de la planta, altura de la mazorca, días a floración masculina y días a floración femenina. Los genotipos presentaron una altura de planta promedio de 2.48 a 2.8 m, misma que no fue problema, ya que los genotipos no presentaron acame; además, estos valores son favorables para la producción de forraje como un valor agregado del rendimiento de grano. Con respecto a la altura de la mazorca, los valores son aceptables y alturas bajas favorecen a la pudrición de la mazorca en los climas cálidos, cuando existe un exceso de maleza antes de la cosecha. La floración de los genotipos se considera aceptable y fueron ligeramente más precoces (55 días) en el sitio de Suchiapa, probablemente se debe a las altas temperaturas de esta localidad y, además, hubo presencia de sequía intraestival, en comparación con los otros dos sitios experimentales. La asincronía entre la floración masculina y femenina en todos los genotipos no es significativa.

Cuadro 3: Prueba de medias de efectos principales para el rendimiento de grano y componentes del rendimiento de seis genotipos de maíz evaluados en tres ambientes. Ciclo Agrícola Primavera - Verano 2017.

Factor	REND	LM	DM	NH	GH
Genotipo					
XT 3402	5.98 ab	16.4 a	4.6 a	15.6 c	35.6 ab
XT 7605	6.08 ab	17.1 a	4.7 a	17.3 b	35.2 ab
XT 7602	5.10 b	16.3 a	4.3 a	13.6 d	35.3 ab
XT 7604	5.36 b	16.7 a	4.7 a	13.9 d	36.1 ab
DK 390	7.21 a	16.3 a	4.6 a	18.4 a	36.9 a
PIONEER 3966W	5.93 b	16.8 a	4.4 a	16.8 b	33.0 b
DSH	1.7	1.5	0.6	0.9	3.6
Ambiente					
Ocozocoautla	5.63 a	17.1 a	4.7 a	16.1 a	35.9 a
Francisco Villa, Villa Flores	6.29 a	16.8 ab	4.8 a	16.0 a	34.7 a
San Luis, Suchiapa	5.46 a	16.1 b	4.3 b	15.8 a	35.4 a
DSH	0.96	0.8	0.36	0.56	2.1

REND = Rendimiento de grano (kg ha-1); LMA = Longitud de mazorca (cm); DMA = Diámetro de mazorca (cm); NH = Número de hileras; GH = Granos por hilera. +Medias con la misma letra en la columna son estadísticamente iguales.

En el Cuadro 5, se presentan los rendimientos para conocer mejor el comportamiento de cada genotipo en cada uno de los ambientes de evaluación, Que, de acuerdo a los objetivos de la evaluación, lo importante es el rendimiento promedio de las tres localidades. Por lo tanto, se presentan los valores de las coordenadas de los componentes principales (CPI y CPII), los cuales se utilizaron para para la gráfica biplot.

Cuadro 4: Prueba de medias de efectos principales para altura de planta, de mazorca y fenología de seis genotipos de maíz evaluados en tres ambientes. Ciclo Agrícola Primavera - Verano 2016.

Factor	AP (m)	AM (m)	DFM (dds)	DFF (dds)
Genotipo				
XT 3402	2.61 abc	1.13 abc	58.7 ab	57.6 a
XT 7605	2.57 bc	1.07 c	59.3 a	58.9 a
XT 7602	2.41 c	1.11 bc	57.9 b	56.3 b
XT 7604	2.72 ab	1.19 ab	59.4 a	58.8 a
DK 390	2.80 a	1.22 a	57.9 b	57.1 ab
PIONEER 3966W	2.48 c	1.10 c	56.4 b	56.5 b
DSH	0.2	0.09	1.2	1.8
Ambiente				
Ocozocoautla	2.86 a	1.23 a	57.9 a	58 b
Francisco Villa, Villa Flores	2.27 c	0.94 b	59.7 b	59.7 a
San Luis, Suchiapa	2.67 b	1.23 a	55 c	56.9 c
DSH	0,1	0.05	1.0	0.7

AP = Altura de planta (m); AM = Altura de mazorca (m); DFM = Días a floración masculina; DFF = Días a floración femenina. dds= Días después de la siembra. Medias con la misma letra en la columna no son estadísticamente diferentes.

La Figura 1, presenta la gráfica biplot, la cual sirve para conocer mejor la estabilidad de los genotipos a través de los ambientes. En el eje de las "X" se tienen los rendimientos y en el eje de las ordenadas "Y" los efectos de la interacción genotipo por ambiente (IGA). Los segmentos representan a los ambientes y los números a los genotipos. De acuerdo al modelo AMMI, los genotipos ubicados más cerca del origen (eje de coordenadas) presentan mayor estabilidad, que aquellos ubicados más lejos. Por lo tanto, se aprecia que el genotipo DK-390 /testigo) de la empresa Monsanto, manifestó mejor estabilidad y mayor rendimiento que los genotipos de la empresa Megasem.

Cuadro 5: Promedio de rendimiento de grano (kg ha⁻¹) de seis genotipos de maíz evaluados en tres ambientes del centro de Chiapas y valores de las coordenadas de los dos primeros componentes principales. Ciclo Agrícola Primavera - Verano 2017.

Genotipo	Localidades			Promedio	CP1	CP2
	Ocozocoautla	Suchiapa	Villaflores			
XT-3402	6.0	4.8	7.1	6.0 AB	-0.01	0.87
XT-7605	5.3	6.1	6.9	6.1 AB	0.49	-0.19
XT-7602	4.6	5.1	5.6	5.1 B	0.24	-0.23
XT-7604	4.8	5.3	6.1	5.4 B	0.35	-0.09
DK-390	7.1	7.0	7.5	7.2 A	-0.07	-0.18
P-3966W	6.1	4.5	4.6	5.0 B	-1.00	-0.17
Promedio	5.6 A	5.5 A	6.3 a	5.8		

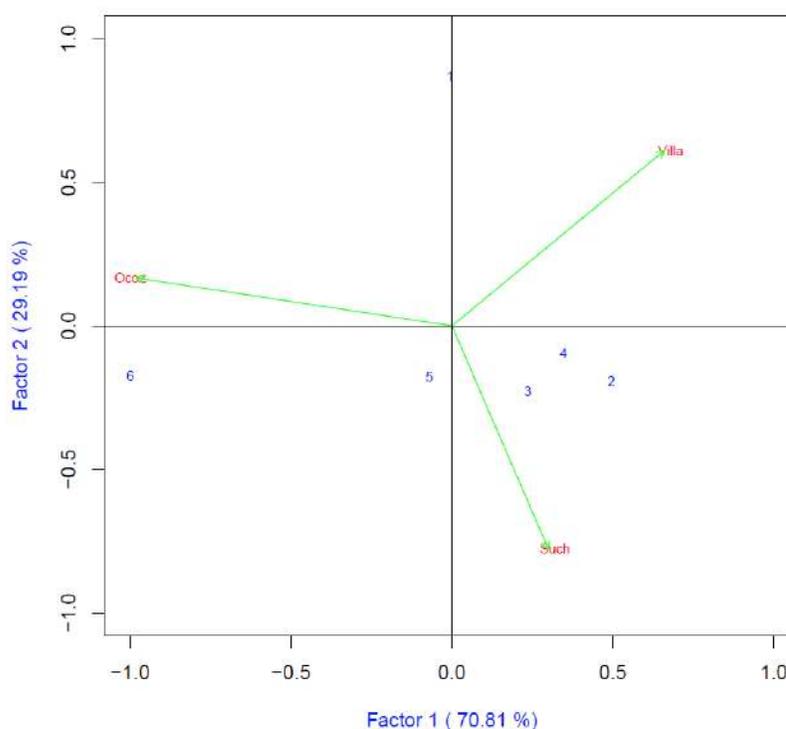


Figura 1. Biplot muestra el patrón del CP1 (GxA) en función del rendimiento promedio de seis híbridos de maíz evaluados en tres ambientes. Ciclo Agrícola Primavera – Verano 2016.

CONCLUSIONES

1. El genotipo de mayor rendimiento y estabilidad fue DK-390610 de la empresa Monsanto, usado como testigo.
2. El ambiente con los rendimientos altos fue de la localidad de Francisco Villa, Villaflores, Chiapas, ubicado en la región Frailesca y mayor productora de maíz. Le siguieron los sitios de San Luis, Suchiapa y Ocozocoautla, Chiapas.
3. La altura de la planta, altura de la mazorca y días a floración masculina y femenina se consideran aceptables para la región Centro de Chiapas,

LITERATURA CITADA

- Canales, I. E., Robledo, M., Mejía, C. J., García, Z. J., Espinosa, C. A., Castillo G. F., Sierra M. M. y Gómez, M. N. 2016. Estabilidad del rendimiento de grano en híbridos trilineales androesteriles de maíz para Valles Altos de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7 (8), 1815-1827.
- Cooper, M. P. 1999. Genotipe x environment interactions, selection response and heterosis. In: Coors, J. G. y Pandey, S. (Eds.). *The genetics and exploitation of heterosis* In: Crops. Crop science society of America. CIMMYT. Madison, Wisconsin, USA. 81-92 pp.
- Córdova, O.H.S. 1991. Estimación de parámetros de estabilidad para estimar la respuesta de híbridos de maíz (*Zea mays* L.) a ambientes contrastantes de Centroamérica, Panamá y México. *Agronomía Mesoamericana*, 2:1-10.
- Crossa J., J. Vargas H. 2000. El análisis AMMI y la gráfica de biplot en SAS. Unidad de biometría. CIMMYT, El Batán, México.
- Crossa, J.; Burgueño, J.; Cornelius, P. L.; McLaren, G.; Trethowan, R. and Krishnamachari, A. 2006. Modeling genotype x environment interaction using additive genetic covariances of relatives for predicting breeding values of wheat genotypes. *Crop Sciences*. 46:1722- 1733.
- Espinosa, P. N. 1995. Comportamiento morfológico, anatómico y fisiológico de variedades de maíz cultivadas en tres agrosistemas bajo deficiencia hídrica en la Mixteca Alta de Oaxaca. Tesis de D.C. Colegio de Posgraduados. Montecillo, México, 230 p.
- Fuentes, L. M. y Quemé, W. R. 2005. Evaluación de híbridos de maíz de grano amarillo y blanco en diferentes ambientes de México y Centro América. Informe del PCCMA Guatemala. Abril 2005.
- González M, J., J. A. López S., B. Estrada D., R. Delgado M., J. A. Pecina M., E. S. Varela F., E. Osorio H. y M. Rocandio R. 2016. Parámetros genéticos y heterosis en líneas derivadas de poblaciones nativas de maíz tropical de Tamaulipas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, Vol.7 (2):387-399.
- Hanson, W. D. 1970. Genotypic stability. *Theor. Appl. Gen.*, 40: D6-231.
- López L., C., M. Tadeo, Roblero, A. Espinosa-Calderón, J.J. García Z., I. Benitez R., Ma. G. Vázquez-Carrillo y J.A. Carrillo-Salazar. 2017. Productividad de cruza simples con calidad de proteína en Valles Altos de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(3): 559-370.
- Márquez, S. F. 2009. De las variedades criollas de maíz a los híbridos transgénicos. II. La hibridación. *Agric. Soc. Des.*, 6(2):161- 176.
- Martínez, S.J., N. Espinosa P., Y. Aparicio V. 2016. Interacción genotipo-ambiente en poblaciones de maíz nativo de Chiapas. *Revista Mesoamericana*, 3(1):38-48.
- Ramírez, D. J. L.; Ledesma, M. A.; Vidal, M. V. A.; Gómez, M. N. O.; Ruiz, C. J. A.; Vázquez, C. G. A.; Ron, P. J.; Salinas, M. Y. y Najera, C. L. A. 2015. Selección de maíces nativos como donadores de características agronómicas útiles en híbridos comerciales. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 38(2):119-131.
- SAS Institute. 2002. *Statistical Analysis System User's Guide*. SAS Institute. Cary. USA. 956 p.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2016. Secretaría de agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Cierre de producción por estado. Producción nacional de maíz grano. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/>
- Tadeo, R. M.; Espinosa, C. A.; Guzmán, M. R.; Turrent, F. A.; Zaragoza, E. J. y Virgen, V. J. 2015 a. Productividad de híbridos varietales de maíz de grano amarillo para Valles Altos de México. *Agronomía Mesoamericana*, 26(1):65-72.
- Zobel, R.W.; Wright, M.J.; Gauch, H.G. 1988. Statistical analysis of a yield trial. *Agronomy Journal*, 80:388-393

CARACTERES CUALITATIVOS DE SEMILLAS DE ECOTIPOS SILVESTRES DE HIGUERILLA
***Ricinus communis* L. DEL CENTRO DE CHIAPAS, MÉXICO**
QUALITATIVE CHARACTERISTICS OF SEEDS OF WILD ECOTYPES FROM HIGUERILLA *Ricinus*
communis L. FROM THE CENTER OF CHIAPAS, MEXICO

¹Espinosa Paz N, ¹Martínez Sánchez J, ²Zambrano López O, ³Ariza Flores R, ¹Ramírez Córdova AL, ⁴Sánchez Martínez R

¹Campo Experimental Centro de Chiapas. INIFAP. Km 3 Carretera internacional Ocozocoautla-Cintalapa, Ocozocoautla, Chiapas, Méx.

²Universidad Tecnológica de la Selva, Ocosingo, Chiapas, Méx.

³Campo Experimental Iguala. INIFAP. Iguala, Gro. Méx.

⁴Universidad Colegio Español. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

Autor para correspondencia: alramco93@hotmail.com

RESUMEN

En la zona del centro de Chiapas, la planta de higuierilla es considerada como una maleza y solo se le encuentra en los basureros públicos o en lotes urbanos baldíos. El objetivo del presente estudio fue estudiar la variabilidad fenotípica existente en las semillas de ecotipos silvestres de higuierilla en el centro de Chiapas. Durante los meses de enero y febrero de 2017, se colectaron 48 ecotipos silvestres de higuierilla, en los municipios de Villaflores, Ocozocoautla, Suchiapa, Chiapa de Corzo, el Parral y Cintalapa. Se midieron los caracteres cualitativos siguientes: aspecto del color (brillante, opaco), color, presencia o ausencia de la carúncula y tamaño y forma de la carúncula. Los resultados mostraron una gran variabilidad fenotípica entre los ecotipos de higuierilla, misma que se debe utilizar en el mejoramiento genético para desarrollar genotipos mejorados.

Palabras clave: Caracteres, higuierilla, semillas, variabilidad fenotípica.

INTRODUCCION

En la zona del centro de Chiapas, la planta de higuierilla es considerada como una maleza y se encuentra fácilmente en los basureros públicos o en lotes urbanos baldíos. Los productores y otros usuarios desconocen que el aceite obtenido de sus granos, tiene características físico y químicas que lo hacen importante para los usos industriales. Con la finalidad de desarrollar variedades e híbridos de higuierilla para la región cálida y semicalida subhúmeda del Pacífico Sur de México, el INIFAP y la empresa BIOCHIAPAS, SAPI DE CV., con apoyo de la SAGARPA iniciaron en 2017 con la colecta de ecotipos silvestres en el centro de Chiapas, Valles Centrales de Oaxaca y la Montaña de Guerrero. Antes de iniciar con el mejoramiento genético de esta especie, resulta importante conocer la diversidad fenotípica existente de las plantas, fruto y semillas, para definir la metodología de mejoramiento para formar genotipos mejorados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante los meses de enero y febrero de 2017, se colectaron 48 ecotipos silvestres de higuierilla en total, en los municipios de Villa Flores, Ocozocoautla, Suchiapa, Chiapa de Corzo, el Parral y Cintalapa. Después de procesar las muestras en el laboratorio, se midieron las siguientes características fenotípicas cualitativas en las semillas: aspecto del color (brillante, opaco), color, presencia o ausencia de la carúncula y tamaño y forma de la carúncula de acuerdo a las recomendaciones descritas en el descriptor varietal de higuierilla (SNICS, 2014). Con el uso del programa Excel de Microsoft Office 2013 se realizaron tablas de frecuencia relativa para cada una de las características evaluadas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se presentan los resultados sobre el aspecto de la semilla, se aprecia que el 83.33 % de los 48 ecotipos presentaron un color brillante, mientras que el 16.67 fueron de aspecto opaco. Esta característica se refiere prácticamente al brillo de la testa (cubierta de la semilla), que tiene como función la protección de las estructuras internas de la semilla y es parcialmente permeable al agua en la mayoría de las especies, por lo que retrasan la evaporación del agua de los tejidos internos; también, ofrece protección contra la entrada de parásitos, contra lesión mecánica, temperaturas extremas y otros. Se desconoce, si esta característica fenotípica está asociada con factores ambientales donde se desarrolla

la especie y con el contenido de aceite de la semilla; ya que, se sabe solamente que el color brillante es el resultado de la acumulación de ceras, que tienen probablemente la actividad de evitar la deshidratación de las semillas, al refractar los rayos solares y evitar la muerte del embrión (plántula en miniatura), por lo que, de esta manera se perpetua la especie por selección natural, ya que no está al cuidado del hombre. Además, las ceras evitan la imbibición del agua por la semilla y promueven la germinación cuando las condiciones ecológicas no son favorables. Se requiere investigación sobre la relación entre la presencia de ceras en la testa y el contenido de aceite en las semillas.

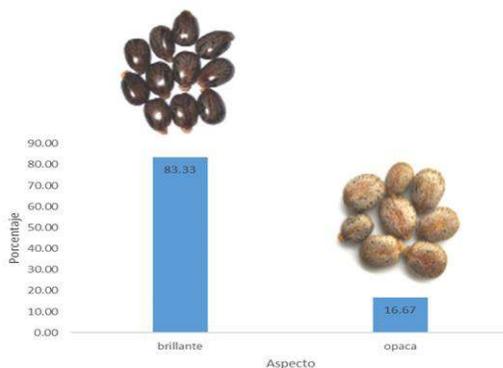


Figura 1. Aspecto de las semillas de ecotipos silvestres de higuera colectados en el Centro de Chiapas, México.

En relación con el color de la semilla se observa en la Figura 2, que el 58.33 % del total de los ecotipos resultaron ser de color café, 11.25 % son grises, 8.33 % son blancas y un 2.08 % de color negro. Existe bastante diversidad fenotípica en esta característica y predomina el color café. El color de la simiente puede influenciar en la capacidad germinativa, como en *Atriplex inflata* F. Muell., donde las semillas claras no requieren tratamientos pregerminativos, a diferencia de las oscuras (Baskin y Baskin, 2001). En un estudio realizado por Tenorio *et al.*, (2004) relacionado con el efecto del tamaño y color de las semillas de Guarumbo (*Cecropia obtusifolia* Bertol (Cecropiaceae)) sobre la germinación a diferentes temperaturas, encontraron que las semillas con mayor porcentaje de germinación fueron las de color café. En higuera no hay estudios sobre este tema.

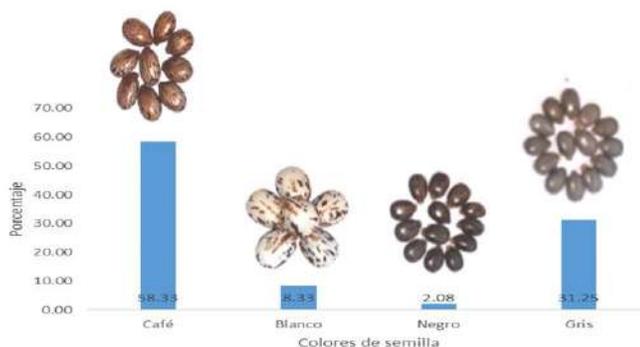


Figura 2. Color de la semilla de ecotipos silvestres de higuera colectados en el centro de Chiapas, México.

De la presencia o ausencia de la carúncula (Figura 3) se encontró que, el 93.75 % de los ecotipos presentaron esta estructura y en el 6.25% hubo ausencia de ésta. Se observa poca variabilidad genética en esta característica. Esta estructura se define botánicamente como un arilo micropilar o excrecencia carnosa de pequeñas dimensiones, que se observa en la zona del micropilo de algunas semillas de la familia *Euforbiaceae*. Una de las funciones de la carúncula es ayudar a la semilla en la imbibición durante el proceso de la germinación.

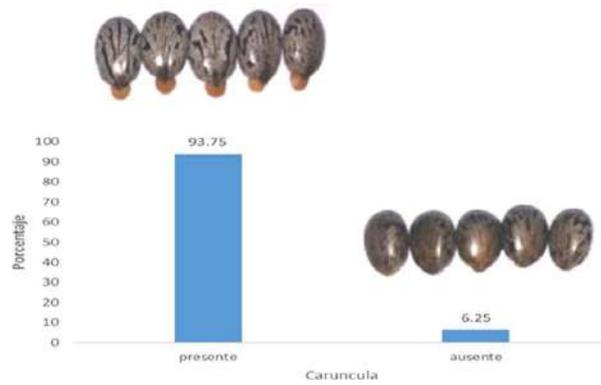


Figura 3. Presencia y ausencia de la carúncula en semillas de ecotipos silvestres de higuera colectadas en el Centro de Chiapas, México.

El tamaño de la carúncula presenta mucha variabilidad; la Figura 4, se muestran los resultados y se aprecia que el 25 % de los ecotipos presentan carúncula de tamaño grande, 27.08% mediana, 41.67% pequeña y en un 6.25 % de ellos está ausente la carúncula.

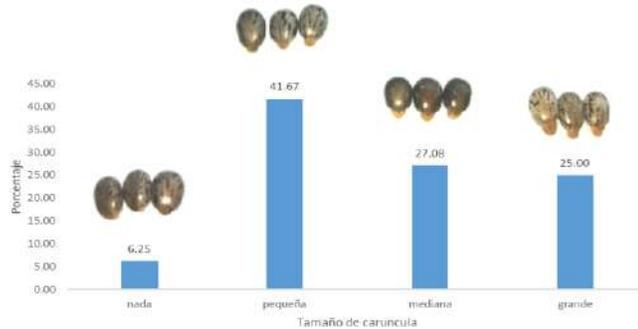


Figura 4. Tamaño de la carúncula de semillas de ecotipos silvestres de higuera colectados en el Centro de Chiapas, México.

Finalmente, respecto a la forma de la carúncula de la semilla, se observa bastante variación (Figura 5), el 52.08 % es medio cordada, el 18.75% están débilmente cordada y el 14.58% son fuertemente cordada.



Figura 5. Forma de la carúncula de semillas de ecotipos silvestres de higuera colectadas en el Centro de Chiapas, México.

CONCLUSIONES

Los ecotipos silvestres de higuera colectados en el centro de Chiapas, presentan suficiente variabilidad fenotípica, misma que se debe aprovechar en el mejoramiento genético de esta especie para formar genotipos mejorados para la región cálida subhúmeda de México.

LITERATURA CITADA

- Baskin, C. C., and J. M. Baskin. 2001. Seeds. Ecology, Biogeography and Evolution of Dormancy and Germination. Academic Press. San Diego. 666 p.
- SNICS-SAGARPA. 2014 Descriptor varietal de higuera. SAGARPA, México. 80 p.
- Tenorio, G. G., Rodríguez, T. D. A., y López, R. G. 2008. Efecto del tamaño y color de la semilla en la germinación de *Cecropia obtusifolia* Bertol (Cecropiaceae). Agrociencia 42: 585-593.

**RENDIMIENTO DE MAÍZ SAC BEH (QPM) CON FERTILIZACIÓN QUÍMICA Y
BIOFERTILIZANTES EN DOS LUVISOLES RÓDICOS DE YUCATÁN, MÉXICO**
YIELD OF SAC BEH MAIZE (QPM) WITH CHEMICAL AND BIO FERTILIZERS IN TWO RODIC
LUVISOLS OF YUCATAN, MÉXICO

Ramírez Silva JH, Lozano Contreras MG, Ramírez Jaramillo G, Moguel Ordóñez YB

Centro de Investigación Regional Sureste (CIRSE) del INIFAP. Calle 6 Núm. 398 x 13, Avenida Correa
Rachó. Col. Díaz Ordáz, C.P. 97130. Mérida Yucatán, México.
Autor para correspondencia: ramirez.jorge@inifap.gob.mx

RESUMEN

El trabajo se realizó en Yucatán en dos suelos (Lote 1 y Lote 2) *Luvisoles ródicos* del Sitio Experimental Uxmal-CIRSE-INIFAP. Se probó el potencial de rendimiento del maíz SAC BEH, de calidad proteínica, evaluando 4 tratamientos con fertilización química, solos: (00-00-00), (60-80-00), o combinados con *micorrizas* mas *azospirillum*: (30-80-00 + *micorrizas* + *azospirillum*), (60-80-00 + *micorrizas* + *azospirillum*). No hay diferencias estadísticas significativas entre tratamientos para altura de plantas (m) y rendimiento de grano (t/ha). La altura final promedio mas alta, se registró en el lote 1 con 2.66 m mientras que en el Lote 2 la altura promedio fue de 2.46 m, una diferencia de 20 cm. Los rendimientos promedio tuvieron la misma tendencia. En el Lote 1 el rendimiento promedio fue de 6.36 t/ha y en el Lote 2 de 5.35 t/ha una diferencia de 1 t/ha. Esta diferencia se puede explicar a que el Lote 1 es un suelo con menos uso intensivo en comparación al Lote 2 donde a pesar de tener cuatro veces más P asimilable el rendimiento no superó al Lote 1. Sobre los tratamientos específicos de cada lote, se concluye que la variedad Sac Beh obtuvo el mejor rendimiento con la fórmula: (60-80-00) + *Micorriza* + *Azospirillum* en el Lote 1 con 6.74 t/ha mientras que en el Lote 2 el mejor tratamiento fue con la: (30-80-00) + *Micorriza* + *Azospirillum* con 6.12 t/ha. Aplicar en el Lote 2 la mejor fórmula:(60-80-00) + *Micorriza* + *Azospirillum* del Lote 1 solamente resultó en una reducción sustantiva del rendimiento (4.82 t/ha). Los rendimientos obtenidos sugieren que la variedad SAC BEH puede tener mayor potencial en suelos *Luvisoles ródicos* y es una alternativa viable de productividad para maíz en el estado de Yucatán.

Palabras clave: *Yucatán, potencial, suelos, calidad proteínica*

INTRODUCCIÓN

Mucho se ha documentado sobre la variabilidad espacial de los suelos de la Península de Yucatán (PY), y que esta región no es una planicie homogénea (Bautista et al., 2005) donde se han cultivado mas de 390 mil has anuales de maíz (SIAP, 2013). Los suelos de la Península son tan frágiles que en un lapso muy corto de tiempo pueden perder su fertilidad y con ello mermar la productividad de cultivos importantes como el maíz (Medina et al., 2009)

Siendo la producción de maíz una actividad básica resulta necesario plantear estrategias de producción de bajo impacto ambiental que aseguren la sostenibilidad de los sistemas de producción. A pesar de lo anterior, se sigue fomentando el uso indiscriminado de insumos como es el caso de los fertilizantes químicos y semillas híbridas de alto costo.

Existen alternativas de producción que pueden sustituir total o parcialmente el uso indiscriminado de fertilizantes químicos como es el uso de biofertilizantes. Estas alternativas se relacionan con el uso de microorganismos específicos, para diferentes cultivos, que se pueden asociar ya sea para fijar nitrógeno o para facilitar la absorción de elementos poco móviles en el suelo como el fósforo (Bowen y Rovira, 1999).

Las micorrizas pueden ayudar en la mejoría nutricional de los cultivos ya que inducen a aumentar el volumen de exploración de las raíces cuando las hifas del hongo crecen en volumen y actúan como una extensión de las raíces que facilitan la absorción de agua y nutrimentos como P, N, K y Ca (Grageda-Cabrera, et., 2012).

Por otra parte, y en yuxtaposición a la estrategia de sustentabilidad, existe la posibilidad de aprovechar el potencial de producción de los suelos arables *Luvisoles ródicos* de Yucatán cuando se cultiven con variedades de maíz menos exigentes y mas tolerantes al ambiente adáfo-climático de la región.

Esa posibilidad la tienen los maíces adaptados, no solamente al clima de Yucatán, sino también a zonas edafológicas más difíciles como los suelos pedregosos. La variedad SAC BEH, liberada para esas condiciones, puede tener mejores niveles de productividad si se cultivase en mejores suelos como los *Luvisoles ródicos*.

Esta variedad, adicionalmente, contiene arriba del 50% de LISINA y TRIPTÓFANO, en comparación a los maíces comunes. Y el rendimiento, en suelos marginales, ha sido reportado ser de 2.23 a 3.33 t/ha (Aguilar et al., 2010) por lo que la hipótesis es que el potencial de rendimiento puede ser mayor a 5.0 t/ha en condiciones de suelos más favorables.

En función a lo anterior se planteó este trabajo con el objetivo de probar el potencial de rendimiento de la Variedad SAC BEH, de calidad proteínica (QPM), en un suelo *Luvisol ródico* aplicando fertilizante químico solo o combinado con biofertilizantes.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en el estado de Yucatán en dos suelos (Lote 1 y Lote 2) del tipo *Luvisol ródico* del Sitio Experimental Uxmal del Centro de Investigación Regional del Sureste (CIRSE) del INIFAP donde se probó el potencial de rendimiento del maíz blanco variedad SAC BEH, de calidad proteínica (QPM). Se evaluaron 4 tratamientos con fertilización química, solos: (00-00-00), (60-80-00), o combinados con micorrizas más azospirillum: (30-80-00 + micorrizas + azospirillum), (60-80-00 + micorrizas + azospirillum).

El Lote 1 se diferenció del Lote 2 por tener un uso menos intensivo del suelo. El Lote 2, en contraste, tiene más de 30 años de uso continuo. Las características químicas de ambos lotes se observan en el Cuadro 1. Las ventajas del Lote 1 se encuentran en su baja Conductividad Eléctrica (0.66 mS/cm) y mayor contenido de M.O. 2.78%; sin embargo, contiene menos fósforo asimilable (17 ppm) que el Lote 2 (80 ppm) con mayor uso intensivo del suelo. Otra característica importante es que el Lote 2 tiene el doble (330 ppm) de Na que el Lote 1 (165 ppm) y eso tiene relación con la conductividad más alta de 1.53 mS/cm en el Lote 2.

Cuadro 1. Características químicas de Lotes experimentales del Sitio Experimental Uxmal. Ciclo P-V. 2017/2017.

LOTE N°	pH	C.E. (mS/cm)	Na (ppm)	(%) M.O	N-NO3 (ppm)	P (ppm)	K (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	CIC (meq/100gr)
1	6.72	0.66	165	2.78	14.8	17	1,365	3,600	1,000	30.17
2	6.76	1.53	330	2.11	17.2	80	1,170	2,800	925	25.8

Arreglo topológico.

Se estudiaron 4 tratamientos distribuidos en unidades experimentales de 5m x 4m (20 m²), estableciendo 4 hileras de maíz de 5 m de longitud, separadas 1.0 m y con distancias entre cepas, de 2 plantas de maíz, a 0.40 m para una densidad equivalente a 50,000 plantas/ha en siembra de julio del 2017.

Variables estudiadas, Diseño Experimental y análisis estadísticos

Los tratamientos se distribuyeron en un Diseño de Bloques Completamente al Azar con tres repeticiones

Las variables estudiadas fueron: Altura de la planta (m) al final del ciclo biológico y rendimiento de grano (t/ha) al 13.5% de humedad. Se usó el paquete estadístico del programa EXCEL para el análisis de varianza y comparación de medias.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Altura de plantas (m)

La altura de plantas en los diferentes tratamientos y lotes se observan en el Cuadro 2. La altura final promedio más alta, considerando a todos los tratamientos, se registró en el lote 1 con 2.66 m mientras que en el Lote 2 (Cuadro 3) la altura promedio fue de 2.46 m con una diferencia de 20 cm. Esa diferencia entre lotes es coincidente al considerar cada tratamiento en lo particular, sin excepción, al comparar los tratamientos específicos de cada lote.

Las alturas más bajas, del Lote 1, se registraron en el tratamiento testigo (00-00-00) y (30-80-00+ micorrizas + azospirillum) y en coincidencia con el Lote 2 el testigo (00-00-00) también fue el tratamiento con menor altura con 2.43 m seguido de la fórmula (60-80-00) y de la (30-80-00 + micorrizas + azospirillum) con prácticamente las mismas alturas de 2.45 y 2.46 m.

Cuadro 2. Altura de planta (m) de maíz SAC BEH en lotes 1 y 2 del Sitio Experimental Uxmal. Ciclo P-V 2017/2017.

Tratamiento	Altura final (Lote 1)	Altura final (Lote 2)
(0-0-0)	2.59	2.43
(60-80-00)	2.81	2.53
(30-80-00 + <i>mico</i> + <i>azo</i>)	2.57	2.46
(60-80-00 + <i>mico</i> + <i>azo</i>)	2.69	2.45
PROMEDIO	2.66	2.46

Aun cuando en este trabajo no se obtuvieron diferencias estadísticas de la altura promedio entre tratamientos, existe evidencia en otros trabajos sobre los efectos de la aplicación de micorrizas en la altura de plantas forrajeras como el pasto *Brachiaria decumbens* reportado por Sosa Rodríguez et al., (2006) quienes, además de la altura, midieron el peso seco de la parte aérea y peso seco del sistema radicular. El análisis estadístico determinó que los valores de longitud de las plantas en los tratamientos en los que no se aplicaron Hongos Formadores de Micorrizas Arbusculares (HFMA) fueron significativamente más bajos que los obtenidos en aquellos tratamientos en los que sí se inocularon.

Rendimiento de grano Ton/ha

No hay diferencias estadísticas entre tratamientos en el Lote 1 pero sí se encontraron diferencias en el Lote 2 (Cuadro 3 y 4).

Cuadro 3. Análisis de Varianza para rendimientos (t/ha) de maíz SAC BEH en suelo *Luvisol* ródico con bajo uso intensivo (Lote 1)

Fte. de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	P
Tratamiento	1.6432	3	0.5477	0.6339	0.61976726
Bloques	6.4653	2	3.2326	3.7416	0.08811681
Error	5.1837	6	0.8639		
Total	13.2922	11			

Cuadro 4. Análisis de Varianza para rendimientos (t/ha) de maíz SAC BEH en suelo *Luvisol* ródico con alto uso intensivo (Lote 2)

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	P
Tratamiento	4.0390	3	1.3463	6.4771	0.0260
Bloques	2.3426	2	1.1713	5.6349	0.0419
Error	1.2471	6	0.2078		
Total					

Los rendimientos promedio tuvieron la misma tendencia que la altura final. En el Lote 1 (Cuadro 5) el rendimiento promedio fue de 6.36 t/ha y en el Lote 2 de 5.35 t/ha con una diferencia de 1 t/ha. Esta diferencia se explica en función a que el Lote 1 es un suelo con menos uso intensivo en comparación al suelo del Lote 2 donde se ha dado un uso continuo durante mas de 30 años. El alto contenido de P en el Lote 2 no influyó en la obtención de mejores rendimientos.

El rendimiento mas alto, en el Lote 1, se obtuvo con el (60-80-00+micorrizas+ *azospirillum*) con 6.74 t/ha. Un valor semejante con 6.68 t/ha se obtuvo con la fórmula (60-80-00) mientras que con el tratamiento testigo (00-00-00) se obtuvo el rendimiento mas bajo con 5.84 t/ha respectivamente (Cuadro 5).

En el Lote 2 el rendimiento mas bajo se encontró (Cuadro 6), también, en el testigo (00-00-00) con 4.77 t/ha. Contrario a lo esperado, un valor semejante (4.82 t/ha) se consigna con la fórmula (60-80-00 + *micorrizas* + *azospirillum*) el cual fue el tratamiento con el máximo rendimiento en el Lote 1.

Cuadro 5. Rendimientos (t/ha) de maíz SAC BEH en Lote 1 del Sitio Experimental Uxmal. Ciclo P-V. 2017/2017

Tratamiento	Repeticion 1	Repeticion 2	Repeticion 3	Promedio
(00-00-00)	5.17	7.39	4.95	5.84
(60-80-00)	5.57	7.25	7.21	6.68
(30-80-00+MICO+AZO)	4.70	8.11	5.78	6.20
(60-80-00+MICO+AZO)	6.72	6.54	6.97	6.74
PROMEDIO	5.54	7.32	6.22	6.36

Cuadro 6. Rendimientos (t/ha) de maíz SAC BEH en Lote 2 del Sitio Experimental Uxmal. Ciclo P-V. 2017/2017.

Tratamiento	Repeticion 1	Repeticion 2	Repeticion 2	Promedio
(00-00-00)	4.26	5.62	4.42	4.77
(60-80-00)	5.15	6.00	5.97	5.71
(30-80-00+MICO+AZO)	6.10	6.64	5.63	6.12
(60-80-00+MICO+AZO)	4.91	5.64	3.91	4.82
PROMEDIO	5.10	5.97	4.98	5.35

CONCLUSIONES

En el Lote 1 se obtuvieron los mejores rendimientos promedio (6.36 t/ha) que el Lote 2 (5.35 t/ha) y esa misma tendencia fue para altura final de plantas con 2.66 m en el Lote 1 contra 2.46 m en el Lote 2 con mayor uso intensivo del suelo.

En el Lote 1 el rendimiento mas alto se obtiene con la fórmula: **(60-80-00) + Micorriza + Azospirillum** mientras que en el Lote 2 fue con la: **(30-80-00) + Micorriza + Azospirillum**.

La mejor fórmula:(60-80-00) + *Micorriza* + *Azospirillum* del Lote 1 aplicada en el Lote 2 solamente resultó en una reducción sustantiva del rendimiento al pasar de 6.74 t/ha (Lote 1) a 4.82 t/ha (Lote 2). Los rendimientos obtenidos sugieren que la variedad SAC BEH puede tener mayor productividad en suelos *Luvsoles ródicos* y es una alternativa agrónomicamente viable para el estado de Yucatán

LITERATURA CITADA

- Aguilar, C.G., Gómez, M.N., Torres, P. H., Vázquez, C.G.2010. SAC-BEH y CHICHEN ITZA: Variedades de maíz de calidad proteínica para el sistema de Roza –Tumba –Quema de la Península de Yucatán. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Mocochoá. Centro Regional del Sureste. 24 p.
- Bowen, G.D. Y A.D. Rovira. 1999. The rhizosphere and its management to improve plant growth. *Adv. Agron.* 66: 1-102.
- Bautista, F.; Palacio–Aponte, G.; Ortiz–Pérez, M.; Batllori–Sampedro, E. y Castillo–González, M. 2005. El Origen y el Manejo Maya de las Geoformas, Suelos y Aguas en la Península de Yucatán, p. 21-32.
- En: F. Bautista y G. Palacio (Eds.). Caracterización y Manejo de los suelos de la Península de Yucatán: Implicaciones Agropecuarias, Forestales y Ambientales. Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Autónoma de Yucatán, instituto Nacional de Ecología. 282 p.
- Grageda-Cabrera, O.A., Díaz-Franco, A., Peña-Cabriales, J.J. y José Antonio Vera-Núñez. 2012. Impacto de los biofertilizantes en la agricultura. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* vol.3 no.6 Texcoco nov./dic. 2012
- Medina-Méndez, J., Volke-Haller, V.H., Galvis-Spínola, A., González-Ríos, J.M., Santiago-Cruz, M de J. y Cortés-Flores, J.I. 2009. Propiedades Químicas de un Luvisol Después de la Conversión del Bosque a la Agricultura en Campeche, México. *Agronomía Mesoamericana* 20 (2): 217-235.
- Sosa Rodríguez, T., Sánchez Nieves, J., Morales Gutiérrez, E., Cruz Cortés, F. 2006. Interacción Micorrizas Arbusculares-*Trichoderma harzianum* (*Moniliaceae*) y Efectos sobre el Crecimiento de *Brachiaria decumbens* (*Poaceae*). *Acta Biológica Colombiana*, Vol. 11 No. 1, 43 - 54

Referencias Informáticas:

SIAP, 2013. <http://www.siap.gob.mx/> (Consultado el 11 de junio de 2018)

EVALUACIÓN DE PRUEBAS DE VIGOR EN SEMILLAS DE DIFERENTES ESPECIES DE *Capsicum*

EVALUATION OF SEED VIGOR TESTING OF DIFFERENT SPECIES OF *Capsicum*

¹Cruz-Guzmán J, ²Lagunes-Espinoza LC, ³Pablo-Pérez M

¹Estudiante en Residencia profesional, Instituto Tecnológico de Huimanguillo, Huimanguillo, Tabasco.

²Área de Agricultura, Laboratorio de Fisiología Vegetal, Colegio de Postgraduados (CP), Campus Tabasco, H. Cárdenas, Tabasco.

³Instituto Tecnológico de Huimanguillo, Huimanguillo, Tabasco.

Autor de correspondencia: lagunesc@colpos.mx

RESUMEN

El vigor de las semillas es el reflejo de un conjunto de características que determinan su potencial fisiológico, cuando son expuestas a diferentes condiciones ambientales. El estado de Tabasco presenta una amplia diversidad de chiles silvestres, de los que se desconoce la calidad fisiológica de sus semillas, su vigor y su tolerancia al almacenamiento, por lo que el objetivo del estudio fue determinar la calidad física y fisiológica de la semilla de dos especies comerciales *Capsicum chinensis* (Habanero) y *C. annuum* (Jalapeño) y dos semidomesticadas *C. frutescens* (Pico paloma) y *C. annuum* var. *glabriusculum* (Amashito), cuando son sometidas al envejecimiento acelerado. Los resultados muestran que el porcentaje de humedad de las semillas obtenidas de frutos frescos y maduros de los chiles evaluados varió de 6 a 7%. El peso de 1000 semillas en promedio fluctuó de 3.5 (Amashito) a 5.0 g (Jalapeño). La viabilidad de las semillas varió de 66.6 % (Jalapeño) a 94.6 % (Pico paloma), y para chile amashito fue de 93.3 %. El porcentaje de germinación bajo condiciones de laboratorio fue superior a 70% para Jalapeño y Habanero, pero inferior a 50% para Amashito y Pico paloma. El tratamiento con ácido giberélico (AG₃) a las semillas de Amashito y Pico paloma, incrementó significativamente la germinación y velocidad de germinación solo en Pico paloma, pasando de 16 a 54%. Temperaturas de 45 °C después de 96 h de exposición tanto en atmósferas saturadas como con restricción de humedad deterioran el vigor de las semillas de las especies en estudio. Bajo condiciones de invernadero, el chile Habanero presentó los más altos porcentajes de emergencia con más del 80%, seguido del Jalapeño y Amashito. Estos porcentajes de emergencia correlacionan bien con los observados para Amashito y Habanero bajo condiciones de laboratorio.

Palabras clave: *Capsicum*, germinación, vigor, envejecimiento acelerado, crecimiento

INTRODUCCION

La calidad de la semilla está fundamentalmente dada por su capacidad para germinar y producir una planta normal bajo condiciones ambientales favorables. Entre las propiedades que deben reunir las semillas de calidad son: pureza, sanidad (libre de plagas), viabilidad y vigor (Doria, 2010). El vigor de las semillas es el reflejo de un conjunto de características que determinan su capacidad de presentar un adecuado desempeño, cuando son expuestas a diferentes condiciones ambientales. Este conjunto de características establecen el nivel de actividad y su comportamiento durante la germinación y emergencia de plántulas. Si las semillas muestran un buen comportamiento se consideran con un alto vigor, y aquellas que presenten inadecuado comportamiento son llamadas semillas de bajo vigor. Los aspectos considerados para el comportamiento asociado con el vigor de las semillas incluyen: a) tasa y uniformidad de germinación de semillas y crecimiento de plántulas en laboratorio; b) comportamiento en el campo, incluyendo la tasa y uniformidad de la emergencia de las plántulas y c) comportamiento después del almacenamiento y transporte, particularmente la disminución de la capacidad de germinación a través de las pruebas de envejecimiento acelerado (Rita *et al.*, 2001). El vigor de las semillas es un factor determinante en la longevidad de estas durante el almacenamiento. A mayor vigor, mayor potencialidad de permanecer almacenadas.

Dada la importancia del vigor de las semillas para el establecimiento de un cultivo o el almacenamiento, varias metodologías se han propuesto (Marco-Filho, 2015), entre las que se encuentran las pruebas de envejecimiento acelerado (Delouche y Baskin, 1973), basadas en que la tasa de deterioro de la semilla se incrementa por la exposición a temperaturas elevadas (AOSA, 1983).

Las pruebas de envejecimiento acelerado evalúan el comportamiento de las semillas cuando son sometidas a condiciones de estrés, con lo que se puede estimar el potencial relativo de almacenamiento y su relación con la emergencia de plántulas en campo (Delouche y Baskin, 1973; Marco-Filho, 2015). Esta prueba se basa en que la tasa de deterioro de la semilla se incrementa por la exposición a temperaturas elevadas, las cuales son uno de los factores ambientales más relacionados con el deterioro de semillas. Los lotes de semillas con alto vigor mantendrán su viabilidad después del tratamiento y los de bajo vigor reducirán su viabilidad (AOSA, 1983). En el caso de semillas pequeñas, como la mayoría de las especies hortícolas, la prueba de envejecimiento acelerado puede presentar ciertas limitaciones, ya que las semillas pequeñas absorben agua más rápidamente y de forma no uniforme durante el periodo de envejecimiento lo que puede acelerar el proceso de deterioro o resultar en un comportamiento variable entre las semillas de una muestra, interfiriendo con los resultados. Una modificación al método tradicional es el uso de soluciones salinas saturadas en sustitución de agua que permite reducir la absorción de agua en las semillas expuestas durante la prueba y entonces el proceso de deterioro es menos drástico (Jianhua y McDonald, 1996). Este método ha mostrado su eficacia para evaluar el vigor en semillas de *Capsicum annuum* L. (Panobianco y Marcos Filho, 1998; Pablo *et al.*, 2009), *Capsicum frutescens* L. (Bhering *et al.*, 2006), pepino (Bhering *et al.*, 2000), tomate (Panobianco y Marcos Filho, 2001), melón (Torres y Marcos Filho, 2003).

Los chiles silvestres de Tabasco son utilizados en la cocina tradicional y forman parte de la herencia cultural del estado. La mayor parte de los estudios realizados están enfocados hacia la diversidad morfológica y sobre germinación (Castañón *et al.*, 2008 y 2010; Prado-Urbina *et al.*, 2015). Poco se conoce sobre los factores que influyen en la pérdida de vigor de sus semillas y sobre el manejo de las semillas durante el almacenamiento para evitar su rápido deterioro. Por ello el objetivo del presente estudio fue evaluar el vigor de semillas de *Capsicum annuum*, *Capsicum annuum* var. *glabriusculum*, *Capsicum chinensis* y *C. frutescens* utilizando el porcentaje de germinación en laboratorio y campo, y la prueba de envejecimiento acelerado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Colecta de frutos. Los frutos maduros, sanos y de tamaño uniforme de chiles silvestres de *Capsicum*: amashito (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*) y pico paloma (*C. frutescens*), se recolectaron en la colonia Mastelero de Huimanguillo, Tabasco. Los frutos de habanero (*C. chinensis*) y jalapeño (*C. annuum*) fueron adquiridos en locales comerciales.

Extracción de semillas. Los frutos se deshidrataron a temperatura ambiente para extraer las semillas de forma manual, eliminando la placenta; se descartaron las semillas no viables, las delgadas o poco desarrolladas, manchadas o quebradas. Por especie, se contaron y separaron en grupos de 100 semillas para los tratamientos y análisis posteriores.

Diseño experimental. Para las pruebas físicas y bioquímicas los experimentos se establecieron bajo un diseño completamente al azar con tres repeticiones por tratamiento (especies de chile). Para las pruebas fisiológicas (envejecimiento acelerado), el diseño experimental por temperatura fue un completamente al azar en arreglo factorial, donde los factores fueron la especie (4), solución (2) y el tiempo (3).

Variables evaluadas. Pruebas físicas: a) Peso de 1000 semillas. Se pesaron 100 semillas en 10 repeticiones para obtener el peso de mil semillas. b) Humedad de la semilla. 25 semillas por triplicado de cada especie fueron secadas a $105 \pm 3^\circ\text{C}$ por 24 h, para determinar el contenido de humedad.

Pruebas bioquímicas: Prueba de viabilidad. Antes y después de las pruebas de germinación y envejecimiento acelerado. 25 semillas por triplicado de cada especie fueron sometidas a una prueba topográfica con cloruro de tetrazolio al 1%.

Pruebas fisiológicas: a) Porcentaje de germinación. Se realizó en cuatro submuestras de 50 semillas por especie, desinfectadas con una solución de hipoclorito de sodio (Clorallex®) 1% por 30 min, y sembradas en cajas Petri previamente desinfectadas. Las cajas Petri con las semillas se mantuvieron en una cámara de crecimiento a 25°C durante 35 días. Otro grupo de cuatro submuestras de 50 semillas previamente desinfectadas y lavadas fueron tratadas con ácido giberélico (5 g/L) durante 24 h (Prado-Urbina *et al.*, 2015; Cano-Vázquez *et al.*, 2015) y posteriormente se siguió el mismo procedimiento anterior para la germinación. El conteo de semillas germinadas (emergencia de radícula $>2\text{mm}$) se realizó cada tercer día. Se evaluó el porcentaje de germinación durante 35 días de iniciada la prueba. **b) Emergencia de plántulas en invernadero en sustrato órgano mineral.** Muestras por cuadruplicado de 50 semillas fueron distribuidas en charolas de germinación

conteniendo un sustrato órgano-mineral, suficientemente humedecido. Quince días después de la siembra, se realizó el trasplante de plántulas a macetas de 5 kg conteniendo el mismo sustrato. La irrigación de charolas y macetas se realizó de acuerdo a necesidad. Los datos tomados fueron porcentaje de plántulas emergidas y altura de plántula.

c) Envejecimiento acelerado (método tradicional). Se utilizó la metodología propuesta por Delouche y Baskin (1973), Marcos Filho (1998) y Bhering *et al.* (2006). Un grupo de 100 semillas por especie se sometieron a temperaturas de 38, 41 y 45 °C \pm 1 °C y a una humedad relativa del 100%, durante 48, 72 y 96 h. Se utilizaron cajas de plástico de 10 x 10 x 3.5 cm, a las que se les agregaron 40 ml de agua destilada, colocando una malla de alambre por encima del nivel del agua como medio de soporte de las semillas y así evitar el contacto de éstas con el agua. Después del envejecimiento acelerado el grado de humedad de las semillas se determinó por el método de secado en horno de convección a 105 \pm 3°C por 24 h, y se expresó en porcentaje de humedad. También después del período de envejecimiento de las semillas se realizó la prueba de germinación estándar con y sin ácido giberélico de acuerdo con las recomendaciones de ISTA (2005), para lo cual se establecieron cuatro repeticiones de 25 semillas por tratamiento y se realizó un sólo conteo a los 25 días.

d) Envejecimiento acelerado con solución salina saturada. Se utilizó la misma metodología descrita para el método tradicional, solo que el agua se sustituyó por una solución saturada de NaCl (40g de NaCl en 100mL de agua destilada), para obtener un ambiente con 76% HR (Jianhua y McDonald, 1996). Después del envejecimiento acelerado el grado de humedad de las semillas se determinó por el método de secado en horno de convección a 105 \pm 3°C por 24 h, y se expresó en porcentaje de humedad. También después del período de envejecimiento la semilla se realizó una prueba de germinación estándar con y sin ácido giberélico de acuerdo con las recomendaciones de ISTA (2005), para lo cual se establecieron cuatro repeticiones de 25 semillas por tratamiento y se realizó un sólo conteo a los 25 días.

Análisis estadístico. Los datos de pruebas físicas y bioquímicas se sometieron a análisis de varianza bajo un diseño completamente al azar considerando las especies como tratamientos con tres repeticiones, con el programa estadístico SAS (SAS Institute, 2010). La comparación de medias por Tukey ($p < 0.05$). En el caso de los datos de envejecimiento acelerado, estos se sometieron a un análisis de varianza por temperatura (38, 41 o 45° C) bajo un diseño completamente al azar en arreglo factorial 4x2x3. Los factores fueron cuatro especies, dos soluciones (Agua y NaCl) y tres tiempos (48, 72 y 96 h). Cuando significativos el efecto de los factores, se realizaron las pruebas de medias por Tukey ($p < 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Pruebas físicas

Porcentaje de humedad. El porcentaje de humedad de las semillas de los chiles evaluados varió de 6 a 7% (Figura 1). De acuerdo a la regla para la calificación de semilla de *Capsicum* (SNICS, 2014), el contenido de humedad máximo para semillas debe ser entre 6 y 10%. En chile ancho, guajillo y de árbol, se han observado porcentajes de humedad de 7.6 en sus semillas (Ayala-Villegas *et al.*, 2014). Por lo que se considera que el método de extracción de semillas, permitió conservar una humedad adecuada en las semillas de estos chiles.

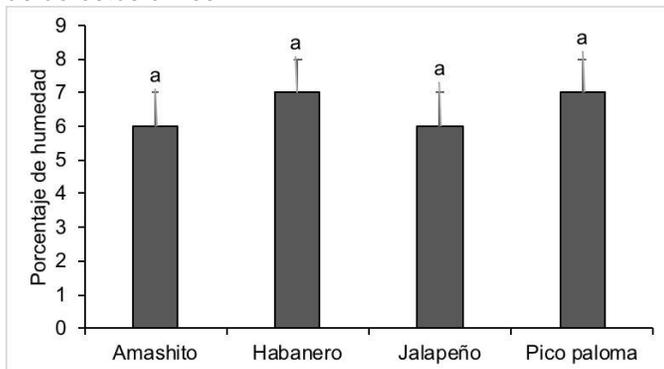


Figura 1. Porcentaje de humedad en semillas de las especies evaluadas.

En Chile habanero la desecación de semillas 36 días después de antesis a una humedad entre 5 y 11.3%, no afectó la germinación, pero sí incrementó altura de plántula y longitud de raíces (Moo-Muñoz *et al.*, 2016).

Peso de 1000 semillas. La Figura 2 muestra que las semillas de los chiles en estudio son pequeñas; el peso de 1000 semillas de las especies de *Capsicum* evaluadas. En promedio este peso fluctúa de 3.57 g (Amashito) a 5.04 g (Jalapeño).

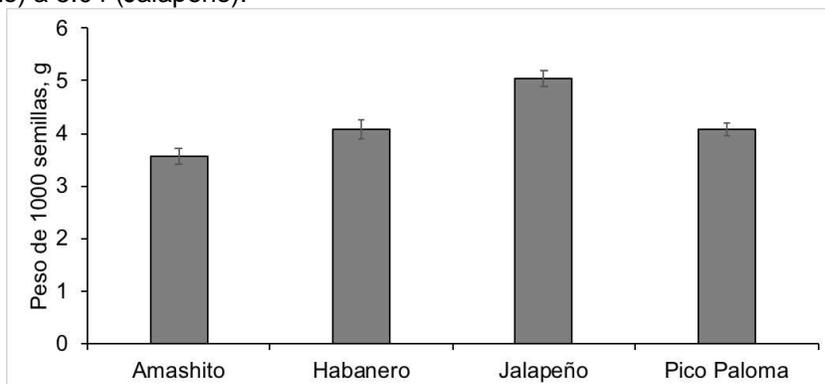


Figura 2. Peso de 1000 semillas de las especies evaluadas.

Pruebas bioquímicas

Viabilidad de semillas. La viabilidad de los chiles en estudio varió de 66.6 % (Jalapeño) a 94.6 % (Pico paloma). El porcentaje de viabilidad también fue alto en Chile Amashito (93.3 %). En habanero fue de 81.3 %.

Pruebas fisiológicas

Germinación. El porcentaje de germinación de las especies de *Capsicum* evaluadas fue superior a 70% para las *C. annum* (Jalapeño) y *C. chinensis* (Habanero), pero inferior a 50% para *C. annum* var. *glabriusculum* (Amashito) y sobre todo para *C. frutescens* (Pico paloma) (Figura 3). López-España *et al.* (2017) observaron una relación negativa entre el peso de semillas y el porcentaje de germinación entre poblaciones de *C. annum* var. *glabriusculum* del noroeste de México. Esta correlación negativa no parece observarse cuando se compara el peso de 1000 semillas y el porcentaje de germinación de las especies en estudio. Sin embargo, entre los chiles semidomesticados (Amashito y Pico paloma), que presentaron el más bajo e intermedio peso de 1000 semillas, respectivamente, se observa esta correlación negativa. Las semillas de Amashito que presentaron el menor peso de 1000 semillas mostraron un mayor porcentaje de germinación que las de Pico paloma, que tuvieron mayor peso de 1000 semillas. La velocidad de germinación fue mayor en las especies comerciales, que en las de Amashito y Pico paloma. Dado el bajo porcentaje de germinación de las semillas de chiles semidomesticados, se aplicó un tratamiento con ácido giberélico para incrementarla (Prado-Urbina *et al.*, 2015). El tratamiento con ácido giberélico (AG₃) a las semillas de las especies de *Capsicum* semidomesticadas (Amashito y Pico paloma), incrementó significativamente la germinación y velocidad de germinación solo en Pico paloma, pasando de 16 a 54% (Figura 3).

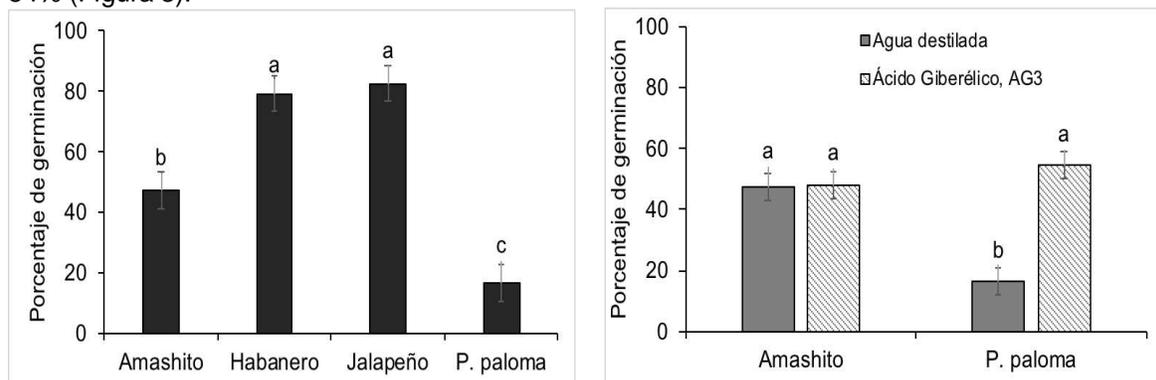


Figura 3 Porcentaje de germinación sin AG₃ y con AG₃ de las especies de *Capsicum* en estudio.

Envejecimiento acelerado. La pérdida de germinación de una semilla bajo condiciones favorable de almacenaje depende de la biología de la semilla y puede tomar varios años para que eso suceda. En semillas de chiles se menciona un periodo de 2 años (Milošević *et al.*, 2010). Información sobre la mayor o menor capacidad de germinación de un lote de semillas de una especie puede ser obtenida con las pruebas de envejecimiento acelerado, donde las semillas son expuestas a dos condiciones de estrés que son los principales que afectan su envejecimiento: alta temperatura y alta humedad relativa. Una semilla con un vigor alto será aquella que tolere mejor estas condiciones y se deteriore más lentamente que una con vigor bajo.

Germinación de semillas después del tratamiento de envejecimiento acelerado tradicional (HR 100%) y con solución salina (HR 76%). La germinación promedio de semillas después de los tratamientos de envejecimiento acelerado aplicado se muestra en la Figura 4. El efecto de un déficit hídrico moderado (76 % HR con NaCl) estimuló la germinación en los chiles Amashito y Pico Paloma. Este efecto no se observó en los chiles comerciales Jalapeño y Habanero.

En el Cuadro 1 se puede observar que cuando las semillas de chiles en estudio se sometieron a las pruebas de envejecimiento acelerado a diferentes temperaturas y contenido de humedad relativa, la germinación disminuye con el incremento en temperatura y tiempo de exposición, especialmente en los chiles semidomesticados. El efecto es menor en Jalapeño y Habanero. El tratamiento de envejecimiento acelerado modificado (HR 76%) estimuló la germinación de las semillas de Chile Amashito y Pico paloma a las temperaturas de 38 y 41 °C. En general se observa que temperaturas de 45 °C después de 96 h de exposición tanto en atmosferas saturadas como con restricción deterioran el vigor de las semillas de las especies en estudio. La germinación a 72 h e incluso a 96 h a temperatura de 38 °C en NaCl podría ser utilizada como prueba de vigor ya que asemeja a la germinación estándar obtenida a 25 °C. Behring *et al.* (2006) observaron en *C. frutescens* que temperaturas de 38 or 42°C durante 96 h con envejecimiento acelerado tradicional o modificado pueden usarse para evaluar el vigor en lotes de semillas de esta especie, ya que los porcentajes de germinación obtenidos son similares a las pruebas de germinación estándar y conteo realizado a los siete días.

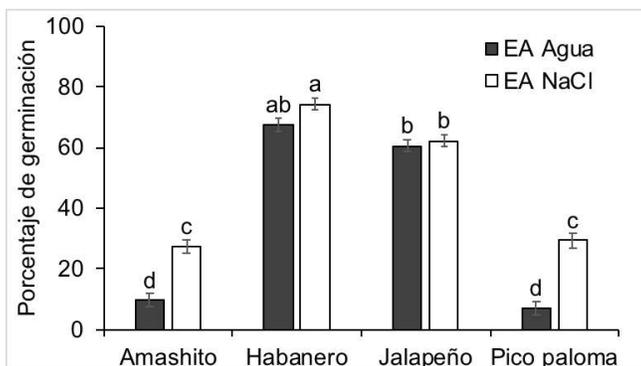


Figura 4. Porcentaje de germinación promedio de las semillas de chiles en estudio después de las pruebas de envejecimiento acelerado tradicional (EA Agua, 100% HR) y con solución salina (EA NaCl, 76% HR).

Emergencia bajo condiciones de invernadero. De las especies evaluadas, el Chile habanero presentó los más altos porcentajes de emergencia en invernadero (>80%), seguido del Jalapeño y Amashito. Estos porcentajes de emergencia correlacionan bien con los observados para Amashito y Habanero bajo condiciones de laboratorio, pero no así para Pico paloma y Jalapeño (Figura 5).

Crecimiento de plántula. El vigor de las plántulas de las especies de *Capsicum* en estudio se observó en el crecimiento, éste se aceleró a partir del mes del trasplante especialmente en Jalapeño y Pico paloma (Figura 6). Este vigor en crecimiento del Chile Jalapeño no se refleja en la producción de hojas, donde Habanero, Amashito y Pico paloma son superiores, con un promedio superior a 8 hojas después de dos meses de la siembra en invernadero.

Cuadro 1. Germinación de semillas de chiles después de la aplicación de las pruebas de envejecimiento acelerado tradicional (HR 100%) y con solución salina (HR 76%).

Especie	EA tradicional (HR 100%) 38 °C			EA modificado (HR 76%) 38°C		
	48 h	72 h	96 h	48 h	72 h	96 h
Amashito	28.00 fghij	6.00 ij	4.00 j	56.0 cdef	48.00 defg	28.00 fghij
Habanero	92.00 a	80.00 abc	65.33 abcde	73.33 abcd	88.0 ab	81.33 abc
Jalapeño	80.00 abc	52.00 cdef	61.33 bcde	81.33 abc	73.33 abcd	73.33 abcd
P. paloma	10.00 hij	12.00 hij	8.00 hij	20.00 ghij	38.00 efgh	36.00 efghi
	41 °C			41 °C		
Amashito	12.00 gh	14.00 gh	2.00 h	38.00 bcdefgh	22.00 efgh	16.00 fgh
Habanero	62.67 abcde	72.00 abc	40.00 bcdefgh	88.00 a	92.00 a	81.33 ab
Jalapeño	58.67 abcdef	88.00 a	60.00 abcdef	72.00 abc	66.67 abcd	60.00 abcdef
P. paloma	12.00 gh	4.00 gh	4.00 gh	34.00 cdefgh	48.00 abcdefg	26.00 defgh
	45 °C			45 °C		
Amashito	10.00 f	10.00 f	0.00 f	18.00 f	8.00 f	12.00 f
Habanero	48.00 abcd	78.67 a	48.00 cde	72.00 abc	73.33 ab	20.00 f
Jalapeño	50.67 bcd	46.67 de	48.00 cde	70.00 abcd	57.33 abcd	5.33 f
P. paloma	8.00 f	6.00 f	0.00 f	20.00 f	24.00 ef	18.00 f

Letras iguales no son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

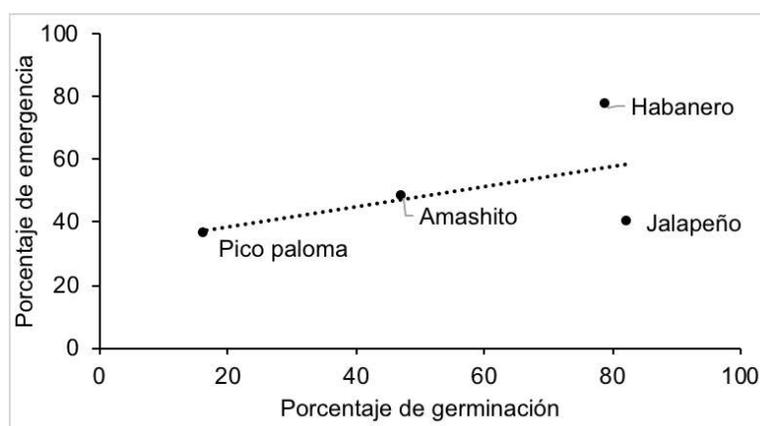


Figura 5. Relación entre el porcentaje de germinación y el de emergencia en las especies de *Capsicum* evaluadas.

CONCLUSIONES

Las semillas de los chiles silvestres evaluados presentan viabilidad alta pero porcentajes de germinación bajos debido a la latencia. El porcentaje de humedad de las semillas de los chiles evaluados varío de 6 a 7%. El tratamiento con ácido giberélico (AG_3) a las semillas de las especies de *Capsicum* semidomesticadas (Amashito y Pico paloma), incrementó significativamente la germinación y velocidad de germinación solo en Pico paloma, pasando de 16 a 54%. Temperaturas de 45 °C después de 96 h de exposición tanto en atmósferas saturadas (100% HR) como con restricción de humedad (76% HR) deterioran el vigor de las semillas de las especies en estudio. La germinación a 48 h e incluso a 96 h a temperatura de 38 °C en NaCl podría ser utilizada como prueba de vigor ya que asemeja a la germinación estándar obtenida a 25 °C en laboratorio. De las especies evaluadas, el chile habanero presentó los más altos porcentajes de emergencia en invernadero con más del 80%, seguido del Jalapeño y Amashito. Estos porcentajes de emergencia correlacionan bien con los observados para Amashito y Habanero bajo condiciones de laboratorio.

LITERATURA CITADA

Ayala-Villegas, M.J., Ayala-Garay, O.J., Aguilar-Rincón V.H., y Corona-Torres T. 2014. Evolución de la calidad de la semilla de *Capsicum annuum* L. durante su desarrollo en el fruto. Revista

- Fitotecnia Mexicana. 37 (1): 79-87.
- Bhering, M.C., Fernandes, D.S.D.D.C., De Souza, V.D., Dos Santos, P.N.D. 2006. Teste de envelhecimento acelerado em sementes de pimenta. Revista Brasileira de Sementes. 28(3): 64-71.
- Bhering, M.C., Dias, D.C.F.S., Gomes, J.M., y Barros, D.I. 2000. Métodos para avaliação do vigor de sementes de pepino. Revista Brasileira de Sementes, Londrina. 22(2):171-175.
- Cano-Vázquez, A., López-Peralta, C.M., Zavaleta-Mancera, H.A., Cruz-Huerta, N., Ramírez-Ramírez, I., Gardea.Béjar, A., y González-Hernández, V.A. 2015. Variación en grados de latencia en semillas entre colectas de Chile piquín (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*). Botanical Sciences. 93(1):1-10.
- Castañón-Nájera, G., Latournerie-Moreno, L., Mendoza-Elos, M., Vargas-López, A., y Cárdenas-Morales, H. 2008. Colección y caracterización de Chile (*Capsicum* spp) en Tabasco, México. Revista Internacional de Botánica Experimental. Phytion. 77: 189-202.
- Castañón-Nájera, G., Latournerie-Moreno, L., Leshner-Gordillo, J.M., de la Cruz-Lázaro, E., y Mendoza-Elos, M. 2010. Identificación de variables para caracterizar morfológicamente colectas de Chile (*Capsicum* spp.) en Tabasco, México.
- Delouche, J.C., y Baskin, C.C. 1973. Accelerated aging techniques for predicting the relative storability of seed lots. Seed Science and Technology, Zürich. 1(3):427-452.
- Doria, J. 2010. Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. Cultivos Tropicales. 31(1):74-85.
- ISTA, International Seed Testing Association (2005). Rules for seed testing. ISTA, Bassersdorf, Switzerland.
- Jianhua, Z., y McDonald, M.B. 1996. The saturated salt accelerated aging test for small-seeded crops. Seed Science and Technology, Zürich. 25(1):123-131.
- López-España, R.G., López-Hernández, E.R., Hernández-Morales, T., Charrez-Cruz, A., González Guzmán, Y., Muñoz-Jimarez, N.A. y Ortiz-Quintero, J.A. 2017. Effects of temperature wild chili pepper (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*) germination grown under two light conditions. Acta Agromica. 66 (1): 69-74.
- Marcos-Filho, J. 1998. New approaches to seed vigor testing. Scientia Agricola, Piracicaba. 55:27-33.
- Marcos-Filho, J. 2015. Seed vigor testing: an overview of the past, present and future perspective. Scientia Agricola. 72(4):363-374.
- Milošević ČM, Vujaković M, Karagi ĆC. 2010. Vigour tests as indicators of seed viability. Genetika. 42(1):103-118.
- Moo-Muñoz, A.J., Ayala-Garay, O.J., Latournerie-Moreno, L., Tzec-May, Y.A., y Pinzón-López, L.L. 2016. Efecto de la madurez y secado de semilla de *Capsicum chinense* Jacq. en la germinación y calidad fisiológica de plántula. Agroproductividad. 9(1): 63-67.
- Pablo, C.E., Mejía, C.J.A., Carballo, C.A., García de los Santos, G., Aguilar, R.V.H., y Corona, T.T. 2009. Calidad de semilla en colectas de Chile de agua (*Capsicum annuum* L.) de los valles centrales de Oaxaca, México. Agricultura Técnica en México 35(3): 257-266.
- Panobianco, M., y Marcos Filho, J. 1998. Comparação entre métodos para avaliação da qualidade fisiológica de sementes de pimentão. Revista Brasileira de Sementes. 20:306-310.
- Panobianco, M., y Marcos Filho, J. 2001. Envelhecimento acelerado e deterioração controlada em sementes de tomate. Scientia Agricola, Piracicaba. 58(3):525-531.
- Prado-Urbina, G., Lagunes-Espinoza, L.C., García-López, E., Bautista-Muñoz, C.C., Camacho-Chiu, W., Mirafuentes, G. F., y Aguilar-Rincón, V.H. 2015. Germinación de semillas de chiles silvestres en respuesta a tratamientos pre-germinativos. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios. 2(5):139-149.
- Rita, S.A., Yoldjian, A.M., Craviotto, R.M., y Bisaro, V. 2001. Pruebas de vigor y calidad fisiológica de semillas de soja. Pesq. Agropec. bras., Brasília. 36(2):371-379.
- SAS Institute. 2010 User's Guide of SAS (Statistical Analysis System). SAS Institute Inc. Cary, N.C. USA
- SNICS. 2014. Regla para la calificación de semilla de Chile (*Capsicum* spp.). SAGARPA-SNICS. México, D.F. 14 p.
- Torres, S.B., y Marcos Filho, J. 2003. Accelerated aging of melon seeds. Scientia Agricola, Piracicaba. 60(1):77-82.

COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE GENOTIPOS DE MAÍZ EN MILPA Y MONOCULTIVO

AGRONOMIC BEHAVIOR OF CORN GENOTYPES EN MILPA AND MONOCULTURE

Morales-Valenzuela G

Universidad Intercultural del Estado de Tabasco. Carretera Oxolotán-Tacotalpa Km 1. Oxolotán,
Tacotalpa, Tabasco, México.

Autor para correspondencia: gpemorales74@hotmail.com

RESUMEN

La milpa concentra una gran diversidad de especies cultivadas y arvenses. En la Sierra de Tacotalpa, Tabasco predomina este agroecosistema con el uso de variedades nativas de maíz y tecnología campesina. Se ha documentado las ventajas de la milpa sobre el monocultivo, no obstante, hay insuficiente información del comportamiento de las variedades en la milpa y monocultivo, por lo que el propósito del presente estudio fue analizar el comportamiento agronómico de variedades locales y mejoradas bajo monocultivo y milpa. El trabajo se llevó a cabo en Oxolotán, Tacotalpa, Tabasco, para lo cual se estableció un experimento con diseño bloques al azar en un arreglo factorial (2X4) dos sistemas (milpa y monocultivo) y cuatro variedades (A7573, V531, Criollo Blanco y Bacalito) con cuatro repeticiones. Se evaluaron las variables: germinación, sobrevivencia, acame, días a floración masculina, días a floración femenina, días a madurez fisiológica, presencia de malezas, altura de mazorca, altura de planta, diámetro de tallo, longitud de mazorca, grosor de mazorca, número de hileras, número de granos por hilera y rendimiento y se realizó un análisis de varianza con el programa SPSS. Se encontraron diferencias entre sistemas en las variables: acame, grosor de mazorca y rendimiento, los valores más altos de acame se registraron en el monocultivo, las mazorcas de mayor grosor se obtuvieron de milpa y el rendimiento fue superior bajo monocultivo, En lo que respecta al factor variedad, hubo diferencias en todas las variables excepto para grosor de mazorca y número de granos por hilera. La germinación y sobrevivencia en campo fueron inferiores en A7573, el acame fue mayor en las variedades nativas, la longitud de la mazorca fue superior en Criollo Blanco y el rendimiento fue significativamente inferior en A7573. Las variedades nativas de maíz muestran ventajas bajo las condiciones agroecológicas predominantes en la Sierra de Tacotalpa.

Palabras clave: *Milpa, maíz, monocultivo, rendimiento*

INTRODUCCION

La milpa es uno de los agroecosistemas donde se concentra la mayor diversidad tanto de especies cultivadas como de arvenses. La interacción de maíz, leguminosas y calabaza genera un aumento de la producción por planta de maíz en comparación con su monocultivo (Altieri et al., 2012).

Gleissman (1985) señala que en una hectárea de policultivo se obtiene la misma cantidad de maíz que en 1.73 ha de monocultivo. Por su parte, Altieri (2012) menciona que los policultivos contribuyen hasta con un 25% del suministro mundial de alimentos. Salazar-Barrientos y Magaña-Magaña (2016) encontraron que la milpa y el huerto familiar, dos policultivos de origen mesoamericano, proveen el 63.7% de las necesidades de alimentos en comunidades mayas de Yucatán.

Las especies de un policultivo cumplen diversas funciones dentro de dicho agroecosistema, Altieri y Nicholls (2007) señalan que el papel ecológico de la biodiversidad incluye el reciclaje de nutrientes, el control del microclima local, la regulación de los procesos hidrológicos locales, la regulación de la abundancia de organismos indeseables y la destoxificación de productos químicos nocivos. En el caso de la milpa predomina la complementariedad de nicho (Zhang et al., 2014) que por diferencias arquitectónicas de las raíces del maíz, frijol y calabaza se mejora la absorción de nutrientes (Postma y Lynch, 2012) lo que propicia una estabilidad en los policultivos

Los policultivos se conserva la biodiversidad local. Al respecto Eguiarte (2017), señala que en la milpa se siembra maíz, asociado con otras especies domesticadas y otras semi-domesticadas, las cuales crecen forma natural y el ser humano las ha manejado y protegido con esta forma de sembrado. Sin embargo, La diversidad de cultivos dentro de la milpa depende de cada región, no sólo por el clima, pendiente y suelo, sino por el grupo humano asociado a ella, que, de acuerdo a sus necesidades, saberes y tradiciones, le ha impreso un sello distintivo.

En el territorio serrano de Tacotalpa, predomina el agroecosistema milpa y se reportan más de 40 especies vegetales que se conservan en ella (Mariaca-Mendez, 2014) manejadas con tecnología

campesina (Morales-Valenzuela et al., 2015) En el caso particular del maíz, Morales-Valenzuela y Padilla-Vega (2017) reportan 11 variedades nativas cultivadas en localidades CH'oles de Tacotalpa. Recientemente hay una tendencia a promover la implementación de monocultivos de maíz y el uso de variedades mejoradas que muchas veces no se adaptan a las condiciones del contexto y tienden a reducir la biodiversidad. Se ha documentado las ventajas de la milpa sobre el monocultivo (Ebel et al., 2017), incluso se menciona que la milpa es más sustentable que el monocultivo de maíz (Sánchez-Morales y Romero-Arenas, 2018), no obstante, hay insuficiente información del comportamiento de las variedades en la milpa y monocultivo, por lo que el propósito del presente estudio fue analizar el comportamiento agronómico de variedades locales y mejoradas bajo el sistema milpa y monocultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se llevó a cabo en el ciclo primavera-verano de 2016 en un terreno de un productor cooperante del ejido Oxolotán, Tacotalpa, Tabasco, ubicado en la sierra de Tabasco a 50 msnm con las siguientes coordenadas geográficas: Longitud 17° 22' 47" y Latitud -92° 45' 00".

El experimento consistió en un diseño bloques al azar con cuatro repeticiones en un arreglo factorial 2X4 dos sistemas (milpa y monocultivo) y cuatro variedades (2 mejoradas: A7573 y V531 y 2 nativas: Criollo Blanco y Bacalito). La parcela experimental consistió en 4 surcos de 6 metros de longitud espaciados a 1 metro y distancias entre plantas a 1 metro para milpa y 0.50 metro para monocultivo. La parcela útil consistió en los dos surcos centrales.

El experimento se estableció el 8 de junio de 2016 y se manejó considerando las prácticas tradicionales predominantes en la región que incluye la preparación del terreno mediante roza-tumba y control de malezas de forma manual, sin aplicación de fertilizantes u otro insumo agrícola.

Se seleccionaron cinco plantas con competencia completa de cada parcela útil y se registraron 15 variables: porcentaje de germinación en campo (PG), porcentaje de sobrevivencia (PS), acame (A), días a floración masculina (DFM), días a floración femenina (DFF), días a madurez fisiológica (DM), presencia de malezas (M), altura de mazorca (AM), altura de planta (AP), diámetro de tallo (DT), longitud de mazorca (LM), grosor de mazorca (GM), número de hileras (NH), número de granos por hilera (NG)) y rendimiento (R)

Los datos se analizaron mediante un análisis de varianza y comparación de media mediante la prueba de Duncan con el programa SPSS ver 19.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza mostró diferencias estadísticas entre sistemas en las variables: porcentaje de acame, grosor de mazorca y rendimiento, para el factor variedad, hubo diferencias en todas las variables excepto para grosor de mazorca y número de granos por hilera y la interacción sistema x variedad solo mostro diferencias estadísticas en las variables acame y malezas (Cuadro 1).

Cuadro 1: Cuadrados medios de cuatro genotipos de maíz establecidos bajo dos sistemas de producción.

FV	PG	PS	PA	DF M	DF F	D M	M	AM	AP	DT	LM	GM	N H	N G	R
Variedad	3132 .3*	10096 .1*	1812. 9**	20. 6*	11. 9*	7. 9*	307. 0**	32677. 7**	41469. 4**	54. 5*	17. 8*	7.7	1. 9*	72 .3	281619 9.4*
Sistema	200. 0	210.1	2104. 4*	5.3	0.1	2. 5	7.0	36.8	233.4	16. 1	1.4	24. 9*	1. 3	46 .8	287496 2.2*
Variedad x Sistema	257. 0	198.7	609.8 *	6.8	2.9	3. 3	194. 5*	650.5	379.4	13. 6	2.6	9.3	0. 2	8. 0	164276. 3
Error	585. 7	306.9	194.4	5.2	2.4	1. 5	57.0	283.4	492.6	8.0	2.9	5.3	0. 5	29 .6	422361. 2

* (p < 0.05), ** (p < 0.01)

El mayor porcentaje de plantas acamadas se registró en el sistema monocultivo, las mazorcas de mayor grosor se obtuvieron del sistema milpa y el rendimiento fue superior bajo el sistema monocultivo, esto último se explica porque la densidad de siembra fue mayor en monocultivo.

Cuadro 2: Valores promedio de cuatro genotipos de maíz establecidos bajo dos sistemas de producción en Oxolotán, Tacotalpa, Tabasco.

Variable	Sistema			
	Milpa		Monocultivo	
	Media	Desv. Estándar	Media	Desv. Estándar
A	4.9	9.0	21.2	26.7
GM	42.0	2.1	40.3	2.8
R	781.3	591.7	1380.8	960.1

La germinación y sobrevivencia en campo fueron inferiores en el híbrido A7573, el acame fue mayor en las variedades nativas ya que éstas son de porte alto a diferencia de las variedades mejoradas en la que se busca un menor tamaño; en lo que respecta a precocidad las variedades mejoradas fueron superiores a las mejoradas; la longitud de la mazorca fue superior en el Criollo Blanco y el rendimiento fue significativamente inferior en el híbrido A7573 (Cuadro 3 y Figura 1).

Cuadro 3: Valores promedio de cuatro genotipos de maíz establecidos bajo dos sistemas de producción en Oxolotán, Tacotalpa, Tabasco.

Variable	Variedad							
	A7573		Bacalito		Criollo Blanco		V531	
	Prom.	Desv. Est.	Prom.	Desv. Est.	Prom.	Desv. Est.	Prom.	Desv. Est.
PG	13.0b	10.9	54.3a	24.5	47.3a	33.1	54.5a	18.2
PS	11.9b	11.8	81.9a	22.4	84.8a	11.8	82.0a	19.6
A	0.0b	0.0	20.3a	24.3	30.8a	25.1	1.1b	3.2
DFM	61.1b	2.6	61.8b	2.3	64.8a	1.7	62.0b	2.6
DFF	61.9b	1.6	64.0a	1.1	64.8a	1.7	63.6a	1.8
DM	88.5c	1.6	89.9ab	1.1	90.9a	1.2	89.4bc	1.2
M	30.0a	9.3	21.3b	8.3	15.0b	7.1	20.6b	8.6
AM	82.8c	10.3	205.3a	23.3	222.0a	23.1	139.5b	8.6
AP	185.4c	11.2	327.3a	36.3	334.1a	17.7	238.2b	11.4
DT	17.8c	1.4	21.5ab	2.6	24.0a	3.6	20.2bc	3.7
LM	16.0b	2.5	16.9ab	1.3	18.6a	1.6	15.1b	1.4
NH	12.0ab	1.0	11.5b	0.7	11.5b	0.7	12.5a	0.4
R	197.5b	266.3	1291.1a	700.5	1465.6a	678.5	1370.0a	952.5

El acame fue mayor en las variedades nativas bajo monocultivo (46.1% en Criollo Blanco y 36.3% en Bacalito), el híbrido A7573 no presentó acame y la variedad V531 solo el 2.3% bajo monocultivo. En el caso de la presencia de maleza, esta presentó mayor incidencia en el híbrido A7573 bajo monocultivo (35%), seguido por Criollo Blanco bajo el sistema milpa (27.5%) y la variedad V531 (23.8%).

CONCLUSIONES

Las variedades nativas de maíz bajo las condiciones agroecológicas predominantes en la Sierra de Tacotalpa, Tabasco muestran ventajas sobre las variedades mejoradas.

El híbrido A7573 presentó el peor comportamiento bajo los dos sistemas. La variedad tuvo comportamiento similar a las variedades nativas.

Aunque hubo mejor rendimiento en monocultivo, este es atribuible a la mayor densidad de siembra que en milpa.

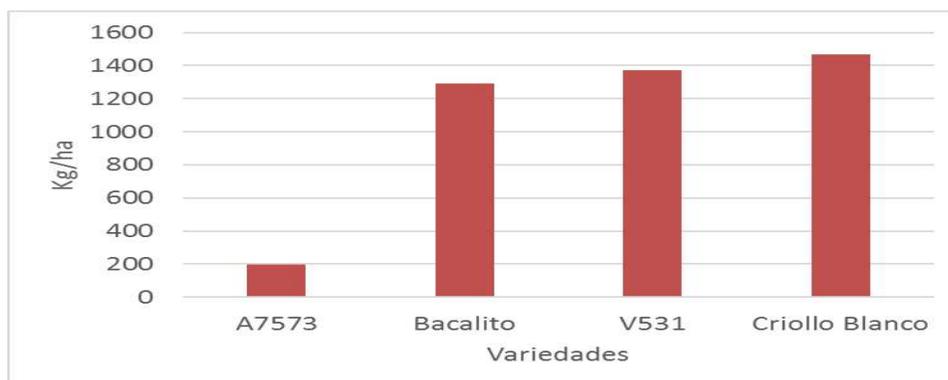


Figura 1. Rendimiento en Kg/ha de cuatro genotipos de maíz evaluados bajo milpa y monocultivo en Oxolotán, Tacotalpa, Tabasco.

LITERATURA CITADA

- Altieri M.A. y Nicholls C.I. 2007. Biodiversidad y manejo de plagas en agroecosistemas. Icaria editorial. Barcelona, España. 248 p.
- Altieri, M.A., R. F. Funes-Monzote y P. Petersen. 2012. Agroecologically efficient agricultural systems for smallholder farmers: contributions to food sovereignty. *Agronomy of Sustainable Development* 32:1-13.
- Ebel, R., J. G. Pozas-Cárdenas, F. Soria-Miranda y J. Cruz-González. 2017. Manejo orgánico de la milpa: rendimientos de maíz, frijol y calabaza en monocultivo y policultivo. *Terra Latinoamericana*, 35: 149-160.
- Eguiarte, L.E. Equihua Z, C. y Espinosa-Asua, L. 2017. La milpa es un espejo de la diversidad biológica y cultural de México. *Revista Oikos*, 17: 7-9.
- Gliessman, S. R. 1985. Multiple cropping systems: A basis for developing an alternative agriculture. pp. 67-83. In: US Congress Office of Technology Assessment. Innovative biological technologies for lesser developed countries: workshop proceedings. Congress of the USA. Washington, DC, USA.
- Gliessman, S.R. 1999. Agroecology: ecological processes in agriculture. Ann Arbor Press, Michigan
- Mariaca-Méndez, R., Cano-Contreras, J.E., Morales-Valenzuela G. Hernández-Sánchez, M. 2014. La milpa en la región serrana Chiapas-Tabasco de Huitiupán-Tacotalpa. En: González-Espinosa, M y Brunel-Manse, M.C. (coords.) Montañas, pueblos y agua. El Colegio de la Frontera Sur y Juan Pablos Editor. México. 323-359 pp.
- Morales-Valenzuela, G., Mariaca-Méndez, R. y Padilla-Vega, J. 2015. Tecnología campesina en la milpa de ladera en Tacotalpa, Tabasco. En: Moreno-Urbe, V. y Gómez-Velarde, E.M. Problemáticas del Sur de México. 33-51 pp.
- Morales-Valenzuela, G. y Padilla-Vega, J. 2017. Variedades locales de maíz en comunidades CH'oles de Tacotalpa, Tabasco. *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales*, 3(7): 49-56.
- Postma, J. A. and J. P. Lynch. 2012. Complementarity in root architecture for nutrient uptake in ancient maize/bean and maize/bean/squash polycultures. *Ann. Bot.*, 110: 521-534.
- Salazar-Barrientos, L.L. y Magaña- Magaña, M.A. 2016. Aportación de la milpa y traspatio a la autosuficiencia alimentaria en comunidades mayas de Yucatán. *Estudios Sociales*, 24-25(47): 182-203.
- Sánchez-Morales, P. y Romero-Arenas, O. 2018. Evaluación de la sustentabilidad del sistema milpa en el estado de Tlaxcala, México. *Revista de El Colegio de San Luis Nueva época*, 8(15): 107-134
- Zhang, C., J. A. Postma, L. M. York, and J. P. Lynch. 2014. Root foraging elicits niche complementarity-dependent yield advantage in the ancient 'three sisters'(maize/bean/squash) polyculture. *Ann. Bot.*, 191: 1719-1733.

**ACCESIONES DE CALABAZA CHIHUA *Cucurbita argyrosperma* Huber EN PRIMAVERA-
VERANO EN CAMPECHE, MÉXICO**
CHIHUA PUMPKIN ACCESSIONS *Cucurbita argyrosperma* Huber IN SPRING-SUMMER IN
CAMPECHE, MEXICO

¹Villalobos González A, ²Rangel Fajardo MA, ³García Sandoval JA, ²Tucuch Haas JI

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Edzná. Carretera Campeche-Tixmucuy Km 15.5 Campeche, Camp. C.P. 24529.

²INIFAP, Campo Experimental Mococho, INIFAP, Mérida, Yucatán, México. C.P. 97454.

³INIFAP, Campo Experimental Chetumal. INIFAP, Chetumal, Quintana Roo. C.P. 77000.

Autor para correspondencia: villalobos.antonio@inifap.gob.mx

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo estudiar la respuesta tres accesiones de calabaza chihua (*Cucurbita argyrosperma* Huber) en relación a días a floración masculina (FM) y femenina (FF), peso de fruto (PESFR), pulpa (PESP), cascara (PESC), peso de semilla por fruto (PESPF) y peso de 100 semilla (P100S) en primavera-verano bajo condiciones de temporal en un suelo Luvisol de Campeche. Para ello se incluyó un ensayo con las accesiones de calabaza chihua denominada Edzná, Local Yucatán y CECHET, que provienen en ese orden del estado de Campeche, Yucatán y Quintana Roo. El ensayo se condujo bajo un diseño de bloques al azar con tres repeticiones en la localidad de Pocyaxum, Municipio de San Francisco de Campeche, Camp., México. La unidad experimental consistió de tres surcos de seis metros de longitud, separados a 2.40 m uno del otro y 1.25 m entre planta. De la siembra a madurez del fruto, las accesiones de calabaza chihua presentaron 882 mm de lluvia acumulada. La accesión Local Yucatán y CECHET mostraron el mayor ($p \leq 0.05$) número de días a FM. No presentaron diferencias significativas para días a FF. La accesión Local Yucatán presentó el menor ($p \leq 0.05$) PESFR con 1.4 kg en comparación con la accesión Edzná y CECHET, que presentaron un PESFR de 1.8 y 1.6 kg. No se presentaron diferencias significativas para PESP y PESC. La accesión Edzná presentó el mayor ($p \leq 0.05$) PESPF con 64 g. El menor ($p \leq 0.05$) PESPF y P100S se obtuvo en la accesión Local Yucatán con 54 y 22 g. La accesión Edzná y CECHET presentaron el mayor ($p \leq 0.05$) P100S con 25 g. Las accesiones que presentaron mejor respuesta al peso de fruto, pulpa, cascara, semilla por fruto y peso de 100 semillas bajo condiciones de temporal en el ciclo de primavera-verano 2017 en el estado de Campeche fueron Edzná y CECHET.

Palabras clave: temporal, chihua, procedencia.

INTRODUCCION

El estudio de accesiones nativas de calabaza en México es fundamental para contribuir con información sobre la identificación y diversidad morfológica de calabaza (*Cucurbita* spp.), que conjuntamente aportaran conocimientos para su utilización, mejoramiento y conservación de esta especie (Ruelas *et al.*, 2015). La república mexicana es un importante centro de origen, domesticación y diversificación del cultivo de calabaza (*Cucurbita* spp); en consecuencia, la mayoría de las calabazas del género *Cucurbita* que se consumen en el mundo tienen su origen en especies que fueron domesticadas en el país (Acevedo, 2009). El género consta de un total de 20 especies o subespecies y en el territorio nacional se cultivan variedades de cuatro de las cinco especies domesticadas en Mesoamérica: *Cucurbita pepo* L., *C. moschata* Duch Ex Lam, *C. argyrosperma* Huber y *C. ficifolia* Bouché (Lira-Saade, 1995).

A nivel regional, el desarrollo de investigaciones sobre accesiones de calabaza nativa conocida en Yucatán y Quintana Roo como x-top y en Campeche como chihua es escaso. En este contexto, es vital la generación de estudios sobre la diversidad genética de la calabaza en la Península de Yucatán (Villalobos *et al.*, 2017). Actualmente en la región, la chihua, es un producto de gran importancia debido a la demanda que tienen sus semillas, las cuales se emplean en la elaboración de aceite, botanas y platillos regionales, además de ser aprovechadas por sus propiedades medicinales.

En la actualidad, en Campeche la calabaza chihua es cultivada en los cuatro distritos del estado: Campeche, Champotón, Escárcega y Hecelchakán. El distrito con mayor superficie y producción es Escárcega, con 9900 ha y una producción promedio de 6000 toneladas de semilla de calabaza chihua, seguido del distrito de Campeche con 4100 ha y 1700 toneladas de semilla (SIAP, 2016).

Ante la necesidad de contribuir a la generación de información sobre accesiones nativas de calabaza chihua en Campeche, la presente investigación se realizó con el propósito de estudiar la respuesta tres accesiones de calabaza chihua (*Cucurbita argyrosperma Huber*) en relación a días a floración masculina (FM) y femenina (FF), peso de fruto (PESFR), pulpa (PESP), cascara (PESC), peso de semilla por fruto (PESPF) y peso de 100 semilla (P100S) en primavera-verano bajo condiciones de temporal en un suelo Luvisol de Campeche.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en el ciclo de primavera-verano 2017 en condiciones de temporal. Para ello se empleó una superficie de terrenos aledaños a la comunidad de Pocyaxum, Municipio de San Francisco de Campeche, Camp., México. La localidad se localiza a 19.7333N, -90.3583O y a una altura de 30 msnm. El trabajo se instaló sobre los suelos rojos-arcillosos-profundos, denominados *Kancab* o *K'aancab* en la clasificación de suelos elaborados por los antiguos Mayas (Medina, *et al.*, 2009) y llamados Luvisoles en la clasificación de la FAO-UNESCO 1970.

El terreno se preparó mediante dos pases de rastra. El primero fue con rastra semi-pesada en el mes de mayo 2017. El segundo se efectuó con una rastra más ligera en junio 2017, este pase fue de forma cruzada al primero. En este contexto, el trabajo contempla la evaluación de tres accesiones de calabaza chihua (*Cucurbita argyrosperma Huber*); una de Campeche, una de Yucatán y otra de Quintana Roo. En el Cuadro 1, se muestran especificaciones de las accesiones de calabaza chihua.

Cuadro 1. Datos de las accesiones de calabaza chihua de la Península de Yucatán, México.

Número de accesión	Nombre	Genealogía	Tipo de calabaza	Procedencia
1	Edzná	Colección-1 ^P	Chihua	Campeche
2	Local Yucatán	Colección-2 ¹	Chihua	Yucatán
3	CECHET	Colección-3 [§]	Chihua	Quintana Roo

^PGermoplasma colectado en el Municipio de Campeche 2016, por el M.C. Antonio Villalobos González Investigador del INIFAP, Campeche, Camp., México. ¹Germoplasma proporcionado en 2017 por la Dra. María Alma Rangel Fajardo, Investigador del INIFAP, Mérida, Yucatán, México; [§]Germoplasma proporcionado en 2017 por el M.C. José Ángel García Sandoval, Investigador del INIFAP, Quintana Roo, México.

La siembra del experimento fue en junio 2017. Para ello se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones. La unidad experimental consistió de tres surcos de seis metros de longitud, separados a 2.40 m uno del otro y 1.25 m entre planta, al depositar dos plantas por mata en suelo húmedo, a 3.0 cm de profundidad y posteriormente a los tres días de la emergencia se clareo a una planta. Se fertilizo a los 15 días después de la siembra (dds) con 150 kg de fosfato diamónico (18-46-00) en mezcla con 100 kg de cloruro de potasio. El fertilizante se aplicó de forma manual en suelo húmedo, a una distancia de 10 cm de separación de la base del tallo de la planta de calabaza, que seguidamente fue tapado. Antes de la emergencia se realizó la aplicación de Glyphosato en dosis de 2.0 L/ha. Durante la fase de desarrollo y cierre del cultivo fueron necesarios varios cortes de maleza de forma manual. Se realizaron dos aplicaciones con frecuencia semanal del insecticida Decis Forte (Deltametrina 10.7%) en dosis de 0.5 l/ha para barrenadores.

En el presente trabajo se evaluó el número de días a floración masculina (FM) y femenina (FF); se registró cuando existía 50% de plantas con flores expuestas. Peso de fruto (PESFR, kg); se determinó al pesar el fruto en el momento de la cosecha. Peso de semilla por fruto (PESPF, g); se determinó en la cosecha al registrar el peso de la cantidad de semillas producida por fruto. Peso de pulpa (PESP, kg); se determinó al registrar el peso fresco de la pulpa producida por fruto. Peso de cascara (PESC, kg); se determinó al pesar el total de la cascara del fruto. Peso de 100 semillas (P100S, g); se obtuvo de la semilla que fueron sometidas a un proceso de secado a temperatura ambiente, en el cual se eligió al azar 100 semillas de cada fruto para pesarlos en una báscula digital.

También se realizó el registró la precipitación y temperatura. La precipitación se obtuvo de los datos almacenados en el pluviómetro colocado en los terrenos del experimento. La temperatura se obtuvo de los datos almacenados en la página Web de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), Servicio Meteorológico Nacional (SMN) 2017 para el estado de Campeche. A los datos se les realizó un análisis de varianza con el programa SAS para Windows Versión 9.0 (SAS, 2002) en forma individual. La comparación de medias se realizó con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Precipitación y temperatura. En la Figura 1, se muestra la distribución de la precipitación y temperatura que se presentó durante el estudio de las accesiones de calabaza chihua. De la siembra a la madurez fisiológica (MF) se registraron 882 mm de lluvia acumulada; presentándose la mayor cantidad antes de la FM y FF con una precipitación pluvial acumulada de 477 mm. De acuerdo con Ruiz y colaboradores (1999), el requerimiento agua durante el ciclo de desarrollo de cultivares de calabaza, específicamente en la especie *Cucurbita pepo* L. y *Cucurbita máxima* Duch van de 300 a, 450 y 1200 mm, no obstante señalan que la definición de una caracterización de los requerimientos ambientales no es tarea fácil, ya que implica cierto nivel de especificidad, dado que los cultivos pueden ser caracterizados en función de la especie, el genotipo o determinada etapa fenológica.

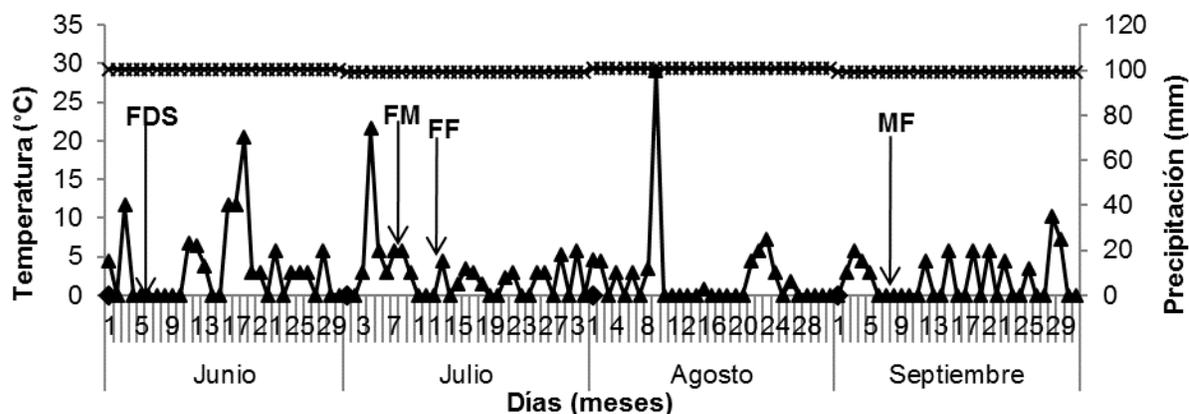


Figura 1. Precipitación y temperatura promedio durante el estudio de calabaza chihua en primavera-verano 2017 bajo temporal, Pocyaxum, Campeche, Camp., México. FDS= Fecha de siembra; FM= Floración masculina; FF= Floración Femenina; MF= Madurez fisiológica.

Durante el proceso de siembra a MF, las accesiones de calabaza chihua presentaron una temperatura promedio de 29 °C (Figura 1). Ramón y Mendoza (2002), señalan que la temperatura es un factor decisivo en el proceso de germinación, ya que influye sobre las enzimas que regulan la velocidad de las reacciones bioquímicas que ocurren en la semilla después de la rehidratación. La actividad de cada enzima tiene lugar entre un máximo y un mínimo de temperatura, existiendo un óptimo intermedio. Por ello, las semillas solo germinan dentro de un cierto margen de temperatura. Si la temperatura es muy alta o muy baja, la germinación no tiene lugar, aunque las demás condiciones sean favorables.

Número de días a floración masculina (FM) y femenina (FF). Los datos analizados mostraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para FM. La accesión Local Yucatán y CECHET presentaron el mayor ($p \leq 0.05$) número de días a FM con 34 días después de la siembra (dds) en comparación con la accesión Edzná, que presentó dos días menos a FM (Figura 2). Las accesiones no presentaron diferencias significativas para días a FF. Otros estudios en accesión nativa de calabaza chihua en la Península de Yucatán en primavera-verano bajo condiciones de temporal, reportan que el inicio de floración tuvo inicio a los 31 dds (García y Dzul, 2017). Lira y Montes-Hernández (1992) señalan que el inicio de la floración de la especie *Cucurbita moschata* está íntimamente relacionado con la disponibilidad de agua, y estas pueden ser de color amarillo a naranja.

Peso de fruto (PESFR), peso de pulpa (PESP) y peso de cascara (PESC). En el Cuadro 2, se observa el promedio y las diferencias significativas para PESFR, PESP y PESC. Los datos analizados para el PESFR arrojaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$). La accesión Local Yucatán presentó el menor ($p \leq 0.05$) PESFR con 1.4 kg en comparación con la accesión Edzná, que estadísticamente fue superior al presentar un PESFR de 1.8 kg, seguido de CECHET con 1.6 kg. No se presentaron diferencias significativas para PESP y PESC (Cuadro 2). Estudios realizados por Montes y colaboradores (2004), sobre evaluación morfológica de 133 accesiones de *C. moschata* colectadas en nueve departamentos de Colombia observaron que todos los caracteres evaluados, como tamaño, forma y color de fruto, sumados a los descriptores de pubescencia de la hoja, espesor de pulpa,

tamaño de la semilla, presentaron amplio rango de valores, lo cual corrobora la gran variabilidad genética entre las accesiones de calabaza.

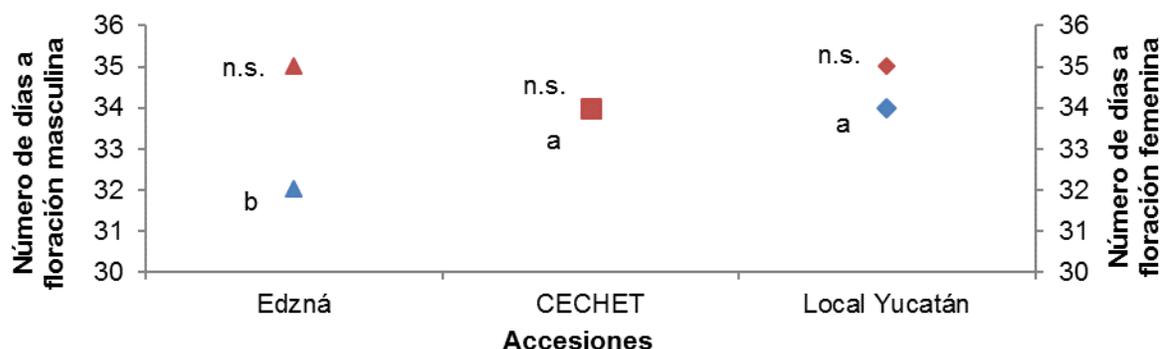


Figura 2. Promedio del número de días a floración masculina y femenina de las accesiones de calabaza chihua en condiciones de temporal en primavera-verano 2017, Pocyaxum, Campeche, Camp., México; Medias con la misma letra (s) entre tratamientos son estadísticamente iguales con un $\alpha=0,05$; n.s.=no significativo.

Peso de semilla por fruto (PESPF) y peso de 100 semillas (P100S). Las accesiones de calabaza chihua presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para el peso de semillas por fruto. La accesión Edzná presentó el mayor ($p \leq 0.05$) PESPF con 64 g, seguido de CECHET con 55 g. El menor ($p \leq 0.05$) PESPF se obtuvo en la accesión Local Yucatán con 54 g (Cuadro 2). En relación al peso de 100 semillas (P100S), los datos analizados de las accesiones de calabaza chihua demostraron que existen diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para el P100S. La accesión que presentó el menor ($p \leq 0.05$) P100S fue Local Yucatán con 22 g. Mientras que las accesiones de calabaza chihua Edzná y CECHET presentaron el mayor ($p \leq 0.05$) P100S con un promedio de 25 g, respectivamente. Trabajos realizados por Delgado *et al.*, (2014) en varias especies de cucurbitáceas colectadas en el Norte del Perú, señalan que existe una gran diversidad genética entre las accesiones, al observar una variación en la forma, tamaño, color de la cascara y peso de semilla.

Cuadro 2. Promedio del peso de fruto, pulpa, cascara, semillas por fruto y 100 semillas de las accesiones de calabaza chihua en condiciones de temporal en primavera-verano 2017, Pocyaxum, Campeche, Camp., México.

Número de accesión	Nombre	Peso de:				
		Fruto	Pulpa	Cascara	Semillas por fruto	100 semillas
		kg			g	
1	Edzná	1.8 a	0.617 a	1.0 a	64 a	25 a
2	Local Yucatán	1.4 b	0.605 a	0.9 a	54 b	22 b
3	CECHET	1.6 ab	0.592 a	0.9 a	55 ab	25 a
Promedio		1.6	0.605	0.9	58	24
DMS ($p \leq 0.05$)		0.38	0.04	0.12	9.57	3.21

Medias con la misma letra (s) entre tratamientos son estadísticamente iguales con un $\alpha=0,05$.

CONCLUSIONES

Las accesiones que presentaron mejor respuesta al peso de fruto, pulpa, cascara, semilla por fruto y peso de 100 semillas bajo condiciones de temporal en el ciclo de primavera-verano 2017 en el estado de Campeche fueron Edzná y CHECHET.

LITERATURA CITADA

Acevedo, G.F. 2009. La bioseguridad en México y los organismos genéticamente modificados: cómo enfrentar un nuevo desafío, en capital natural de México. Estado de conservación y tendencias de cambio. CONABIO, México. II: p. 319-353.

- FAO-UNESCO (Food and Agricultural Organization of the United Nations). 1970. Clave de unidades de suelos del mundo. Secretaría de Recursos Hidráulicos. Dirección de Agrología. México, D.F.
- García, S.J.A., Dzul, U.D. 2017. Caracterización fenológica y productiva de la calabaza chihua *Cucurbita argyrosperma* Huber Var. *argyrosperma* en Quintana Roo. XXIX Reunión Científica – Tecnológica Forestal y Agropecuaria Tabasco 2017 y VI Simposio Internacional en Producción Agroalimentaria Tropical. Pág. 109-112
- Guillermo, E.D.P., Consuelo, R.I., Ángela, S.T., Leopoldo, V.N. 2014. Caracterización de frutos y semillas de algunas cucurbitáceas en el norte del Perú. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 37 (1): p. 7-20.
- Lira, S.R. y Montes-Hernández, S. 1992. Cucúrbitas (*Cucurbita* spp.). *In: Hernández, B. J. E. y León, J. (eds.). Cultivos marginados, otra perspectiva de 1942. Colección FAO: producción y protección vegetal* Núm. 26. Roma, Italia. pp. 71–75.
- Lira-Saade, R. 1995. Estudios taxonómicos y ecogeográficos de las cucurbitáceas latinoamericanas de importancia económica. IPGRI. Roma, Italia. 281 p
- Medina, M.J., Volke, H.V.H., Galvis, S.A., González, R.J.M., Santiago, C.M.J., Cortes, F.J.I. 2009. Propiedades químicas de un luvisol después de la conversión del bosque a la agricultura en Campeche, México. *Agronomía mesoamericana*, Vol. 20, Núm. 2. p 217-235.
- Montes, R.C., Vallejo, C.F.A. y Baena, G.D. 2004. Diversidad genética de germoplasma colombiano de zapallo (*Cucurbita moschata* dúchesne exp. prior). *Acta Agron.* 53(3):43-50.
- Ruiz, C.J.A., Medina, G.G., Ortíz, T.C., Martínez, P.R., González, A.I.J., Flores, L.H.E., Byerly, M.K.F. 1999. Requerimientos Agroecológicos de Cultivos”. 324 p.
- Ramón, M y Mendoza, C. 2002. Efecto del deterioro post-corte sobre la germinación de la semilla asexual de cinco variedades de caña de azúcar. *Rev. Fac. Agron.*, vol. 19, no. 4, p. 264-272.
- Ruelas, H.P.G., Aguilar, C.A.J., García, P.D.J., Valdivia, B.R., López, G.G.G. 2015. Diversidad morfológica de especies cultivadas de calabaza (*Cucurbita* spp.) en el estado de Nayarit. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 6(8), 1845-1856.
- Statistical Analysis System, Versión 9.0 para Windows. 2002. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Villalobos, G.A., Medina, M.J., Soto, R.J., Hernández, P.M. 2017. Evaluación de cultivares de calabaza bajo condiciones de temporal en Campeche, México. XXIX Reunión Científica – Tecnológica Forestal y Agropecuaria Tabasco 2017 y VI Simposio Internacional en Producción Agroalimentaria Tropical. Pág. 238-244.

REFERENCIAS INFORMATICAS

- Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2016. Sistema de Información Agropecuarias de Consulta (SIACON). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Versión 1.1, México, D.F.
<http://www.siap.gob.mx/> (consultado el 10 de junio de 2018).
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), Servicio Meteorológico Nacional (SMN), 2017.
<http://smn.cna.gob.mx/> (Consultado en mayo 2018).

RENDIMIENTO DE GRANO Y SUS COMPONENTES EN ARROZ EN RIEGO Y SEQUÍA GRAIN YIELD AND ITS COMPONENTS IN RICE UNDER IRRIGATION AND RAINFED CONDITIONS

¹López Hernández MB, ²Arreola Enríquez J, ³Villalobos González A, ⁴Pinzón López LL, ⁵Barrios Gómez EJ

^{1*} Colegio de Postgraduados (COLPOS). Montecillo, Estado de México. C.P. 56230. Méx.

² Colegio de Postgraduados (COLPOS). Sihochac, Champotón, Campeche. C.P. 24450. Méxco.

³ Campo Experimental Edzná del INIFAP. Km. 4.5. Carr. Chiná-PocYaxum. Campeche. C.P. 24250.

⁴ Instituto Tecnológico de Conkal. Av. Tecnológico s/n. Conkal, Yucatán. C.P. 97345. México.

⁵ Campo Experimental Zacatepec del INIFAP. Km. 0.5. Carr. Zacatepec-Galeana. Zacapetec. C.P. 62780. México.

RESUMEN

Los rendimientos del arroz (*Oryza sativa* L.) responden a complejas interacciones entre el genotipo y el ambiente, el arroz tiene la particularidad de ser un cultivo semiacuático, como resultado de esto presenta menor adaptación al contenido hídrico limitante del suelo y es extremadamente sensible al estrés por sequía, por lo tanto, esta es el factor limitante más importante en la producción de arroz (Osuna, 2001., Passioura, 2007., Bernier *et al.*, 2008; Maisura *et al.*, 2014; Pandey y Shukla, 2015;). El objetivo del presente trabajo fue estudiar la respuesta de ocho líneas avanzadas y una variedad testigo de arroz, en el rendimiento de grano y sus componentes, bajo riego (R) y sequía (S) en invernadero. El experimento se estableció en el área de invernaderos del Colegio de Postgraduados, Campus Campeche, localizado en la Carretera Haltunchén-Edzná km 17.5, Sihochac, municipio de Champotón, Campeche, México (17° 49' N, 91° 08' y 27 msnm); en el ciclo otoño-invierno 2015. El rendimiento de grano, biomasa aérea final, índice de cosecha, panículas por planta, granos por panícula y peso de mil granos fue más alto en riego que en sequía. Las variables menos afectadas por la sequía fueron días a antesis (8.9%) y días a madurez fisiológica (12%). Se identificó a los genotipos 2 y 7 como los más sobresalientes con respecto al resto de los genotipos en el rendimiento de grano y sus componentes.

Palabras clave: *rendimiento, sequía, biomasa, área foliar, eficiencia transpiratoria*

INTRODUCCION

Se considera a la sequía como un déficit de disponibilidad de agua suficiente para causar una disminución en el rendimiento de los cultivos (Bernier *et al.* 2008). Por otro lado, la magnitud de la disminución del rendimiento de grano depende de la duración de la sequía y la severidad del estrés (Kumar *et al.*, 2014) además de la etapa de crecimiento del cultivo (Gana, 2011). Así, la sensibilidad del arroz a la sequía aumenta, cuando la sequía ocurre en el periodo de floración (Maisura *et al.*, 2014). En consecuencia en la etapa reproductiva se reduce considerablemente el contenido hídrico en las células de la planta, mostrando síntomas de marchitamiento y pérdida de turgencia, que repercuten en una disminución del intercambio gaseoso y fotosíntesis de la planta y finalmente el rendimiento de grano (Blum, 2011). El objetivo del presente trabajo fue estudiar la respuesta de ocho líneas avanzadas y una variedad testigo de arroz, en el rendimiento de grano y sus componentes, sistema radical, área foliar y eficiencia transpiratoria bajo riego (R) y sequía (S) en invernadero.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se estableció en el área de invernaderos del Colegio de Postgraduados, Campus Campeche, localizado en la Carretera Haltunchén-Edzná km 17.5, Sihochac, municipio de Champotón, Campeche, México (17° 49' N, 91° 08' y 27 msnm); en el ciclo otoño-invierno 2015. La localidad de Sihochac, tiene un clima del tipo cálido subhúmedo con lluvias en verano [Awo (w)], con una precipitación media de 1500 mm y temperatura media anual de 26 °C; con temperaturas máximas de 42 °C y mínimas de 10°C (García, 1988). Se realizó un análisis del suelo utilizado en el laboratorio de Edafología de la Universidad Autónoma Chapingo, cuyas características físicas y químicas se presentan en el cuadro 1.

Se incluyeron ocho líneas avanzadas (F₆) de arroz (genotipos) y una variedad testigo (El Silverio). Las líneas presentaban características de alto rendimiento y resistencia al vector del virus de la hoja blanca (*Tagosodes oryzicolus*) y "quemado" del arroz (*Pyricularia oryzae*), calidad superior de grano,

definida por su contenido de amilosa, apariencia del grano procesado, alta recuperación de granos enteros y tolerancia al retraso en cosecha; las líneas proceden de los viveros del Fondo Latinoamericano para Arroz de Riego (FLAR, Palmira, Colombia). El material genético se preseleccionó por rendimiento de grano en ambientes de trópico húmedo, subhúmedo y seco en el ciclo primavera-verano (P-V) 2012 por investigadores del INIFAP en diferentes localidades (Palizada, Campeche; Zacatepec, Morelos; Cárdenas, Tabasco; y Tecomán, Colima, México) (Cuadro 2).

El experimento consistió en dos tratamientos de humedad edáfica; riego (R) que consistió en mantener la humedad edáfica cercana a capacidad de campo (CC), y sequía (S) con la suspensión del riego a los 65 dds hasta la madurez fisiológica. La siembra se realizó utilizando una semilla de arroz de cada variedad por unidad experimental, con una dosis de fertilización de 180-40-40; se aplicó un tercio del nitrógeno y todo el fósforo y potasio en la siembra; un segundo tercio de nitrógeno al inicio de la etapa de amacollamiento (25 dds) y el resto del nitrógeno en la etapa de embuche (78 dds), con urea, superfosfato de calcio triple y cloruro de potasio como fuentes de nitrógeno, fósforo y potasio, respectivamente.

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones en riego y tres en sequía; la unidad experimental consistió de una planta individual por tubo de PVC de 1 m de alto y 10 cm de diámetro. Las plantas se mantuvieron debajo de una cubierta de polietileno a una altura de 3.0 m, para evitar la incidencia de la lluvia al experimento y permitir que las plantas estuvieran expuestas a la temperatura ambiental.

Se evaluaron las siguientes variables: rendimiento de grano (RG, g) el cual se obtuvo al determinar el peso del grano después del desgrane de todas las panículas de las plantas cosechadas; biomasa aérea final (BMAF, g) se determinó al obtener el peso seco total de la parte aérea de la planta al llegar a la madurez fisiológica; índice de cosecha (IC); se calculó como el cociente entre el rendimiento del grano (RG, g) y la biomasa aérea final (g) ($IC=RG/BM$); número de panículas por planta (NPP), se determinó al contar el número de panículas en cada unidad experimental; número de granos por panícula (NGP^{-1}), se determinó al contar el número de granos en cada panícula por planta y promediar el número de granos entre el total de panículas por planta; peso de 1000 granos (PMG, g), se obtuvo al pesar 1000 granos tomados al azar de cada unidad experimental de la muestra utilizada para determinar el rendimiento de grano; días a floración o antesis (A), se registró cuando el 50% de las panículas de cada unidad experimental mostró espiguillas con anteras expuestas y en dehiscencia; días a madurez fisiológica (MF), se determinó cuando el 80% de las plantas presentes en cada unidad experimental habían perdido el color verde de sus órganos aéreos y presentaban un color paja característico de cada genotipo; altura de la planta (AP, cm), se determinó al medir la altura desde la superficie del suelo hasta la espiguilla terminal en cada unidad experimental en la etapa de madurez fisiológica. Con los datos se realizó el ANDEVA para todas las variables con el programa SAS, Versión 9.1, para Windows (SAS, 2009) en forma individual para cada tratamiento de humedad edáfica y en forma combinada, para determinar la significancia de la interacción genotipo x ambiente. La comparación de medias se realizó con DMS ($p \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En riego, el análisis estadístico de los datos detectó diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) entre genotipos para rendimiento de grano (RG), biomasa aérea final (BMF), índice de cosecha (IC), número de panículas por planta (NPP), número de granos por panícula (NGP), peso de 1000 granos (PMG), días a antesis (DA), y altura de planta, no presentó diferencias significativas en los días a madurez fisiológica. El rendimiento de grano y sus componentes en riego presentó alta variabilidad entre genotipos; los rangos de variación fueron para rendimiento de grano 12 a 32 g por planta, biomasa aérea final (23 a 64 g p^{-1}), índice de cosecha (49 a 50 %), número de panículas por planta (6 a 16), número de granos por panícula (113 a 194), peso de mil granos (26 a 39 g p^{-1}), días a antesis (86 a 92), y altura de planta (73 a 97 cm). La mayor variación se observó en el rendimiento de grano, biomasa aérea final, número de granos por panícula y altura de planta. Los genotipos 2 y 7, presentaron el mayor rendimiento de grano además de biomasa aérea final, índice de cosecha, número de panículas por planta, peso de mil granos, y altura de planta (Cuadro 3). El genotipo 8 y 9 presentaron los valores más bajos en rendimiento de grano, biomasa aérea final, índice de cosecha, número de panículas por planta, número de granos por panícula y peso de mil granos (Cuadro 3). Cabe mencionar que los genotipos 2 y 7 en ciclos de preselección presentaron un alto rendimiento de grano. Sabar y Arif (2014), determinaron el rendimiento de grano en ocho genotipos de arroz en

macetas bajo condiciones de riego en invernadero, reportando un rango de variación de 8 a 18 g p⁻¹ y en promedio 14 g p⁻¹, resultados menores a los obtenidos en el presente experimento en donde el rango de variación para rendimiento de grano fue de 12 a 32 g p⁻¹ y en promedio por genotipos de 20 g p⁻¹, de igual manera se presentó con el peso de mil granos reportando una variación de 21 a 24 g p⁻¹ y en promedio por genotipos (22 g p⁻¹), valores menores a los obtenidos en el presente experimento con un rango de variación de 26 a 39 g p⁻¹ en promedio de 31 g p⁻¹; esto puede deberse a que las líneas utilizadas en este experimento presentan un alto potencial de rendimiento y resistencia a *Pyricularia oryzae* y al complejo sogata-VHB, y moderadamente resistentes a la nueva enfermedad “grano manchado” (*Helminthosporium oryzae*) en asociación con otros patógenos (INIFAP-Fondo Sectorial SAGARPA-CONACYT, 2016). La altura de planta fue de 105 cm mayor a la reportada en el presente experimento (87 cm). Los días a antesis y días a madurez fisiológica (91 y 123) respectivamente, coincidieron con los datos reportados en el presente experimento.

En sequía el análisis estadístico de los datos detectó diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) entre genotipos para rendimiento de grano (RG), biomasa aérea final (BMF), índice de cosecha (IC), número de panículas por planta (NPP), número de granos por panícula (NGP), peso de 1000 granos (PMG), días a antesis (DA), días a madurez fisiológica (DMF) y altura de planta. Los rangos de variación fueron para rendimiento de grano 8 a 14 g p⁻¹, biomasa aérea final (12 a 26 g p⁻¹), índice de cosecha (34 a 45 %), número de panículas por planta (3 a 11), número de granos por panícula (86 a 123), peso de mil granos (16 a 27 g p⁻¹), días a antesis (94 a 103), días a madurez fisiológica (133 a 145) y altura de planta (62 a 72 cm) (Cuadro 4). La biomasa aérea final, el índice de cosecha, número de granos por panícula y altura de planta mostraron un rango de variación más amplio. Los genotipos 2 y 7, presentaron el mayor rendimiento de grano acompañado del índice de cosecha, número de panículas por planta, y altura de planta. El genotipo 2 presentó mayor biomasa aérea final, número de granos por panícula y peso de mil granos, en comparación con el resto de los genotipos (Cuadro 4). Los genotipos 8 y 9 presentaron los valores más bajos en el rendimiento de grano y sus componentes. Se confirmó el alto rendimiento de grano de los genotipos 2 y 7 en ciclos de preselección. Sokoto y Muhammad, (2014), estudiaron el efecto del estrés hídrico en arroz en Nigeria, en condiciones de invernadero. El tratamiento consistió de estrés hídrico en tres etapas de crecimiento (amacollamiento, floración y llenado de grano) en tres variedades de arroz (FARO 44, NERICA 2 y FARO 15) y un tratamiento control (riego). Los resultados indicaron que el estrés hídrico en la etapa de amacollamiento a las 6, 9, 12 y 15 semanas redujo significativamente la altura de planta, número de tallos por planta y la biomasa total comparado con el estrés hídrico en la etapa de antesis y llenado de grano que fueron similares al control. El índice de cosecha se redujo (15.7 %) cuando el estrés hídrico se presentó en la etapa de floración y llenado de grano, en comparación con el control (riego) y el tratamiento de estrés en la etapa de amacollamiento con un 52 y 24 % respectivamente. El rendimiento de grano fue menor para el estrés hídrico en la etapa de floración y llenado de grano (0.9 t ha⁻¹), en comparación con el estrés en la etapa de amacollamiento (1.1 t ha⁻¹) y el control (3.0 t ha⁻¹). Así mismo, se encontraron diferencias entre genotipos, seleccionando a FARO 44, como la variedad más recomendada para la zona. Kumar *et al.* (2006) observaron un mayor porcentaje de granos vanos en arroz afectados por la sequía en la etapa reproductiva, con la consecuente disminución del rendimiento de grano. Sabar y Arif (2014) realizaron un estudio con ocho genotipos de arroz bajo dos tratamientos de sequía: una y dos semanas de sequía a los 60 días después de la siembra y un control (riego), en condiciones de invernadero. Los resultados reportaron un mayor rendimiento de grano en riego (14 g p⁻¹) y en estrés hídrico (una y dos semanas) fue de 8 y 3 g p⁻¹ respectivamente; estos resultados fueron menores a los obtenidos en el presente experimento (11 g p⁻¹). El peso de mil granos y la altura de planta para sequía fueron de 20 g y 65 cm respectivamente, similar al reportado en el presente estudio (21 g y 67 cm).

El análisis estadístico combinado de riego y sequía detectó diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) entre niveles de humedad, entre genotipos y en la interacción niveles de humedad-genotipos en todas las variables evaluadas. La sequía redujo el rendimiento de grano, biomasa aérea final, índice de cosecha, número de panículas por planta, número de granos por panícula, peso de mil granos y la altura de planta (Cuadro 5). La reducción por efecto del estrés hídrico fue mayor en biomasa aérea final (52%), rendimiento de grano (45%), número de panículas por planta (36%), peso de mil granos (31%), altura de planta (28%), número de granos por panícula (27%) e índice de cosecha (15%) (Cuadro 5). Awio *et al.* (2015), realizaron un estudio con 10 genotipos de arroz en condiciones de invernadero en Uganda, con los siguientes tratamientos: riego-sequía alterna (7 días

de riego y 7 días de sequía), sequía continua (riego una vez, cada semana), inundación continua (nivel de agua a 5 cm sobre la superficie del suelo). Los resultados indicaron que el rendimiento de grano fue mayor en el tratamiento de inundación continua con un promedio de 1.9 t ha⁻¹, en comparación con el tratamiento de riego-sequía alterna y sequía continua (1.7 y 1.5 t ha⁻¹, respectivamente). El genotipo P27H14 presentó el mayor rendimiento en los tratamientos de riego-sequía alterna y sequía continua, y el genotipo K5 presentó el mayor rendimiento en el tratamiento de inundación continua. Gana (2011) y Kumar *et al.* (2014), mencionan que la magnitud de la pérdida de rendimiento de grano depende de la duración de la sequía, la etapa de crecimiento del cultivo y la severidad de estrés por sequía. Zhu (2002), menciona que cuando se produce el estrés hídrico, las plantas reaccionan por ralentizar o detener su crecimiento. Esta es una reacción normal de la planta a la falta de agua y actúa como una táctica de supervivencia. Las variables menos afectadas fueron días a antesis (9%) y días a madurez fisiológica (12%); con una diferencia de ocho y cinco días en días antesis y días a madurez fisiológica, respectivamente, entre riego y sequía, siendo mayor en sequía (Cuadro 5); esto coincidió con lo reportado por Sabar y Arif (2014) con respecto a un retraso de 9 días en la floración y días a madurez fisiológica en sequía con respecto a riego en ocho genotipos de arroz sometidos a estrés hídrico durante dos semanas, 60 d después de la siembra. Al respecto Bernier *et al.* (2008) menciona que el estrés por sequía al inicio de la etapa reproductiva resulta por lo general en un retraso en la floración en arroz. Davatgar *et al.* (2009) en un experimento de arroz en condiciones de invernadero reportan que el estrés hídrico (moderado y severo) disminuyó el rendimiento y aumentó el retraso de la floración en los tratamientos aplicados en la etapa vegetativa con estrés severo (23 días) e inicio de primordio floral (3 días) en estrés moderado y severo, comparado con las plantas en riego. Turner *et al.* (1986) demostraron que el déficit hídrico durante la etapa de crecimiento vegetativo retrasa la floración y se asocia negativamente con el rendimiento del grano (Kumar *et al.*, 2006).

Cuadro 1. Características físicas y químicas del suelo utilizado en el experimento.

Características físicas y químicas									
Textura	DA (t m ⁻³)	CC %	PMP %	pH	CE dS m ⁻¹	MO %	N mg Kg ⁻¹	P mg Kg ⁻¹	K mg Kg ⁻¹
Arcilla	1.23	40.7	32.2	7.2	0.72	3.1	23.8	6.3	536

La textura se determinó, método del hidrómetro de Bouyoucos; DA: densidad aparente, método de la probeta (t m⁻³); CC: capacidad de campo, método de la olla de presión equivalente a 0.3 atm PMP: porcentaje de marchitamiento permanente, método de membrana de presión equivalente a 15 atm ; pH, medidor electrónico de pH; CE: conductividad eléctrica, método del puente de conductividad eléctrica; MO: materia orgánica, método de Walkley-Black; N: nitrógeno total, por arrastre de vapor; P: fósforo, método de Olsen; K: potasio, método de espectrofotometría de emisión de flama.

Cuadro 2. Material genético preseleccionado por rendimiento, utilizado en el experimento.

No. de genotipo	Genealogía	Origen	Rendimiento de grano (t ha ⁻¹)	Días a antesis
1	FL04621-2P-1-3P-3P-M	P-V 2005	6.8	85
2	FL05392-3P-12-2P-2P-M	P-V 2006	13.2	90
3	FL06747-4P-10-5P-3P-M	P-V 2007	10.5	89
4	FL07201-6P-5-3P-3P-M	P-V 2008	9.4	84
5	FL08224-3P-2-1P-2P-M	P-V 2009	10.9	90
6	FL08378-3P-5-2P-2P-M	P-V 2009	11.4	87
7	FL08224-3P-2-1P-3P-M	P-V 2009	15.9	92
8	FL10129-12P-4-2P-3P-M	P-V 2011	12.1	88
9	“El Silverio” (Testigo)	P-V 2011	12.0	91

Cuadro 3. Rendimiento de grano y sus componentes, días a antesis y altura de planta en riego. Ciclo Otoño-invierno 2015. Sihochac, Champotón, Campeche.

No de genotipo*	RG (g p ⁻¹)	BMAF (g p ⁻¹)	IC (%)	NPP	NGP	PMG (g p ⁻¹)	DA
7	32a	64a	50a	16a	194a	39a	89bcd
2	30b	60b	51a	15a	177b	35b	91ab
6	24c	45c	47cd	13b	143d	34c	88cde
5	21d	36d	43f	10d	161c	31d	91ab
4	17e	32e	46de	9e	146d	30de	87de
1	15f	29f	48bc	9de	138e	29e	86e
3	14g	26g	47d	11c	133f	26f	91ab
9(Testigo)	13h	23h	45e	7f	118g	26f	92a
8	12h	23h	49b	6f	113h	26f	90abc
Media general	20	38	47	11	147	31	90
DMS (p≤0.05)	0.8	1.1	1.3	1.1	3.1	1.3	2.7

Medias con distinta letra en cada columna son estadísticamente diferentes (DMS, P≤0.05). RG: rendimiento de grano por planta; BMAF: biomasa aérea final; IC: índice de cosecha; NPP: Número de panículas por planta; NGP: número de granos por panícula; PMG: peso de mil granos; DA: días a floración.

Cuadro 4. Rendimiento de grano y sus componentes, días a floración y días a madurez fisiológica y altura de planta en sequía. Ciclo Otoño-invierno 2015. Sihochac, Champotón, Campeche.

No de genotipo*	RG (g p ⁻¹)	BMAF (g p ⁻¹)	IC (%)	NPP	NGP	PMG (g p ⁻¹)	DA	DM	AP (cm)
7	14a	26a	45a	11a	123a	27a	100abc	134d	72ab
2	14b	25b	45a	10b	118b	25b	100abc	142abc	60c
6	10e	16e	40b	7d	104e	23c	94e	139cd	67bc
5	12c	21c	45a	5f	113c	20g	98bcd	143ab	66bc
4	10e	16e	42b	8c	108d	20f	95ed	145a	80a
1	11d	17d	38c	7cd	112c	21e	103abc	139cd	62c
3	11d	16e	34d	6e	103e	22d	101ab	141bc	72ab
9 (testigo)	8f	14f	35c	3g	86g	17h	96ed	133e	65bc
8	8f	12g	36d	4.0g	97f	16i	97cde	144ab	63bd
Media general	11	18	40	7	107	21	98	140	67
DMS (p≤0.05)	0.3	0.5	1.9	0.8	2.5	0.5	3	3.3	9.6

Medias con distinta letra en cada columna son estadísticamente diferentes (DMS, P≤0.05). RG: rendimiento de grano por planta; BMAF: biomasa aérea final; IC: índice de cosecha; NPP: Número de panículas por planta; NGP: número de granos por panícula; PMG: peso de mil granos; DA: días a floración; DMF: días a madurez fisiológica.

Cuadro 5. Rendimiento de grano y sus componentes, días a floración, días a madurez fisiológica y altura de planta, promedio de los genotipos en riego y sequía. Ciclo Otoño-invierno 2015. Sihochac, Champotón, Campeche.

Nivel de Humedad	RG (g p ⁻¹)	BMAF (g p ⁻¹)	IC (%)	NPP	NGP	PMG (g p ⁻¹)	DA	DMF	AP (cm)
Riego	20a	38a	47a	11a	147a	31a	90b	125b	87a
Sequía	11b	18 b	40b	7b	107b	21b	98a	140a	67b
DMS (p≤0.05)	0.4	0.4	1	0.2	1.1	0.3	2.5	2.4	1.5

Medias con distinta letra en cada columna son estadísticamente diferentes (DMS, P≤0.05). RG = Rendimiento de grano (g); BMAF = Biomasa aérea final (g); IC = Índice de cosecha (%); NP P⁻¹ = panículas por planta⁻¹; NGP⁻¹ = Granos por panícula⁻¹; PMG= peso de mil granos; DA = Número de días a antesis; DMF = Número de días a madurez fisiológica.

CONCLUSIONES

El rendimiento de grano, biomasa aérea final, índice de cosecha, panículas por planta, granos por panícula y peso de mil granos y área foliar fue más alto en riego que en sequía. Las variables menos afectadas por la sequía fueron días a antesis (8.9%) y días a madurez fisiológica (12%). Los genotipos sobresalientes fueron el 2 y 7 quienes mostraron mayor rendimiento de grano y sus componentes.

LITERATURA CITADA

- Awio, T., B. Bua and J. Karungi. 2015. Assessing the effects of water management regimes and rice residue on growth and yield of rice in Uganda. *Amer. J. Experimental Agric.* 7 (2): 141-149.
- Bernier, J., G. N. Atlin, R. Serraj, A. Kumar and D. Spaner. 2008. Breeding upland rice for drought resistance. *J. Sci. Food. Agric.* 88:927–939.
- Blum, A. 2011. Drought tolerance: Is it a complex trait? *Funct Plant Biol*, 38(10): 753–757.
- Davatgar, N., M. R. Neishabouri, A. R. Sepaskhah and A. Soltani. 2009. Physiological and morphological responses of rice (*Oryza sativa* L.) to varying water stress management strategies. *Int. J. of Plant Prod.* 3(4): 19-32.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Quinta edición. Instituto de Geografía, UNAM. México, D.F. 217 p.
- Gana, A. S. 2011. Screening and resistance of traditional and improved cultivars of rice to drought stress at Badeggi, Niger State, Nigeria. *Agric. Biol. J. North Am.* 2(6): 1027–1031.
- INIFAP-FONDO SECTORIAL SAGARPA-CONACYT. 2016. Informe técnico de la quinta etapa del proyecto Sectorial No. 148859: Evaluación de materiales genéticos de arroz de grano largo delgado para las regiones productoras de México. INIFAP- CIRPAS- CE Zacatepec. 77 p.
- Kumar, A., A. Sarawgi, C. Ramos, S. T. Amarante, A. M. Ismail, and L. J. Wade. 2006. Partitioning of dry matter during drought stress in rainfed lowland rice. *Field Crops Res.* 96: 455–465.
- Kumar, S., S. K. Dwivedi, S. S. Singh, K. J. Lekshmy, R. Elanchezhian, O. N. Singh and B. P. Bhatt. 2014. Identification of drought tolerant rice genotypes by analysing drought tolerance indices and morpho-physiological traits. *SABRAO J. Breed. Genet.* 46 (2): 217-230.
- Maisura, A. C. Muhama. L. Iskandar, J. Ahmad and E. Hiroshi. 2014. Some physiological character responses of rice under drought conditions in a paddy system. *J. ISSAAS.* 20: 104-114.
- Osuna, C. F. J. 2001. Fundamentos de la Producción de Arroz. Folleto científico No. 1. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.- Campo Experimental. Zacatepec, Morelos. México. 62 p.
- Pandey, V., and A. Shukla. 2015. Acclimation and tolerance strategies of rice under drought stress. *Rice Sci.* 22: 147-161.
- Passioura, J. 2007. The drought environment physical, biological and agricultural perspectives. *Exp.Bot.* 58:113-117.
- Sabar, M. and M. Arif. 2014. Phenotypic response of rice (*Oryza sativa*) genotypes to variable moisture stress regimes. *Int. J. Agric. Biol.* 16: 32–40.
- SAS. 2009. The SAS System release 9.1 for Windows. Cary, North Carolina, United States: SAS Institute, Inc.
- Sokoto, M. B. and A. Muhammad. 2014. Response of rice varieties to water stress in Sokoto, Sudan Savannah, Nigeria. *J. Biosciences and Medicines.* 2: 68-74.
- Turner, N. C., J. C. O' Toole, R. T. Cruz, E. B. Yambao. S. Ahmad, O. S. Namuco and M. Dingkuhn. 1986. Responses of seven diverse rice cultivars to water deficits. II. Osmotic adjustment, leaf elasticity, leaf extension, leaf death, stomatal conductance and photosynthesis. *Field Crops Res.* 13: 273-286.
- Zhu, J. K. 2002. Salt and drought stress signal transduction in plants. *Annu. Rev. Plant Biol.* 53: 247–273.

**PRODUCCION DE *Capsicum chinense* var. Orange POR CHUPONES PARA EL
DESARROLLO DE TALLOS BAJO HIDROPONIA EN TABASCO, MEXICO**
PRODUCTION OF *Capsicum chinense* var. Orange FOR CHUPONES FOR THE DEVELOPMENT OF
STEMS UNDER HYDROPONICS IN TABASCO, MEXICO

López Carrillo J, Brito Vega H, Gómez Méndez E, Salaya Domínguez JM

Division Academica de Ciencias Agropecuarias-Universidad Juarez Autonoma de Tabasco
Autor para correspondencia: hortensia.brito@ujat.mx

RESUMEN

Debido al costo elevado de las semillas de certificada de chile tipo habanero, para este gasto se propone el uso de chupones de tallos que puede ser una alternativa para obtener frutos de calidad tipo I. El objetivo de esta investigación fue comparar el rendimiento de *Capsicum chinense* variedad orange conducidos a uno y dos tallos derivados de chupones sin podar, con plantas provenientes de semillas en hidroponía y sistema protegido en el Estado de Tabasco. El experimento se estableció del 09 de septiembre de 2017 al 19 de mayo de 2018. Se empleó semillas certificadas variedad oranges. Como sustrato se utilizó tepetzil y la nutrición se realizó con la solución nutritiva Steiner. El diseño experimental fue bloques completamente al azar, con tres tratamientos. Las variables agronómicas analizadas fueron: Rendimiento de fruto (kg m^{-2}), Peso seco del fruto g, peso promedio de frutos (g), tamaño del fruto (diámetro polar y ecuatorial), y cuatro cortes para la cosecha. El uso de chupones para tallo presentó resultados similares en comparación a las plantas provenientes de dos y tres tallos por bolsa, para las variables agronómicas evaluadas, además se observó una mayor precocidad. Asimismo se observaron mejores resultados en las densidades altas, independientemente al tallo y conducción, para la calidad del fruto tipo I.

Palabras clave: *Chupones para tallos, hidroponía, calidad, rendimiento*

INTRODUCCION

En México, el chile tipo habanero es ampliamente consumido especialmente en los estados de Yucatán, Quintana Roo, Campeche y Tabasco. Yucatán ocupa uno de los primeros lugares de importancia en cuanto a la siembra de esta hortaliza. En los sistemas hidropónicos la solución nutritiva y el sustrato tienen una función importante en el desarrollo de las plantas (Tucuch-Haas et al., 2012). El estado de Yucatán es el principal productor de chile habanero con una superficie sembrada de 708 ha y un volumen de producción de 3295 Mg, seguido por los estados de Tabasco, Campeche y Quintana Roo (Aceves, et al., 2008). La producción de cultivos hortícolas en condiciones protegidas y el uso de sistemas hidropónicos han permitido incrementos en rendimientos y calidad de frutos, al propiciar un ambiente poco restrictivo que facilita el crecimiento y desarrollo de las especies hortícolas (Muñoz-Ramos, 2004) que ayuda a resolver la necesidad de los alimentos de la población. Con respecto al chile tipo habanero (*Capsicum chinense* L.) es una especie de gran importancia económica a nivel estado. En la actualidad, se ha convertido en una de las hortalizas más populares y cultivadas en casi en todo México, siendo la base de una importante industria agraria. Sus frutos, además de consumirse frescos, se procesan para la obtención de salsas, cremas, concentrados, conservas, etc. (Diez, et al., 1996). La producción del chile tipo habanero representa una alternativa económica muy atractiva durante el ciclo otoño-invierno en temporal, debido al elevado rendimiento, alta calidad del fruto y elevados precios que alcanza éste durante la época invernal; sin embargo, dicha actividad productiva debe llevarse a cabo en invernaderos, por las restricciones ambientales que limitan el cultivo a cielo abierto en esa época. Los rendimientos que se pueden alcanzar en bajo estructura protegida con cubierta plástica con tecnología intermedia son $130 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$; al usar tecnología mediana-alta se alcanzan $180 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, y con alta tecnología se logran hasta $250 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. De todos los tipos de chiles que existen en el Estado, el chile tipo habanero es el único que requiere de poda. Esta práctica se realiza cuando la planta empieza a gajear o producir brotes que se convierten en nuevos tallos; esto sucede cuando la planta tiene 40 días de establecida en el campo definitivo, el número de tallos varía de 4 a 7 destacando el tallo principal, que se identifica como el de mayor grosor (Prado, 2006). El objetivo de la investigación fue comparar el rendimiento de *Capsicum chinense* variedad orange conducidos a uno y dos tallos derivados de chupones sin podar, con plantas provenientes de semillas en hidroponía y sistema protegido en el Estado de Tabasco.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

El experimento se estableció de septiembre de 2017 a mayo de 2018 en el área de invernaderos de la DACA-UJAT, localizada entre los 17° 46'56" de latitud norte y los 92° 57'28" de longitud oeste, en una estructura protegida de tipo megavent de 8.22 m de ancho por 20 m de largo. El sitio presenta elevaciones entre 20 y 50 msnm (Palma y Cisneros, 2000). De acuerdo al sistema de Köppen modificado por García (1973), el clima del área de estudio es un Af (m) W'(i)g, es decir clima cálido húmedo con altas precipitaciones en el verano. La temperatura media anual es de 26.5° C, con máximas de 39° C en mayo y mínimas de 13.7° C en febrero. La precipitación media anual es de 2,123 mm presentándose más del 70% entre mayo y noviembre (CONAGUA, 2017). La evaporación alcanza niveles altos, sobre todo en la época de seca, registrándose valores totales anuales de 1,316 mm.

El Material genético

Se utilizan semillas certificadas de la variedad orange, el trasplante se realizó el 23 de octubre de 2017.

El Diseño experimental

Los tratamientos se distribuyeron dentro del invernadero con un diseño experimental de bloques completamente al azar, con tres tratamientos y 10 repeticiones, teniendo un total de 30 unidades experimentales, donde cada unidad experimental consistió en una bolsa de polietileno negro para vivero, calibre 400 de 18 L (contenedor) con la planta.

Labores Culturales

1) La siembra de las semillas se realizó en charolas de plástico de 200 cavidades, empleando como sustrato turba canadiense, los riegos se hicieron con agua de pozo hasta que se presentó la emergencia de las hojas cotiledones, posteriormente se regó con la solución nutritiva Steiner (1961), al 25% hasta el trasplante. 2) **El Fertirriego** se hicieron con la solución nutritiva Steiner al 25% Steiner (1961) hasta el trasplante que ocurrió a los 40 días después del establecimiento o bien cuando empezó el desarrollo radicular. El pH se mantuvo entre 6 y 6.5 y conductividad eléctrica de 3.5 ds.m⁻¹. Con base en trabajos previos la necesidad hídrica del cultivo se suplió con ocho riegos diarios. La nutrición de la planta se realizó con la solución nutritiva De Steiner (1961), empleando fertilizantes comerciales. La duración estuvo determinada en función de la fase fenológica de la planta y las condiciones ambientales. Durante los primeros 40 días se suministró 0.3 litros por planta al día, durante los siguientes 50 días se incrementó el 0.8 litros diarios por planta y finalmente el resto del ciclo se aportó 1.5 litros por planta diariamente, mediante sistema de riego por goteo. 3) **El Trasplante** el trasplante se realizó a los 40 días después de la siembra, en bolsas negras para vivero (20x30 cm), que contenían como sustrato tepetzil material de origen volcánico, previamente desinfectado. 4) **El Tutoreo** se llevó a cabo con cordón de rafia al inicio de la floración que fue apoyado en alambres galvanizados a una altura de 4 m. 5) **La Poda** se realizó semanales a partir de la salida de brotes laterales cuando estos alcanzaron de 3 a 5 cm de largo (Velasco y Nieto, 2006), con la finalidad de conducir la planta a uno o dos tallos dependiendo del tratamiento. Las podas de hojas se realizaron semanales eliminando hojas viejas. 6) **La Polinización** se realizó de forma manual todos los días entre las 10 y 12 horas moviendo las plantas, y 7) **La cosecha** se realizó cuando el racimo completo presento el 90% de frutos de color verde brillante y clasificándolos en comerciales y no comerciales.

Las variables agronómicas evaluadas fueron:

a) Rendimiento de fruto comercial en kg m⁻², donde se pesaron los frutos comerciales y se obtuvo una sumatoria por bolsa posteriormente se multiplico por la cantidad de bolsas por m⁻² y para tenerlo por t ha⁻¹ se multiplicó por 10000.

b) Número de frutos/m⁻², donde se contabilizaron los frutos comerciales por racimo de cada planta y se obtuvo el total por planta y por m⁻² y para tenerlo por t ha⁻¹ se multiplicó por 10000.

c) Peso promedio por planta y peso promedio de fruto en gramo (g), para lo cual se consideró el peso total comercial por m⁻² dividido entre el número de frutos comerciales por m⁻².

d) Calidad del fruto se realizó la medición del Diámetro polar y ecuatorial, se midió con un vernier digital, el ancho longitudinal y transversal (diámetro/ cm).

e) Clasificación del fruto por calidad I, II y III

Los Análisis de datos

Con los datos se realizaron el análisis de varianza y pruebas de comparación de medias Tukey al (0.05%) con el programa Statistical Analysis System, versión, 9.00 (SAS, 2002).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo a los resultados del Cuadro 1 se observa que los frutos de chile estarían en la categoría I de la calidad de fruto, porque cumple con las características que menciona dicha categoría, se encuentra en el calibre 1, la longitud promedio del fruto es <4 cm. Norma Oficial Mexicana, para Chile tipo Habanero Orange. Referente a los rendimientos por corte por hectárea podemos ver que los rendimientos son altos por lo que es rentable la producción de chile habanero bajo estructura protegida en hidroponía con un tallo/bolsa (57,800 t·ha⁻¹), porque se le pueden dar las condiciones necesarias para su crecimiento y desarrollo.

Cuadro 1: Rendimiento y calidad del fruto de chile tipo habanero cultivado en diferentes tallos en hidroponía.

Tratamientos	Diámetro Polar (cm)	Diámetro Ecuatorial (cm)	Peso Seco (g)	Rendimiento (t·ha ⁻¹)
1er corte				
Un tallo/bolsa	4.19a*	2.75ab	8.72b	11,300ab
Dos tallo/bolsa	4.23b	2.91ab	10.01ab	11,700a*
Tres tallo/bolsa	4.61b	2.8ab	10.85a*	11,500ab
2do corte				
Un tallo/bolsa	3.65b	2.65ab	7.35b	57,800a*
Dos tallo/bolsa	3.84a*	2.76ab	8.52a*	54,300ab
Tres tallo/bolsa	3.9b	2.55ab	7.94b	47,800ab
3er corte				
Un tallo/bolsa	3.83a*	2.62ab	8.36a*	70,600a*
Dos tallo/bolsa	3.44b	2.59ab	7.19b	46,800ab
Tres tallo/bolsa	3.69ab	2.56ab	7.41b	48,900ab
4to corte				
Un tallo/bolsa	4a*	2.95a*	9.85a*	58,700a*
Dos tallo/bolsa	3.6b	2.74ab	8.05b	49,800ab
Tres tallo/bolsa	3.36b	2.55ab	9.31ab	45,400ab

*Definición: a (hay diferencia entre tratamientos), ab (no hay diferencia entre tratamientos), una sola letra significa diferencia entre tratamientos.

Por su parte Ramírez-Luna et al. (2005), mencionan que las plantas de chile tipo habanero desarrolladas en invernadero tienen mayor número de flores y frutos, pero con fruto pequeño, en contraste con la producción en campo se obtienen frutos grandes; atribuyendo el menor tamaño de fruto, a la baja Intensidad de luz en el invernadero, condición que favorece plantas más grandes, tallos delgados, pero de frutos pequeños. Esto tiene relación porque el cultivo de chile tipo habanero bajo cubierta plástica, a diferencia de las condiciones a cielo abierto, no recibe la misma polinización por viento o por insectos.

CONCLUSIONES

El uso de chupones para tallo presentó resultados similares en comparación a las plantas provenientes de semilla, para las variables agronómicas evaluadas, además se observó una mayor precocidad. Asimismo se observaron mejores resultados en las densidades altas, independientemente del método de propagación y conducción, para la calidad del fruto tipo I. Referente a los rendimientos por corte por hectárea podemos ver que son altos por lo que es rentable la producción de chile habanero bajo estructura protegida en hidroponía con un tallo/bolsa (57,800 t·ha⁻¹), porque se le pueden dar las condiciones necesarias para su crecimiento y desarrollo.

LITERATURA CITADA

Aceves N., L. A., J. F. Juárez L., D. J. Palma L., R. López L., B. Rivera H., J. A. Rincón R., R. Morales C., R. Hernández A. y A. Martínez S. 2008. Estudio para determinar zonas de alta potencialidad del cultivo del chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) en el estado de Tabasco. Gobierno de

- Tabasco, Secretaria de Desarrollo Forestal y Pesca, DEIDRUS-TAB, INIFAP, SAGARPA y Colegio de Postgraduados. Villahermosa, Tabasco, México.
- Christianede F.M., Françaab John M., DoleaAlicain S., Carlsona Fernando L., Fingerb. Effect of postharvest handling procedures on cut *Capsicum* stems. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.04.010>
- Norma NMX-FF-025-SCFI-2007, 2018. <http://cide.uach.mx/pdf/NORMAS%20MEXICANAS%20NMX/PRODUCTOS%20ALIMENTICIOS%20NO%20INDUSTRIALIZADOS%20PARA%20USO%20HUMANO/PRODUCTOS%20ALIMENTICIOS%20NO%20INDUSTRIALIZADOS%20PARA%20CONSUMO%20HUMANO.%20CHILE%20FRESCO.pdf> (consultado el 03 de marzo de 2018).
- Tucuch-Haas, C. J., Alcántar-González, G., Ordaz-Chaparro, V. M., Santizo-Rincón, J.A., & Larqué-Saavedra, A.. (2012). Producción y calidad de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) con diferentes relaciones $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ y tamaño de partícula de sustratos. *Terra Latinoamericana*, 30(1), 9-15. Recuperado en 15 de junio de 2018, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792012000100009&lng=es&tlng=es.

EVALUACIÓN PRODUCTIVA DE LA DIVERSIDAD GENÉTICA DE CALABAZA CHIHUA
***Cucurbita argyrosperma* Huber var. *argyrosperma* EN LA PENÍNSULA DE YUCATÁN**
PRODUCTIVE EVALUATION OF THE GENETIC DIVERSITY OF CHIHUA SQUASH *Cucurbita*
***argyrosperma* Huber var. *argyrosperma* IN THE YUCATAN PENINSULA**

García Sandoval JA, Villalobos González A

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Chetumal. Km 25 Carretera Chetumal-Bacalar, Xul-Ha, Othón P. Blanco, Quintana Roo.
Autor para correspondencia: garcia.angel@inifap.gob.mx

RESUMEN

En la Península de Yucatán la calabaza ocupa un lugar preponderante en la milpa maya, pues su cultivo se remonta a miles de años y a una gran diversidad de especies de esta hortaliza. El objetivo fue explorar el potencial de rendimiento de semilla seca que tiene la calabaza chihua procedente de los tres estados de la península de Yucatán. El sitio experimental fue el Campo Experimental Chetumal, ubicado en el Km 25 carretera Chetumal-Bacalar, Xul-Ha, OPB, Quintana Roo. Se evaluaron siete poblaciones de calabaza chihua colectadas en los tres estados. La siembra fue directa el 6 de junio de 2017, depositando 3 semillas por punto de siembra separados a 1.5 m y 3.0 m entre surcos. Los tratamientos se acomodaron en un diseño de bloques al azar con tres repeticiones. Los resultados indicaron que, con excepción de la población chihua norte, la floración masculina más precoz ocurrió a los 29 Días Después de Germinación y la más tardía con 36 DDG; es decir hubo una diferencia de una semana en este tipo de floración. De las siete variables incluidas sólo número de frutos, frutos por planta y peso del fruto presentaron diferencias significativas entre los tratamientos ($P \leq 0.05$), el resto tuvieron resultados estadísticamente iguales. En el rendimiento de semilla seca no hubo diferencias estadísticamente, sin embargo, se apreció una diferencia de 300 kilogramos entre Becal y chihua norte clasificadas como la mejor y la peor población.

Palabras clave: *Calabaza chihua, colectas, productividad, península de Yucatán*

INTRODUCCION

En la Península de Yucatán la calabaza ocupa un lugar preponderante en la milpa maya, pues su cultivo se remonta a miles de años y a una gran diversidad de especies de esta hortaliza. Con respecto al monocultivo de calabaza chihua, la península encabeza la estadística nacional superando las 22 mil hectáreas anuales, las cuales se distribuyen de la siguiente manera; Campeche 78%, Quintana Roo 16% y Yucatán con sólo el 8% de la superficie (SIAP, 2018).

Quintana Roo está teniendo una acelerada aceptación del monocultivo de calabaza conocida regionalmente como chihua y cuyo producto principal es la semilla o pepita, la cual es comercializada a través de intermediarios a los diferentes centros de abastos del mercado nacional o bien a las industrias que utilizan la pepita como condimento alimenticio, extracción de aceite o productos de belleza. La estadística nacional reporta apenas cinco años de siembra ininterrumpida donde la superficie promedio superó las 2 mil hectáreas y un rendimiento de 0.65 t ha^{-1} de semilla seca (SIAP, 2018).

Con el entendido que la calabaza es un cultivo de polinización cruzada; es decir, presenta un 100% de dependencia entomófila para cumplir en forma efectiva con la fase reproductiva, es posible inferir que las poblaciones que existen, dependiendo de la entidad y las localidades que las conservan, son ampliamente variables en aspectos fenológicos y productivos.

Con el fin de explorar el potencial de rendimiento de semilla seca que tiene la calabaza chihua en la península de Yucatán, se realizó un experimento para evaluar una muestra de poblaciones criollas de calabaza colectadas en los tres estados que la conforman.

MATERIALES Y MÉTODOS

El sitio experimental fue el Campo Experimental Chetumal, ubicado en el Km 25 carretera Chetumal-Bacalar, Xul-Ha, OPB, Quintana Roo. El tipo de suelo utilizado se relaciona con los Luvisoles crómicos. Los materiales establecidos en campo fueron los siguientes:

Cuadro 1. Descripción de los tratamientos establecidos en campo durante P-V 2017.

Tipo de Calabaza	Procedencia	Nombre
Chihua	Campeche	Becal
Chihua	Campeche	Pixoyal
Chihua	Campeche	Edzná
Chihua	Yucatán	Chihua Norte
Chihua	Yucatán	Chihua local
Chihua	Quintana Roo	Cacao
Chihua	Quintana Roo	CEChet

La siembra fue directa el 6 de junio de 2017, depositando 3 semillas por punto de siembra separados a 1.5 m y 3.0 m entre surcos. Ante el daño de trozadores que se tuvo, se realizó inmediatamente una resiembra para tratar de lograr el máximo número de plantas por tratamiento y repetición.

El manejo agronómico que recibieron las colectas fue de acuerdo al paquete tecnológico de la calabaza chihua bajo temporal sugerido por el INIFAP en el estado de Quintana Roo.

Los siete tratamientos se acomodaron en un diseño de bloques al azar con tres repeticiones. Cada parcela constó de cuatro surcos de 7.5 m de largo y 3 m entre ellos.

Las variables consideradas fueron: días a floración masculina, días a floración femenina, número de frutos/ha, rendimiento de frutos/ha, frutos/planta, peso/fruto, relación semilla/peso de frutos, semilla seca/fruto y rendimiento de semilla seca. Los resultados fueron contrastados por análisis de varianza y comparación de medias a través del estadístico SAS.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Días a floración. Los registros fenológicos indicaron que, con excepción de la población chihua norte, la floración masculina más precoz ocurrió a los 29 Días Después de Germinación (DDG) y la obtuvo el material denominado Cacao de Quintana Roo; en tanto, la más tardía con 36 DDG fue para el material procedente de Yucatán llamada chihua norte; es decir, hubo una diferencia de una semana en este tipo de floración; al respecto, Villalobos *et al.*, (2018) reporta un rango muy similar de floración en tres poblaciones colectadas en Campeche. En tanto, García y Dzul (2017) señalan que la calabaza chihua local inició su floración a los 31 días después de germinación, algo muy parecido a los reportado. En el caso de la floración femenina ésta ocurrió uno o dos días después de la flor masculina en la mayoría de las poblaciones, sólo en el material chihua norte la diferencia se amplió a cuatro días, fluctuando así de 31 a 40 días de la germinación; en este tipo de floración, Villalobos *et al.*, (2018) menciona un promedio de 36 días; es decir, resultados casi idénticos a lo encontrado en las condiciones de Quintana Roo (Figura 1).

Del Cuadro 2 se desprende que de las siete variables incluidas sólo número de frutos, frutos por planta y peso del fruto presentaron diferencias significativas entre los tratamientos ($P \leq 0.05$), el resto tuvieron resultados estadísticamente iguales ($P \geq 0.05$).

En el caso de la variable más importante en este cultivo que es el **rendimiento de semilla seca**, las poblaciones fueron iguales estadísticamente; sin embargo, el rendimiento más alto lo alcanzó Becal procedente de Campeche con una producción cercana a los 500 kg ha⁻¹ y una diferencia de 300 kg con la población denominada chihua norte enviada de Yucatán, que mostró menos adaptación a este sistema, ya que apenas superó los 200 kg ha⁻¹ (Figura 2). García y Dzul (2017) reportan en un ensayo de calabaza chihua local variando la densidad de plantas y la cantidad de fertilizantes por planta, un rendimiento potencial de semilla seca entre 0.8 a 1.9 t ha⁻¹, valores muy alejados de los obtenidos en estas poblaciones de chihua. Esta diferencia tan marcada se debió, en gran medida, a que el cultivo de calabaza fue sometido a fuerte estrés por falta de humedad, ya que sólo recibió 6 mm de lluvia durante el periodo reproductivo.

Número de frutos por hectárea. Con respecto a esta variable la prueba de medias Tukey mostró que estadísticamente la mejor fue Becal (7,851 frutos) procedente de Campeche y la peor recayó en la chihua norte de Yucatán con una diferencia de 3,300 frutos. Cabe resaltar a las poblaciones de Cacao y Chet de Quintana Roo y Edzná de Campeche con cantidades superiores a los siete mil frutos, ligeramente debajo de la mejor (Figura 3).

Para **rendimiento de fruto** no hubo diferencias estadísticas; sin embargo, repite con el valor más alto la población de Becal, Campeche, con 13.9 t ha⁻¹, seguida por chihua local y Edzná que tuvieron

rendimientos de 11.35 y 11.33 t ha⁻¹, respectivamente. En este caso y con diferencia de casi 6 toneladas se ubicó en último lugar al material chihua norte procedente de Yucatán (Figura 4).

En Figura 5 se presenta la **carga de frutos por planta**, donde Tukey clasificó a Becal, chihua local, Cacao y Cechet sin diferencias estadísticas y como mejores en este rubro, aunque Becal es el único que rebasó los 3 frutos/planta. También se puede ver que chihua norte continuó como la población menos adaptada, ya que tuvo el amarre de frutos por planta más bajo (1.69).

Con relación al **peso de fruto**, la comparación de medias Tukey señaló a chihua norte (1.82 kg) y Becal (1.73 kg) con los valores más altos y estadísticamente iguales; asimismo, a la población de Cacao con el más bajo de todos (1.34 kg). En esta variable las dos poblaciones de Quintana Roo (Cacao y Cechet) y Edzná de Campeche registraron pesos inferiores a la media general ubicada en 1.6 kg (Figura 6).

Semilla seca por fruto. Sin diferencia estadísticas entre las poblaciones; sin embargo, nuevamente Becal sobresale de las demás, en este caso una diferencia mayor a 15 gr con la más baja, chihua norte (Figura 7).

Proporción peso fruto/semilla seca. Este índice tampoco mostró diferencias entre las poblaciones, pero se observa una brecha de 0.23% de semilla entre el material llamado Cacao y la chihua norte que polarizaron los registros (Figura 8).

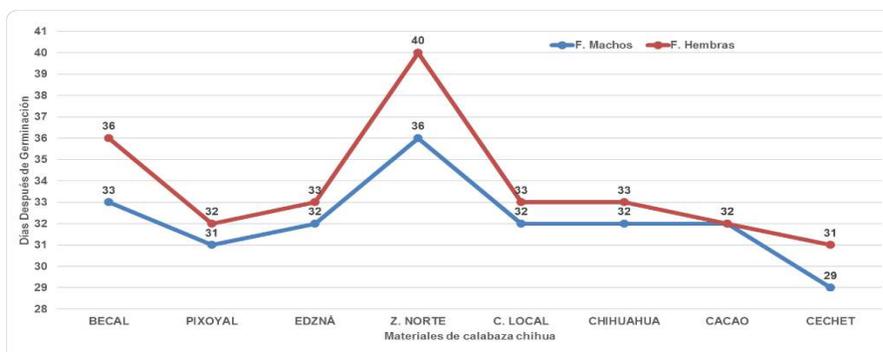


Figura 1. Días a Floración masculina y femenina de los materiales de Calabaza chihua evaluados bajo condiciones temporal en Q. Roo. Ciclo P.V 2017

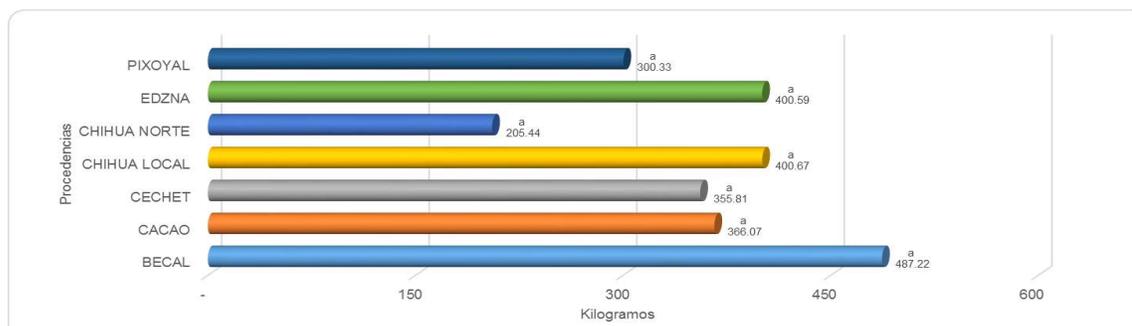


Figura 2. Rendimiento potencial de semilla seca generado por las diferentes poblaciones de Calabaza chihua bajo condiciones de temporal en Quintana Roo ciclo P-V 2017 C.E. Chetumal.

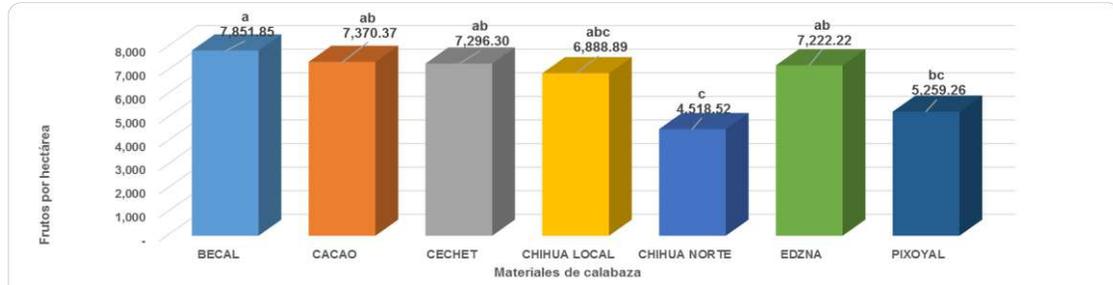


Figura 3. Cantidad de frutos por hectare generados por los materiales de Calabaza chihua procedentes de los tres estados de península de Yucatan ciclo P-V 2017 C.E. chetumal

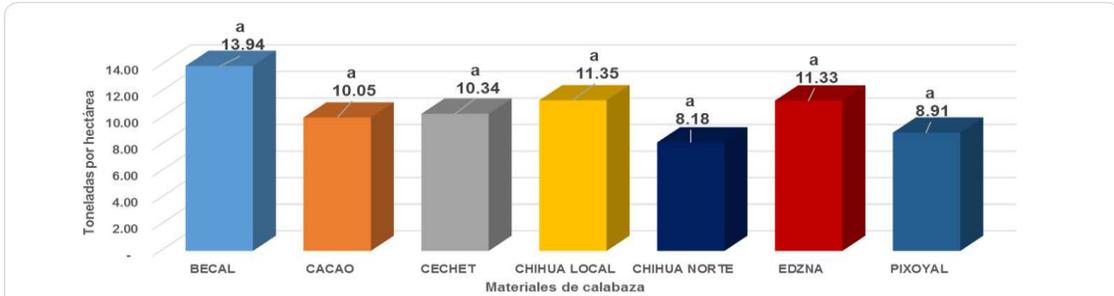


Figura 4. Rendimiento Potencialde Frutos generados por los materiales de Calabaza chihua procedentes de los tres estados de la península de Yucatan Ciclo P-V 2017. Campo Experimental Chetumal

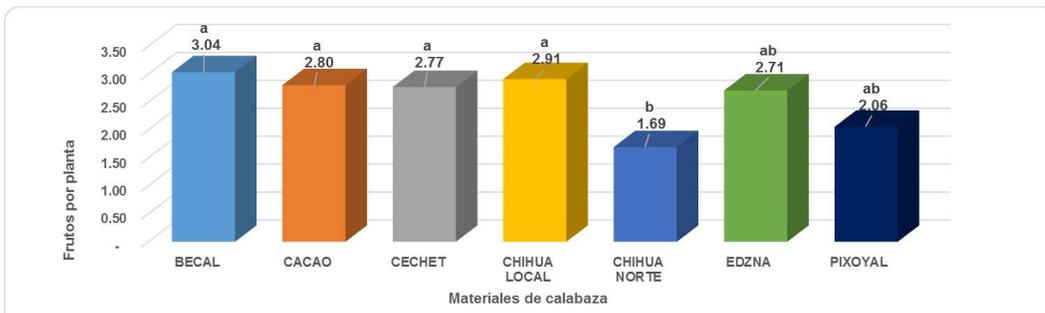


Figura 5. Cantidad de Frutos por Planta que generaron los materiales de Calabaza Chihua procedentes de los tres estados de la península de Yucatan. Ciclo P-V 2017 C.E. Chaetumal.

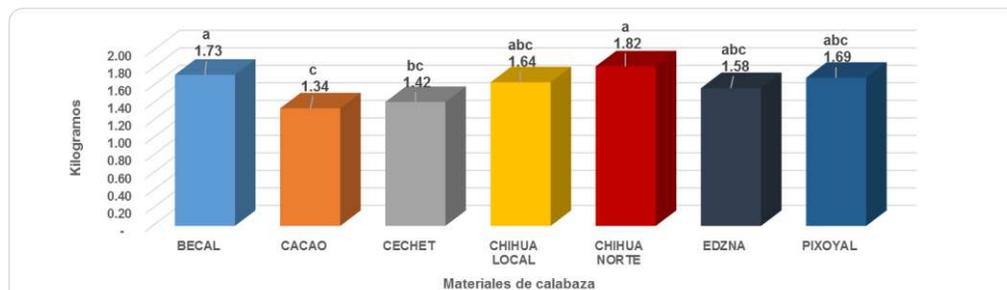


Figura 6. Peso Promedio de Fruto alcanzado por los materiales de Calabaza Chihua procedentes de los tres estados de la península de Yucatan Ciclo P-V 2017 C.E. Chetumal.

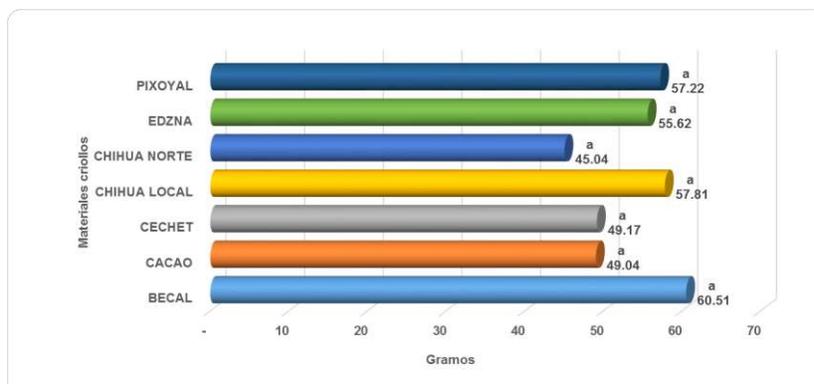


Figura 7. Cantidad de semilla seca por fruto generada por las diferentes poblaciones de Calabaza Chihua bajo condiciones de temporal en Q. Roo Ciclo P-V 2017 C.E. Chetumal.

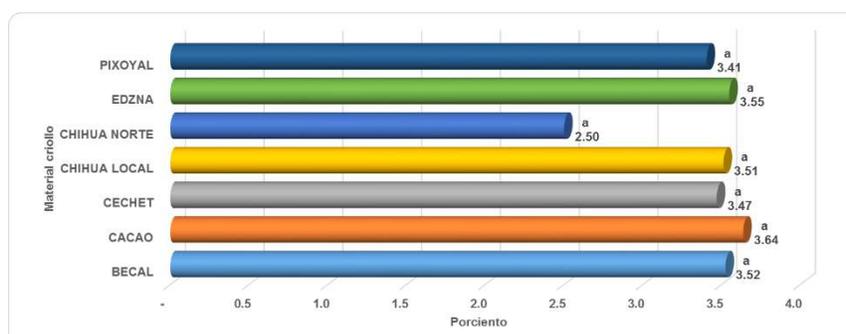


Figura 8. Proporción peso de Fruto semilla seca generada por las diferentes poblaciones de Calabaza chihua bajo condiciones de temporal en Q. Roo ciclo P.V 2017 C.E. Chetumal

Cuadro 2. Resultados de ANOVA a los componentes del rendimiento de diferentes poblaciones de calabaza chihua evaluadas bajo condiciones de temporal en Quintana Roo. Ciclo P-V 2017.

Variable	Cuadrado medio	Error	Coefficiente de variación	Media	Significancia
# de Frutos/ha	4620540.54	771270.09	13.24	6629.48	**
Rto de frutos/ha	10.6787	5.3632	21.87	10.586	ns
Frutos/planta	0.7393	0.1312	14.1	2.57	**
Peso/fruto	0.0869	0.0292	10.66	1.6	*
Relación semilla/frutos	0.4305	0.3367	17.57	3.3	ns
Semilla seca/fruto	98.1768	81.3604	16.84	53.48	ns
Rto de semilla seca	23493.64	8760.71	26.04	359.45	ns

CONCLUSIONES

- Se identificó amplia diversidad genética dentro y entre las poblaciones de calabaza chihua colectadas en los tres estados de la península de Yucatán.
- Los materiales evaluados iniciaron la etapa reproductiva a los 32 (♂) y 34 (♀) días después de germinación; detectándose diferencias de una semana en floración masculina y hasta cuatro días en floración femenina.
- El mayor rendimiento de frutos fue para Becal, procedente de Campeche con 13.94 t ha⁻¹ y la menos productiva fue chihua norte enviada de Yucatán con una diferencia de 5.76 t ha⁻¹ con respecto a la producción más alta.
- El mejor y peor rendimiento de semilla seca, en este año en particular, fue para Becal de Campeche (487 kg ha⁻¹) y chihua norte de Yucatán (205 kg ha⁻¹), respectivamente.
- La población procedente de Becal, Campeche, se posicionó como mejor en frutos por hectárea, frutos por planta y semilla seca por fruto con 7.851 frutos/ha, 3.04 frutos y 60.51 gramos/fruto, en forma respectiva.

- En la proporción peso de fruto/peso de semilla seca sobresalió la población de Quintana Roo denominada Cacao con el porcentaje más elevado (3.64%) y chihua norte de Yucatán con el más bajo (2.5%).

LITERATURA CITADA

- García, S.J.A. y Dzul, U.D. 2017. Caracterización fenológica y productiva de la calabaza chigua (*Cucurbita argyrosperma* Huber Var. *argyrosperma*) en Quintana Roo. Memorias. Seguridad alimentaria: Aportaciones científicas y agrotecnológicas. UJAT. Noviembre 2017, Villahermosa, Tabasco, México. pp 109-112.
- SIAP, 2018. <http://www.siap.gob.mx/>, consultado el 4 de junio de 2018.
- Villalobos, G.A., Rangel, F.M.A., García, S.J.A y Tucuch, H.J.I. 2018. Respuesta de calabaza nativa en condiciones de temporal en Campeche, México. Compendio de resúmenes. LXIII reunión anual del programa cooperativo centroamericano para el mejoramiento de cultivos y animales (PCCMCA): Innovación tecnológica para el desarrollo sostenible del agro y la soberanía alimentaria. 23 al 27 abril de 2018, Panamá. p 52.

CITLALI: VARIEDAD DE PAPA TOLERANTE A LA ENFERMEDAD “ZEBRA CHIP”
CITLALI: POTATO VARIETY TOLERANT TO ZEBRA CHIP DISEASE

¹Rubio Covarrubias OA, ²Cadena Hinojosa MA, ²Vázquez Carrillo MG, ¹Flores López R

¹Sitio Experimental Metepec del INIFAP. Conjunto SEDAGRO s/n San Lorenzo Coacalco Metepec
Estado de México CP 52140

²Campo Experimental Valle de México. Carretera Texcoco-los Reyes Km.13.5, Texcoco, Coatlinchan,
Texcoco, Mex. CP 56250.

Autor para correspondencia: rubio.oswaldo@inifap.gob.mx

RESUMEN

La enfermedad de la papa conocida como “zebra chip” o punta morada (*Candidatus liberibacter solanacearum*) ha llegado a constituir un severo problema en la mayor parte de las zonas productoras de este tubérculo, principalmente en la zona centro de México. Los tubérculos infectados desarrollan una coloración interna oscura, por lo que tienen menor valor o son rechazados por la industria y por el mercado en fresco. En respuesta a este problema, investigadores del INIFAP han generado, evaluado y seleccionado a la variedad Citali, la cual tiene tolerancia al manchado interno del tubérculo. La validación de la variedad Citali durante varios años por investigadores del INIFAP en colaboración con agricultores cooperantes de diferentes lugares de México, ha demostrado las ventajas que tiene esta variedad sobre Fianna, la cual es la principal variedad en el mercado. El rendimiento de Citali fue igual o ligeramente superior que el de Fianna en la mayoría de los sitios, sin embargo, la incidencia de la punta morada de la papa en Citali fue 15% menor que en Fianna y la intensidad del manchado interno en los tubérculos infectados fue 50% menor en Citali que en Fianna. Estas diferencias significan mayor calidad de los tubérculos y consecuentemente mayor precio, por lo que las ganancias de los productores pueden incrementarse.

Palabras clave: variedades *solanum tuberosum zebra chip*

INTRODUCCION

Uno de los principales problemas que afecta la producción de papa en la mayor parte de las zonas productoras en la República Mexicana es la enfermedad conocida como “zebra chip” (ZC) o punta morada de la papa (Rubio *et al.*, 2015). El agente causal de la enfermedad es la bacteria *Candidatus Liberibacter solanacearum*, la cual es transmitida por el psilido de la papa (*Paratrioza cockerelli*) (Hansen *et al.*, 2008); Liefting *et al.*, 2008). Esta enfermedad también se presenta en los países de Centro América, Estados Unidos y Nueva Zelanda (Munyaneza, 2012). Actualmente su control se basa principalmente en el uso intensivo de insecticidas, consecuentemente se eleva el costo del cultivo y el riesgo de contaminación del medio ambiente. La siembra de variedades tolerantes a ZC es una estrategia básica en un esquema de control integrado de la enfermedad. En respuesta a este problema, investigadores del INIFAP han generado, evaluado y seleccionado clones de papa que han mostrado tolerancia al manchado interno del tubérculo (Cadena *et al.*, 2003; Rubio *et al.*, 2013; Díaz *et al.* 2014; Rubio *et al.*, 2015; Rubio *et al.*, 2017) el cual es el principal síntoma de la enfermedad que causa pérdidas económicas a los agricultores, ya que los tubérculos enfermos generalmente son rechazados por la industria y por el mercado en fresco. Entre los genotipos sobresalientes, se ha seleccionado al clon con clave 5-10 para ser liberado como variedad con el nombre de Citali, por tener tolerancia a la enfermedad y presentar buenas características comerciales y agronómicas. Los países desarrollados que tienen el problema de la punta morada de la papa, principalmente Estados Unidos y Nueva Zelanda, están realizando grandes esfuerzos en la generación de variedades resistentes, sin embargo, hasta el momento no se han liberado variedades resistentes en ninguna parte del mundo (Munyaneza, 2012). La nueva variedad, Citali, solo tiene tolerancia a la enfermedad, es decir, no tiene un nivel alto de resistencia, sin embargo, representa una mejor opción que otras variedades comerciales. Los síntomas de ZC se caracterizan por un achaparramiento de la planta, abultamiento del tallo en los lugares de inserción de las hojas, formación de tubérculos aéreos y las hojas superiores tienden a adquirir una coloración morada en algunas variedades. Los tubérculos provenientes de plantas con síntomas de ZC desarrollan un pardeamiento interno y generalmente no brotan, o si lo hacen, sus brotes son muy delgados o ahilados. El manchado interno de los tubérculos en forma de estrías se intensifica después de freír los tubérculos, este patrón de coloración es lo que

ha conducido a que la enfermedad se denomine “Zebra Chip” en los Estados Unidos (Munyaneza, 2012). Se ha demostrado que los síntomas foliares descritos previamente también pueden estar asociados con la presencia de fitoplasmas (Maramorosch, 1998) y por el daño directo del psilido de la papa *Bactericera cockerelli* (Munyaneza, 2012). Sin embargo, el manchado interno de los tubérculos ha sido asociado solamente con la presencia de *Candidatus Liberibacter solanacearum* (Venkatesan *et al.*, 2010).

MATERIALES Y MÉTODOS

Los progenitores son la variedad Citlali son Lady Rosetta, una variedad comercial, y el clon 8-R, propiedad del INIFAP. De Lady Rosetta, la variedad Citlali heredó la buena calidad de los tubérculos y del clon 8-R heredó su rusticidad, la tolerancia contra ZC y una ligera tolerancia contra el tizón tardío (*Phytophthora infestans*). La fuente original de resistencia contra el tizón tardío del clon 8-R es la especie silvestre mexicana *Solanum demissum*.

El proceso de selección de la variedad Citlali incluye pruebas de campo para evaluar su rendimiento, tolerancia contra el manchado interno de los tubérculos provocado por ZC, duración de su ciclo vegetativo, aptitud para la producción de hojuelas fritas y características visuales de los tubérculos (color de la piel, profundidad de los ojos, forma y tersura de la piel). Las pruebas bajo condiciones de campo se realizaron en los Estados de México, Sinaloa y Jalisco (Rubio *et al.*, 2013; Rubio *et al.*, 2015) y las pruebas bajo condiciones controladas de invernadero en la Universidad de California en Riverside (Rubio *et al.*, 2017). En las pruebas de campo se utilizó la variedad Fianna como testigo, ya que es la principal variedad comercial en México. En las pruebas de invernadero se utilizó la variedad comercial Atlantic, la cual es una de las variedades más utilizadas por la industria para la elaboración de hojuelas fritas.

Las variedades se evaluaron durante 6 años (2010-2016) bajo condiciones de campo en diferentes Estados de la República Mexicana que representan a las principales regiones productoras de México: Edo. de México, Noroeste (Sonora, Sinaloa) y Jalisco. Estos Estados tienen diferentes características climáticas que cubren todo el rango en el que se cultiva la papa en México. En el Estado de México y en Jalisco se sembraron bajo condiciones de temporal y en el Noroeste bajo riego. Los lotes de evaluación se sembraron en terrenos de productores de papa. En cada sitio se sembraron parcelas de al menos 500 m² de cada variedad y las parcelas fueron manejadas por los agricultores cooperantes con asesoría de los investigadores del INIFAP. Durante el ciclo vegetativo se hicieron observaciones sobre la incidencia y severidad de los síntomas foliares de ZC en cada variedad. Al final del ciclo vegetativo se cosecharon los tubérculos de 5 muestras de 20 m² de cada variedad con las que se evaluó el rendimiento. De cada muestra se conservaron 100 tubérculos para evaluar el índice de manchado interno provocado por ZC. Este parámetro se determinó visualmente al cortar los tubérculos por la mitad y asignar un valor entre 0 y 3 dependiendo del grado de manchado. En esta escala el 0 representa la ausencia de cualquier mancha y el valor de 3 se asignó a los tubérculos con la mayor parte de la pulpa manchada. También se evaluaron las características externas de los tubérculos que normalmente se consideran en el mercado como son su resistencia contra el verdeo, su vida en anaquel y su apariencia.

En las pruebas de invernadero, 5 plantas de cada genotipo fueron inoculadas por medio de insectos (*Bactericera cockerelli*) provenientes de una colonia positiva a *Candidatus liberibacter solanacearum*. La inoculación de las plantas se hizo cuando tenían 1 mes después de su emergencia. Para ello, se encerraron 3 insectos en una pequeña bolsa de malla anti-afidos, la cual se colocó en una hoja de cada planta amarrando la entrada alrededor del tallo de la hoja para evitar que los insectos se salieran. Se dejó que los insectos se alimentaran de los folíolos durante 3 días y posteriormente fueron retirados. De esta manera se aseguró que todas las plantas fueran infectadas por el mismo número de insectos durante un periodo suficiente para transmitir la bacteria causante de ZC. En los tubérculos producidos por cada planta se determinó el índice de manchado en la misma forma descrita anteriormente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las evaluaciones de campo realizadas durante varios años reflejaron la adaptación de las variedades a las condiciones de cada región. En el cuadro 1 se presenta el rendimiento promedio de 3 años en 3 lugares del Estado de México, el promedio de varios sitios en el Noroeste (Navojoa, Son; Obregón, Son.; Caborca, Son; Los Mochis, Sin.) y el rendimiento en un año en Tapalpa, Jal. En este cuadro se

observa que el rendimiento de Citlali es igual o ligeramente superior que el de Fianna en la mayoría de los sitios, excepto en la comunidad de Raíces, Estado de México. Este sitio es de temporal y se encuentra a 3500 msnm, por lo que la temperatura es muy baja y además todos los años ocurren granizadas que dañan el follaje, por lo que el rendimiento de Citlali y de Fianna en este sitio es más bajo que en los demás lugares. Citlali es fuertemente afectada por el frío, el desarrollo del follaje es muy raquítrico y su rendimiento severamente afectado. Esta variedad se adapta mejor a lugares con climas templados. Metepec se encuentra a 2600 msnm y las evaluaciones en este sitio han sido bajo condiciones de temporal. En Metepec, por sus condiciones climáticas, existe una gran presión de infección por la punta morada de la papa. La Peñuela es una localidad a 3000 msnm y cuenta con riego, por lo que las siembras de papa normalmente se realizan en el mes de febrero. En este sitio las condiciones de presión por ZC son fuertes solo al final del ciclo del cultivo, cuando la temperatura aumenta y la población de *B. cockerelli* también lo hace. En Tapalpa, Jal., las condiciones fueron bajo temporal y a una altitud de 2200 msnm. En el Noroeste las variedades se evaluaron bajo condiciones de riego durante el ciclo de cultivo otoño-invierno en sitios con altitudes menores de 500 msnm.

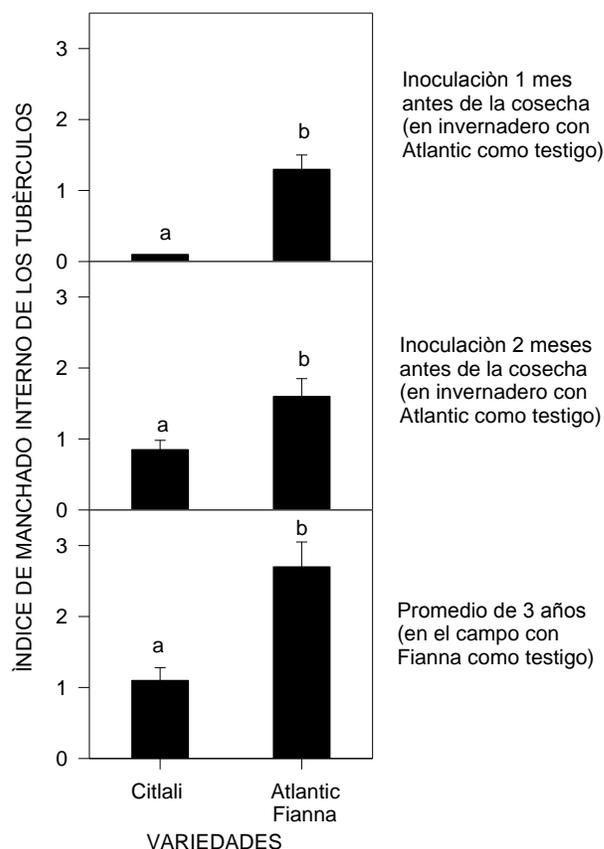
Cuadro 1: Rendimiento (t ha⁻¹) de tubérculos de las variedades Citlali y Fianna en diversos lugares de México.

VARIEDAD	METEPEC EDO. MEX	RAÍCES EDO. MEX.	LA PEÑUELA EDO. MEX.	TAPALPA, JAL.	NOR-OESTE SON., SIN.
CITLALI	41 a	20 b	52 a	40 a	44 a
FIANNA	38 a	26 a	45 b	40 a	43 a

Letras diferentes representan diferencias significativas entre las dos variedades (prueba de t, P≤0.05).

Las pruebas para evaluar el manchado interno de los tubérculos se realizaron bajo condiciones de campo en lugares con alta presión de infección por PMP como lo es Metepec, Estado de México (Rubio *et al.*, 2013; Rubio *et al.*, 2015) y también bajo condiciones controladas de invernadero (Rubio *et al.*, 2017). En la figura 1 se presentan los resultados de estas evaluaciones. En la figura 1 se puede apreciar que la variedad Citlali presenta menor índice de manchado que las variedades comerciales Atlantic (en invernadero) y Fianna (en campo abierto en Metepec). En la misma gráfica se puede apreciar que el índice de manchado es mayor en tubérculos producidos por plantas que fueron infectadas por *B. cockerelli* dos meses antes de que se cosecharan, que en plantas que se infectaron un mes antes de la cosecha. Esto se debe a que entre más temprano ocurre la infección, más tiempo se tiene para que la bacteria se reproduzca y se mueva hacia los tubérculos. Sin embargo, en la variedad Citlali el índice de manchado es casi indetectable cuando la infección ocurre un mes antes de la cosecha, por lo que los tubérculos se pueden comercializar sin que su precio sea rebajado por los compradores.

Figura 1. Índice de manchado de tubérculos (0=sin mancha, 3=100% manchado) cortados en fresco provenientes de plantas infectadas por la bacteria *Candidatus Liberibacter solanacearum* bajo condiciones de invernadero y campo. Las líneas verticales sobre las barras representan los errores estándar de las medias y letras diferentes sobre las barras significan diferencias significativas (prueba de t, P≤0.05).



CONCLUSIONES

La información presentada demuestra que la variedad Citlali es tolerante al manchado interno del tubérculo, el cual es un síntoma asociado a la enfermedad conocida como “zebra chip” o punta morada de la papa, cuyo agente causal es la bacteria *Candidatus Liberibacter solanacearum* y el insecto transmisor es el psilido de la papa *Bactericera cockerelli*. Además de la tolerancia a esta enfermedad, Citlali tiene características agronómicas y comerciales que la hacen una mejor opción que las variedades comerciales Fianna y Atlantic. La variedad Citlali no representa una solución definitiva a ZC, pero sí puede contribuir a disminuir los daños y pérdidas económicas que ocasiona la enfermedad en diversas zonas de México.

LITERATURA CITADA

- Cadena-Hinojosa, M. A.; Guzmán-Plazola, I. R.; Díaz-Valasis, M.; Zavala-Quintana, T. E.; Magaña T. O. S.; Almeyda-León, I. H.; López-Delgado, H.; Rivera-Peña, A. y Rubio-Covarrubias, O. A. 2003. Distribución, incidencia y severidad del pardeamiento y la brotación anormal en los tubérculos de papa en Valles Altos y Sierras de los estados de México, Tlaxcala y el Distrito Federal, México. *Revista Mexicana de Fitopatología* 21(3):248-259.
- Díaz-Valasis, M.; Cadena-Hinojosa, M.A.; Almeyda-León, I.H.; Carrillo-Ramírez, J.R.; Arriaga-Camarena, Claudia y Segura-León, O. 2014. Selección de genotipos de papa con tolerancia al pardeamiento asociado con la punta morada en campo y *Bactericera cockerelli* en invernadero. *Revista Científica Agropecuaria Tuxpan* 2(2): 105-110.
- Hansen, A.K.; Trumble, J.T.; Stouthamer, R. y Paine, T.D. 2008. New Huanglongbing (HLB) *Candidatus* species, “*C. Liberibacter psyllauros*”, found to infect tomato and potato is vectored by the psyllid *Bactericera cockerelli* (Sulc). *Applied and environmental microbiology*. 74(18) 5862–5865.
- Liefting, L. W.; Pérez-Egusquiza, Z. C. and Clover, G. R. G. 2008. A New ‘*Candidatus Liberibacter*’ Species in *Solanum tuberosum* in New Zealand. *Plant Disease* 92(10) 1474.
- Maramorosch, K. 1998. Current status of potato purple top wilt. *International Journal Tropical Plant Disease* 16:61-72.
- Munyaneza, J.E. 2012. Zebra Chip Disease of Potato: Biology, Epidemiology, and Management. *Am. J. Pot Res.* 89:329-350.
- Rubio-Covarrubias, O.A.; Cadena-Hinojosa, M.A.; Prager, S.M.; Wallis, C.M. and Trumble, J.T. 2017. Characterization of the Tolerance against Zebra Chip Disease in Tubers of Advanced Potato Lines from Mexico. *Am. J. Potato Res.* 94(4)342-356.
- Rubio-Covarrubias, O.A.; Cadena-Hinojosa, M.A.; Flores-López, R.; Munyaneza, J.; Prager, S. and Trumble, J.T. Assessing zebra chip resistance of advanced potato breeding lines under field conditions in the Toluca Valley, Mexico. 2015. *Revista de la Sociedad Latino Americana de la papa*. Vol. 19(2):20-30.
- Rubio-Covarrubias, O. A.; Cadena-Hinojosa, M.A. y Vázquez-Carrillo, G. 2013. Manejo integrado de la punta morada de la papa en el Estado de México. Folleto Técnico No. 2. INIFAP, Sitio Experimental Metepec. 40p.
- Venkatesan, G. S.; Munyaneza, J. E.; Crosslin, J. M.; Buchman, J. L. and Pappu, H. R. 2010. Phenotypic and etiological differences between psyllid yellows and zebra chip disease of potato. *American Journal Potato Research* 87:41-49.

IS2, NUEVO CLON DE ESTEVIA PARA EL TRÓPICO DE MÉXICO IS2, NEW CLONE OF ESTEVIA FOR THE TRÓPICO OF MEXICO

¹Ramírez Jaramillo G, ²Moguel Ordóñez YB, ²Lozano Contreras MG

¹Centro de Investigación Regional Sureste, INIFAP. Calle 6 Núm. 398 x 13, Avenida Correa Rachó. Col. Díaz Ordaz, C.P. 97130. Mérida Yucatán, México.

²Campo Experimental Mocochoá, antigua carretera Mérida-Motul Km. 24.5, Mocochoá, Yucatán. CP 97454.

Autor para correspondencia: ramirez.genovevo@inifap.gob.mx

RESUMEN

La demanda por edulcorantes naturales va en aumento en el mundo debido principalmente a los efectos secundarios que producen los edulcorantes sintéticos. Por ejemplo, Japón sustituyó la mitad del consumo de azúcar de caña por cristales de *Stevia rebaudiana* Bertoni y en este país están prohibidos los edulcorantes sintéticos desde los años 70. Otros países sobre todo del primer mundo, van por el mismo camino. Por la relevancia de *S. rebaudiana* el contar con materiales adaptados a las condiciones de México es una necesidad urgente para que el cultivo se incremente en el país. En el CIRSE desde el 2010 se trabaja con su tecnología y a partir de 2012 se inició el proyecto de impulso a la innovación con parcelas de Morita II, posteriormente se adquirió por parte de INIFAP material genético proveniente de Paraguay, lo cual vino a fortalecer su fuente de variabilidad genética. Esta variabilidad ha permitido establecer parcelas y realizar una selección individual de aquellos materiales que muestran un mejor comportamiento agronómico, de tal forma que en la actualidad se cuenta con una nueva variedad clonal denominada IS2, cuya caracterización se presenta en este trabajo.

Palabras Clave: *mejoramiento, caracterización agronómica, industrial.*

INTRODUCCIÓN

Todas las variedades actuales tienen como progenitores a los materiales criollos de Paraguay, actualmente se considera que existen más de 200 variedades de *Stevia rebaudiana* en el mundo, pero ninguna generada en México.

La siembra de estevia en México se inició con la variedad Morita II, material que se generó en el Japón, el cual presenta algunos problemas agronómicos como: unitallo, con limitaciones para el rebrote, susceptible al acamé y dificultad para su rejuvenecimiento, además de ser muy susceptible al *Fusarium* provocando la pérdida de hasta un 20 a 30 % de la población sembrada de estevia y presenta una mayor demanda de nutrientes que los materiales criollos. Por otra parte, de acuerdo con el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales 2016 publicado por el SNICS, a esa fecha no se contaba con ninguna variedad recomendada de estevia y según la Gaceta Oficial de los Derechos de Obtentor de Variedades Vegetales publicado en 2016 por el SNICS, solo se tenía un título de obtentor otorgado en estevia al material AKH L1, el cual fue solicitado por una empresa norteamericana (país de origen USA) en septiembre de 2015 y otorgado a partir de abril de 2016 con el número 1522.

México no cuenta con ningún material registrado de estevia y urge disponer de variedades mejor adaptadas a sus condiciones para los productores nacionales, con lo cual se reduciría su costo de producción y se evitaría la dependencia del exterior, además con la posibilidad de mejorar el rendimiento e incrementar la superficie de cultivo.

La *S. rebaudiana* para fines de investigación se introdujo en México en 2010, los trabajos principalmente se enfocaron a determinar la adaptación del cultivo al realizar el potencial productivo de la *S. rebaudiana* bajo condiciones de riego y validar algunos componentes tecnológicos como: densidades de población, control de maleza y enfermedades, además de la determinación en hojas de los glucósidos. Las variedades probadas fueron Morita II por su alto contenido de Rebaudiósido-A y su tolerancia a Septoria y el material criollo de Paraguay, por su variabilidad y mayor disponibilidad de Esteviósidos.

Los estudios realizados indicaron que el contenido de Rebaudiósido-A en la Morita II presentaron concentraciones que fueron de 7 hasta 13 % y de Esteviósido de 1.2 a 5.0; en el caso de los materiales criollos además de presentar una gran variabilidad, el contenido de Esteviósido fue mayor que el de Rebaudiósido A, por lo tanto, con un sabor menos dulce (Ramírez et al, 2011).

Debido a estos resultados, se realizaron trabajos de selección y actualmente el CIRSE cuenta con un grupo de materiales clonales de *S. rebaudiana*. De un total de 20 materiales, dos de ellos presentan ventajas fenológicas adecuadas para la región como: mejor altura de planta, hojas más grandes que Morita II, multitallo, posibilidad de cosechar hasta 6 veces contra las cuatro de Morita II.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y características del área. El trabajo se estableció en el área para investigación del Sitio Experimental Uxmal el cual se localiza entre las coordenadas geográficas 20° 26' 46.41" de Latitud Norte y 89° 43' 40.18" de Longitud Oeste, a un costado de la antigua carreta Mérida-Campeche (Uman-Hopelchén).

A partir de 2012 el INIFAP a través del Centro de Investigación Regional Sureste obtuvo material criollo de Paraguay, lo cual permitió disponer de un lote de progenies de líneas clonales, de las cuales se seleccionaron 20 materiales en base a su mejor comportamiento agronómico, de estos 20 materiales sobresale la IS2.

El trabajo consistió en realizar los descriptores del material seleccionado para su caracterización agronómica e industrial con el fin de solicitar ante el Sistema Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS) el título de obtentor y posteriormente tramitar su registro como variedad.

Datos para su Caracterización Agronómica.

Para la caracterización se consideraron los requisitos de la propuesta de Guía Técnica para la Descripción Varietal 2015 de Estevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni), la cual indica que para propagación por semilla se requieren 500 semillas del material para asegurar 250 plantas y 20 plantas para el caso de propagación asexual (SAGARPA - SNICS, 2017), que es el caso del clon propuesto en este estudio y donde se le tomaron datos a 25 plantas de un total de 250 que se establecieron de cada material en campo.

Diseño de ensayo para la descripción del cultivar. Se establecieron camas de 1.0 m de ancho y 30 cm de altura, las plántulas se establecieron a 40 cm x 40 cm, para un total 250 plantas y 3 líneas, las mediciones y observaciones se realizaron en la línea central que estaba en total competencia.

Las observaciones y mediciones se realizaron en el primer ciclo vegetativo y fue de plantines obtenidos por multiplicación por enraizamiento de esquejes. Así también se realizaron con la mayoría de los tallos con botón floral y no más del 15 % de flores abiertas.

La forma navicular (aquillada o abarquillada) de las láminas se observó en las primeras hojas superiores completamente desarrolladas y en el período de gran crecimiento (desde los 20 cm de altura de planta hasta antes del alargamiento de tallos florales).

Tamaño de muestra. El número de plantas a muestrear para la caracterización agronómica y agroindustrial se deben de considerar por lo menos 20 plantas, en este caso se evaluaron 25 y se establecieron 300 en campo de cada material.

Variables estudiadas. Las variables estudiadas fueron las siguientes: tipo de planta, tipo de tallo y sus características, tipo de hoja y sus características, color de la inflorescencia, ciclo del cultivo, comportamiento sanitario, aspectos industriales.

Análisis de Esteviósido, Rebaudiósido A y Rebaudiósido C. Para la identificación y cuantificación de glucósidos en las hojas de *S. rebaudiana*, se utilizó un Cromatógrafo de Líquidos de Alta Eficiencia (HPLC) con detector ultravioleta-visible (UV-Vis), una columna aminada (4.6 x 250 mm, 5 µm de tamaño de partícula) y acetonitrilo/agua (75:25 v/v) como fase móvil a un flujo constante de 1 mL/min (Woelwer et al. 2010).

Se prepararon curvas estándar para cuantificar los glucósidos utilizando estándares de esteviósido y rebaudiósido A con un mínimo de pureza del 99.0%. De cada estándar se preparará una solución de 1 mg/mL y realizaron diluciones para obtener una curva de seis puntos con concentraciones de 100, 200, 300, 400, 500 y 600 (µg/mL).

Se leyeron las curvas en un HPLC a una longitud de onda de 210 nm y se determinó la Linealidad (R²).

Para la identificación y cuantificación de los glucósidos en las hojas de *S. rebaudiana*, se pesaron 0.25 g de hoja seca molida (tamaño de partícula de 1 mm), se añadieron 5 mL agua bidestilada, se agitó vigorosamente con un vortex y colocó en baño maría a 100 °C por 30 min. Se dejó enfriar a temperatura ambiente, se centrifugó a 3000 rpm por 10 min, se decantó y recuperó el sobrenadante. Se realizó el proceso un total de tres veces. Se unieron los tres sobrenadantes y se aforaron con agua grado HPLC hasta 50 mL. Se filtraron utilizando una malla con un tamaño de poro de 0.45 µm. Se

inyectaron 20 µL de esta solución al HPLC y leyeron a 210 nm. El tiempo del cromatograma fue de 35 min.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tipo de planta del clon IS2. Respecto al tipo de planta, es semidecumbente, es decir de un 10 a 70 % de los tallos está en contacto con el suelo, respecto a la altura presento un promedio de 60 cm y la Morita II de 45 cm. En lo que respecta a su resistencia al acame presentan resistencia sobre todo por ser multitallo y con raíces abundantes en relación a la Morita II que es unitallo y con desarrollo de raíces escasa, lo que la hace más susceptible al acame y al daño de hongos presentes en el suelo.

Tipo de tallo y sus características del clon IS2. Presento hasta 8 tallos primarios mientras que Morita II solo presento 3, en lo que respecta a tallos secundarios el clon IS2 es muy ramificados en comparación a Morita II que presenta tallos poco ramificados. El diámetro de tallo fue de 15.9 mm contra 8.39 de Morita II; en el caso del largo de los entrenudos es mayor en Morita II con 8 cm contra 7 cm del clon.

Tipo de hoja y sus características del clon IS2. Un factor importante en el rendimiento del cultivo de la estevia son las hojas y se midió la longitud de la hoja sobresaliendo la de la variedad clonal IS2 con 6 cm en relación con Morita II con 4.5 cm; en lo que respecta al ancho de la hoja IS2 fue de 3 cm y Morita II con 1.5 cm, con los peciolos en los dos casos considerados como sésiles; los márgenes de las hojas en la variedad clonal IS2 son crenados, mientras que para el caso de Morita II es aserrado, el número de dientes en el margen de la hoja es de 12 y 18 respectivamente. La posición de las hojas en el tallo principal es opuesta en los tres casos.

Color de la inflorescencia del clon IS2. En los dos materiales el color de la inflorescencia fue blanco.

Ciclo del cultivo IS2. Para el caso del ciclo de cultivo la variedad clonal es de ciclo corto (80 a 100 días), mientras que Morita II presento un ciclo intermedio (100 a 130 días), lo anterior permite realizar hasta seis cortes por año a la variedad clonal.

Comportamiento Sanitario IS2. En el caso del clon IS2 presenta una moderada resistencia a *Rhizoctonia solani*, *Fusarium sp* y *Sclerotium rolfsii*, no así en el caso de Morita II que es moderadamente susceptible; en lo que se refiere a *Alternaria sp.*, *Septoria sp.* y *Cercospora sp.*

Aspectos industriales de IS2. El contenido de los principales glucósidos fue de: 6.78 g/por cada 100 g de hoja seca de Esteviósido, por 3.97 g de Morita II; Rebaudiósido-A 7.46 y Morita II 14.5 g/por cada 100 g de hoja seca respectivamente; Rebaudiósido-C 2.14 y 2.24 g/por cada 100 g de hoja seca respectivamente; lo anterior era esperado ya que Morita II fue generada y cuenta con la ventaja de tener un mayor contenido de Rebaudiósido-A que es el glucósido que favorece un sabor más dulce y es moderadamente resistente a *Septoria sp.*, sin embargo, el material clonal presenta mejores características agronómicas y un equilibrio en la cantidad de los tres glucósidos (Carrascal, 2010).

En síntesis, el clon IS2 es un material de ciclo corto (menor de 100 días), con planta de porte semidecumbente, moderadamente resistente al acame, con raíces abundantes, gran capacidad de rebrote; multitallo, con 3 a 8 tallos primarios, tallos secundarios muy ramificados, con un diámetro promedio de 15 mm; con hojas de 6 cm de longitud y 3 cm de ancho, de forma cuneada, con bordes crenados y en promedio de 12 a 14 bordes, su posición en relación al tallo son opuestas; inflorescencia de color blanco y presenta moderada resistencia a *Rhizoctonia solani*, *Sclerotium rolfsii*, *Alternaria sp.*, *Septoria sp.* y *Cercospora sp.*; el rendimiento potencial evaluado fue de 9.67 t/ha/año de hoja seca, lo que representa en contenido de Rebaudiósido-A de 0.73 t, de Esteviósido 0.65 t y de Rebaudiósido-C 0.20 t. (Figura 1).

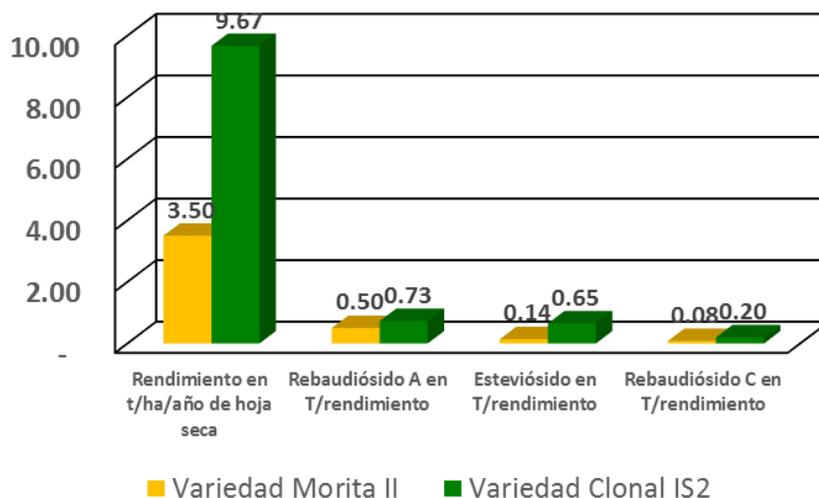


Figura 1. Rendimiento en t/ha/año de hoja seca y de tres de los principales glucósidos de esteviol en Morita II y la Variedad Clonal IS2.

CONCLUSIONES

La variedad clonal IS2 es un material que presenta un mayor potencial de rendimiento que Morita II, por sus características agronómicas más apropiadas como: altura de planta, número de tallos, tipos de hoja y tolerancia a enfermedades.

El rendimiento potencial de la variedad clonal IS2 fue de 9.67 t/ha que supera hasta más de dos veces el rendimiento de Morita II que fue de 3.5 t/ha.

Con relación a contenido de glucósidos, la Morita II presentó una elevada concentración de glucósidos especialmente Rebaudiósido A, lo cual era esperado; sin embargo, la variedad clonal IS2 presentó un adecuado balance entre Esteviósido y Rebaudiósido-A haciéndolo atractiva para la industria de los edulcorantes y para el consumo directo para fines de salud.

En base al mayor rendimiento de IS2, el Rebaudiósido A obtenido en esta cantidad fue de 730 kg contra los 500 kilos de Morita II, Esteviósido fueron 650 kg contra 140 kg de Morita II y Rebaudiósido C de 200 Kg contra los 80 kg de Morita II.

LITERATURA CITADA

- Carrascal R. H. 2010. Manual del Cultivo de la Stevia para Agricultores. Asociación Española de Stevia Rebaudiana. Madrid, España. 14 p.
- Ramírez J. G., Avilés B. W., Moguel O.Y., Góngora G. S., May L. C., 2011. Aportaciones al Conocimiento del Cultivo de Stevia Stevia rebaudiana Bertoni, en México. Publicación Especial. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Sureste. Mérida, Yucatán. 86 p
- SNICS. 2018. Stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) Guía Técnica para la Descripción Varietal. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS). Cd. De México, México. 20 p.

**EVALUACION DE RENDIMIENTO DE DOS GENOTIPOS DE STEVIA *Stevia rebaudiana* B.
BAJO TRES FUENTES DE FERTILIZACION NITROGENADA**
EVALUATION OF YIELD OF TWO GENOTYPES OF STEVIA *Stevia rebaudiana* B. UNDER THREE
SOURCES OF NITROGEN FERTILIZATION.

Prado García AA, Díaz-Huacuz RS, Manjarrez Juárez FJ

Centro de Investigación Regional Centro (CIRCE) del INIFAP. Carretera Celaya-San Miguel de
Allende, Kilómetro 6.5, C.P. 38010. Celaya, Gto.
Autor de correspondencia: diaz.rocio@inifap.gob.mx

RESUMEN

La producción anual de *Stevia* (*Stevia rebaudiana* B.) en México, fue de 485 ton, con un valor total de la producción de 8 millones pesos SIAP (2016). Si bien el cultivo de stevia en nuestro país se encuentra en un lento desarrollo, su producción está creciendo de manera importante, debido a las propiedades que favorecen a la salud humana y el aumento en la industria de endulzantes naturales como lo indica Tadhani *et al.* (2007). A nivel mundial, los reportes de los requerimientos nutricionales de stevia, así como de los efectos que las deficiencias de los elementos minerales tienen sobre los parámetros de rendimiento, son escasos. El presente trabajo, se realizó con el objetivo de determinar el efecto de tres fuentes de fertilizante nitrogenado sobre los parámetros de rendimiento en dos genotipos de stevia. Las variables evaluadas fueron: Densidad de población, Altura de planta, Número de tallos, Número de hojas, Peso fresco y Peso seco. Se evaluaron dos genotipos (criollo y morita II), tres fuentes de nitrógeno (Urea, Sulfato de amonio y Urea de liberación controlada) y cuatro dosis de nitrógeno (0, 135, 180 y 225 kg ha⁻¹) para sumar 24 tratamientos en un diseño experimental factorial 2x3x4 con arreglo en bloques al azar con tres repeticiones. Los resultados muestran que el genotipo criollo obtuvo 30% más rendimiento que la variedad morita II. El tratamiento con mayor rendimiento (563 kg ha⁻¹) se obtuvo con la aplicación de 180 unidades de N ha⁻¹ de sulfato de amonio en el genotipo criollo. A nivel de genotipo hubo diferencias significativas (p<0.05) en la producción de biomasa aérea, el rendimiento medio en el genotipo criollo fue de 475 kg ha⁻¹ y 448 kg ha⁻¹ en morita II. El efecto por la fuente de fertilizante mostro diferencias significativas (p≤0.05). Con uso de sulfato de amonio fue en donde se obtuvo mayor rendimiento (465 kg ha⁻¹).

Palabras clave: *Stevia rebaudiana* B., fertilización nitrogenada, rendimiento.

INTRODUCCION

La stevia (*Stevia rebaudiana* B.) es una planta herbácea perenne originaria de la región tropical de sud-américa específicamente de Brasil y Paraguay donde crece como arbusto salvaje. La producción anual en el año 2016 de esta especie en México, fue cerca de 485 ton, con un valor total de la producción de más 8 millones pesos cifras registradas por el SIAP (2016). Si bien el cultivo de stevia en nuestro país se encuentra en un lento desarrollo, su producción está creciendo de manera importante, debido a las propiedades que favorecen a la salud humana y el aumento en la industria de endulzantes naturales como lo indica Tadhani *et al.* (2007). Actualmente la stevia se conoce como uno de los cultivos más importantes de la industria de los edulcorantes, la concentración de éstos en sus hojas es: steviósido (5-10%), rebaudiósido A (2-4%), rebaudiósido C (1-2%) y dulcósido A (0,5-1%), cuyo poder edulcorante en estado puro y cristalino puede ser 300 veces mayor que el de la caña de azúcar Jarma (2008). De acuerdo a los datos arrojados por OBEI-CADEP, 2015; la producción de este cultivo a nivel internacional se concentra en China, cultivándose anualmente alrededor de 20,000 ha y su principal mercado está en Japón, donde el 41 % de los endulzantes consumidos provienen de Stevia SIAP (2016). La SDA (2009) menciona que en México la producción nacional se concentra en tres estados Nayarit, Campeche y Chiapas con una producción de 68%, 29% y 3% respectivamente. Si bien, en el estado de Guanajuato este cultivo no tiene la importancia económica que otros cultivos perenes, la región del Bajío presenta condiciones edafoclimáticas favorables para la producción de stevia.

El Nitrógeno (N) es un elemento esencial para la nutrición vegetal y uno de los más importantes para el crecimiento, rendimiento y la calidad en la mayoría de los cultivos, es un nutrimento que se encuentra frecuentemente con limitada disponibilidad en los suelos agrícolas para satisfacer la demanda nutrimental como lo reporta Below (2002). A nivel mundial, los reportes de los

requerimientos nutricionales de stevia (*Stevia rebaudiana* B.), así como de los efectos que las deficiencias de los elementos minerales tienen sobre el contenido de los principales edulcorantes de la hoja, son escasos. En México aún existen grandes vacíos en el conocimiento de esta especie, principalmente en aspectos como la nutrición, así como su relación con la síntesis de las principales moléculas edulcorantes (Das *et al.*, 2007; Espitia *et al.*, 2008).

En Guanajuato la eficiencia del uso del fertilizante nitrogenado se estima entre un 20 y un 40 %; por tanto, las pérdidas en el estado se estiman alrededor de 90,000 toneladas de nitrógeno por año (Grageda-Cabrera *et al.*, 2004). Lo anterior se traduce en pérdidas de cerca de 540 millones de pesos anuales que además de aumentar los costos de producción y afectar la rentabilidad de los cultivos, generan un grave problema de contaminación al medio ambiente, de manera especial al manto freático (Peña-Cabriales *et al.*, 2002). Es por ello que es necesario generar tecnología para hacer un uso más racional y eficiente de los fertilizantes químicos.

El objetivo de este estudio es evaluar el efecto de tres fuentes de fertilizante nitrogenado a cuatro dosis crecientes, sobre los parámetros de rendimiento, en dos genotipos de stevia (*Stevia rebaudiana* B.).

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se desarrolló en el Campo Experimental Bajío (CEBAJ) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en el municipio de Celaya, Guanajuato, el cual se localiza a 20° 3' N y 100° 0' O, a una altitud de 1,754 msnm. El clima de la región es BS1hw (W) (e) q. La temperatura media anual es de 20.6°C y la precipitación media anual es de 597 mm INEGI (2009). El tipo de suelo del área experimental corresponde a un vertisol donde se cultiva maíz y frijol durante primavera-verano y cereales como avena, cebada y trigo en otoño-invierno, con un contenido de arcilla de cerca de 60% y un pH ligeramente alcalino.

Se evaluaron dos genotipos de *Stevia rebaudiana* B. (criollo y morita) reproducidas asexualmente (esqueje). El material vegetal fue introducido a México en el 2015 por el Campo Experimental Mocochoá, Mocochoá, Yucatán. Los tratamientos a evaluar fueron: tres fuentes de fertilizante y cuatro dosis de fertilización nitrogenada para la producción de dos genotipos de stevia (*Stevia rebaudiana* B.) para lo cual se consideró como base la fertilización completa recomendada por INIFAP-Campo Experimental Mocochoá, Yucatán de 180 unidades de N. Con base en lo anterior se probaron las siguientes dosis: 0, 75%, 100% y 125% de la fertilización recomendada. Las dosis de N señaladas se complementaron con la aplicación al momento del transplante de 60 y 90 unidades de fósforo y potasio (P, K). El diseño experimental corresponde a un factorial de 2 x 3 x 4, con arreglo en bloques al azar con tres repeticiones (Cuadro 1).

La fecha de transplante fue el 26 de julio de 2017 de manera manual y sobre terreno húmedo. La densidad de población establecida fue de 80 mil plantas ha⁻¹, para lograr esta densidad se transplanta a una distancia entre plantas e hileras de 25 cm. Se dispuso de un sistema de riego por goteo. La mayor parte del agua disponible para el cultivo provino de la temporada de lluvias. Se efectuó un control de malezas de forma manual durante todo el ciclo del cultivo para evitar la competencia por N aplicado. No se registró la presencia de plagas y/o enfermedades en el cultivo durante el periodo experimental.

La cosecha se realizó a los 140 días después del transplante (DDT) en ambos genotipos. Para el rendimiento de hoja seca, se cosecharon de forma manual plantas de los dos surcos centrales de cada unidad experimental; y se tomó una muestra de 2 m lineales para determinar la densidad de población, altura de planta, número de tallos y número de hojas por planta. Las plantas fueron secadas en una estufa a 70 °C durante 72 h, hasta alcanzar peso constante para determinar la humedad.

Los datos obtenidos fueron analizados mediante un análisis de varianza (ANOVA) para cada factor, de manera individual y combinada, usando software Statistical Analysis System (SAS) V.6.12, USA). Todos los parámetros fueron probados por significancia entre tratamientos ($p < 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La evaluación de genotipos con diferentes fuentes de fertilización nitrogenada, permitió detectar respuestas diferenciales importantes entre las variables evaluadas, en este experimento se observaron diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$) entre los promedios de los genotipos evaluados en 6 de las 7 variables medidas, detectándose consistentemente una superioridad del material criollo en

comparación a la variedad mejoradas (morita II), para Altura de planta, Numero de hojas por plantas, Numero de plantas, pero fresco y seco, así como rendimiento, para las primeras cuatro variables, el material criollo mostro una superioridad mayor al 10% y para el peso seco y rendimiento casi de 6%, (Cuadro 1), esta respuesta puedes explicarse debido a una mejor adaptación por parte del material criollo lo que le permitió un mayor número de plantas por m² (7) en comparación con el material mejorado (6 plantas por m²).se recomienda para producción de stevia poblaciones por encima de 6 plantas m⁻².

Jarma (2008) menciona que la densidad en la población de plantas para la producción de stevia es un parámetro que influye directamente en el rendimiento y en los costos de producción y poblaciones de alrededor de 7 plantas m² producen ramas grandes y hojas de buen tamaño (Herrera *et al*, 2012), no obstante, frecuentemente el agricultor establece poblaciones por encima de las 8 plantas por m⁻² considerando la perdida que puedan tener durante el establecimiento del cultivo, cabe destacar que una alta población implica una mayor competencia por luz y nutrientes llegándose a observar un efecto compensatorio de la planta a través de abundantes ramas, pero con hojas pequeñas.

Con respecto a la variable altura de planta se obtuvo diferencia significativa (P<0.05) entre los promedios de los genotipos evaluados en este ensayo, el material criollo presento 4 cm más de altura de planta (32 cm), que la variedad morita II (28 cm), resultados similares a la altura de planta, reporto Herrera en el año 2012, en un estudio realizado en el Estado de Nayarit con stevia, aduciendo esta respuesta a un adecuado suministro de nitrógeno en el desarrollo de la planta. De igual forma, la mayor altura de planta se observó con la fuente de fertilizante de liberación controlada (31.4 cm) que resalto estadísticamente similar a la obtenida con Sulfato de Amonio (30.6 cm) y ambas estadísticamente diferentes a la obtenida con la fuente de nitrógeno Urea (29.4). Con respecto a las 4 dosis de fertilización los promedios para la variable altura de planta resultaron estadísticamente diferentes entre sí, obteniéndose el promedio más alto (35.5 cm) con 180 kg ha⁻¹ unidades de nitrógeno y el más bajo (26.9 cm) con el testigo (Cuadro 1).

El número de hojas por planta, que depende de la altura de la planta y del número de ramas, fue estadísticamente diferente (p<0.05) en todos los tratamientos, lo cual nos indica que existe una respuesta diferencial a cada tratamiento. Los valores variaron desde 1,190 hasta 1,066 hojas por planta obteniendo el promedio más alto nuevamente el material criollo. Estos resultados muestran la heterogeneidad que hubo en cuanto al número de hojas emitidas por planta en todos los tratamientos Figura 1. En esta variable hubo efecto por la dosis de fertilización nitrogenada utilizada en la producción de hojas mas no en la fuente de fertilizante en donde los promedios resultaron estadísticamente similares (P<0.05).

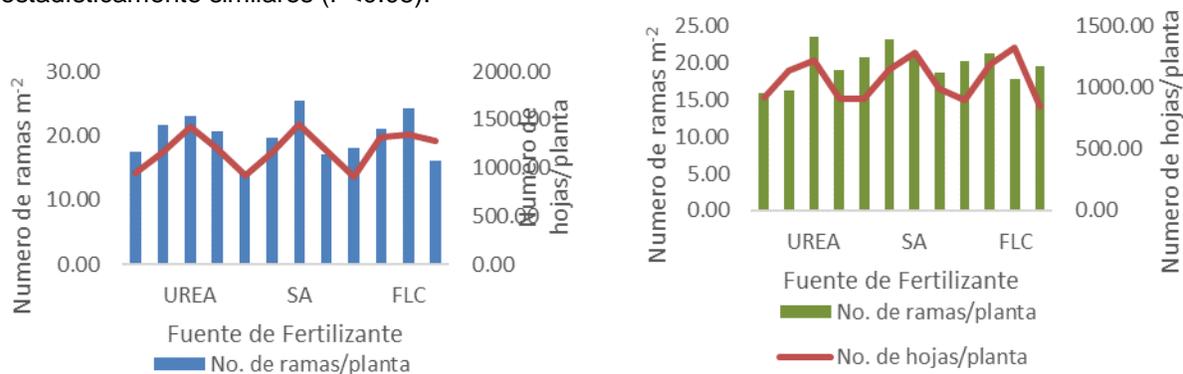


Figura 1. Relación entre el número de ramas y número de hojas por planta en respuesta a la fuente de fertilización en stevia. Genotipo criollo (izquierda) y morita II (Derecha).

Aunque el número de ramas por planta fue estadísticamente igual (P<0.05) entre genotipos, se detectó diferencia en el número de hojas por planta, mismo que se reflejó en el peso fresco y seco a favor del material criollo, que fue estadísticamente superior a la variedad mejorada morita II, para el caso de las fuentes de fertilización con Urea, Sulfato de Amonio y de liberación controlada, las variables número de ramas por planta, número de hojas por planta y número de plantas por m², fueron estadísticamente similares, no así para el peso seco, peso fresco y rendimiento, en donde los

promedios más altos y estadísticamente diferentes entre ellos se presentaron con el Sulfato de Amonio, seguidos por la Urea y al final la fuente nitrogenada de liberación controlada (Cuadro 1).

Cuadro 1. Resultados promedio de componentes de rendimiento de Stevia.

Factor	Altura de planta	No. de ramas/planta	No. de hojas/planta	No. plantas	Peso fresco	Peso seco	Rendimiento	
	cm			m ²	-----gr-----		peso fresco (kg ha ⁻¹)	peso seco (kg ha ⁻¹)
Genotipo								
Criollo	32.36 a	19.93 a	1190.97 a	7.24 a	110.32 a	47.52 a	1103.21 a	475.17 a
Morita	28.62 b	19.86 a	1066.57 b	6.48 b	99.07 b	44.89 b	990.72 b	448.88 b
Fuente de fertilizante								
Urea	29.47 b	19.73 a	1115.63 a	6.94 a	101.90 b	46.39 b	1019.21 b	463.90 b
S. amonio	30.60 a	20.11 a	1131.44 a	6.89 a	110.48 a	46.51 a	1104.82 a	465.05 a
U. liberación controlada	31.40 a	19.85 a	1139.25 a	6.75 a	101.71 c	45.71 c	1017.13 c	457.13 c
kg ha⁻¹ de N								
0	26.94 d	17.94 c	918.89 d	6.66 a	108.2 a	42.83 d	1082.45 d	429.82 d
135	31.05 b	20.61 b	1185.39 b	6.88 a	108.0 b	49.17 a	1080.21 a	491.54 a
180	35.50 a	23.11 a	1343.00 a	6.94 a	105.0 c	48.17 b	1050.36 b	483.36 b
225	28.72 c	18.61 c	1068.00 c	7.00 a	100.8 d	44.33 c	1008.21 c	443.58 c

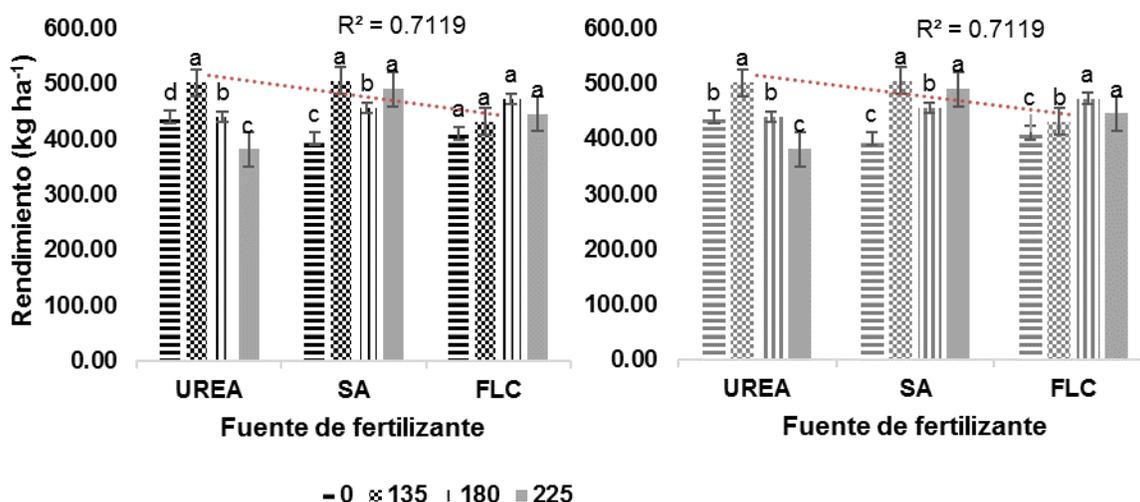
Letras iguales son estadísticamente semejantes ($p \leq 0.05$)

Para el caso de las dosis de fertilización, las variables altura de plantas y número de hojas por planta, presentaron diferencias significativas, obteniéndose los promedios más altos con la dosis nitrogenada de 180 unidades, seguida por la de 135 unidades, después la de 225 unidades y por último el testigo (0 unidades), para las variables número de ramas por planta se presentó un comportamiento similar solo que la dosis de 225 unidades de nitrógeno y 0 unidades resultaron con el menor promedio y estadísticamente similares, para la variables número de plantas por metro cuadrado, no se detectó diferencia estadística, pero para las variables peso seco y rendimiento, se detectó nuevamente diferencias significativas entre ellos, solo que esta vez el promedio más alto para ambas, se obtuvo con la dosis de 135 unidades de nitrógeno, seguida de 180 unidades, posteriormente con 225 unidades de nitrógeno y por último el testigo con 0 unidades.

Los rendimientos de stevia producidos por efecto del genotipo presentaron diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$). La producción de hoja seca de este cultivo a nivel de este factor de estudio fue de 475.17 kg ha⁻¹ y 448.88 kg ha⁻¹ para el genotipo criollo y morita II respectivamente (Figura 2). Se esperaba una mayor producción en el genotipo morita II por su alto potencial genético, sin embargo, el material criollo presentó una mayor adaptabilidad a las condiciones edafoclimáticas del sitio de estudio. Para el rendimiento, esta respuesta diferencial entre genotipos se debe y como señalan algunos autores (Rodríguez, 2001; Espitia *et al.* 2008) a que las plantas requieren de las condiciones óptimas para que puedan maximizar la expresión de su potencial genético y a la densidad de población que se utilice, de esta manera el aprovechamiento de los factores de clima y de suelo disponibles en la localidad de estudio sea más eficiente, este resultado posiblemente se debe a la densidad de población óptima del material criollo, le permitió una adecuada distribución de fotoasimilados en la producción de hoja, produciendo tallos más delgados y menos ramificados, lo anterior, a su vez facilitó una mayor eficiencia fisiológica en la producción de biomasa en hojas con relación a tallos.

La producción de hoja seca de stevia por efecto de la dosis de fertilización fue 12% mayor ($p \leq 0.05$) con el uso de 135 kg de N ha⁻¹ en comparación con el testigo (Figura 2). Sin embargo, es importante resaltar que la mayor producción de hoja seca (563 kg ha⁻¹), se obtuvo con el uso de 180 kg de N ha⁻¹.

Con base en lo anterior es importante resaltar la potencialidad en rendimiento de este cultivo en el uso de la dosis media recomendada para su producción y que al aumentar esta, el rendimiento no se incrementa.



Letras iguales son estadísticamente semejantes.

Figura 2. Rendimiento de hoja seca de stevia con base en el factor de dosis de fertilización. Genotipo criollo (izquierda) y morita II (Derecha).

En el cultivo de stevia se busca obtener el mayor rendimiento de hoja seca (peso seco), en este estudio el mayor promedio de peso lo obtuvo el material criollo con $475.17 \text{ kg ha}^{-1}$ superando casi en un 6 % al material mejorado morita II el cual obtuvo $448.88 \text{ kg ha}^{-1}$ los cuales se espera encontrar entre las 135 y 180 unidades de nitrógeno, pero como en la mayoría de los cultivos se busca el mayor rendimiento, para este caso la dosis recomendada debe estar muy cercana a la dosis menor (135 unidades de nitrógeno) que es donde se obtiene el mayor rendimiento y nos acerca al óptimo económico.

En toda producción agrícola es de suma importancia considerar la rentabilidad de los costos de producción de cada cultivo donde se demanda cantidades considerables de insumos externos, particularmente de fertilizante nitrogenado, debido a que la capacidad de los suelos tropicales bajo cultivo intensivo es en general insuficiente para suplir las cantidades necesarias del elemento de acuerdo a las necesidades del cultivo. La fertilización de stevia varía ampliamente, pero las fuentes predominantes son el sulfato de amonio y la urea reporta Armuelles (1992). La National Academy of Sciences (1991) sugiere que los sistemas sostenibles de producción de cultivos deben incluir el reciclaje de nutrientes y la aplicación racional de la labranza, como elementos esenciales de la estrategia de conservación para mantener la productividad de los sistemas agrícolas, con mínimo impacto negativo sobre el recurso base.

El nivel de producción de hoja seca de stevia, evaluado con base en el factor fuente de fertilización fue mayor donde se aplicó como fuente de nitrógeno al sulfato de amonio (465 kg ha^{-1}) figura 2. Mientras tanto el menor rendimiento se obtuvo con el uso de fertilizante de liberación controlada, en la cual se obtuvo 457 kg ha^{-1} , la cual fue apenas 2% menor respecto a la producción más alta. El uso de diferente fuente de fertilizante nitrogenado mostro diferencia significativa ($p \leq 0.05$), observándose en términos generales un mejor aprovechamiento por parte del material criollo alcanzando las producciones más altas de hoja seca de $541,563$ y 494 kg ha^{-1} para las fuentes de fertilización de UREA, SA y FLC respectivamente mientras que en el material mejorado fue de $502, 506$ y 473 kg ha^{-1} para UREA, SA y FLC obteniéndose recomendaciones diferentes.

CONCLUSIONES

El uso Sulfato de amonio como fuente de Nitrógeno en dosis de 135 kg ha^{-1} permite aumentar el rendimiento de hoja seca en *stevia rebaudiana B.*, en comparación con las otras fuentes de Nitrógeno como Urea y Fertilizante de liberación controlada.

-El genotipo Criollo expresó su mayor rendimiento de producción de hoja seca (563 kg ha^{-1}) con la aplicación de 180 kg ha^{-1} de sulfato de amonio como fuente de nitrógeno, mientras que en Morita (506 kg ha^{-1}), se presentó con 135 kg ha^{-1} de sulfato de amonio.

-En base al factor de dosis de fertilización la deficiencia o exceso de nitrógeno pueden causar disminución en el crecimiento y desarrollo de todas las partes morfológicas de la planta de stevia, principalmente en hojas, el órgano de interés comercial. El mejor resultado se obtuvo con el uso de 135 kg ha^{-1} de nitrógeno lo cual evidencia un mejor aprovechamiento en la producción de este cultivo en comparación de la dosis mayor recomendada por otros autores.

LITERATURA CITADA

- Armuelles, B. 1992. Comercialización de fertilizantes y pesticidas en Centroamérica: el caso de los granos básicos. Colección: Temas de Seguridad Alimentaria No. 12. Programa de Seguridad Alimentaria CADESCA. Apdo. Aéreo 5215 Zona 5, Panamá. 131p.
- Below, F. 2002. Fisiología, Nutrición y fertilización nitrogenada de maíz. Informaciones agronómicas No. 54. pp. 7-12.
- Das, K., Dang, R. y Shivanada T. 2009. Effect of biofertilizers on the nutrient availability in soil in relation to growth, yield and yield attributes of *Stevia rebaudiana*. Archives of agronomy and soil science.
- Espitia, M., Montoya, R. y Jarma, A. 2008. *Stevia* en el Caribe Colombiano. Gráficas del Caribe Ltda. Montería – Córdoba. 84p.
- Grageda-Cabrera. O.A, Medina C. T., Aguilar A. J.L., Hernández M. M., Solís M. E., Aguado S. G.A., Peña C. J.J. 2004. Pérdidas de nitrógeno por emisión de N_2 y N_2O en diferentes sistemas de manejo y con tres fuentes nitrogenadas. *Agrociencia*. Núm. 38 (noviembre-diciembre). 625-633.
- Herrera C., Gómez J. y González R. 2012. El cultivo de stevia (*stevia rebaudiana*) Bertoni en condiciones agroambientales de Nayarit, México. Folleto Técnico No. 19. INIFAP. Campo Experimental Santiago Ixcuintla. Santiago Ixcuintla, Nayarit.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2009. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Guanajuato, México.. INEGI. México, D. F
- Jarma A. 2008. Estudios de adaptación y manejo integrado de stevia (*Stevia rebaudiana* Bert.): nueva alternativa agroindustrial del Caribe colombiano. *Rev Colomb Cienc Hortic*. 2008;2(1):109-120.
- National Academy of Sciences. 1991. *Toward sustainability: A plan for collaborative research on agriculture and natural resource management*. National Academy Press. Washington D.C. p 66-90
- OBEI-CADEP. (2016). Anuario estadístico. www.cadep.org. Consultado: 20 de mayo 2018.
- Peña-Cabrales J.J., Grageda-Cabrera O.A., Vera N. J.A. 2002. Manejo de los fertilizantes en México: uso de las técnicas isotópicas (^{15}N). *Terra latinoamericana*. Universidad autónoma de México. Año/vol. 20, núm. 001, enero-marzo. 51-56.
- Rodríguez, L. 2001. Densidad de población vegetal y producción de materia seca. *Rev. Comalfe (Bogotá)*. 27:31-38.
- SDA. Secretaría de Desarrollo Agropecuario. 2009. Monografía de cultivo. www.sda.guanajuato.gob.mx
- SIAP. (2016). Anuario estadístico. www.siap.gob.mx. Consultado: 20 de mayo 2018
- Tadhani, M., Patel, V. y Rema, S. 2007. In vitro antioxidant activities of *Stevia rebaudiana* leaves and callus. *J. Food Compos. Anal.* 20, 323-329.

GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE MAÍZ OSMOACONDICIONADAS Y CRECIMIENTO DE LAS PLÁNTULAS RESULTANTES: I. EFECTO DE VARIEDAD
GERMINATION OF OSMOPRIMED MAIZE SEEDS AND GROWTH OF RESULTING SEEDLINGS: I. EFFECT OF VARIETY

¹Castelán Estrada M, ¹Mejía Ramírez F, ¹Lagunes-Espinoza L, ¹Obrador Olán JJ, ²Lara ViverosFM

¹Posgrado en Producción Agroalimentaria en el Trópico. Colegio de Postgraduados Campus Tabasco. 86500 H. Cárdenas, Tabasco.

²Universidad Politécnica de Francisco I. Madero. 42660 Tepatepec, Hgo.

*Autor para correspondencia: mcastelan@colpos.mx

RESUMEN

Dada la importancia de los maíces criollos para los pequeños agricultores de México y a la necesidad de aprovechar la humedad del suelo en los cultivos de temporal, el objetivo de este trabajo fue estudiar los efectos del osmoacondicionamiento de semillas sobre la emergencia, así como posibles efectos en el crecimiento y fenología de las plantas resultantes. Los tratamientos fueron aplicados a los maíces Mején, Chalqueño, Negrito y VS-536 y consistieron en dos soluciones (Agua y AG₃ a 0.3 g L⁻¹) en dos tiempos (12 y 18 h). Las plantas obtenidas se hicieron crecer en contenedores bajo invernadero donde se observaron las variables: porcentaje y velocidad de emergencia, altura, producción de materia seca, días a floración y concentración NPK. El diseño experimental fue en bloques completos al azar con arreglo factorial (4 X 2 X 2), con cuatro repeticiones. Los resultados encontrados muestran alta significancia en porcentaje emergencia ($p \leq 0.001$) donde el criollo Mején mostró 97.7 % cinco días después de la siembra (dds) y también la mayor velocidad de emergencia (4.6 semillas día⁻¹); en consecuencia, este criollo produjo más materia seca (81 g planta⁻¹) y mayor tasa de crecimiento (4.32 cm día⁻¹ planta⁻¹) aunque al final del ciclo presentó menor altura que la variedad Negrito. Por su parte, el criollo Chalqueño tuvo mayor ganancia de materia seca (0.71 g día⁻¹ planta⁻¹ a los 25 dds, pero fue Mején el más productivo hacia el final del ciclo (2.0 g día⁻¹ planta⁻¹). Esta misma variedad presentó menos días a floración (48 masculina y 55 días, femenina) contra 51 y 60 días en la variedad Negrito. La mayor concentración de NPK en planta se encontró en la variedad VS-536. De los resultados encontrados se concluye hay efectos positivos sobre la emergencia, crecimiento y fenología del maíz en respuesta a los tratamientos de osmoacondicionamiento.

Palabras clave: *altura, emergencia, floración, imbibición*

INTRODUCCION

El maíz (*Zea mays* L.) es el cultivo agrícola más importante en México y es cultivado en todos los estados del país; esta especie presenta una amplia diversidad genética. Las estadísticas indican que 75% de productores emplean semillas de maíces nativos para la siembra y cada productor conserva semillas de una a tres razas (Espinosa-Calderón et al., 2017). Las razas o variedades nativas de maíz son el origen primario de todas las variedades comerciales e híbridos actuales (Perales y Golicher, 2011). Aunque estos pueden ser más productivos tienen requerimientos climáticos, edáficos y de manejo más exigentes que los maíces nativos, los cuales son cultivados comúnmente en zonas de temporal y en áreas marginales por su adaptación a estas. Además, las semillas de los maíces comerciales tienen un costo muy alto y el cultivo de estas requiere insumos como fertilizantes, plaguicidas, herbicidas y maquinaria lo que implica mayor costo de cultivo (Lesur, 2005).

Por otro lado, los maíces criollos al cultivarse en condiciones de temporal podrían presentar bajo porcentaje de germinación y mayor número de días a la emergencia, lo que causa falta de uniformidad en el cultivo. Una de las causas podría ser la calidad de la semilla antes de la siembra. Las semillas ortodoxas como el maíz, después del almacenamiento, a menudo exhiben germinación lenta y no uniforme debido a la pérdida de vigor, especialmente cuando se almacenan de forma inadecuada (Rangel-Fajardo et al., 2014; Buitink et al., 2003). Tratamientos con soluciones osmóticas o con agua previos a la siembra permiten acelerar la germinación de éstas semillas, e incluso se ha reportado que se puede mejorar el vigor y la tolerancia de las plantas resultantes al estrés hídrico (Ahammad et al., 2014). El osmoacondicionamiento, se define como un proceso físico por el cual se facilita la entrada de agua a la semilla hasta un determinado punto, sin permitir que ocurra la germinación en ese momento. Es un método eficaz para mejorar la calidad fisiológica de la semilla lo que se refleja en la

uniformidad y alto porcentaje de germinación de las semillas así tratadas (Moradi-Dezfuli, 2008). Esta técnica de osmoacondicionamiento ha sido aplicada en maíz con resultados positivos en la emergencia (Afzal et al., 2002; Karmore y Tomar, 2015; Mahboob et al., 2015). Por tal motivo el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de tratamientos de osmoacondicionamiento en semillas de diferentes maíces sobre la germinación así como el crecimiento y fenología de las plantas resultantes de estos tratamientos.

MATERIALES Y MÉTODOS

En total se evaluaron 16 tratamientos resultantes de la combinación de 3 factores: el tipo de maíz (Mején de Tabasco; Negrito y Chalqueño de Hidalgo y la variedad VS-536), el tiempo de imbibición (12 y 18 h) y la solución (Agua y AG₃ 0.3 g L⁻¹). Una vez cumplidos los tiempos de imbibición las semillas se escurrieron y airearon durante 48 h a temperatura ambiente antes de ser sembradas en contenedores con capacidad de 7.5 litros, usando un sustrato de suelo más cachaza de caña (1:1 v/v). Las plantas resultantes de los tratamientos se manejaron en invernadero; se aportó agua de acuerdo a sus necesidades diarias, se aplicó fertilización foliar (Maxfluid®) así como Cipermetrina® para el control de plagas; estos productos a una dosis equivalente de 1 L ha⁻¹. En este artículo se presentan los resultados correspondientes a las variedades.

Las variables evaluadas fueron: emergencia (%), velocidad de emergencia (semillas día⁻¹), altura de planta (cm día⁻¹ planta⁻¹), producción de materia seca (MS) aérea (g día⁻¹ planta⁻¹), días a floración y concentración NPK en planta. A partir de los datos de altura y producción de MS se calculó la tasa absoluta de crecimiento (TAC) usando la fórmula de Barrera *et al.* (2010):

$$TAC = \frac{P_2 - P_1}{T_2 - T_1}$$

donde: TAC = tasa absoluta de crecimiento; P = peso seco; T = tiempo

Para los días a floración se registró el número de días transcurridos desde la siembra hasta el momento en que 50% de las plantas presentaron floración (masculina y femenina en cada caso, por tratamiento). La concentración de nitrógeno, fósforo y potasio se determinó en plantas completas al final del periodo de observaciones (59 dds); las plantas fueron secadas a 60°C durante 48 h, se molieron y se formaron muestras compuestas (una por tratamiento) para ser analizadas en laboratorio. Los datos obtenidos se transformaron logarítmicamente para obtener una distribución normalizada mediante la fórmula $T = \log(y)$. Posteriormente se hicieron los análisis ANOVA con el programa SAS (9.4) bajo un diseño factorial 4 x 2 x 2 con cuatro repeticiones; también se realizaron las comparaciones de medias correspondientes mediante la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Porcentaje de emergencia. El maíz Negrito presentó 74 % de emergencia en las primeras observaciones (3 dds), siendo superior a la respuesta de Chalqueño, Mején y VS-536 (Cuadro 1). Cinco días después de la siembra la emergencia de plántulas alcanzó porcentajes mayores al 95 % en Mején, Negrito y VS-536, pero el Chalqueño presentó el porcentaje más bajo (89.6). Durante este experimento el maíz Mején alcanzó el valor más alto de emergencia con 97.7 %, lo que favorece mayor población y potencialmente mejor rendimiento del cultivo (Tonaka y Yamaguchi, 2014). Los valores encontrados para esta variable coinciden con Imran *et al.* (2013) quienes al probar varios tratamientos reportan que los maíces osmoacondicionados producen mayor cantidad de raíces.

Cuadro 1. Efecto de tratamientos de osmoacondicionamiento en semillas de maíz sobre el porcentaje de emergencia.

Variedad	3 dds ^z	4 dds	5 dds
VS-536	11.4 d	85.6 b	96.7 a
Chalqueño	49.9 b	84.8 b	89.6 b
Mején	33.8 c	96.4 a	97.7 a
Negrito	74.1 a	93.1 a	95.1 a

^z dds = días después de la siembra. ** Tukey ($p \leq 0.05$)

Velocidad de emergencia. Esta variable presentó valores estadísticamente superiores en el criollo Mején, con una tasa de 4.6 semillas emergidas día⁻¹, seguida de Negrito con 4.3 semillas mientras que Chalqueño y VS-536 presentaron el valor más bajo con 4.0 semillas día⁻¹ (Figura 1). Una alta

velocidad de emergencia favorece un establecimiento más rápido del cultivo al aprovechar la humedad disponible y anticiparse al crecimiento de las malezas, lo que evita pérdida de plantas y permite uniformidad, así como la ganancia de altura en menor tiempo, según reportaron Karmore y Tomar (2015) e Imran *et al.* (2013).

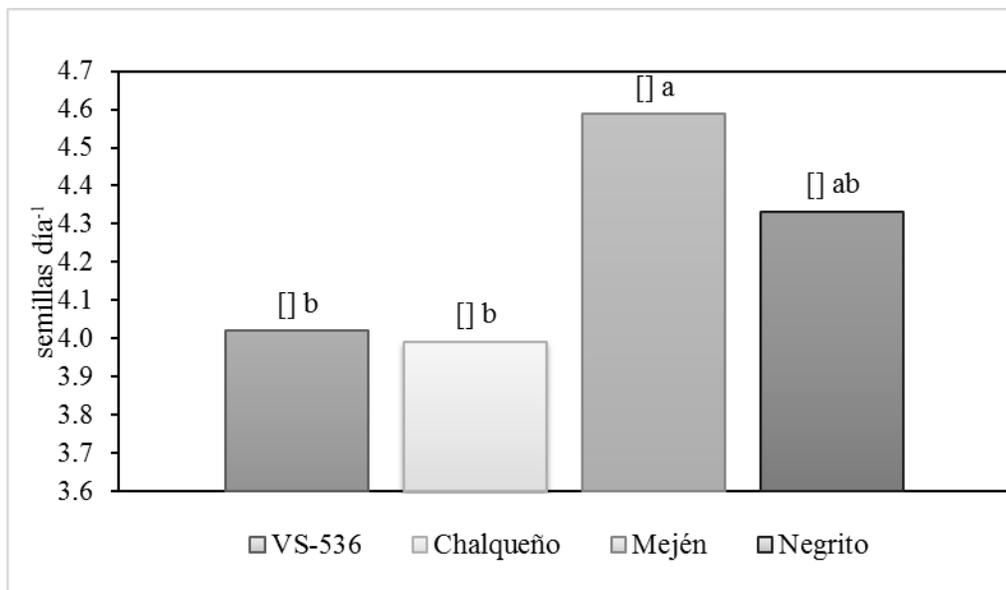


Figura 1. Velocidad de emergencia de semillas de maíz osmoacondicionadas, cinco días después de la siembra.

Altura de planta. Aunque inicialmente el maíz Mején presentó mayor tasa de crecimiento que las otras variedades (4.32 cm día⁻¹ planta⁻¹), hacia el final del periodo de observación (46 dds) se encontró por debajo de los criollos Negrito y Chalqueño que alcanzaron hasta 5.7 y 5.5 cm día⁻¹ planta⁻¹, respectivamente (Figura 2). La raza Mején al presentar inicialmente (11 dds) una mayor altura de plántula, podría tener ventajas ambientales en condiciones donde la disponibilidad de humedad es limitada (Karmore y Tomar, 2015). La disminución de la tasa de crecimiento en Mején al final del ciclo de crecimiento (59 dds) podría obedecer a su precocidad de floración, ya que en esas fechas inició la etapa de floración en esa variedad.

Todos los maíces estudiados presentaron variaciones de crecimiento a lo largo de su ciclo fenológico, pero a partir de los 46 dds la raza Negrito sobresalió con los mayores valores (5.7 cm día⁻¹ planta⁻¹) misma que se caracteriza por su porte alto y crecimiento rápido (Conabio, 2010). Hacia la mitad del ciclo las variedades criollas presentaron mayor tasa de crecimiento que VS-536, lo que indica que aquellas respondieron mejor a las condiciones ambientales (Figura 2). Cabe aclarar que en la literatura científica no se encontraron reportes sobre esta variable en trabajos sobre osmoacondicionamiento en maíz.

Producción de materia seca. La variedad Chalqueño a los 25 dds fue la que obtuvo una mayor ganancia de materia seca, con 0.71 g día⁻¹ planta⁻¹, lo que indica un crecimiento inicial rápido. Sin embargo, a los 39 dds el maíz criollo que presentó mayor ganancia de materia seca fue Mején (1.11 g día⁻¹ planta⁻¹). Hacia el final del ciclo de crecimiento (59 dds), los cuatro maíces mostraron una ganancia similar de materia seca. En esta etapa, aun cuando las plantas habían iniciado la floración, la ganancia diaria de MS continuó a niveles similares en las cuatro variedades de maíz bajo experimentación (Figura 3). Como en la variable anterior, en la literatura científica no se encontraron reportes sobre producción de MS en respuesta a tratamientos de osmoacondicionamiento en maíz.

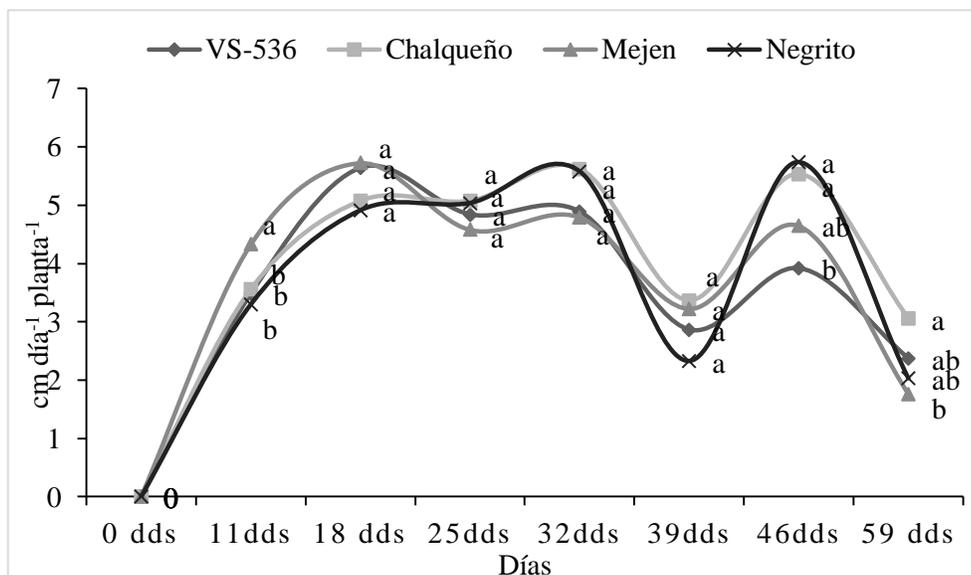


Figura 2. Ganancia en altura (cm día⁻¹ planta⁻¹) calculada para plantas resultantes de semillas osmoacondicionadas de maíces criollos y una variedad sintética (dds = días después de la siembra).

Días a floración

La floración masculina y femenina mostró diferencias significativas entre las variedades, siendo Mejen la que alcanzó la floración masculina a los 48 días y la femenina a los 55 días, lo que representa el menor tiempo para las variedades estudiadas. En contraste, las razas Negrito y Chalqueño tomaron mayor número de días para alcanzar la etapa de floración (Figura 4). Resultados similares fueron publicados por De la Cruz-Lázaro *et al.* (2009) para la variedad VS-536 a los 55 días después de la siembra.

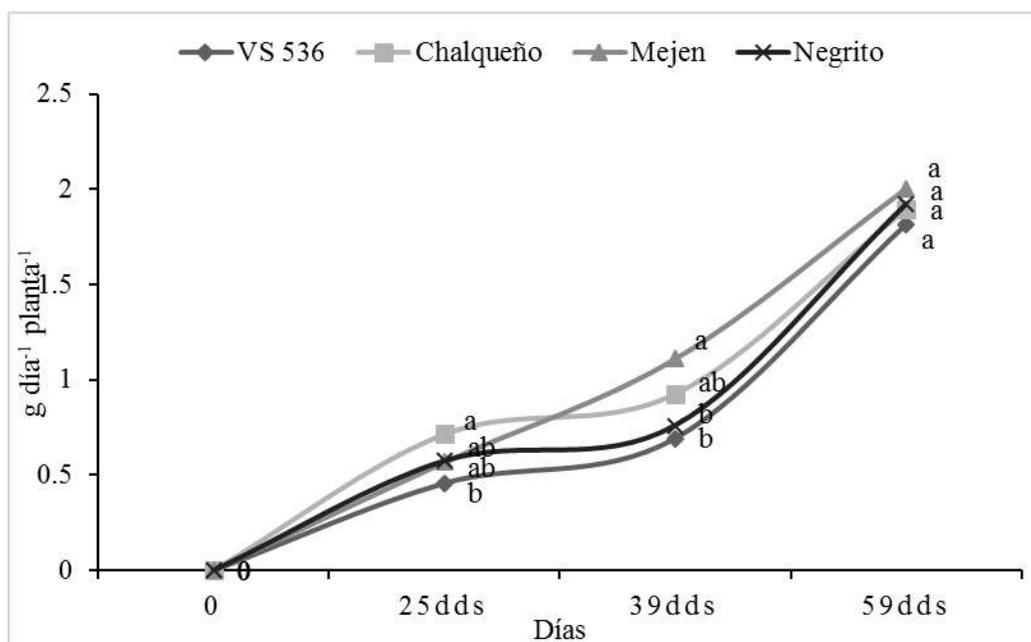


Figura 3. Ganancia de materia seca (g día⁻¹ planta⁻¹) estimada para plantas resultantes de semillas osmoacondicionadas de maíces criollos y una variedad sintética (dds = días después de la siembra).

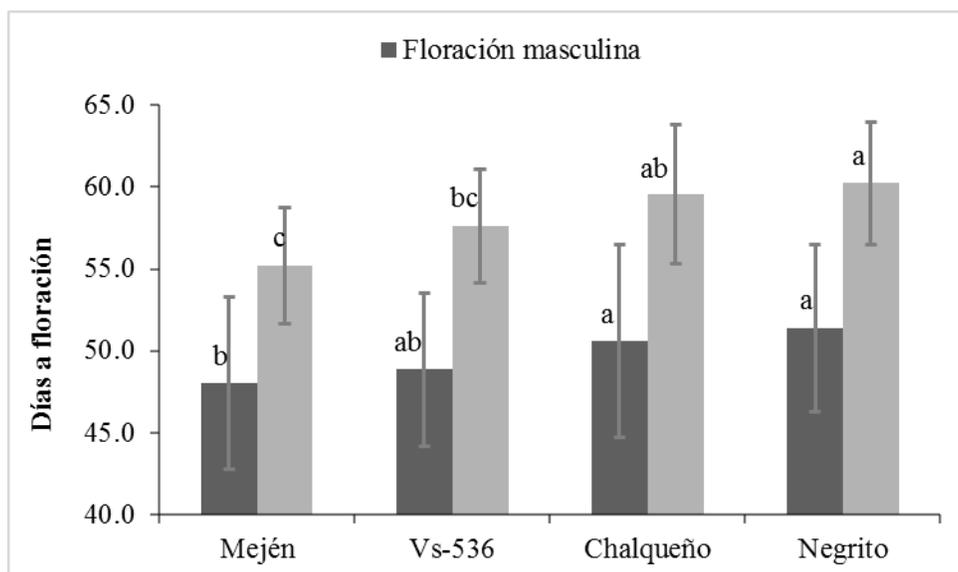


Figura 4. Días a floración registrados para plantas resultantes de semillas osmoacondicionadas de maíces criollos y una variedad sintética (dds = días después de la siembra).

Concentración NPK en planta. Los resultados de este trabajo muestran que la variedad VS-536 presentó las mayores concentraciones de nitrógeno (1.62 %), fósforo (0.32 %) y potasio (0.57 %) en planta, mientras que el criollo Negrito presentó las concentraciones más bajas de estos elementos (1.07, 0.20 y 0.37, respectivamente), siendo los promedios entre variedades estadísticamente diferentes (Figura 5). En este trabajo se observa que los valores de estos nutrientes se corresponden con el comportamiento de variables como altura de planta y producción de materia seca, lo que se explica como resultado de la capacidad de dichas variedades para asimilar y metabolizar los nutrientes. Resultados similares fueron reportados por Bismillah *et al.* (2014), quienes reportan falta de diferencia estadística significativa al usar agua como testigo (en trigo), sobre la concentración de fósforo y potasio a nivel de planta. Sin embargo, en la literatura científica no se encontraron reportes sobre los efectos del osmoacondicionamiento sobre esta variable en maíz.

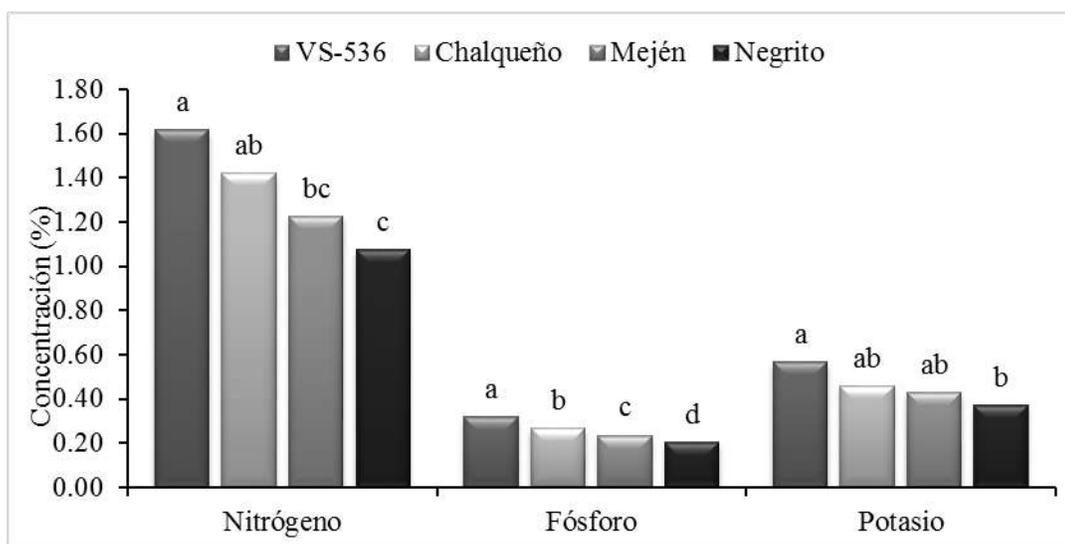


Figura 5. Concentración de N, P y K en cuatro variedades de maíz bajo tratamientos de osmoacondicionamiento.

CONCLUSIONES

Las variedades de maíz presentaron alto porcentaje y velocidad de emergencia en respuesta a los tratamientos de osmocondicionamiento, en especial a los factores tiempo y solución; los criollos Chalqueño y Negrito, en ambos tiempos de imbibición presentaron mayor porcentaje de emergencia en menor tiempo, mientras que Mején presentó mayor altura de planta en los primeros días después de la siembra. Los factores tiempo y solución de osmocondicionamiento favorecieron mayor producción de materia seca cuando las semillas fueron osmocondicionadas con Agua por 18 h. Respecto a los días a floración, las plantas provenientes de las semillas de Mején osmocondicionadas con AG₃ por 18 h y las de maíz Chalqueño osmocondicionadas con Agua por 18 h, resultaron más precoces al presentar el menor número de días a la floración masculina. La concentración de NPK en planta presentó diferencia significativa para el factor variedad, mientras que los factores solución y tiempo de osmocondicionamiento no mostraron efecto significativo sobre esta variable.

LITERATURA CITADA

- Afzal, I., Shahzad, M. B., Ahmad, N., Mumtaz, A. C., Ejaz, A. W., and Khaliq., A. 2002. Effect of priming and growth regulator treatments on emergence and seedling growth of hybrid maize (*Zea mays* L.). *International Journal of Agriculture and Biology*. 2(4): 303-306.
- Ahammad, K. U., Rahman, M., and Ahmed, M. 2014. Effect of osmopriming on the emergence of maize (*Zea mays* L.) seedling. *Bangladesh Journal of Agricultural Research*. 3(39): 427-435.
- Barrera, J., Suárez, D., y Melgarejo., L. M. 2010. Análisis de crecimiento en plantas. Experimentos de fisiología vegetal (págs. 25-38). Colombia.
- Bismillah, M., Gurchani, M. A., Freed, S., Jabran, K., and Hussain, M. 2014. Osmopriming improves the emergence, growth, nutrient uptake and soluble sugar contents of wheat seedlings. *Soil Science Society of Pakistan*. 2(33): 142-148.
- De la Cruz-Lázaro, E., Córdova-Orellana, H., Estrada-Botello, M., Mendoza-Palacios, J., Gómez-Vázquez, A., y Brito-Manzano, N. 2009. Rendimiento de grano de genotipos de maíz sembrados bajo tres densidades de población. *Universidad y Ciencia*. 1(25): 93-98.
- Imran, M., Asim Mahmood, V. R., and Neumann, G. 2013. Nutrient seed priming improves seedling development of maize exposed to low root zone temperatures during early growth. *European Journal of Agronomy*, 49: 141-148.
- Karmore, J. V., and Tomar, G. 2015. Effects of seed priming methods on germination and seedling development of winter maize (*Zea mays* L.). *Advance Research Journal of Crop Improvement*, 2(6). 88-93.
- Lesur, L. 2005. Manual del cultivo de Maíz. Editorial Trillas. México.
- Mahboob, W., Rehman, H. U., Shahzad Maqsood Ahmad Basra, I. A., Abbas, M. A., and Sarwar., M. N. 2015. Seed priming improves the performance of late sown spring maize (*Zea mays*) though better crop and physiological attributes. *International Journal of Agriculture and Biology*, 17: 491-498.
- Moradi-Dezfuli, P., Sharif-Zadeh, F., and Janmohammadi, M. 2008. Influence of priming techniques on seed germination behavior of maize inbred lines (*Zea mays*). *Journal of Agricultural and Biological Science*, 3(3): 22-25.
- Rangel-Fajardo, M. A., Córdova-Tellez, L., y Cárdenas-Soriano, E. 2014. Pérdida de tolerancia a la desecación durante la imbibición-germinación de semillas de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(5): 833-845.
- Tonaka, A., y Yamaguchi, J. 2014. Producción de materia seca, componentes del rendimiento y rendimiento del grano en maíz. Colegio de Postgraduados. México.

REFERENCIAS INFORMATICAS

- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2010. Biodiversidad mexicana <http://www.biodiversidad.gob.mx/usos/maices/grupos/chalqueno.html> (Consultado el 20 de Marzo de 2018).
- Espinosa-Calderón, A., Tadeo-Robledo, M., Mora-García, K., y Turrent-Fernández, A. 2017. La libre circulación de las semillas y la agrodiversidad están en riesgo. Políticas públicas para un México

megadiverso y pluricultural. <http://ecologica.jornada.com.mx/2017/05/26/la-libre-circulacion-de-las-semillas-y-la-agrodiversidad-estan-en-riesgo-1033.html> (Consultado el 21 de Junio de 2018).

Perales, H. y Golicher, D., 2011. Modelos de distribución para las razas de maíz en México y propuesta de centros de diversidad y de provincias bioculturales. http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/pdf/proyecto/Informe%20completo_apendices.pdf. (Consultado el 25 de marzo 2018).

FERTILIZACIÓN FOLIAR EN CILANTRO *Coriandrum sativum* L. FOLIAR FERTILIZATION IN CORIANDER *Coriandrum sativum* L.

¹Avilés Baeza WI, ²Campos Macossay MA

¹Campo Experimental Mocochoá. Km 25, antigua carretera Mérida-Motul, Mocochoá, Yuc., México.

²Invernaderos San Arturo SPR de RL de CV. Calle 24 # 95-D x9 y 7 Chicxulub Pueblo, Yuc.

Autor para correspondencia: aviles.wilson@inifap.gob.mx

RESUMEN

Durante los meses de agosto a septiembre de 2017 se llevó a cabo un experimento para evaluar el efecto de diferentes dosis y número de fertilizaciones en el cultivo de cilantro variedad "Argentina", utilizando como fuente fertilizante una formulación líquida con concentraciones de macronutrientes de: NO_3^- 1.4, PO_4^- 0.2, SO_4^- 0.45, K^+ 0.7, Ca^{++} 0.9, Mg^{++} 0.45 Meq/L, y de micronutrientes: Fe- 0.2, Mn- 0.1, Cu- 0.02, Zn- 0.05, B-0.05, Mo- 0.015 ppm. Los resultados indicaron que la fertilización foliar tuvo un efecto significativo en la producción de materia seca total, promoviendo un mayor rendimiento. La dosis de 12.5 ml/L generó el mayor rendimiento: 114.82 g/m², con un incremento de 43.5% con respecto al testigo (0.0 ml/L). En cuanto al número de aplicaciones, el nivel de tres aplicaciones promovió el mayor rendimiento: 110.01 g/m² con un incremento de 60.3% con respecto al nivel de una aplicación. De igual forma, se observó una relación directa entre el incremento de la dosis y el número de fertilizaciones, donde a mayor dosis y mayor número de aplicaciones, se obtuvo una mayor producción de materia seca.

Palabras clave: *Cilantro, fertilización foliar, suelos pedregosos.*

INTRODUCCION

De acuerdo con estadísticas de 2012 a 2016 consignadas en el Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), el cilantro se cultiva en el estado de Yucatán en una superficie promedio de 64 hectáreas mensuales durante todo el año, con un ciclo de un mes entre la siembra y la cosecha, con lo cual se estima una superficie total anual de alrededor de 750 hectáreas y un valor de la producción de de 14.7 millones de pesos por año. El cultivo se siembra en 13 municipios de la entidad, siendo los principales productores: Ixil en el norte del estado y Sacalum, Oxkutzcab, Ticul y Tekax en el sur; los cuales durante el mismo período han concentrado en promedio el 88.2% de la superficie cultivada.

La fertilización es una práctica que tradicionalmente no se realiza en la zona norte de Yucatán debido a que el productor no percibe su utilidad por el ciclo tan corto del cultivo (30 días). Con base en ello y con el objeto de conocer el efecto de la fertilización foliar sobre la producción de biomasa total del cultivo y demostrar el efecto benéfico de esta práctica, se realizó un experimento durante los meses de agosto a septiembre de 2017, evaluando diferentes dosis y número de fertilizaciones foliares en la variedad "Argentina".

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar y fecha: El estudio se llevó a cabo durante los meses de agosto a septiembre de 2017 en el municipio de Ixil, Yuc, localizado en la región centro norte del estado. El municipio de Ixil está comprendido entre los paralelos 21° 09' y 21° 19' de latitud norte y los meridianos 89° 25' y 89° 34' de longitud oeste, tiene una altura de 9 metros sobre el nivel del mar (Ley Orgánica de los municipios de Yucatán), y un suelo pedregoso, clasificado como leptosol lítico (Bautista and Zinck, 2010).

Metodología Experimental: Durante los meses de agosto a septiembre de 2017 Se estableció un experimento de fertilización foliar utilizando una solución nutritiva concentrada con la siguiente composición de macronutrientes de: NO_3^- 1.4, PO_4^- 0.2, SO_4^- 0.45, K^+ 0.7, Ca^{++} 0.9, Mg^{++} 0.45 Meq/L, y de micronutrientes: Fe- 0.2, Mn- 0.1, Cu- 0.02, Zn- 0.05, B-0.05, Mo- 0.015 ppm. Se estudiaron dos factores: A) Dosis y B) N° de aplicaciones. El primer factor tuvo cuatro niveles y el segundo tres niveles (Cuadro 1). El estudio se desarrolló bajo un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones y un arreglo factorial en parcelas divididas, de acuerdo a la descripción de Reyes (1978) para este tipo de experimentos. En total se evaluaron 12 tratamientos como resultado de las combinaciones de todos los niveles de ambos factores (Cuadro 2).

La siembra se realizó el día 21 de agosto de 2017 por el método "Al voleo", utilizando entre 12 y 15 g de semilla por m² de la variedad "Argentina", utilizando una parcela útil de dos m². La superficie total experimental fue de 96 m².

Las dosis se aplicaron en forma foliar con una aspersora manual con capacidad de 20 litros marca "Mestiza", cubriendo el follaje del cultivo, una vez por semana, en los días 28 de agosto (siete dds), cuatro (15 dds) y 11 de septiembre (21 dds) de 2017.

Las características químicas del agua para las aplicaciones fueron las siguientes: pH: 7.44, Conductividad Eléctrica (CE): 1.05 mS/cm. Contenido de macronutrientes: NO₃⁻ 0.71, PO₄⁻ 0.01, SO₄⁼ 0.5, HCO₃⁻ 5.6, Cl⁻ 3.8, Na⁺ 2.78, K⁺ 0.2, Ca⁺⁺ 5.69, Mg⁺⁺ 1.73 Meq/L. Contenido de micronutrientes: Fe: 0.0, Zn: 0.0, Cu: 0.0, Mn: 0.0, B: 0.1 ppm.

VARIABLES REGISTRADAS. Se registró la variable: Materia seca total, utilizando cuatro muestras por parcela útil mediante un cuadro metálico de 30 x 30 cm (0.09 m²). En cada muestra se tomaron todas las plantas contenidas en el cuadro considerando tanto el follaje como las raíces y se depositaron en bolsas de papel N° 8. Posteriormente las muestras se secaron en una estufa de aire caliente marca Blue M Modelo OV-490A-2, a 60° C por 48 horas, para finalmente pesarse en una balanza digital marca Mettler.

La información se analizó mediante Análisis de Varianza (ANVA) y pruebas de medias por el método de la Diferencia Mínima Significativa (DMS) con p≤0.01.

CUADRO 1. FACTORES EN ESTUDIO EN CILANTRO

Nº	A: DOSIS (ml/L)	B: N° APLICACIONES
1	7.5	1 Aplicación
2	10.0	2 Aplicaciones
3	12.5	3 Aplicaciones
4	0.0	

CUADRO 2. TRATAMIENTOS RESULTANTES DE LA COMBINACIÓN DE FACTORES Y NIVELES

Nº	DOSIS (ml/L)	FRECUENCIA
		(N° APLICACIONES)
1	7.5	1
2	7.5	2
3	7.5	3
4	10	1
5	10	2
6	10	3
7	12.5	1
8	12.5	2
9	12.5	3
10	0 (Agua)	1
11	0 (Agua)	2
12	0 (Agua)	3

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Materia seca total (g/m²).

Análisis de varianza. El análisis de varianza detectó diferencias altamente significativas en la variable materia seca de cilantro, tanto en el factor A: Dosis, como en el B: N° de aplicaciones y en la interacción A x B (Cuadro 3).

CUADRO 3. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA VARIABLE MATERIA SECA DE CILANTRO (g/m²)

FV	GL	SC	CM	F	P>F
REPETICIONES	3	327.50	109.16	0.7276	0.563
FACTOR A	3	11,379.56	3,793.18	25.2826	0.000
ERROR A	9	1,350.28	150.03		

FACTOR B	2	13,801.90	6,900.95	27.7857	0.000
INTERACCION	6	5,205.06	867.51	3.4929	0.013
ERROR B	24	5,960.71	248.36		
TOTAL	47	38,025.03			
C.V. (ERROR B) = 17.45%					

Prueba de medias para los factores A: Dosis y B: N° de aplicaciones. Al realizar la prueba de medias (DMS $p \leq 0.01$) se observó que en el Factor A: Dosis, el nivel de 12.5 ml/L registró el valor más alto de materia seca con 114.82 g/m², el cual fue significativamente diferente a los demás niveles. Las dosis 10.0, 7.5 y 0.0 ml/L registraron valores de 91.49, 74.82 y 80.0 g/m², entre los cuales solo difieren estadísticamente las dosis de 10.0 y 7.5 ml/L (Cuadro 4). El incremento en la dosis de 0.0 a 12.5 ml/L del fertilizante foliar generó un incremento de 43.52% en la producción de materia seca total de cilantro.

En el Factor B: N° de aplicaciones, el mayor rendimiento se obtuvo al realizar tres aplicaciones durante el ciclo con 110.01 g/m², el cual fue significativamente diferente al nivel de dos aplicaciones con 92.22 g/m² y al de una aplicación con 68.61 g/m². El incremento de una a tres aplicaciones del fertilizante foliar generó un incremento de 60.34% en la producción de materia seca total del cultivo.

CUADRO 4. PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA DE CILANTRO CON DIFERENTES DOSIS Y N° DE APLICACIONES DE FERTILIZACIÓN FOLIAR A LOS 30 dds*.

Nº	DOSIS (ml/L)	g/m ²	INC. (%) ¹	Nº APLICS	g/m ²	INC (%)
1	7.5	74.82 c	0.00	1	68.61 c	0.00 ¹
2	10.0	91.49 b	14.36	2	92.22 b	34.41
3	12.5	114.82 a	43.52	3	110.01 a	60.34
4	0.0	80.00 bc				

DMS $p \leq 0.01$ CV=17.45

*dds: Días después de la siembra

¹En relación a la dosis 0.0 ml/L

En este sentido, algunos estudios han demostrado el beneficio de la fertilización foliar, por ejemplo Shanu (2012) y Sinta *et al.* (2015), mencionan que las aplicaciones de 1,000 ppm de Thiourea y soluciones foliares al 0.5% de micronutrientes (sulfatos de Fe, Zn, Cu y Mn), han dado como resultado un mayor tamaño de plantas, de biomasa fresca y seca, así como un mayor contenido de clorofila y de aceites esenciales, número de umbelas y producción de semillas.

Interacción A: Dosis x B: N° de aplicaciones. En la Figura 1 se presenta el comportamiento de la producción de materia seca de los niveles de B (N° de aplicaciones) en cada nivel de A (Dosis). En general se observa que, a excepción de la dosis de 7.5 ml/L en todas las demás, la aplicación del fertilizante foliar en tres ocasiones durante el ciclo generó los valores más altos de materia seca del cultivo con 92.3 g/m² en la dosis de 0.0 ml/L, 112.2 en la de 10.0 ml/L y 143.4 g/m² en la dosis de 12.5 ml/L. La aplicación en dos ocasiones registró un comportamiento intermedio (75.6 a 106.7 g/m²), mientras que la aplicación del fertilizante en una sola ocasión registró los valores más bajos de materia seca en todas las dosis (72.2 a 94.5 g/m²).

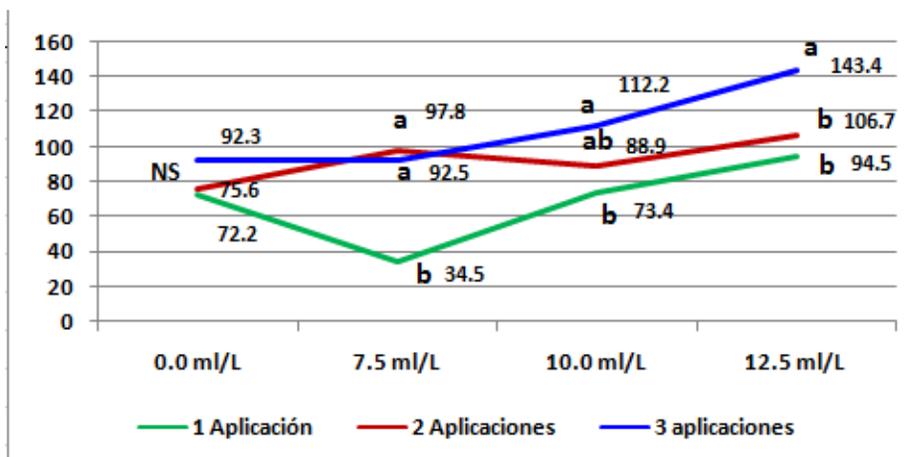


Figura 1. Comportamiento de los niveles de B, dentro de cada nivel de A. Materia seca (g/m²)

El número de aplicaciones no fue estadísticamente diferente en la dosis de 0.0 ml/L con valores de 72.2 a 92.3 g/m², en la dosis de 7.5 ml/L los mayores rendimientos se obtuvieron con dos (97.8 g/m²) y tres aplicaciones (92.5 g/m²) al igual que en la dosis de 10 ml/L (88.9 y 112.2 g/m²). En la dosis de 12.5 ml/L el mayor rendimiento se obtuvo con tres aplicaciones (143.4 g/m²), el cual fue significativamente diferente a los niveles de una y dos aplicaciones (Cuadro 4).

CONCLUSIONES

La fertilización foliar tuvo un efecto significativo en la producción de materia seca de cilantro, promoviendo un mayor rendimiento.

Dentro del factor A: Dosis, el nivel de 12.5 ml/L generó el mayor rendimiento, con un incremento de 43.5% con respecto al testigo.

Dentro del factor B: N° de aplicaciones, el nivel de tres aplicaciones generó el mayor rendimiento con un incremento de 60.3% con respecto al nivel de una aplicación.

Se observó una relación directa entre el incremento de la dosis y el número de fertilizaciones, donde a mayor dosis y mayor número de aplicaciones se obtuvo una mayor producción de materia seca.

LITERATURA CITADA

- Bautista, F.; JA Zinck. 2010. Construction of an Yucatec Maya soil classification and comparison with the WRB framework. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*. 6:7.
- Ley orgánica de los municipios de Yucatán. 2006. Decreto 660. Diario oficial del Gobierno del estado de Yucatán. 25 de enero de 2006.
- Reyes C., P. 1978. Diseños de experimentos agrícolas. Editorial Trillas. México. pp 61-81.
- Shanu. 2012. Effect of seed treatment and foliar spray of thiourea on growth, yield and quality of coriander (*Coriandrum sativum* L.) under different irrigation levels.
- Sinta, I.; Vijayakumar, A.; Srimati, P. 2015. Effect of micronutrient application in coriander (*Coriandrum sativum* L.) cv CO₄. *African journal of agricultural research*. Pp. 84-88.

REFERENCIAS INFORMATICAS

- SIAP, 2018. <http://www.siap.gob.mx/> (consultado el 1 de mayo de 2018).

RENDIMIENTO DE GRANO BAJO REGIMEN DE TEMPORAL DE MATERIALES HIBRIDOS Y AVANZADOS DE MAÍZ EN YUCATAN
GRAIN YIELD UNDER THE TEMPORARY REGIME OF HYBRID AND ADVANCED CORN MATERIALS IN YUCATAN

¹Rangel Fajardo MA, ¹Tucuch Haas JI, ²Bastos Barbudo DdelaC, ³Villalobos González A, ⁴Nava García JR, ⁵Burgos Díaz JA

¹INIFAP. CIRSE. Campo Experimental Mococho. km 25 Antigua carretera Mérida-Motul. CP.97454. Tel.5538718700 ext. 88216

² Instituto Tecnológico de Conkal. Avenida Tecnológico s/n Conkal, Yucatán, C.P. 97345.

³INIFAP. CIRSE. Campo Experimental Edzna.

⁴INIFAP. CIRSE. Campo Experimental Chetumal.

⁵Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Km. 36.5, México, Montecillo, 56230 Montecillo., México.

Autor para correspondencia: rangel.alma@inifap.gob.mx.

RESUMEN

El maíz es un insumo de la dieta diaria de los mexicanos. En la Península de Yucatán los rendimientos de este grano básico se encuentran por debajo del promedio nacional, esta situación se considera que es consecuencia del uso de materiales con bajos rendimientos y que no se expresan adecuadamente a las condiciones de la zona. Por lo anterior, se llevó el seguimiento agronómico y de rendimiento de 25 materiales de maíz de diferente avanza de mejoramiento genético. El ensayo se estableció bajo temporal en el ciclo PV 2017 en un diseño de lattice de 5 x 5 con dos repeticiones con cuatro surcos por parcela, considerando como parcela útil los dos surcos centrales. El manejo fue bajo el paquete tecnológico recomendado para el estado. Las variables respuesta registradas fueron días a floración femenina y masculina, altura de planta, altura a la mazorca, grosor de la mazorca, longitud de mazorca, número de hileras, granos por hilera y rendimiento estimado. El análisis de datos (ANOVA) y la comparación de medias (Tukey 0.05) se realizó con SAS 9.3. No se encontraron diferencias significativas en las primeras cinco variables enunciadas, por otro lado, longitud de mazorca, número de hileras y granos por hilera y rendimiento registraron diferencias ($p \leq 0.05$). Sobresalieron dos materiales avanzados CLTHW13002 y CLTHW13001 con rendimientos de 3249 y 3758 kg/ha respectivamente. Es necesario continuar con las evaluaciones para tener una conclusión firme de que estos materiales pueden ser una opción viable para elevar los rendimientos de maíz entre los productores de este grano en Yucatán.

Palabras clave: *longitud de mazorca, número de hileras, altura de plantas, rendimiento estimado.*

INTRODUCCION

El maíz es base de la alimentación para el pueblo mexicano y para muchas culturas en Mesoamérica. De acuerdo con Polanco y Flores (2008) el maíz es el principal cultivo en México, se siembra en diferentes altitudes, condiciones climáticas y de suelo, además de poseer valores culturales, simbólicos y espirituales.

En la Península de Yucatán anualmente se programan alrededor de 250 mil ha para el cultivo de maíz de las cuales más del 50 % se siembran con semillas de origen criollo, de acuerdo con García-Salazar y Ramírez-Jaspeado (2014), solo el 42% de las siembras de maíz en el país fue con semilla mejorada y en el caso particular de Yucatán se reportó que se emplearon 2509 toneladas de semilla criolla, durante el periodo 2008/2010. Es cierto que el uso de semillas mejoradas se ha vuelto una necesidad en el campo agrícola. Es el principal insumo que repercute directamente sobre el rendimiento obtenido. A pesar de esto en México no se siembra ni el 50 % de la superficie de maíz con semilla mejorada, esto responde al alto costo de las semillas mejoradas en el país (Espinosa- Calderón et al., 2014), a un arraigo cultural y a que los paquetes tecnológicos de las semillas están fuera del alcance de los productores; sin embargo, existen opciones que permiten que los agricultores cuenten con una fuente de semilla segura, que este adaptada a su región.

Entre los insumos empleados en la agricultura, el más importante lo constituye la semilla para siembra; el uso de semilla de excelente calidad permite introducir cambios en la tecnología, tales como el uso de nuevas variedades mejoradas de alta calidad productiva y mejor calidad nutritiva así como el uso de técnicas modernas de producción. Por otro lado si no se cuenta con semilla de buena calidad, los años de investigación y esfuerzos llevados a cabo para la liberación de materiales altamente rendidores y la generación de tecnología de producción para el cultivo se vendrían abajo en forma drástica en perjuicio de los productores.

Uno de los principales problemas que enfrentan muchos productores de la región es la falta de volúmenes suficientes y en forma oportuna de materiales de maíz de excelente calidad y recomendadas para la región; muchas de la semilla que se vende en la entidad es producida en otros Estados de la República, trayendo esto como consecuencia que dicha semilla en ocasiones presente problemas de viabilidad y vigor al ser transportada grandes distancias, de acuerdo con CIMMYT (1999) menciona que la multiplicación de semilla fuera del lugar de adaptación de un material puede ocasionar cambios rápidos en su estructura genética y por tanto en sus características fenotípicas de la variedad, por el contrario el mantenimiento y la producción de semilla de una variedad en su área de adaptación contribuye a producir cantidades más elevadas de semilla de buena calidad y en consecuencia a los altos rendimientos

El INIFAP se ha caracterizado por proporcionar tecnología de vanguardia al agro mexicano. Uno de sus lados fuertes es la generación de variedades vegetales potenciales y adaptadas a las condiciones climáticas de los diferentes nichos agroclimáticos del país. Sin embargo, es necesaria la evaluación de estas semillas en las regiones de interés antes de poder promocionarlas entre los productores.

Debido a lo anterior el presente trabajo pretende identificar materiales que puedan presentar potencial para impulsarlos entre los productores de Yucatán y con ello buscar el incremento en sus rendimientos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron 25 materiales de maíz, variedades, híbridos y materiales avanzados provenientes del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) y del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) (Cuadro 1). Toda la semilla empleada fue producida en los Campos Experimentales de Iguala Guerrero y Cotaxtla Veracruz.

Las evaluaciones fueron realizadas en los laboratorios del Campo Experimental Mocochoá INIFAP, que se encuentra ubicado en el km 25 Antigua carretera Mérida-Motul, Yucatán, México.

La siembra se programó el día 10 de julio, la evaluación se realizó bajo un régimen de temporal en el ciclo PV 2017. El paquete tecnológico empleado fue el recomendado para Yucatán. La siembra fue realizada a mano en parcelas de cinco metros de longitud y cuatro surcos, empleando como parcela útil los dos surcos centrales. Las variables respuesta que fueron consideradas fueron días después de la siembra a floración femenina y masculina (DDS), altura de planta expresada desde la base del tallo hasta el final de la espiga, altura de la mazorca tomada desde la base inferior del tallo hasta la zona de inserción de la primer mazorca productiva, ambas expresadas en centímetros; largo y ancho de mazorca tomadas del promedio de diez mazorcas de cada parcela y expresadas en centímetros; granos por hilera, número de hileras por mazorca y estimación del rendimiento en kilogramos por hectárea.

El ensayo se estableció en un diseño lattice de 5x5 con dos repeticiones, en análisis de variancia y la comparación de medias Tukey (0.05) se realizaron con ayuda de SAS 9.3.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los materiales empleados no presentaron diferencias ($p \leq 0.05$) en las variables de días a floración masculina y femenina, altura de planta, altura de mazorca y ancho de mazorca, mientras que las variables: largo de mazorca, número de hileras, granos por hilera y rendimiento estimado registraron diferencias ($p \leq 0.05$) (Cuadro 2).

Cuadro 1. Materiales de maíz empleados en la evaluación.

Número de identificación	Nombre del material	Tipo de material
1	H-516	Hibrido
2	H-562	Hibrido
3	H-563	Hibrido
4	H-565	Hibrido
5	H-568	Hibrido
6	H-520	Hibrido
7	H-567	Hibrido
8	VS-653	Variedad
9	HEV3B	Avanzado
10	CLTHW13001	Avanzado
11	CLTHW13002	Avanzado
12	CLTHW13005	Avanzado
13	CLTHW14001	Avanzado
14	CLTHW14003	Avanzado
15	CLTHW14005	Avanzado
16	CLTHY13002	Avanzado
17	SINT. AMAR. OCOTITO	Avanzado
18	SINT. BLANCO OCOTITO	Avanzado
19	SINT. A DENTADO	Avanzado
20	SINT B CRISTALINO	Avanzado
21	POB. 501 C2	Avanzado
22	POB 502 C5	Avanzado
23	POB 510 HGA	Avanzado
24	POB 510 HGB	Avanzado
25	SINT 1A	Avanzado

Los materiales evaluados se han mejorado para las condiciones de trópico húmedo, registrando así la floración femenina entre los 54 a 57 DDS y la floración masculina entre 54 a 57 DDS. Esta condición favorece la polinización y asegura el llenado completo de las mazorcas, resultando los materiales CLTHW14001 y SINT B CRISTALINO como los más precoces ya que ambas floraciones estaban presentes a los 54 DDS (datos no mostrados), mientras que la diferencia de días en la sincronización entre ambas floraciones fue de 1 a 0 días, lo que aseguro una polinización eficiente. De acuerdo con Barbieri et al (2000) y Noriega et al. (2011) el número de hojas, en el caso del maíz, están determinados genéticamente, sin embargo, esto puede ser modificado por aspectos como temperaturas y la fertilidad del suelo del cultivo. Por lo que es necesario visualizar esta característica durante la evaluación de materiales que aún están en proceso de mejoramiento.

A pesar de no contar con diferencias estadísticas en la variable altura de planta, si sobresalieron visualmente materiales como CLTHW14005 el cual registro 40 cm por encima de H-562, el cual fue el material de menor altura, mientras que CLTHW13002 reportó la mayor altura de mazorca superando a POB 510 HGA con 46.5 cm. Una variable más que no registró diferencias fue el ancho de mazorca El largo de mazorca registro diferencias ($p \leq 0.05$) sobresaliendo CLTHW13001 con mazorcas en promedio de 17.13 cm por encima de POB 502 C5 que reporto mazorcas de 12.2 en promedio, el material con mazorcas más pequeña. Por otro lado, el número de hileras por mazorca el material CLTHW13005 resalto del resto mientras POB 510 HGA presentó el menor número de hileras en promedio. La variable granos por hilera arroja a CLTHY13002 como el material con la mayor cantidad en promedio de granos por hilera, mientras que CLTHW13005 con solamente 24.1 granos por hilera en promedio.

La caracterización y evaluación de materiales mejorados o en proceso de mejoramiento, bajo las condiciones a las cuales se destinarán, es una práctica que debe ser realizada, de ello dependerá la estimación del éxito o fracaso de los materiales (Bonamico et al., 2004), dentro de los caracteres que deben ser evaluados son las características del producto final, ya que con ellos indican el potencial productivo (Bejarano et al., 2000). Silva et al. (2009) identificaron que las variables menos afectadas en su evaluación fueron número de hileras, número de granos por hilera y grosor de la mazorca, sin

embargo, esta observación fue hecha al analizar el comportamiento en diferentes fechas de siembra. Por otro lado, Ángeles- Gaspar et al. (2010) detectaron, en poblaciones nativas de maíz del estado de Puebla, que algunas de las variables que presentaban mayor influencia en sobre el rendimiento eran: longitud de la mazorca, número de hileras, granos por hilera y diámetro de la mazorca entre otras. En el caso particular la longitud de mazorca, los granos por hilera y el número de hileras fueron los que registraron diferencias que afectaron el rendimiento directamente (Figura 1), a pesar de que el material que reporto el mayor número de granos por hilera no fue el de mayor rendimiento pero se mantuvo como el segundo más alto CLTHW13002 con 3244.1 kg/ha solamente fue superado por CLTHW13001 el cual registro un rendimiento de 3758.3 y fue el material con las mazorcas de mayor longitud (17.13 cm en promedio).

Cuadro 2. Promedio de las variables respuesta evaluadas en 25 materiales de maíz

Nombre material	del	Altura de planta (cm)	Altura de mazorca (cm)	Largo de mazorca (cm)	Ancho de mazorca (cm)	Número de hileras	Granos por hilera
H-516		177 a	63,38 a	15,32 abcd	4,42 a	13,88 ab	32,33 abc
H-562		160,3 a	43,5 a	14,13 abcd	4,19 a	13,1 ab	30,8 abcd
H-563		161,25 a	51,25 a	13,98 abcd	4,44 a	14,1 ab	29,2 abcd
H-565		189,25 a	62,25 a	15,38 abcd	4,58 a	15,1 ab	33,3 ab
H-568		199,75 a	66,75 a	14,93 abcd	4,50 a	14 ab	31,05 abcd
H-520		182,75 a	54,75 a	14,45 abcd	4,17 a	12,2 ab	31,2 abcd
H-567		170,25 a	57,25 a	14,45 abcd	4,46 a	14,4 ab	27,55 bcd
VS-653		194,25 a	78,75 a	13,4 bcd	4,16 a	14,2 ab	28,75 abcd
HEV3B		182 a	51,25 a	16,33 ab	4,50 a	14 ab	31,9 abc
CLTHW13001		194 a	67 a	17,13 a	4,73 a	15,3 ab	34,25 ab
CLTHW13002		195,25 a	83 a	14,9 abcd	4,63 a	15,5 ab	29,2 abcd
CLTHW13005		190 a	65,5 a	13,48 bcd	4,32 a	15,75 a	24,1 d
CLTHW14001		193 a	62,75 a	14,95 abcd	4,50 a	14,1 ab	30,05 abcd
CLTHW14003		191,25 a	68,25 a	16,38 ab	4,38 a	14,7 ab	33,8 ab
CLTHW14005		203,5 a	72 a	14,7 abcd	4,57 a	14,4 ab	30,85 abcd
CLTHY13002		202,5 a	82 a	16,15 abc	4,27 a	13,7 ab	35,6 a
SINT. AMAR.		172 a	57,25 a	14,73 abcd	4,19 a	12,7 ab	28,25 abcd
OCOTITO							
SINT. BLANCO		168,5 a	47,5 a	14,35 abcd	4,08 a	14,05 ab	28,8 abcd
OCOTITO							
SINT. A		180 a	55 a	13,73 bcd	4,28 a	13,8 ab	30 abcd
DENTADO							
SINT. B		183,75 a	60,25 a	14,38 abcd	4,33 a	13,8 ab	30,1 abcd
CRISTALINO							
POB. 501 C2		188,25 a	68,25 a	13,4 bcd	4,0 a	12,7 ab	28,3 abcd
POB 502 C5		149,8 a	38,5 a	12,2 d	3,92 a	12,6 ab	25,45 cd
POB 510 HGA		152,5 a	35,5 a	12,88 cd	3,73 a	11,9 b	24,95 cd
POB 510 HGB		164,5 a	44,67 a	13,48 bcd	4,45 a	14,73 ab	29,53 abcd
SINT 1A		189,5 a	69,25 a	14,34 abcd	4,14 a	14 ab	27,8 bcd
DMS		63	59.35	3.37	1.04	3.74	7.69

Medias con la misma letra en cada variable no son estadísticamente diferentes. (Tukey 0.05)

Existen más caracteres que se encuentran asociados o afectan el rendimiento, sin embargo, esta aproximación da idea del comportamiento de estos materiales en las condiciones de Yucatán bajo un régimen de temporal. Estas evaluaciones son necesarias de manera regional y por algunos ciclos, al menos tres, que permitan confiar en los resultados obtenidos de un solo ciclo, no obstante, es el inicio para la selección de materiales que satisfagan las necesidades de la región y dé la posibilidad de identificar otros problemas que pudiesen presentarse y atender oportunamente.

CONCLUSIONES

De los 25 materiales evaluados, los materiales avanzados CLTHW13002 y CLTHW13001 registraron los mayores rendimientos. Por otro lado, de entre los híbridos comerciales el H-565 presento rendimientos cercanos a los dos materiales sobresalientes.

Es necesario repetir el ciclo productivo uno o dos años más de manera que se pueda confirmar la tendencia presentada en estos resultados.

Es necesario tomar en cuenta más variables que contribuyan al rendimiento y ayuden a explicar de forma clara las respuestas obtenidas.

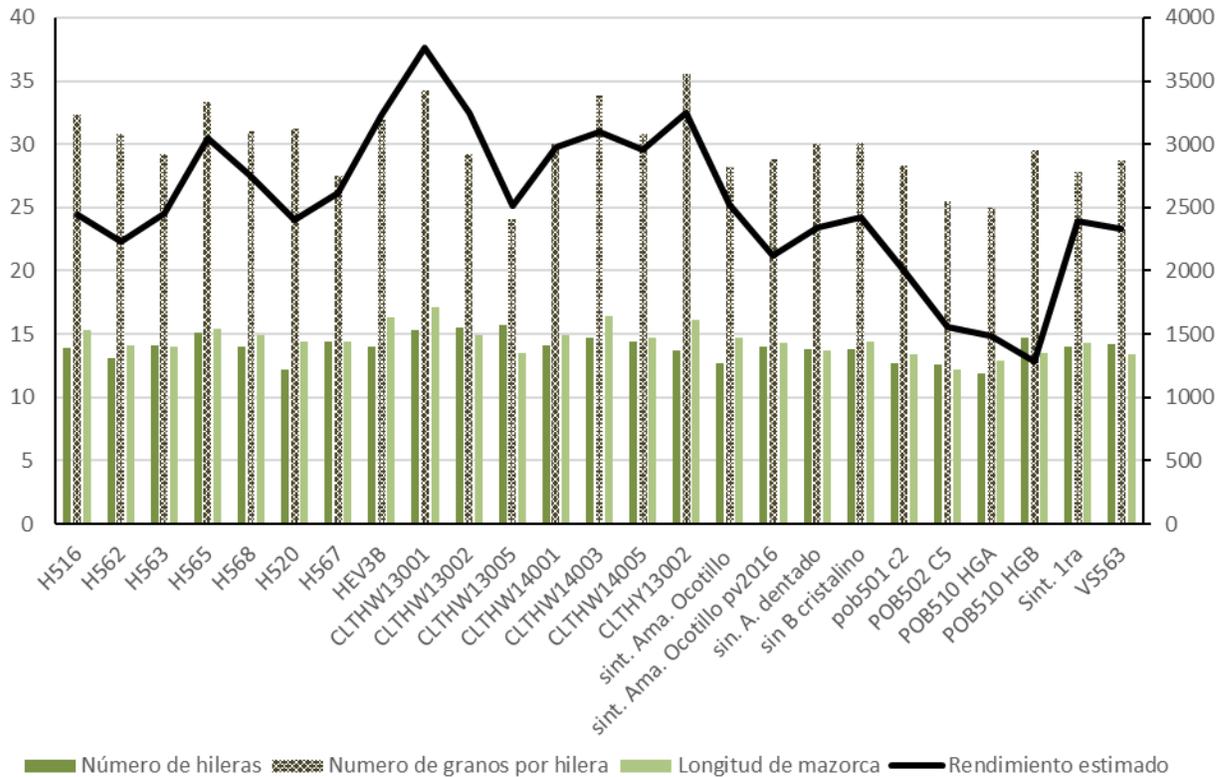


Figura 1. Rendimiento estimado y variables respuesta de 25 materiales de maíz evaluados en PV 2017 en Uxmal, Yucatán.

LITERATURA CITADA

Ángeles-Gaspar, E., Ortiz-Torres E., López A. P. y López-Romero G. 2010. Caracterización y rendimiento de poblaciones de maíz nativas de Molcaxac, Puebla. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 33: 287-296.

Barbieri, P. A.; Sainz, H.; Andrade, F. H. and Echeverría, H. E. 2000. Row spacing effects at different levels of nitrogen availability in maize. *Agronomy Journal*. 92: 283-288.

Bejarano, A. 2003. Descripción y prueba del híbrido simple de maíz amarillo FONAIAP 1. *Agronomía Trop*. 53 (4): 501-506.

Bonamico, N.; J. Aiassa, M. Ibañez, M. Di Renzo, D. Díaz y J. Salerno. 2004. Caracterización y clasificación de híbridos simples de maíz con marcadores SSR. *Revista de Investigaciones Agropecuarias* 33 (2): 129-144.

Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). 1999. Desarrollo, mantenimiento y multiplicación de semilla de variedades de polinización libre. Segunda edición. CIMMYT. México D.F.

Espinosa-Calderón, A., A. Turrent-Fernández, M. Tadeo-Robledo, A. San Vicente-Tello, N. Gómez-Montiel, R. Valdivia-Bernal, M. Sierra-Macías y B. Zamudio-González. 2014. Ley de semillas y Ley federal de variedades vegetales y transgénicos de maíz en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 5: 293- 308.

García-Salazar, J. A., & Ramírez-Jaspeado, R. 2014. El mercado de semilla mejorada de maíz en México: Un análisis del Saldo Comercial por entidad federativa. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 37:69-77.

- Noriega, G. L. A., Preciado O. R. E., Andrio E. E., Terrón I. D. A. y Covarrubias P. J. 2011. Fenología, crecimiento y sincronía floral de los progenitores del híbrido de maíz QPM H-374C. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 2: 489-500.
- Polanco-Jaime, Alejandro y Trinidad Flores Méndez (2008), Bases para una política de I&D e innovación de la cadena de valor del maíz, Foro Consultivo y Científico, a.c., México.
- Silva, D. W. R., Alfaro J. Y. J. y Jiménez A. R. 2009. Evaluación de las características morfológicas y agronómicas de cinco líneas de maíz amarillo en diferentes fechas de siembra. *Revista UDO Agrícola*. 9: 743-755.

DL₅₀ Y GR₅₀ CON RADIACIÓN GAMMA EN SOYA *Glycine max* L. Merr. VARIEDAD HUASTECA 100

LD₅₀ AND GR₅₀ WITH GAMMA RADIATION IN SOYBEAN *Glycine max* L. Merr. VAR. HUASTECA 100

¹Gálvez Marroquín LA, ¹Ovando Cruz ME, ²Alonso Báez M, ²Maldonado Méndez JJ, ²Grajales Solís M

¹Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Melchor Ocampo No. 7, Santo Domingo Barrio Bajo, Etla, Oaxaca. C. P. 68200.

²Campo Experimental Rosario Izapa-INIFAP. Km 18 Carretera Tapachula-Cacahoatán, Tuxtla Chico, Chiapas. C.P. 30870.

Autor por correspondencia: galvezluis2010@gmail.com

RESUMEN

La radiación gamma es un mutágeno físico que ha permitido la creación de líneas mutantes de soya de altos rendimientos, precoces, resistentes a la sequía y a enfermedades. Para iniciar un programa de mejoramiento de soya para caracteres de rendimiento por mutagénesis inducida con radiaciones gamma es necesario determinar la dosis letal y reductiva media (DL₅₀ y GR₅₀, de manera respectiva). Los resultados obtenidos de estudios de radiosensibilidad en diferentes especies, indican que existe una respuesta diferencial aún entre variedades de la misma especie. Por lo tanto, el presente trabajo tuvo el objetivo de estimar la DL₅₀ y GR₅₀ con radiación gamma en semillas de soya variedad Huasteca 100. Los tratamientos fueron 15 dosis de radiación (1-1250 Gy) y un control (sin irradiar). El experimento se estableció en macetas, bajo un diseño experimental bloques al azar con cuatro repeticiones. Se evaluó germinación, sobrevivencia, altura y número de semillas por planta para estimar la DL₅₀ y GR₅₀ mediante regresión lineal y cuadrática. Se modelaron sobrevivencia, altura y número de semillas por planta, ya que dosis fue significativa en estas variables. La DL₅₀ para sobrevivencia se estimó a 438 Gy donde no se observó producción de semillas, mientras que la GR₅₀ para altura y número de semillas se calculó a 252 y 298 Gy, respectivamente. Con base en la GR₅₀, dosis desde 252 Gy hasta 298 Gy pueden ser consideradas adecuadas para inducir variación genética en soya variedad Huasteca 100.

Palabras clave: *Glycine max*, rayos gamma, DL₅₀, GR₅₀.

INTRODUCCIÓN

Debido a su alto contenido de proteínas y aceite en la semilla, la soya se considera un alimento funcional muy importante en la dieta de un hombre. Solo en México, la superficie sembrada es de hectáreas con una producción anual de 432,927.48 t (SIAP, 2017), sin embargo; la producción de semilla en el país es insuficiente para satisfacer la demanda interna ya que solo se cubre un 3.5% de los requerimientos anuales. La producción de semillas se ve afectada por la falta de variedades de alto rendimiento y la falta de adaptación de las condiciones edafoclimáticas de las regiones productoras de soya.

Con el fin de abordar todos estos problemas, las estrategias de mejora en la soya se centran principalmente en la mejora genética clásica y en la mutagénesis inducida (en una frecuencia baja) en México. La mutagénesis inducida, a diferencia de otros métodos, permite generar mutaciones aleatorias en todo el genoma (ya sea en un locus o en un gen), crea una gran variabilidad (Foster y Shu, 2012); y por lo tanto, permite el desarrollo de nuevas líneas o variedades mutantes.

La mutagénesis inducida se transmite a través de agentes químicos y físicos (Leitão, 2012; Mba y Shu, 2012). La radiación gamma, que es un mutágeno físico, ha permitido, en mayor medida, la creación de líneas mutantes de alto rendimiento que son resistentes a la sequía, las enfermedades, la precocidad, entre otros. Estos han contribuido a la seguridad alimentaria (Kharkwal y Shu, 2009).

Para iniciar un programa genético de mejora a través de la mutagénesis, se debe determinar una dosificación de mutágeno, ya que puede permitir una frecuencia mutagénica óptima en la población objetivo. Kodym *et al.* (2012) reportan que esta dosis está relacionada con la DL₅₀ (dosis que reduce 50 % la germinación y sobrevivencia de plantas) o RD₅₀ (dosis que reduce 50 % el crecimiento y la producción de semillas de plantas de la generación M1).

La determinación de estos parámetros aumenta las posibilidades de éxito en la generación de mutantes, ya que los resultados obtenidos de estudios de radiosensibilidad en diferentes especies, indican que existe una respuesta diferencial aún entre variedades de la misma especie (Kodym *et al.*, 2012; Olasupo *et al.*, 2016). Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue determinar la dosis letal y reductiva media con rayos gamma en semillas de soya variedad Huasteca 100.

MATERIALES Y MÉTODOS

La irradiación de las semillas de soya variedad Huasteca 100 se efectuó en la planta de irradiación de Moscafrut dependiente de la SAGARPA, ubicado en Metapa de Domínguez, Chiapas, México, con el equipo panorámico Gamma Beam 127 MDS Nordion, con fuente de almacenamiento de 50 g ^{60}Co en seco. Las semillas fueron expuestas a dosis de radiación gamma de 1, 5, 10, 20, 50, 100, 150, 200, 240, 320, 360, 400, 440, 620 y 1250 Gy, se utilizaron 60 semillas por dosis con 10.72 % de humedad. La evaluación de germinación, sobrevivencia, altura de planta y número de semillas de soya var. Huasteca 400 se estableció en condiciones de invernadero en el Campo Experimental Rosario Izapa ubicado en Tuxtla Chico, Chiapas (14° 40' 16.1'' LN, 92° 42' 59.1'' LO, 435 m de altitud). Al día siguiente de la irradiación de las semillas, se realizó la siembra en macetas, de bolsas de polietileno negro de 20 cm de diámetro por 40 cm de profundidad. El sustrato consistió de 10 kg de suelo en cada maceta (textura franco arenoso, pH de 6.86 y materia orgánica de 5.0 %). El diseño experimental fue bloques completamente al azar con cuatro repeticiones, cada repetición consistió de tres macetas en las cuales se sembraron cinco semillas por cada una.

El porcentaje de germinación se evaluó a los 9 días después de la siembra (DDS); la sobrevivencia de plantas al inicio de floración (R1) a partir del número de plantas emergidas a los 9DDS (covariable); la altura de planta al inicio de la madurez fisiológica (R8) medido a partir de la base hasta el ápice terminal del tallo principal (3 plantas por repetición); y el número de semillas producidos por planta (3 plantas por repetición).

Los datos se analizaron por ANOVA y ANCOVA tomando en cuenta el cumplimiento de los supuestos del modelo. La comparación de medias se llevó a cabo con la prueba de Dunnett. El análisis de los datos se realizó con SAS 9.0 y la asignación aleatoria de los tratamientos a las unidades experimentales mediante R versión 3.3.2.

La DL_{50} para germinación y sobrevivencia, y la GR_{50} para altura y número de semillas por planta, se determinó con base en los parámetros de modelos de regresión lineal y cuadrática. La selección del modelo se efectuó con base en los siguientes criterios: i) valor mayor del coeficiente de determinación simple o ajustado (una o dos variables independientes), ii) valor menor del cuadrado medio del error y iii) valor menor de la prueba de CP de Mallows.

La determinación de la DL_{50} para sobrevivencia de plantas, se realizó por exploración mediante los parámetros de los modelos de estudio con un número inicial de 12 plantas, el cual se llevó a cabo en Excel 2013. Mientras que el cálculo de la GR_{50} para altura y número de semillas por planta se llevó a cabo con base en las ecuaciones siguientes (ej. Altura de planta): Modelo de regresión lineal simple, $GR_{50} = (Vmt \cdot 0.5) - \beta_0 / \beta_1$; y Modelo de regresión cuadrática, $GR_{50} = \text{Raíz} [(Vmt \cdot 0.5) - \beta_0 / \beta_1]$, donde: GR_{50} = Dosis de reducción media de altura de planta; Vmt = Valor máximo de altura de planta del testigo (sin irradiar); β_0 = parámetro del modelo, ordenada al origen; y β_1 = parámetro del modelo, pendiente de la recta.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Germinación

El porcentaje de germinación de soya variedad Huasteca 100 a los 9 DDS no presentó reducción significativa aun en dosis de 1250 Gy (Cuadro 1). Resultados similares publican Aminah *et al.* (2015), quienes irradiaron semillas de soya variedad Anjasmoro a diez dosis de radiación gamma (100-1000 Gy, más control), donde encontraron diferencia no significativa del efecto de los tratamientos de radiación gamma en la germinación. Sin embargo, Khan y Tyagi (2010) al irradiar las variedades de soya Pusa-16 y PK-1042, reportan disminución de la germinación al incrementar la dosis de radiación gamma. Diversos autores, mencionan que el grado de sensibilidad a la radiación gamma se debe al genotipo, dosis de radiación, tiempo de exposición, cantidad de ADN, nivel de ploidía y contenido de humedad (Raghuvanshi y Singh, 1977; Kahrizi *et al.*, 2012; Horn y Shimelis, 2013).

Sobrevivencia de plantas

La sobrevivencia de las plantas M1 de soya variedad Huasteca 100, presentaron tendencia de disminución cuando se incrementa la dosis de radiación gamma; se determinó un efecto negativo en la sobrevivencia de plantas a partir de 360 Gy. Mientras dosis de 620 y 1250 Gy producen la mortalidad del 100 % de las plantas (Cuadro 1), ya que no emitieron hojas unifoliadas para realizar la fotosíntesis. En este sentido, Ramesh *et al.* (2013) reportan en genotipos de Mulberry, reducción de la sobrevivencia al incrementar la dosis de radiación gamma. Este resultado se debe las aberraciones mitóticas como consecuencia de la irradiación (Murugan *et al.*, 2015).

Altura de planta

La altura de planta de soya variedad Huasteca 100, disminuyó en función del incremento de la dosis de radiación gamma Co^{60} , estos resultados coinciden con los trabajos de Aminah *et al.* (2015) y Kadhimi *et al.* (2016) quienes observaron reducción de la altura de planta en soya y arroz por efecto del incremento de la dosis de radiación gamma. La altura de planta de soya variedad Huasteca 100 se afectó de manera negativa a partir de 200 Gy con diferencias de 33.12 % comparado con el control, mientras en dosis de 440 Gy fue de 57.94 % (Cuadro 1). El efecto negativo en la altura de planta puede ser atribuido a una menor división celular, como se reporta en *Phlox drummondii* (Ramesh y Verma, 2015).

Número de semillas por planta

La radiación gamma influyó en el número de semillas por planta de soya variedad Huasteca 100 ($p < 0.01$). Los valores promedio de semillas por planta presentaron tendencia negativa al aumentar la dosis de irradiación; las plantas del tratamiento de 320 Gy presentaron menos de 50 % de semillas comparado con el control. Mientras las plantas del tratamiento de 440 Gy no produjeron semillas (Cuadro 1). Este efecto negativo en la producción de semillas puede ser debido a que dosis altas de radiación gamma provocan alta tasa de esterilidad del polen (Khan y Tyagi, 2010) y malformación de estructuras florales.

Cuadro 1. Efecto de la radiación gamma en la germinación, sobrevivencia, altura y número de semillas por planta de soya variedad Huasteca 100.

Dosis	Germinación	Sobrevivencia	Altura de planta	Semillas por planta
0	85.00	10.9 (12.7) ¹	96.0	224.0
1	83.33	12.1 (12.5)	95.8	212.9
5	83.33	11.1 (12.5)	86.3	201.1
10	85.00	10.4 (12.7)	74.2	228.0
20	81.67	11.0 (12.2)	68.8	194.6
50	80.00	10.1 (12.0)	73.2	202.4
100	81.67	10.7 (12.2)	74.4	234.7
150	76.67	11.6 (11.5)	73.7	187.2
200	75.00	11.3 (11.2)	64.2*	227.0
240	85.00	11.2 (12.7)	51.0**	180.9
320	73.33	8.4 (11.0)	31.2**	109.9*
360	78.33	7.5*	34.1**	65.3**
400	68.33	3.9**	29.3**	19.7**
440	80.00	3.1**	27.0**	0.00**
620	75.00	0.0**	-	-
1250	86.67	0.0**	-	-

Germinación, expresado en porcentaje; Sobrevivencia, número promedio de plantas en R1 (media ajustada); ¹Número promedio de plantas al inicio del estudio; Altura de planta, expresada en cm; Número de semillas, promedio de semillas por planta; *Diferencia significativa ($p < 0.05$); **Diferencia altamente significativa ($p < 0.01$).

Estimación de la DL₅₀ y GR₅₀

El análisis de regresión lineal simple y cuadrática permitió determinar que las dosis utilizadas no fueron significativas en la germinación de semillas ($p > 0.05$); por este motivo, no fue posible estimar la DL₅₀ para germinación.

Con base en los criterios de selección, los modelos de regresión lineal y cuadrática se ajustaron a los datos observados de sobrevivencia de plantas, sin embargo, por el valor del cuadrado medio del error y del CP de Mallows, el modelo cuadrático fue el de mayor ajuste (Cuadro 2). Con base en los parámetros del modelo cuadrático, la DL₅₀ para sobrevivencia de plantas M1 se estimó en 438.49 Gy.

Cuadro 2. Modelos de regresión lineal para la determinación de la DL₅₀ de sobrevivencia de plantas de soya Huasteca 100 en la fase R1 por efecto de dosis de radiación gamma Co⁶⁰.

Modelo	R ²	R ² ajustado	Estimadores	CME	CP Mallows	GR ₅₀
Lineal simple	75.67	74.80	$\beta_0=3.53052$ $\beta_1=-0.01513$ $Pi=0.71697$	3.97	3.000	405.43
Cuadrático	83.01	82.41	$\beta_0=1.41889$ $\beta_1=-2.738 \times 10^{-5}$ $Pi=0.82047$	2.77	3.000	438.49

R² y R² ajustado, expresados en %; GR₅₀, expresado en Gy.

Mediante el análisis de regresión lineal la dosis mostró ser altamente significativo en la altura de planta ($p < 0.01$). El modelo de regresión lineal simple fue el mejor modelo expresado por el coeficiente de determinación (R²= 71.96 %), el valor menor del cuadrado medio del error (184.8087) y valor menor del CP de Mallows (1.1726) (Cuadro 3). Con base en estos parámetros, la GR₅₀ para altura de planta se estimó a 252.73 Gy.

Cuadro 3. Modelos de regresión lineal para la determinación de la GR₅₀ de altura de planta de soya Huasteca 100 en la fase R8, por efecto de dosis de radiación gamma Co⁶⁰.

Modelo	R ²	R ² ajustado	Estimadores	CME	CP Mallows	GR ₅₀
Lineal simple	71.96	71.41	$\beta_0=85.31146$ $\beta_1=-0.13972$	184.80	1.1726	252.73
Cuadrático	68.23	67.61	$\beta_0=78.96462$ $\beta_1=-3.3012 \times 10^{-4}$	209.36	7.8405	296.20

R² y R² ajustado, expresados en %; GR₅₀, expresado en Gy.

En el número de semillas, el modelo cuadrático fue el de mayor ajuste a los datos observados, debido a que presentó un coeficiente de determinación ajustado de 81.57 % y menor valor del CP Mallows (2.4319) (Cuadro 4). Mediante los parámetros del modelo, la GR₅₀ para número de semillas por planta se estimó a 298 Gy.

Cuadro 4. Modelos de regresión lineal para la determinación de la GR₅₀ de número de semillas por planta de soya Huasteca 100, por efecto de dosis de radiación gamma.

Modelo	R ²	R ² ajustado	Estimadores	CME	CP Mallows	GR ₅₀
Lineal simple	72.06	70.89	$\beta_0=260.39178$ $\beta_1=-0.48722$	2403.90	16.5799	262.63
Cuadrático	82.31	81.57	$\beta_0=242.36744$ $\beta_1=-0.00123$	1522.35	2.4319	298.96

R² y R² ajustado, expresados en %; GR₅₀, expresado en Gy.

Con base en lo anterior, la DL₅₀ para supervivencia de plantas se estimó a 438 Gy, sin embargo no es un parámetro óptimo para inducir variación genética para la variedad de soya Huasteca 100, ya que las plantas de este tratamiento no produjeron semillas. Por lo tanto, dosis entre 252 y 298 Gy correspondientes a la GR₅₀ de altura de planta y número de semillas, pueden ser útiles para inducir variación genética en semillas de soya variedad Huasteca 100.

CONCLUSIONES

El incremento de la dosis de radiación gamma Co^{60} provocó la disminución de la sobrevivencia, altura y número de semillas por planta de soya Huasteca 100; excepto para germinación de semillas. La DL_{50} para sobrevivencia se estimó a 438 Gy (no hubo producción de semillas) y la GR_{50} para altura y número de semillas por planta a 252 Gy y 298 Gy, respectivamente. Con base en lo anterior, para esta variedad se sugiere el uso de dosis de radiación gamma entre 252 y 298 Gy mismas que puede considerarse adecuadas para inducir variabilidad genética a gran escala en soya variedad Huasteca 100.

LITERATURA CITADA

- Aminah, Nur, A., Abdullah, Tahir, N., Edy, and Nuraeni. 2015. Improving the genetic diversity of soybean seeds and tolerance to drought irradiated with gamma rays. *Int. J. Curr. Res. Aca. Rev.*, 3: 105-113.
- Foster, B. P., and Shu, Q. Y. 2012. Plant mutagenesis in crop improvement: Basic terms and applications. *In: Shu, Q. Y., Forster, B. P., and Nakagawa, H. (eds.) Plant mutation breeding and biotechnology, Joint FAO/IAEA Division of nuclear Techniques in Food and Agriculture International Atomic Energy Agency, Vienna.* pp: 9-20.
- Horn, L., and Shimelis, H. 2013. Radio-sensitivity of selected cowpea (*Vigna unguiculata*) genotypes to varying gamma irradiation doses. *Sci. Res. Essays*, 8: 1991-1997.
- Kadhimi, A. A., Alhasnawi, A. N., Isahak, A., Ashraf, M. F., Mohamad, A., Yusoff, W. M. W., and Zain, C. R. C. M. Z. 2016. Gamma radiosensitivity study on MRQ74 and MR269, two elite varieties of rice (*Oryza sativa* L.). *Life Sci. J.*, 13: 85-91.
- Kahrizi, Z. A., Kermani, M. J., and Amiri, M. 2012. Effect of gamma rays on nuclear DNA content in different rose genotypes. *Int. Res. J. Appl. Basic Sci.*, 3(6): 1155-1160.
- Khan, M. H., and Tyagi, S. D. 2010. Induced morphological mutants in soybean [*Glycine max* (L.) Merrill]. *Front. Agric. China*, 4: 175-180.
- Kharkwal, M. C., and Shu, Q. Y. 2009. The role of induced mutations in world food security. *In: Shu, Q. Y. (ed.), Induced plant mutations in the genomics era. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.* pp. 33-38.
- Kodym, A., Afza, R., Forster, B. P., Ukai, Y., Nakagawa, H., and Mba, C. 2012. Methodology for physical and chemical mutagenic treatments. *In: Shu, Q. Y., Forster, B. P., and Nakagawa, H., (eds.) Plant Mutation Breeding and Biotechnology, Joint FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture International Atomic Energy Agency, Vienna.* pp: 169-180.
- Leitão, J. M. 2012. Chemical mutagenesis. *In: Shu, Q. Y., Forster, B. P., and Nakagawa, H. (eds.), Plant mutation breeding and biotechnology, Joint FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture International Atomic Energy Agency, Vienna.* pp. 135-158.
- Mba, C., and Shu, Q. Y. 2012. Gamma radiation. *In: Shu, Q. Y., Forster, B. P., and Nakagawa, H. (eds.), Plant mutation breeding and biotechnology, Joint FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture International Atomic Energy Agency, Vienna.* pp: 91-98.
- Murugan, S., Bharathi, T., Ariraman M., and Dhanavel, D. 2015. Effect of gamma rays on mitotic chromosome behaviour of root tip cells in *Catharanthus roseus* (L) G. Don. *IAJMR*, 1: 22-227.
- Olasupo, F. O., Ilori, C. O., Forster, B. P., and Bado, S. 2016. Mutagenic effects of gamma radiation on eight accessions of cowpea (*Vigna unguiculata* [L.] Walp.). *American Journal of Plant Sciences*, 7: 339-351.
- Raghuvanshi, S. S., and Singh, D. N. 1977. Comparative radiosensitivity of diploid and autotetraploid *Trigonella foenum-graecum* L. to gamma rays. *Caryologia*, 30: 411-421.
- Ramesh, A., and Verma, R. C. 2015. Effect of gamma radiation on chromosome at mitotic division in *Phlox drummondii*. *International Research Journal of Biological Sciences*, 4: 82-85.
- Ramesh, H. L., Murthy, V. N. Y., and Munirajappa. 2013. Gamma ray induced radio sensitivity in three different Mulberry (*Morus*) genotypes. *Am. J. Plant Sci.*, 4: 1351-1358.

REFERENCIAS INFORMATICAS

SIAP, 2017. <http://www.siap.gob.mx/> (Último acceso: 11/06/2018).

**EFFECTO DE PRODUCTOS DE BAJO IMPACTO EN LA INCIDENCIA Y SEVERIDAD DEL
MANCHADO DEL CÁLIZ DE JAMAICA**
EFFECT OF LOW IMPACT PRODUCTS ON THE INCIDENCE AND SEVERITY OF SPOTTED
CALYCES OF ROSELLE

Gálvez Marroquín LA, Ovando Cruz ME

Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales,
Agrícolas y Pecuarias. Melchor Ocampo No. 7, Santo Domingo Barrio Bajo, Etla, Oax. C. P. 68200.
Autor por correspondencia: galvezluis2010@gmail.com

RESUMEN

A partir del 2012, el cultivo de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) en Oaxaca ha limitado su producción debido al hongo *Corynespora cassiicola*, el cual induce el manchado en los cálices con incidencias de hasta 100 %. A pesar de la importancia de esta enfermedad, no se cuenta con productos químicos o biológicos que permitan disminuir de manera significativa la incidencia y severidad del manchado en los cálices de jamaica. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar la efectividad biológica de productos de bajo impacto sobre la incidencia y severidad del manchado en cálices de jamaica del variedad Criolla Oaxaca. El experimento se estableció en el Sitio Experimental Costa Oaxaqueña del INIFAP, en agosto de 2016. Los tratamientos fueron: 1). Oxidocloruro de cobre 4 g/L, 2). Benomilo 1.33 g/L, 3). Extracto de canela 8.75ml/L, 4). *Bacillus subtilis* 4ml/L, 5). Silicio 4 ml/L, 6). *Trichoderma harzianum* 1.5 g/L, 7). Azufre 2.5 ml/L y Testigo (sin aplicación), los cuales se aplicaron desde prefloración hasta madurez de cálices con intervalos de 14 días, con un total de 5 aplicaciones. El diseño experimental utilizado fue completamente al azar con tres repeticiones. La incidencia de la enfermedad se evaluó desde prefloración hasta cosecha de los cálices y la severidad en la cosecha. Los tratamientos influyeron en la incidencia y severidad del manchado de cáliz ($p < 0.05$). El tratamiento de mayor efectividad biológica en la incidencia y severidad del manchado de cáliz fue el Silicio con una razón de dosis de 4ml/L, con 32 % de incidencia al momento de cosecha, 70.83 % de cálices asintomáticos y 29.17 % en categorías de severidad 1 y 2, mientras el testigo presentó 88.19 % de incidencia, 11.81 % de cálices asintomáticos y 88.19 % en las categorías de severidad 1 a 5.

Palabras clave: Hibiscus sabdariffa, Corynespora cassiicola, incidencia, severidad, control.

INTRODUCCIÓN

La jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) es un cultivo importante por los fitoquímicos presentes en sus cálices, tales como ácidos orgánicos, antocianinas, polisacáridos y flavonoides. La ingesta de estos fitoquímicos está asociado a efectos benéficos a la salud humana (Cid-Ortega *et al.*, 2012).

En México, la jamaica se cultiva en 20,061.31 ha en época de temporal (SIAP, 2016). A nivel nacional, Oaxaca ocupa el segundo lugar en superficie cultivada con jamaica, localizada principalmente en la Costa de Oaxaca. La siembra se realiza a principios del mes de Julio principalmente con semillas de la variedad Criolla Oaxaca.

A partir del 2012, el cultivo de jamaica en la Costa de Oaxaca ha limitado su producción debido al hongo *Corynespora cassiicola*, el cual induce el manchado en los cálices con incidencias de hasta 100 % (Ortega-Acosta *et al.*, 2015). A pesar de la importancia de esta enfermedad, no se cuenta productos químicos o biológicos, que permitan disminuir de manera significativa la incidencia y severidad del manchado en cálices de jamaica. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar la efectividad biológica de productos de bajo impacto sobre la incidencia y severidad del manchado en cálices de jamaica en la variedad Criolla Oaxaca.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló en el Sitio Experimental Costa Oaxaqueña dependiente del Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca del INIFAP, ubicado en Rio Grande, Tututepec, Oaxaca (97° 25' 19.37" LO y 19° 59' 38.1" LN, 7 m de altitud), bajo condiciones de temporal del ciclo agrícola primavera verano 2016. La variedad de jamaica utilizada para el estudio fue Criolla Oaxaca.

La siembra se realizó en agosto de 2016. Durante el periodo de desarrollo del experimento, la temperatura promedio fue de 26.3 °C, humedad relativa de 87 % y precipitación pluvial de 482.3 mm.

Las plantas se establecieron bajo un sistema de marco real, con distancias de 1 m entre líneas y 1 m entre plantas; lo que da una densidad de 10,000 plantas ha⁻¹. El diseño experimental fue bloques completamente al azar con tres repeticiones. Cada parcela experimental consistió de 22 plantas de jamaica distribuidas en 22 m² de suelo. El manejo agronómico del experimento fue convencional, el cual consistió en dos aplicaciones de fertilizante: a los 30 días después de siembra (10 g/planta de 17-17-17) y la segunda a los 60 días posteriores a siembra (10 g/planta de 46-0-0). El control de malezas y cosecha de cálices frescos fue de manera manual.

Los tratamientos fueron: 1). Oxidloruro de cobre 4 g/L, 2). Benomilo 1.33 g/L, 3). Extracto de canela 8.75ml/L, 4). *Bacillus subtilis* 4ml/L, 5). Silicio 4 ml/L, 6). *Trichoderma harzianum* 1.5 g/L, 7). Azufre 2.5 ml/L y Testigo (sin aplicación), los cuales se aplicaron desde prefloración hasta madurez de cálices con intervalos de 14 días, con un total de 5 aplicaciones.

Las variables evaluadas fueron incidencia y severidad del manchado del cáliz de jamaica. La incidencia de la enfermedad se evaluó antes de la aplicación y 14 días después de la aplicación, durante la prefloración, floración y cosecha de los cálices. Se tomó una muestra aleatoria de seis plantas por tratamiento y se calculó la proporción de plantas enfermas respecto al total de plantas presentes en cada uno de los tratamientos, la que se expresó en porcentaje.

Para evaluar la severidad, se tomó la escala logarítmica diagramática del manchado de cálices de jamaica sugerida por Ortega *et al.* (2016), la cual consiste de seis clases: 1) Clase 0 (0 %), Clase 1 (>0-5%), Clase 2 (>5-18%), Clase 3 (>18-46%), Clase 4 (>46-77%), Clase 5 (>77-100%). En cada repetición, se seleccionaron 6 plantas al azar en las cuales se etiquetaron ocho cálices por planta. En la cosecha, se realizó la evaluación del severidad expresado en porcentaje de acuerdo a la siguiente fórmula: %SEV=((Número de cálices de la Clase/Número total de cálices)*100).

Los datos se analizaron por ANOVA y las comparaciones de medias con la prueba de Tukey (confiabilidad del 95%) mediante el programa SAS versión 9.0 (SAS, 2002).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir de la etapa de prefloración hasta desarrollo de los cálices, no se observaron síntomas de manchado, por el contrario, las fases de desarrollo y madurez hasta cosecha de los cálices se observó incidencia de esta enfermedad (Cuadro 1). Los tratamientos influyeron en la incidencia del manchado en la fase de madurez de cálices de jamaica variedad Criolla Oaxaca (p<0.01). En esta fase el tratamiento control presentó la mayor incidencia de la enfermedad (72.92 %), mientras la menor incidencia se determinó en los tratamientos a base de *Bacillus subtilis* y Silicio, con valores de 12.5 y 16.67 %, de manera respectiva. En la cosecha de los cálices, se determinó un efecto significativo de los tratamientos sobre la incidencia del manchado de cálices (p<0.05). En el tratamiento control se alcanzó 88.19 % de incidencia de la enfermedad manchado de cálices, mientras los tratamientos *Bacillus subtilis* y Silicio presentaron la menor incidencia con 36.11 y 32.64 %, respectivamente.

Cuadro 1. Efecto de los tratamientos en la incidencia de manchado en la variedad Criolla Oaxaca.

Tratamientos	Etapa Fenológica Genotipo Criolla					
	PF	DPF	F	DC	MC	CO
Testigo	0 a	0 a	0 a	0 a	72.92 aa	88.19 aa
Extracto de canela	0 a	0 a	0 a	0 a	40.97 ab	59.03 ab
Azufre	0 a	0 a	0 a	0 a	43.75 ab	65.28 ab
Oxidloruro de cobre	0 a	0 a	0 a	0 a	43.06 ab	63.19 ab
Benomilo	0 a	0 a	0 a	0 a	33.33 b	63.96 ab
<i>Trichoderma harzianum</i>	0 a	0 a	0 a	0 a	23.61 b	52.08 ab
<i>Bacillus subtilis</i>	0 a	0 a	0 a	0 a	12.50 b	36.11 b
Silicio	0 a	0 a	0 a	0 a	16.67 b	32.64 b
p≤0.05	-	-	-	-	<0.001	<0.030

PF=Prefloración; DPF=Desarrollo previo a floración; F=Floración; DC=Desarrollo de cáliz; MC=Madurez de cáliz; CO=Cosecha de cálices; Valores en columnas con distinta letra, difieren estadísticamente entre sí (p≤0.05).

En la cosecha de cálices, se determinó que la aplicación de los productos influyeron en la severidad del manchado en los cálices de jamaica ($p < 0.05$). En términos generales, el tratamiento control registró 50 % de cálices en las categorías 1 y 2, mientras el restante en las categorías 2, 3, 4 y 5; esta última categoría con el mayor porcentaje entre los tratamientos de estudio (12.5 %). Mientras los mejores tratamientos para el control de manchado fueron Silicio y *Bacillus subtilis* con 97.23 y 100 % de cálices con categorías 1 y 2.

Cuadro 2. Efecto de los tratamientos en la severidad en la variedad Criolla Oaxaca.

Tratamientos	Clase 0	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5
Silicio	70.83 a	26.40 ab	2.07 a	0.00 b	0.000 b	0.700 b
<i>Bacillus subtilis</i>	65.97 a	34.03 ab	0.00 a	0.00 b	0.000 b	0.000 b
<i>Trichoderma harzianum</i>	47.92 ab	41.67 aa	6.25 a	1.38 b	2.778 b	0.000 b
Azufre	34.72 ab	45.14 aa	11.80 a	4.16 ab	2.778 b	1.389 b
Oxícloruro de cobre	36.81 ab	49.30 aa	6.94 a	5.55 ab	0.694 b	0.694 b
Extracto de canela	41.67 ab	46.00 aa	7.62 a	0.00 b	1.371 b	3.330 b
Benomilo	33.33 ab	52.08 aa	5.55 a	2.08 b	4.167 b	2.784 b
Testigo	11.81 b	39.58 aa	10.41 a	12.50 a	13.193 a	12.500 a
$P \leq 0.05$	0.022	0.673	0.089	0.032	0.006	0.0001

Valores en columnas con distinta letra, difieren estadísticamente entre sí ($p \leq 0.05$).

El Silicio tuvo mayor efectividad biológica contra el manchado de cáliz de jamaica comparado con los demás tratamientos. El uso de silicio también ha promovido una reducción de la incidencia y severidad de enfermedades se reporta en arroz (Wattanapay *et al.*, 2011; Lemraski, 2013), avena (Guével, 2007) y café (Amaral *et al.*, 2008). El silicio confiere resistencia a las plantas por deposición y como inductor del proceso de resistencia (Sun *et al.*, 2010). El silicio al depositarse debajo de la cutícula, forma una doble capa de cutícula-silicio, que ha retardado la penetración de *Pyricularia grisea* en hojas de arroz (Kim, 2002). Asimismo, la aplicación de silicio en las plantas confiere resistencia contra plagas y enfermedades, mediante el incremento de: 1) Producción de compuestos fenólicos, fitoalexinas y lignina, 2) Actividad quitinasas y β -1-3 gluconasas, 3). Expresión de genes asociados a la resistencia contra (Cherif *et al.*, 1994; Dann y Muir, 2002; Liang *et al.*, 2005; Lima *et al.*, 2010).

CONCLUSIONES

Los tratamientos influyeron en la incidencia y severidad del manchado de cáliz. El tratamiento de mayor efectividad biológica en la incidencia y severidad del manchado de cáliz fue el Silicio con una razón de dosis de 4 ml/L, con 32 % de incidencia al momento de cosecha, 70.83 % de cálices asintomáticos y 29.17 % en categorías de severidad 1 y 2, mientras el testigo presentó 88.19 % de incidencia, 11.81 % de cálices asintomáticos y 88.19 % en las categorías de severidad 1 a 5.

LITERATURA CITADA

- Amaral, D.R., Resende, M.L.V., Ribeiro, J. P.M., Borel, J.C., Mac Leod, R.E.O., and Pádua, M.A. 2008. Silicato de potássio na proteção do cafeeiro contra *Cercospora coffeicola*. *Tropical Plant Pathology*, 33: 425-431.
- Chérif, M., Asselin, A., and Bélanger, R.R. 1994. Defense responses induced by soluble silicon in cucumber roots infected by *Pythium* spp. *Phytopathology*, 84: 236-242.
- Cid-Ortega, S., and Guerrero-Beltrán, J. A. 2012. Propiedades funcionales de la jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 6: 47-63.
- Dann, E.K., and Muir, S.B. 2002. Peas grown in media with elevated plant-available silicon levels have higher activities of chitinase and β -1,3-gluconase, are less susceptible to a fungal leaf spot pathogen and accumulate more foliar silicon. *Australasian Plant Pathology*, 31:9-13.
- Guével, M. H., Menzies, J. G., and Bélanger, R. R. 2007. Effect of root and foliar applications of soluble silicon on powdery mildew control and growth of wheat plants. *European Journal of Plant Pathology*, 119(4): 429-436.
- Kim, S.G., Kim, K.W., Park, E.W., and Choi, D. 2002 Silicon-induced cell wall fortification of rice leaves: a possible cellular mechanism of enhanced host resistance to blast. *Phytopathology*, 92: 1095-1103

- Lemraski, M. G. 2013. Silicon and phosphorus facts on blast disease incidence of rice (*Oryza sativa* L.). *International Journal of Farming and Allied Sciences*, 2(S2): 1369-1374.
- Liang, Y.C., Sun, W.C., Si, J., and Romheld, V. 2005. Effects of foliar and root applied silicon on the enhancement of induced resistance to powdery mildew in *Cucumis sativus*. *Plant Pathology*, 54: 678-685.
- Lima, L.M., Pozza, E.A., Pozza, A.A.A., Fonseca, T.A.P.S., and Carvalho, J.G. 2010. Quantificação da ferrugem asiática e aspectos nutricionais de soja suprida com silício em solução nutritiva. *Summa Phytopathologica*, 36: 51-56.
- Ortega-Acosta, S.A., Hernández-Morales, J., Ochoa-Martínez, D.L., and Ayala-Escobar, V. 2015. First report of *Corynespora cassiicola* causing leaf and calyx spot on roselle in Mexico. *Plant Disease* 99: 1041.
- Ortega-Acosta, S.Á., Velasco-Cruz, C., Hernández-Morales, J., Ochoa-Martínez, D.L., and Hernández-Ruiz, J. 2016. Diagrammatic logarithmic scales for assess the severity of spotted leaves and calyces of roselle. *Revista mexicana de fitopatología*, 34(3): 270-285.
- SAS Statistical Analysis System. 2002. Institute Inc., SAS/STAT. User's Guide, versión 9.0. Carey, N. C.
- Sun, W., Zhang, J., Fan, Q., Xue, G., Li, Z., and Liang, Y. 2010. Silicon-enhanced resistance to rice blast is attributed to silicon-mediated defence resistance and its role as physical barrier. *Eur. J. Plant. Pathol.*, 128: 39.
- Wattanapay, W., Polthanee, A., Siri, B., and Promkhambu, A. 2011. Effects of Silicon in Suppressing Blast Disease and Increasing Grain Yield of Organic Rice in Northeast Thailand. *Asian Journal of Plant Pathology*, 5(4):134-145.

REFERENCIAS INFORMÁTICAS

SIAP, 2017. <http://www.siap.gob.mx/> (Último acceso: 27/02/2018).

IMPORTANCIA DE LA FECHA DE SIEMBRA EN LA PRODUCCIÓN DE SOYA EN EL ESTADO DE CAMPECHE

IMPORTANCE OF THE SOWING DATE IN THE PRODUCTION OF SOYBEANS IN THE STATE OF CAMPECHE

Hernández Pérez M, Soto Rocha JM, Rangel Fajardo MA, Tucuch Haas JI, Nava-Padilla R, Ferral-Piña J

Campo Experimental Edzná del INIFAP. Km 15.5 Carretera Campeche-Pocyaxum, Camp. C.P.24520.
Autor para correspondencia: hernandez.mirna@inifap.gob.mx

RESUMEN

El cultivo de soya fue introducido al estado de Campeche desde mediados de la década de los 70's y hasta la fecha sigue siendo cultivada; en los últimos años se ha venido incrementando la superficie sembrada; motivados por la persistencia comercial, los incentivos oficiales al grano de soya y el precio del producto. La superficie sembrada en 2017 en toda la Península de Yucatán fue de 40,020 hectáreas, cuya superficie cosechada fue de 29,765 hectáreas, con una producción de 70,087 toneladas y con un rendimiento medio de 2.4 t ha⁻¹, de la cual el 80 %, corresponde al estado de Campeche, el ocho por ciento al estado de Quintana Roo y 12 % al estado de Yucatán. El objetivo fue evaluar el comportamiento agronómico y productivo de variedades de soya en diferentes fechas de siembra. En la zona centro del estado, en suelos rojos, en el ciclo Primavera-Verano 2017, bajo régimen de temporal, se estableció una parcela en el Ejido Pocyaxum, Mpio de Campeche, Camp. Se evaluaron las variedades Huasteca 100, Huasteca 200, Huasteca 300, Huasteca 400, Tamesí, Huasteca 600, Luziânia, Vernal y Mariana; con cuatro fechas de siembra: 20 de junio, 10 de julio, 2 y 22 de agosto, en surcos separados a 80 cm, se utilizó una densidad de siembra de 50 kg/ha, para lograr una población de 250,000 plantas por hectárea. El manejo del cultivo se hizo siguiendo las indicaciones del paquete tecnológico del cultivo de soya del INIFAP. Las mejores fechas de siembra en cuanto a rendimiento, se encontraron en las dos primeras fechas, en los meses de junio y julio. Las mejores variedades fueron la H200, H600 y H400 con rendimientos medios por arriba de las 3 t ha⁻¹, mientras que las variedades Luziânia y Mariana reportan los rendimientos medios más bajos.

Palabras clave: *fechas de siembra, variedades, temporal, rendimiento.*

INTRODUCCION

La soya se cultiva principalmente para la producción de semillas que se transforman en harina para la elaboración de alimento para consumo humano y para la formulación de alimentos balanceados utilizados en la ganadería productora de carne, leche y huevos. El aceite de soya se utiliza para consumo humano y usos industriales, tales como la fabricación de margarinas, mantequillas, chocolates y una amplia gama de productos alimenticios y nutricionales (Maldonado, et al 2007).

En la Península de Yucatán, la superficie sembrada en 2017 fue de 40,020 hectáreas, cuya superficie cosechada fue de 29,765 hectáreas, con una producción de 70,087 toneladas y con un rendimiento medio de 2.4 t ha⁻¹, de la cual el 80 %, corresponde al estado de Campeche, el ocho por ciento al estado de Quintana Roo y 12 % al estado de Yucatán (SIAP, 2017). También es necesario expresar que a pesar de tener una buena producción de soya, se exportan grandes cantidades de esta oleaginosa al país, por lo que existe un gran interés del sector en aumentar la superficie de este cultivo e incrementar el rendimiento por unidad de superficie. Para lograr lo anterior, es necesario realizar un programa de reconversión agrícola basado en un estudio de zonificación cuantitativa, que además considere factores socioeconómicos de los productores potenciales.

En el estado de Campeche, existen diversos factores que han limitado la expansión del cultivo de soya, entre los que destacan, la baja disponibilidad de variedades de alta productividad, el desconocimiento de las fechas óptimas de siembra por variedad, la sensibilidad al fotoperiodo corto, y la escasa disponibilidad de semilla de alta calidad de las variedades comerciales, la cual es un elemento muy importante para producir eficientemente este cultivo, y debe considerarse como una inversión para mejorar el rendimiento (Assis H. A; et al. 2005). Es importante validar de manera específica el manejo agronómico de la soya, para lograr su optimización mediante el ajuste del paquete tecnológico diferenciado.

OBJETIVO.

Evaluar el comportamiento agronómico y productivo de variedades de soya en diferentes fechas de siembra.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y características de las áreas donde se desarrolló el estudio.

El experimento, se estableció en el Ejido Pocyaxum, Mpio. de Campeche, Camp., con el productor cooperante: Marcos Uitz. Con régimen hídrico de temporal, en suelo luvisol férrico, con buen drenaje, textura arcillosa caolinita. El clima predominante es cálido subhúmedo, presenta una temperatura media anual de 27°C, con máximas promedio de 29.6° C y mínimas promedio de 23.2°C. Se localiza a 27 km al sureste de la ciudad de Campeche y se llega por la carretera federal 261 que conduce de Campeche a Edzná (Figura 1).



Figura 1. Croquis de la ubicación del experimento.

Materiales.

Se utilizaron nueve variedades de soya: Huasteca 100 (H100), Huasteca 200 (H200), Huasteca 300 (H300), Huasteca 400 (H400), Tamesí, Huasteca 600 (H600), Vernal, Luziânia y Mariana.

Metodología.

El experimento, fue establecido bajo un diseño de bloque al azar con tres repeticiones. La parcela total consistió de cuatro surcos de cinco metros de longitud por 0.80 m entre surcos. La parcela útil la formaron los dos surcos centrales. El procedimiento consistió en establecer un ensayo, donde se evaluó el rendimiento de grano y otras características agronómicas de nueve variedades de soya en condiciones de temporal, así como cuatro diferentes fechas de siembra: 20 de junio, 10 de julio, 2 y 22 de agosto. El manejo del cultivo se hizo siguiendo las indicaciones del paquete tecnológico del cultivo de soya del INIFAP. Los datos registrados fueron: incidencia de enfermedades y plagas, altura de planta, altura a primera vaina, número entrenudos/planta, número de vainas y semillas por planta, porcentaje de humedad en grano y rendimiento por ha al 14 % de humedad.

Información del cultivo.

La *preparación del terreno*, consistió en tres pases de rastra (Figura 2), el último en forma de cruz, al cual se le colocó un madero de buen tamaño y peso para emparejar, y así evitar encharcamientos y obtener una germinación uniforme. Finalmente se hizo el trazado de las parcelas (Figura 3).





Figura 2 y 3. Preparación y medición del terreno.

Tratamiento e inoculación de semillas, antes de la siembra, a la semilla se le aplicó Carboxin + Permetrina (51 gr por cada 20 kg de semilla), además de la bacteria *Bradyrhizobium japonicum*, para la fijación de nitrógeno.

Siembra. Se realizó de forma manual, a chorrillo (20-22 semillas por metro), en las diferentes fechas programadas (Figura 4 y 5). La distancia de surco fue de 0.80 mts. Se hizo conteo de plantas a los 15 días de emergencia, esto con el fin de aclarar por si hubiese muchas plantas por metro lineal y de esta forma tener una densidad de población más pareja entre todas las variedades.



Figura 4 y 5. Siembra manual de soya en cuatro diferentes fechas

La fertilización, se realizó un mes después de la siembra; la dosis por hectárea aplicada fue con la mezcla de 174 kg de DAP y 62 kg de urea.

Control de malezas, se aplicó glifosato (faena) como preemergente, antes de la siembra, a una dosis de 2.0 l/ha y ya realizada la primera fecha de siembra, se aplicó fluazifop-p-buthyl + fomesafen (Fusiflex) a razón de 1 l/ha.

Control de plagas y enfermedades, se encontraron diferentes plagas, como son: mosca blanca, chicharritas, diabroticas, diferentes tipos de gusanos (terciopelo, pegador, falso medidor de la soya y el gusano defoliador y barrenador de la calabaza); donde se aplicó novaluron (Rimon 10 EC), a una dosis de 100 ml/ha y cipermetrina a una dosis de 200 ml/ha. En cuanto a enfermedades, se tuvieron tres brotes del hongo Mildew, en función de las condiciones ambientales y la susceptibilidad de los materiales genéticos.

Cosecha, se realizó en función de las fechas de siembra y de acuerdo a la madurez fisiológica de cada material. La primera fecha de siembra se procesó del 10 al 30 de noviembre. La segunda fecha de siembra, del 20 de noviembre al 10 de diciembre. La tercera fecha de siembra, del 01 al 30 de diciembre. La cuarta fecha de siembra, del 23 de diciembre al 12 de enero de 2018.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se calculó el rendimiento por hectárea, por variedad y fecha de siembra (Cuadro 1), donde sobresale la variedad Huasteca 200, con el rendimiento más alto en la primera fecha de siembra con 4.6 t ha⁻¹. La tendencia general indica que la primera fecha de siembra produce el rendimiento medio más alto con 3.5 t ha⁻¹. El más bajo es el de la cuarta fecha de siembra con 2.1 t ha⁻¹.

Cuadro 1. Concentrado de datos de rendimiento (kg ha⁻¹) estimado en el cultivo de soya en cuatro fechas de siembra para cada variedad; en Pocyaxum, Campeche. Ciclo PV-2017

FECHA SIEMBRA	H100	H200	H300	H400	TAME	H600	LUZI	VERN	MARI	PROM. FS*
20-jun	2814.4	4577.4	3284.3	3591.9	3283.5	4117.8	2839.3	4309.7	2839.3	3517.5
10-jul	2681.2	3734.7	2619.6	3677.1	3684.8	3403.5	2077.6	2513.5	2171.0	2951.5
02-ago	2826.6	2560.3	2198.2	1791.6	2093.9	2962.8	2240.0	2147.4	2131.5	2328.0
22-ago	2175.6	1917.0	2378.5	2588.3	1581.3	2044.2	2236.8	1791.5	2012.4	2080.6
PROM. VDS**	2624.5	3197.3	2620.2	2912.2	2660.9	3132.1	2348.4	2690.5	2288.5	2719.4

* FS: fecha de siembra. ** VDS: variedades

Se puede observar en el rendimiento medio (Gráfica 1), que la primera fecha de siembra tiene un 28% más que el promedio medio global y la segunda tiene un 11% más que dicho promedio. En la tercera fecha de siembra se observa que hay un 12% menos y en la cuarta fecha de siembra se observa un 22% menos con respecto al rendimiento medio global. Al observar los rendimientos promedio mayores a 3.0 t ha⁻¹, destacan en la primera fecha de siembra las variedades: H200, H300, H400, H600, Luzianía y Vernal. Mientras que en la segunda fecha de siembra se observan a las variedades H200, H400 y H600 por encima de ese promedio. Es importante destacar que la variedad Mariana, se comportó de forma estable en la segunda, tercera y cuarta fecha de siembra.

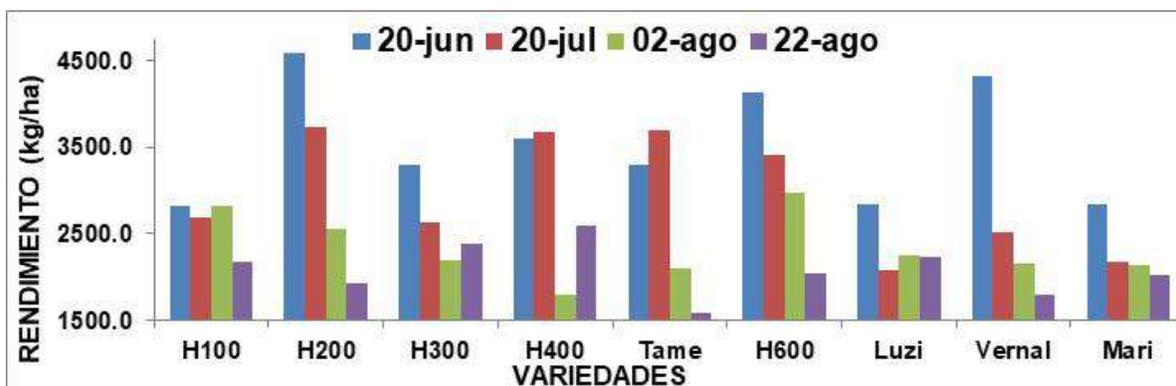


Figura 1. Rendimientos medios de variedades de soya por fechas de siembra.

RESPUESTA DE VARIEDADES POR FECHA DE SIEMBRA.

Primera fecha de siembra. El comportamiento del rendimiento medio de las variedades en esta fecha de siembra indica que los materiales H200, Vernal y H600 reportan rendimientos por arriba de las 4 t ha⁻¹. Los materiales H100, Mariana y Luziânia reportan rendimientos por debajo de las 3 t ha⁻¹ (Gráfica 2).

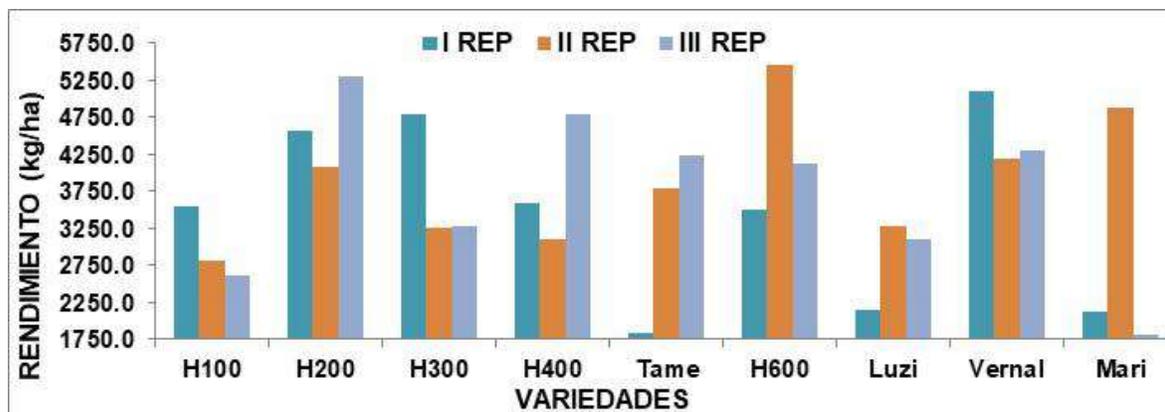


Figura 2. Respuesta de nueve variedades de soja a la primera fecha de siembra.

Segunda fecha de siembra. El comportamiento del rendimiento medio de las variedades en esta fecha de siembra indica que los materiales H200, H400 y Tamesí reportan rendimientos por arriba de las 3.5 t ha⁻¹. Los materiales Vernal, Mariana y Luziânia reportan rendimientos por debajo de las 2.5 t ha⁻¹ (Grafica 3).

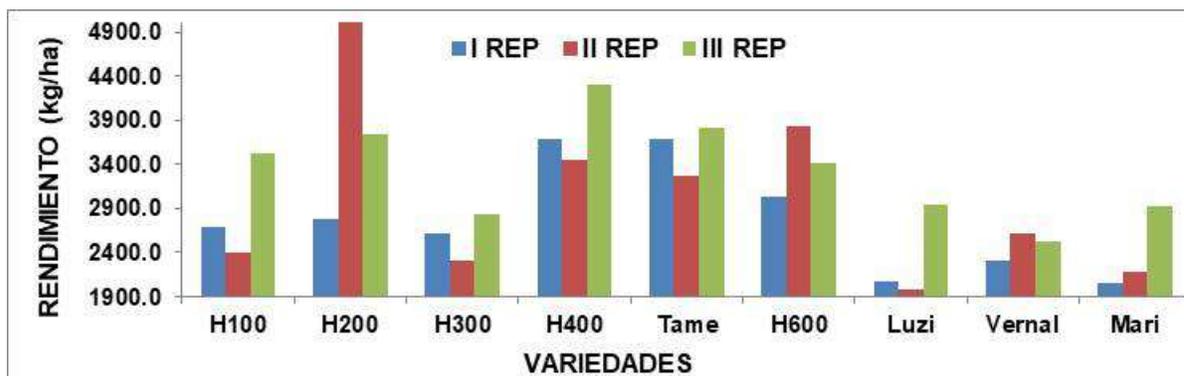


Figura 3. Respuesta de nueve variedades de soja a la segunda fecha de siembra.

Tercera fecha de siembra. El comportamiento del rendimiento medio de las variedades en esta fecha de siembra indica que los materiales H600, H200 y H100 reportan rendimientos por arriba de las 2.6 t ha⁻¹. Los materiales H300, Mariana y H400 reportan rendimientos por debajo de las 2.2 t ha⁻¹ (Grafica 4).

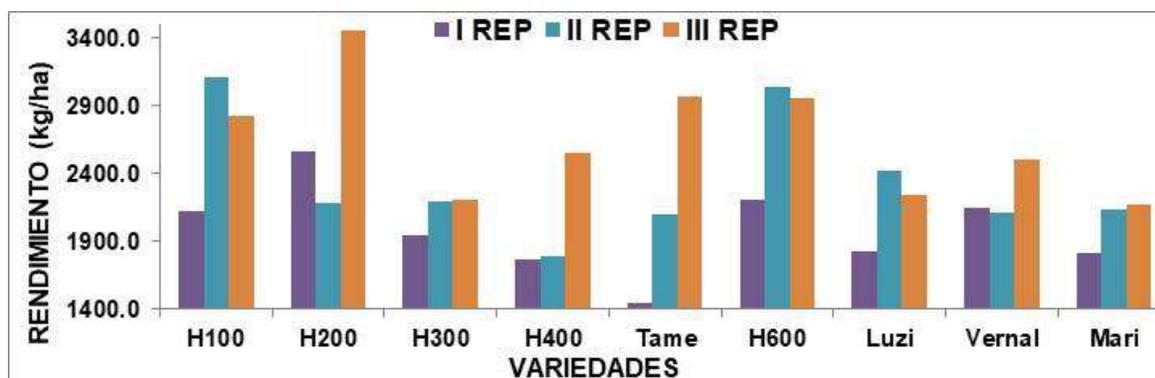


Figura 4. Respuesta de nueve variedades de soja a la tercera fecha de siembra.

Cuarta fecha de siembra. El comportamiento del rendimiento medio de las variedades en esta fecha de siembra indica que los materiales H400, H300 y Luziânia reportan rendimientos por arriba de las

2.1 t ha⁻¹. Los materiales Mariana, Vernal y Tamesí reportan rendimientos por debajo de las 2.0 t ha⁻¹ (Grafica 5).

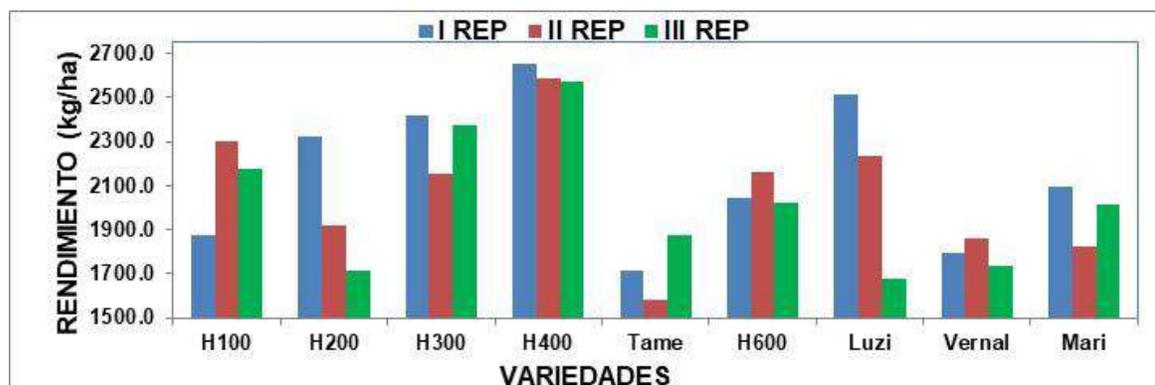


Figura 5. Respuesta de nueve variedades de soya a la cuarta fecha de siembra.

ANÁLISIS DE VARIANZA Y PRUEBA DE MEDIAS

El análisis de varianza, indica alta significancia para los factores fecha de siembra y variedades, para la interacción fecha de siembra por variedades solo existe significancia. En el factor A (fechas de siembra), los datos indican diferencias significativas entre la primera y segunda fecha, así como con las fechas de siembra tres y cuatro; estas últimas dos fechas son estadísticamente iguales. En el factor B (variedades), los datos indican diferencias significativas de las variedades H200, H600 y H400 con respecto a las variedades Vernal, H300, Tamesí, H100, Luziânia y Mariana; éstas dos últimas variedades son las de más bajo rendimiento. Para la primera y segunda fechas de siembra todos los materiales indican rendimientos medios, arriba de las 2.5 t ha⁻¹, excepto las variedades Vernal, Mariana y Luziânia. En este estrato de productividad por arriba de las 2.5 t ha⁻¹, las variedades H600, H200 y H100 de la tercera fecha de siembra. Solo la cuarta fecha de siembra reporta rendimientos medios por abajo de las 2.0 t ha⁻¹, con las variedades H200, Mariana, Vernal y Tamesí (Cuadro 2).

Cuadro 2. Análisis de varianza de variedades de soya en cuatro fechas de siembra

Fuentes de Variación	gl	Suma de Cuadros	Cuadros medios	Valor de F
Modelos	37	70544645.90	1906612.05	5.51
Bloque	2	2141630.71	1070815.36	3.10
Fechas de siembra	3	42865384.80	14288461.60	41.31**
Variedades	8	10633110.05	1329138.76	3.84**
Interacción: Fechas Siembra*Variedad	24	14904520.34	621021.68	1.80*
Error	70	24210493.03	345864.19	
Total	107	94755138.93		

Se realizó la prueba de medias a las fuentes de variación por el método de Duncan. En el realizado a las repeticiones o bloques (Cuadro 3), observamos que el mejor es el tercero.

Cuadro 3. Prueba de medias a las fechas de siembra evaluadas

Bloques	Medias
III	2933.78 A
II	2821.50 A B
I	2595.18 B

Medias con una letra en común, no son estadísticamente diferentes.

En la prueba de medias a las fechas de siembra (Cuadro 4), podemos observar que la mejor fecha fue la primera, seguida de la segunda fecha; mientras que la tercera y cuarta fecha son estadísticamente iguales.

Cuadro 4. Prueba de medias a las fechas de siembra evaluadas

Fechas de siembra	Medias
F1	3691.02 A
F2	3034.60 B
F3	2326.03 C
F4	2082.30 C

Medias con una letra en común, no son estadísticamente diferentes.

En la prueba de medias realizada a las variedades evaluadas (Cuadro 5), podemos ver que la mejor variedad es la H200, aunque estadísticamente son iguales la H200, H600 y H400; formando un primer grupo. Un segundo grupo lo conforma la variedad vernal y un tercer grupo la H300, Tamesí y H100. Un último grupo está formado por las variedades Luziânia y Mariana.

Cuadro 5. Prueba de medias a las variedades evaluadas

Variedades	Medias
Huasteca 200	3302.44 A
Huasteca 600	3149.74 A B
Huasteca 400	3069.88 A B C
Vernal	2765.60 B C D
Huasteca 300	2700.58 C D
Tamesí	2691.76 C D
Huasteca 100	2665.21 C D
Luziânia	2369.40 D
Mariana	2336.78 D

Medias con una letra en común, no son estadísticamente diferentes.

En cuanto a la interacción fechas de siembra por variedades (Cuadro 6), observamos que las mejores variedades fueron la H200 y la Vernal, las dos sembradas en la primera fecha de siembra, seguida de la H600 también en la primera fecha de siembra. Posteriormente observamos a las variedades H200 en la segunda fecha de siembra, y a la H400, tanto en primera como en segunda fecha de siembra. La H300 en primera fecha de siembra también es una muy buena variedad.

Los datos de rendimiento del experimento de fechas de siembra y variedades reafirman lo encontrado en trabajos pasados sobre estos aspectos, que las mejores fechas de siembras en cuanto a rendimiento están en los meses de junio y julio; con respecto al mes de agosto y que entre las variedades existe un diferencial en la producción de biomasa y grano, así como una eficiencia desigual en el aprovechamiento de los fotoasimilados acumulados para la generación del rendimiento de grano.

Las dos primeras fechas de siembra reportan los mejores rendimientos medios por arriba de las 3 t ha⁻¹, sin embargo, son estadísticamente diferentes sus medias de rendimiento. En cambio, las fechas de siembra tres y cuatro son estadísticamente iguales sus medias de rendimiento.

Las mejores variedades fueron la H200, H600 y H400 con rendimientos medios por arriba de las 3 t ha⁻¹, las cuales reportan que sus medias de rendimiento son estadísticamente iguales. Las variedades Luziânia y Mariana reportan los rendimientos medios más bajos.

Cuadro 6. Prueba de medias a la interacción fechas de siembra por variedades.

Fechas de siembra	Variedades	Medias
F1	Huasteca 200	4654.60 A
F1	Vernal	4536.50 A
F1	Huasteca 600	4363.37 A B
F2	Huasteca 200	3839.60 A B C
F1	Huasteca 400	3828.37 A B C
F2	Huasteca 400	3809.47 A B C
F1	Huasteca 300	3778.47 A B C D
F2	Tamesí	3587.57 B C D E
F2	Huasteca 600	3427.13 C D E F
F1	Tamesí	3283.50 C D E F G
F1	Huasteca 100	2991.83 C D E F G H
F1	Mariana	2943.27 C D E F G H I
F2	Huasteca 100	2864.83 D E F G H I
F1	Luziânia	2839.27 E F G H I
F3	Huasteca 600	2733.43 E F G H I J
F3	Huasteca 200	2731.30 E F G H I J
F3	Huasteca 100	2686.40 E F G H I J K
F4	Huasteca 400	2604.80 F G H I J K
F2	Huasteca 300	2589.20 F G H I J K
F2	Vernal	2476.77 F G H I J K
F2	Mariana	2385.30 G H I J K
F2	Luziana	2331.53 G H I J K
F4	Huasteca 300	2317.33 G H I J K
F3	Vernal	2253.97 H I J K
F3	Tamesí	2171.13 H I J K
F3	Luziana	2162.40 H I J K
F4	Luziana	2144.40 H I J K
F4	Huasteca 100	2117.77 H I J K
F3	Huasteca 300	2117.30 H I J K
F4	Huasteca 600	2075.03 H I J K
F3	Mariana	2041.47 H I J K
F3	Huasteca 400	2036.87 H I J K
F4	Huasteca 200	1984.27 I J K
F4	Mariana	1977.07 I J K
F4	Vernal	1795.17 J K
F4	Tamesí	1724.83 K

Medias con una letra en común, no son estadísticamente diferentes.

LITERATURA CITADA

- Estrada V.J. 2009. Producción de soya en suelos mecanizados de Yucatán. Boletín Técnico. Fundación Produce Yucatán A.C.
- Fuentes S.H. y Cordero D.J. 1983. Guía para fertilizar la soya bajo condiciones de temporal en Campeche. Folleto para productores No. 5. SARH-INIA-CIAPY- CAE Campeche. Campeche, Camp. México.10p.
- Hernández P.M., Soto R.J.M., Orona C.F., Villalobos G.A. y Rosado C.A.T. 2016. "Rendimiento en variedades comerciales de soya bajo temporal en Campeche, México". Memoria: LVIII Reunión Anual del PCCMCA, Pp 52. San José, Costa Rica.
- Soto R.J.M., Rosado C.A.T., Canales C.R. y Villalobos G.A. 2016. "Efecto de la fertilización foliar sobre cuatro variedades de soya en Campeche, México". Memoria: LVIII Reunión Anual del PCCMCA, Pp 53. San José, Costa Rica.
- Tapia M.C., Soto R.J.M. y Orona C, F. 2015. "Densidad de población y fechas óptimas de siembra en cultivos comerciales de soya de temporal en Campeche. México". Memoria: XXVII Reunión

- Científica-Tecnológica Forestal y agropecuaria y IV Congreso Internacional en Producción agroalimentaria tropical, Pp 98-106. Tabasco, Méx
- Tapia M.C., Soto R.J.M., y Canales C.R. 2015. "Efecto de la densidad en el comportamiento de los rendimientos de la soya en el estado de Campeche, México". Memoria: LX Reunión Anual del PCCMCA, Pp. 100. Guatemala.
- Villalobos G.A., Soto R.J.M., y Orona C.F. 2015. "Comportamiento de genotipos de soya en Campeche, México". Memoria: LX Reunión Anual del PCCMCA, Pp. 99. Guatemala
- Villalobos G.A., Soto R.J.M., y Orona C.F. 2015. "Rendimiento de variedades de soya en condiciones de temporal en Campeche, México". Memoria: LX Reunión Anual del PCCMCA, Pp. 98. Guatemala
- Soto R.J.M., Canales C.R. y Orona C.F. 2014. "Evaluación de genotipos de soya en el estado de Campeche". Memoria: XXVI Reunión Científica-Tecnológica Forestal y agropecuaria y III Simposio Internacional en Producción agroalimentaria tropical, Pp 35-42. Tabasco, Méx.
- Hernández P.M., Soto R.J.M., Orona C.F y Canales C.R. 2014. "Respuesta agronómica de cinco variedades de soya en la zona centro del estado de Campeche, México". Memoria: 59 Reunión Anual del PCCMCA, Pp. 44. Nicaragua.
- Soto R.J.M., Orona C.F., Tucuch C.F.M. 2013. "Evaluación de cuatro materiales de soya, generados por INIFAP". Memoria: RENIAF, Pp 103. Veracruz, Méx.
- Soto R.J.M., Orona C.F. 2013. "Validación de materiales de soya generados por INIFAP en el estado de Campeche, México". Memoria: LVIII Reunión Anual del PCCMCA. Honduras.
- Maldonado M. N. et al. 2007. Guía para cultivar soya en el sur de Tamaulipas. SAGAR-INIFAP-CIR Noreste. CE Sur de Tamaulipas. Tampico, Tamaulipas, México. 83p.
- y Ascencio, L.G. 2010. HUASTECA 200, VARIEDAD DE SOYA DE BAJA SENSIBILIDAD AL FOTOPERIODO CORTO PARA EL TRÓPICO DE MÉXICO. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Vol.1 Núm.5 1 de octubre - 30 de diciembre, 2010 p. 707-714
- Ramírez V.M. 1978. Soya en Yucatán. Desplegable. CIAPY No. 9.SARH-INIA-CIAPY-CAE Uxmal. Mérida, Yucatán, México.
- Soto R. et al. 1990. Guía para producir soya de temporal en suelos a'kalche (vertisol) con drenaje superficial en Quintana Roo. Folleto para productores núm. 19. CIFAPQROO-INIFAP-SARH. Chetumal, Quintana Roo, México. 16p.
- et al. 1990. Guía para producir soya de temporal en suelos rojo (kan-kab) en Quintana Roo. Folleto para productores núm. 20. CIFAPQROO-INIFAP-SARH. Chetumal, Quintana Roo, México. 14p.
- Torres-Torres N, Tovar-Palacio A R. 2009. La historia del uso de la soya en México, su valor nutricional y su efecto en la salud. Salud pública de México. Vol. 51, no. 3, mayo-junio de 2009. Artículo de revisión: 2009; 51:246-254. México, D.F. Pag. 256-254. Fecha de consulta: 08 de febrero 2014.

REFERENCIAS INFORMATICAS

- ASERCA, SAGARPA. 2018. Reporte diario de precios de contado de frijol soya en diversos mercados internacionales. http://www.infoaserca.gob.mx/fisicos/sya_pci.asp. (Consultado el 17 de enero de 2018).
- SIAP, 2018. <http://www.siap.gob.mx/> (consultado el 01 de marzo de 2018).

MORFOLOGÍA DE HELICONIAS DEL BANCO DE GERMOPLASMA DE ORNAMENTALES DEL CAMPO EXPERIMENTAL ROSARIO IZAPA, TUXTLA CHICO, CHIAPAS, MÉXICO
MORPHOLOGY OF HELICONIAS OF THE ORNAMENTAL GERMOPLASM BANK OF THE ROSARIO IZAPA EXPERIMENTAL FIELD, TUXTLA CHICO, CHIAPAS, MEXICO

¹Olivera-de Los Santos A, ²Meléndez-Hernández LL

¹ Campo Experimental Rosario Izapa, Km 18 Carr. Tapachula-Cacahoatán, Tuxtla Chico, Chiapas. 2Tuxtla Chico, Chiapas C.P. 30870; ³Facultad de Ciencias Agrícolas.

²Universidad Autónoma de Chiapas, Entronque Carretera costera y Estación Huehuetán; Huehuetán, Chiapas, México.

Autor para correspondencia: olivera.aida@ inifap.gob.mx

RESUMEN

Las heliconias son plantas monocotiledóneas que pertenecen a la familia Heliconiaceae y actualmente son poco conocidas a pesar de su gran potencial ornamental. Dentro del Banco de germoplasma de Ornamentales tropicales del Campo Experimental Rosario Izapa del INIFAP existen 12 materiales de heliconias colectados en el estado de Chiapas, mismas que sirvieron de apoyo en esta investigación, para lo cual se tomó una planta como unidad experimental con 10 repeticiones se consideraron 56 descriptores cuantitativos y cualitativos. Los datos se analizaron con el programa R Foundation for Statistical Computing versión 3.2.0. Con el coeficiente de similitud de Gower. En el dendograma obtenido se observan tres grandes agrupaciones, el primer grupo lo integran las especies pequeñas como la *H. psittacorum*. Sosof *et al.* (2006) las definen, por su hábito de crecimiento, como hierbas pequeñas de 25-150 cm. El grupo 2 lo conforman 3 familias de crecimiento erecto y de tamaño mediano, *H. caribaea* x *H. bihai* "Jaquinni", *H. bihai* x *H. schaefer's* "Iris Red", *H. stricta* "Royal Tagami". Su crecimiento es musoide y sus rizomas son paquimorfos (Kress *et al.*, 2004). Y el grupo 3 está conformado por cuatro especies (*H. latispatha* "Mexican Gold", *H. bourgaeana* x *H. collinsiana*, *H. champagniana* "Maya Blood", *H. collinsiana* Benth.), las cuales son plantas grandes con un hábito de crecimiento musoide y rizoma paquimorfo (Iracheta *et al.*, 2013). Se concluyó que las variables que presentaron mayor diferencia son: Longitud de planta y tallo, presencia de pubescencia y coloración en el tallo; la variable de forma del ápice de la hoja es importante para caracterizar, ya que la mayoría presenta de forma acuminada.

Palabras clave: *heliconias*, *descripción morfológica*, *Chiapas*.

INTRODUCCION

La mayor concentración de la diversidad de plantas en México se encuentra en Chiapas y Oaxaca. En el caso de México se aproxima al 10 % de géneros y 52 % en especies, lo cual indica que el territorio nacional ha sido sitio de origen y evolución de un gran número de linajes vegetales (Rzedowski, 2006; Vázquez-García, 2005).

El género heliconio es el más popular entre las flores tropicales conocidas y su belleza no se debe propiamente a su flor, sino más bien a sus brácteas. Su durabilidad o vida postcosecha puede ser mayor a los 14 días, dependiendo del manejo que se le dé después de cosecharla. Se conocen en el mundo cerca de 500 variedades de heliconias, pero no todas ellas son cultivadas para flor de corte; muchas son de colección o con fines de hibridación para el desarrollo de variedades mejoradas (Velasco, 2007).

El cultivo de heliconias actualmente muestra una significativa expansión. Debido a la belleza de sus inflorescencias, alcanzan precios muy altos en mercados nacionales e internacionales (Viegas, 2005). Con la finalidad de aportar nuevas especies y darle importancia ornamental, para el aprovechamiento en la asociación a los cultivos perennes, anuales y maderables.

Las heliconias son plantas monocotiledóneas; estas pertenecen a la familia Heliconiaceae, con más de 250 especies distribuidas principalmente en el centro y sur de América y en el Caribe (Gutiérrez, 2000). El género *Heliconia* se localiza en climas cálidos y templados. La mayoría se encuentran en el trópico, pues la fuerte incidencia de la luz y el sol, le dan la vistosidad de su colorido (Jerez, 2007). En el caso de México se aproxima al 10 % de géneros y 52 % en especies, lo cual indica que el territorio nacional ha sido sitio de origen y evolución de un gran número de linajes vegetales (Rzedowski, 2006;

Vázquez–García, 2005). El creciente interés por parte de los consumidores extranjeros en ornamentales tradicionales también ha incrementado el comercio de estas especies tropicales (Castro y Graziano, 1997).

Dentro del programa de rescate y conservación de heliconias nativas del banco de germoplasma de Rosario Izapa, se ha empezado hacer caracterización de estas mismas, para la aportación de nuevas especies debido a la gran importancia ornamental, que se ha presentado en el campo mexicano, no solo como monocultivo sino como policultivos, asociándolos con cultivo como cacao, café, maderables, etc.

MATERIALES Y MÉTODOS

Preparación de materiales: Las plantas a caracterizar se determinaron a través de una colecta, donde se realizó una selección con los materiales que se contaba, siempre y cuando se encontraran en floración. Se descartaron plantas enfermas y dañadas por insectos. Los materiales y accesorios que se utilizaron en la realización de este trabajo son: Formato de caracterización, Reglas, Cinta adhesiva, Tijeras, Cámara Fotográfica, Vernier, Flexómetro, entre otros.

Cuadro 1. Material vegetal seleccionado para caracterizar. Se analizaron 12 materiales de heliconias cada una con 10 plantas como repeticiones.

Número	Heliconias
1	<i>Heliconia latispatha</i> "Golden Mex"
2	<i>Heliconia bourgaeana</i> Petersen X <i>H. collinsiana</i> griggs cv. Pedro Ortiz
3	<i>Heliconia psittacorum</i> L.f.x. <i>H.spathocircinata</i> , Aristeguieta cv. Golden Torch.
4	<i>Heliconia psittacorum</i> L.f. x <i>H. Spathocircinata</i> "Tropic's"
5	<i>Heliconia Caribaea</i> x <i>Bihai</i> "Jaquinii"
6	<i>Heliconia Bihai</i> (L) L. cv. Schaefer's
7	<i>Heliconia Psittacorum sasy</i>
8	<i>Heliconia Psittacorum Lady Di</i>
9	<i>Heliconia Champneiana</i> "Maya Blood"
10	<i>Heliconia Stricta</i> "Royal Tagami"
11	<i>Heliconia collinsiana</i> grigg
12	<i>Heliconia vaginalis</i>

METODOLOGÍA

Se tomaron 10 plantas de heliconias al azar, mismas que se etiquetaron con sus respectivos códigos, en total fueron 12 especies con un número de 10 repeticiones. Con 12 especies de heliconias y 10 plantas seleccionadas de cada una, suman 120 accesiones en total establecidas en franjas. De cada una de las especies se tomaron medidas en base a los descriptores de las plantas, lo más homogéneas posibles en cuanto a tamaño y etapa de floración. Todas las mediciones morfológicas, fueron realizadas en temporada de floración de cada material vegetativo, en cuanto a las variables relacionadas con la hoja, se consideraron en las primeras horas de la mañana, para evitar que la hoja se deshidrate y enrolle. Y en cada fase de medición se tomó historial fotográfico. Todos los resultados fueron insertados en una matriz de datos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis Clúster: Este análisis se llevó a cabo a partir de la matriz de datos, fueron ingresados los datos de cada una de las variables evaluadas con ayuda del paquete estadístico R Foundation for Statistical computing versión 3.2.0. Donde se aplicó el método de Gower, permitiendo el agrupamiento de las variables cuantitativas y cualitativas. En la figura 1 se observa el Dendograma de las 120 accesiones de Heliconias, obtenido por el Método de Disimilaridad (distancia) de Gower y por el método de agrupamiento de Ward. Con base al dendograma el primer grupo que se formó, lo integran las especies *H. Psittacorum* x *H. Spathocircinata* "Golden Torch", *H. Psittacorum* x *H. Spathocircinata* "Tropic's", *H. Psittacorum* "Sassy", *H. Psittacorum* "Lady di", *H. Vaginalis*, cuatro de ellas son de la especie *Psittacorum*, mismas que fueron agrupadas por el tipo de planta, ya que estas entran como porte de plantas pequeñas, sin embargo Sosof (et al.,2006), las identifico con el hábito de crecimiento como hierbas pequeñas 25- 150 cm.(Cuadro 1).

Cuadro 2. Relación de descriptores que se utilizaron en la caracterización morfológica de heliconias, INIFAP-UNACH 2015.

Descriptor	Rango
Planta	
TP: Tipo de planta	1 Pequeña (25-150 cm), 2 Mediana (151-200 cm), 3 Grande (201+)
HC: Hábito de crecimiento	1 Musoide, 2 Cannoide, 3 Zingiberoide
LP: Longitud de la planta	Cm
LT: Longitud del tallo	Cm
CT: Coloración del tallo	1 Verde rojizo, 2 Verde claro 3 Verde intenso, 4 Verde jaspeado, 5 Rojizo
FT: Forma del tallo	1 Ovalado, 2 Redondo
PT: Pubescencia del tallo	1 Presente, 2 Ausente
Hoja Madura	
FA: Forma del ápice de la hoja	1 Acuminada, 2 Obtuso
LI: Longitud de la lámina	Cm
AH: Ancho de la hoja	
RL/A: Relación longitud/ancho de hoja	Nominal
CH: Coloración de la hoja	1 Verde intenso, 2 Verde claro
DH: Disposición de la hoja	1 Dística, 2 Espiralado
LP: Longitud del peciolo	Cm
LH: Longitud de la hoja	
Hoja Bandera	
FAB: Forma del ápice de la hoja	1 Acuminada, 2 Obtuso
LLB: Longitud de la hoja	Cm
ALB: Ancho de la hoja	
RL/AB: Relación longitud/ancho de hoja	Nominal
CLB: Coloración de la hoja	1 Verde intenso, 2 Verde claro
LPB: Longitud del peciolo	Cm
Inflorescencia	
PI: Posición de la inflorescencia	1 Erecta, 2 Pendular, 3 Colgante
L: Longitud de la inflorescencia	Cm
AL: Ancho de la inflorescencia	
P: Presencia de pubescencia	1 Presente, 2 Ausente
DB: Disposición de las brácteas	1 Cincino, 2 Helicoidal
CB: Coloración de las brácteas	1 Amarillo, 2 Rojo, 3 Naranja- rojo, 4 Rojo- amarillo- verde, 5 Rojo- verde, 6 Verde- blanco- rosa, 7 Vino, 8 Rojo- amarillo
Flor	
CS: Coloración de sépalos	1 Verde claro, 2 Amarillo, 3 Matizada (Verde, blanco), 4 Naranja
CP: Coloración del pedicelo	1 Blanco, 2 Amarillo
LP: Longitud del pedicelo	Cm
AP: Ancho del pedicelo	
Fruto	
CO: Coloración de ovario	1 Amarillo, 2 Amarillo claro, 3 Blanco
NFSB: Número de frutos segunda bráctea	Nominal
LO: Longitud de ovario	Mm
AO: Ancho de ovario	
Raíz	
TR: Tipo de rizoma	1 Leptomorfo, 2 Paquimorfo

Con respecto a la última especie de este grupo que corresponde a la especie *H. Vaginalis* cabe hacer la aclaración que en su hábitat natural esta especie mide más de cinco metros de altura y fue agrupada en esta ocasión por el tamaño de la flor y el tipo de planta que se vio modificado por las condiciones edafoclimáticas al cambiarla de su hábitat (Olivera, 2014).

En resumen, este grupo se definió por los descriptores principales: tipo de planta, tamaño de la hoja bandera, tamaño de flor, tipo de rizoma. Ya que esta especie, *H. Psittacorum*, se caracteriza principalmente por su raíz leptomorfa. A continuación, se detalla la carta descriptiva de cada una de las especies que corresponden a este grupo.

1. *Heliconia Psittacorum* L.f. x *Heliconia Spathocircinata*, Aristeguieta Cv. "Golden Torch"

Planta: Musoide, de 90- 138 cm de altura, la longitud del tallo, ancho y grosor es de 37- 80 cm, 20.60- 27.93 mm, y de 14.13- 23.04 mm, respectivamente. La coloración del tallo es verde claro, el tallo tiene forma ovalada, con presencia de pubescencia, con una consistencia dura. Algunas características morfológicas se presentan en la figura 19. **Hoja:** El limbo de la hoja madura no presenta ondulamiento, la base es de forma asimétrica, con ápice acuminada, la longitud y ancho del limbo es de 21- 56 cm, y de 10- 14 cm respectivamente, la hoja presenta coloración verde claro, con disposición dística, con 4- 6 hojas, la longitud de peciolo es de 10- 29 cm. **La hoja bandera** presenta características similares a la anterior, con la longitud y ancho del limbo de 28- 47 cm y de 9.50- 32 cm, respectivamente y la longitud del peciolo es de 7- 22 cm. **Inflorescencia:** La inflorescencia crece en forma erecta, su longitud y ancho es de 14- 22 cm, y 20- 26 cm, respectivamente, el ancho del raquis y grosor es de 4.49-7.90 mm, y de 4.38- 7.54 mm, respectivamente, el número de brácteas es de 4- 6, la longitud, ancho y grosor de la segunda bráctea es de 10- 13 cm, de 17.62- 20.08 mm y 11.17- 15.45 mm, respectivamente, la disposición de las brácteas es dística tendiendo a espiral, tanto el raquis como las brácteas son de coloración amarilla. No presenta pubescencia. **Flor:** La coloración de los sépalos y del pedicelo es amarillo, la longitud de sépalos de la flor más desarrollada es de 58.15- 72.08 mm, el ancho y grosor de esta fue de 3.74- 5.38 mm y de 2.70- 4.13 mm, respectivamente, la longitud y ancho del pedicelo es de 6.92- 11.46 mm, y de 1.80- 2.90 mm, respectivamente. **Fruto:** La coloración del ovario es amarilla, el número de frutos en la segunda bráctea de 8- 20, la longitud y ancho del ovario es de 5.09- 9.65 mm, y de 3.84- 7.98 mm, respectivamente y presenta tres lóculos. **Rizoma:** Su raíz es Leptomorfo.

2. *Heliconia Psittacorum* L. f. x *Heliconia Spathocircinata* Cv. "Tropic's"

Planta: Musoide, de 1.63- 2.20 m de altura, la longitud y anchura del tallo de 68- 133 cm, de 33- 38.27 mm, respectivamente, la coloración del tallo es verde claro, el tallo es ovalado, con ausencia de pubescencia, con una consistencia suave. En el Anexo 2, se presentan algunas características morfológicas de esta especie. **Hoja:** El limbo presenta ondulamiento, la forma de la base del limbo es asimétrica, y el ápice es acuminada, la longitud y ancho del limbo es de 63- 90 cm, y 13- 19 cm, respectivamente, la coloración es verde intenso, con disposición dística, con 5- 7 hojas, la longitud de peciolo de 17- 46 cm. **Hoja Bandera:** presenta características morfológicas similares que la anterior, la longitud y ancho del limbo es de 35- 86 cm y de 11- 35 cm, respectivamente, la coloración es verde intenso, la longitud de peciolo de 9- 42 cm. **Inflorescencia:** Presenta crecimiento erecto, la longitud y ancho de la inflorescencia es de 15- 21 cm, y de 12- 18 cm, respectivamente, el ancho y grosor del raquis es de 6.40- 10.27 mm, y de 6.66- 8.50 mm, respectivamente, con ausencia de pubescencia en la inflorescencia, de 4-6 brácteas abiertas, la longitud, el ancho y grosor de la segunda bráctea es de 8- 12, de 20.02- 26.18 mm, y de 10.17- 13.58 mm, respectivamente, con disposición de las brácteas dística tendiendo a espiral, la coloración de las brácteas son naranja con rojo, y el raquis de color naranja. **Flor:** La coloración de los sépalos y el pedicelo es de color amarillo, la longitud de sépalos de la flor más desarrollada de 62.02- 67.93 mm, el ancho y grosor de la flor más desarrollada es de 4.54- 6.18 mm, y de 2.53- 3.99 mm, respectivamente, la longitud y ancho del pedicelo es de 5.24- 10.71 mm, y de 1.99- 3.29 mm, respectivamente. **Fruto:** La coloración del ovario es amarilla, el número de frutos de 6- 11 en la segunda bráctea, la longitud y ancho de ovario de 8.10- 10.76 mm y de 5.09- 6.23 mm, respectivamente, presenta tres lóculos. **Rizoma:** Su raíz es leptomorfo.

3. *Heliconia Psittacorum* "Sassy"

Planta: Musoide, de 1.10- 1.60 m de altura, la longitud y ancho del tallo es de 65-93 cm, y es de 14.10- 25.28 mm, respectivamente, la coloración del tallo es verde claro, de forma ovalada, no presenta pubescencia, con una consistencia dura. Algunas de las características morfológicas se presentan en la figura (Anexo 3). **Hoja:** La hoja madura no presenta ondulamiento en el limbo, la base es asimétrica, de forma acuminada, la longitud y ancho del limbo de 35- 56 cm, y de 7- 10 cm, respectivamente, la coloración es verde intenso, con disposición dística, con 4- 7 hojas, la longitud de peciolo de 12- 33 cm. **La hoja bandera:** presenta la característica cualitativa igual que la hoja anterior, con la diferencia en la longitud y ancho del limbo de 26- 50 cm y de 7- 10 cm, respectivamente, la longitud de peciolo de 3- 19 cm. **Inflorescencia:** Presenta crecimiento erecto, la longitud y ancho de la

inflorescencia es de 12- 20 cm y de 8- 20 cm, respectivamente, el ancho y grosor del raquis es de 3.60- 12.66 mm y de 3.03- 11.71 mm, respectivamente, con ausencia de pubescencia, contiene entre 3- 5 brácteas abiertas, la longitud y ancho de la segunda bráctea es de 8- 10 cm y de 11.08- 14.41 mm, respectivamente, el grosor de la segunda bráctea de 5.17- 9.50 mm, con disposición dística decoloración matizado entre verde claro, blanco y rosa, el raquis es de color verde claro. **Flor:** La coloración de los sépalos es naranja, la coloración del pedicelo es amarillo, la longitud de sépalos de la flor más desarrollada de 49.18- 66.72 mm, el ancho de la flor más desarrollada de 5.55- 7.93 mm, el grosor de la flor más desarrollada de 2.05- 5.53 mm, la longitud del pedicelo de 2.70- 9.75 mm, el ancho del pedicelo de 2.30- 4.49 mm. **Fruto:** La coloración del ovario es amarilla, de 6- 9 frutos en la segunda bráctea, la longitud de ovario de 5.07- 5.69 mm, el ancho del ovario de 5.13- 6.61 mm, el número de lóculos son tres. **Rizoma:** Su raíz es Leptomorfo.

4. *Heliconia Psittacorum* “Lady Di”

Planta: Musoide, de 1.06- 1.45 m de altura, la longitud del tallo de 50- 86 cm, el ancho y grosor del tallo en el cuello es de 10.12- 22.85 y de 8.37- 18.38 mm, respectivamente, es de coloración rojizo, de forma ovalada, con presencia de pubescencia, con una consistencia dura. Algunas características morfológicas de esta especie se aprecian en el Anexo 4. **Hoja:** El limbo sin ondulado, con base asimétrica, ápice de forma acuminada, la longitud y ancho es de 9- 39 y de 8- 9 cm, respectivamente, de coloración verde intenso, con disposición dística, con 4- 6 hojas, la longitud de peciolo de 6- 20 cm.

HojaBandera: presenta características cualitativas como la anterior, la forma del ápice del limbo es acuminada, la longitud del limbo de 24-33 cm, el ancho del limbo de 6- 9 cm, la longitud de peciolo de 3- 20 cm. **Inflorescencia:** Presenta crecimiento erecto, la longitud y ancho de la inflorescencia es de 13- 18 y de 11- 17 cm, respectivamente, el ancho y grosor del raquis es de 3.89- 5.39 y de 3.27- 4.18 mm, respectivamente, con ausencia de pubescencia, con 3- 5 brácteas abiertas, la longitud y ancho de la segunda bráctea es de 7- 10 y 9.49- 12.52 mm, respectivamente, su grosor es de 4.73- 8.45 mm, las brácteas tienen disposición dística, las brácteas y el raquis son de coloración vino.

Flor: La coloración de los sépalos y del pedicelo es amarillo, la longitud de sépalos y el ancho de la flor más desarrollada es de 41.80- 57.50 de 2.54- 5.63 mm, respectivamente, el grosor de la flor más desarrollada de 1.67- 3.96 mm, la longitud y ancho del pedicelo es de 3.59- 9.98 de 1.26- 2.26 mm, respectivamente. **Fruto:** La coloración del ovario es amarillo, el número de 5- 8 frutos en la segunda bráctea, la longitud y ancho del ovario es de 4.89- 7.67 y de 2.66- 13.73 mm, respectivamente. Presenta tres lóculos. **Rizoma:** Su raíz es leptomorfo.

5. *Heliconia Vaginalis*

Planta: Canoide, de 1.43- 1.90 m de altura, la longitud, ancho y grosor del tallo 90- 135 cm, 22.58- 33.39 mm, y el de 15.76- 28.55 mm, respectivamente, el tallo presenta coloración verde claro, de forma ovalada, con ausencia de pubescencia y consistencia dura. Algunas características morfológicas de esta especie se aprecian en el Anexo 5. **Hoja:** El limbo sin ondulado, la base del limbo es envainante, con ápice de forma acuminada, la longitud y ancho del limbo es de 34- 57 cm y de 10- 14 cm, respectivamente, de coloración verde intenso, con disposición dística o alternas, con 8- 11 hojas, no presenta peciolo. **La hoja bandera** presenta características cualitativas similares a la anterior.

La longitud y ancho del limbo es de 32- 52 cm y de 8- 13 cm, respectivamente. **Inflorescencia:** De crecimiento erecto, la longitud y ancho de la inflorescencia es de 10- 17 y de 10- 21 cm, respectivamente, el ancho y grosor del raquis es de 4.49- 7.75 y de 3.37- 7.27 mm, respectivamente. No presenta pubescencia, Las brácteas abiertas son de 3- 5, la longitud de la segunda bráctea es de 8- 12 cm y el ancho y grosor de la segunda bráctea es de 12.77- 17.36 y de 6.63- 9.14 mm, respectivamente, con disposición dística y coloración roja de las brácteas y el raquis. **Flor:** La coloración de los sépalos y pedicelo es amarillo, la longitud de sépalos, de la flor más desarrollada de 58.56- 71.58 mm, el ancho y el grosor de la flor más desarrollada es de 4.53- 9.02 mm y de 2.96- 5.86 mm, respectivamente. Y la longitud y ancho del pedicelo es de 6.82- 11.04 mm y de 2.69 - 4.17 mm, respectivamente. **Fruto:** La coloración del ovario es amarillo, de 5- 11 frutos en la segunda bráctea, la longitud y ancho del ovario es de 4.82- 7.65 y de 4.62- 6.28 mm, respectivamente, con tres lóculos. **Rizoma:** Su raíz es Leptomorfo.

Analizando el Dendograma del grupo 2 (Figura 1). Se puede observar que sobresalen 3 subgrupos compuesto por 3 familias H. *Caribaea* x H. *Bihai* “Jaquinni”, H. *Bihai* x H. *Schaefer's* “Iris Red”, H. *Stricta* “Royal Tagami”. Este grupo presentan un hábito de crecimiento musoide esto quiere decir que es semejante al crecimiento de la planta de banano, según Kress (*et al.*, 2004). También presentaron

la forma del tallo ovalado con ápice de forma acuminada, y su disposición de sus hojas es dística, además su inflorescencia erecta, brácteas cincinos, sépalo y pedicelo amarillo.

El crecimiento del rizoma es paquimorfo Iracheta (*et, al 2013*). Con fines de caracterización se considera que estos descriptores no son determinantes para definir especies de heliconias, y se debe poner más atención a las variables relacionadas con la planta como son: tipo de planta, coloración y longitud del tallo, longitud de la planta, longitud del peciolo y lámina y ancho de la hoja.

En cuanto a la inflorescencia se debe considerar: a la longitud y ancho de la inflorescencia, es importante también definir los colores apropiados para determinar la coloración de las brácteas en este caso se utilizó la carta de pantone.

1. *Heliconia Caribaea x Heliconia Bihai* “Jaquinii”

Planta: Musoide, de 2.39- 3.96 m de altura, la longitud del tallo, ancho y grosor es de 1.32- 1.60 m, de 47.57- 80.32 mm, y de 46.01- 72.39 mm, respectivamente. La coloración del tallo es verde intenso, el tallo tiene forma ovalada, con ausencia de pubescencia, con una consistencia semi-suave. Algunas características morfológicas se presentan en el Anexo 6. **Hoja:** El limbo de la hoja madura presenta ondulamiento, la base del limbo es asimétrica, con ápice acuminada, la longitud y ancho del limbo es de 95- 138 cm y de 23- 35 cm, respectivamente. La coloración es verde intenso, con disposición dística, con 5- 6 hojas, la longitud del peciolo es de 47- 74 cm. **La hoja bandera** presenta características similares a la anterior, la longitud y ancho del limbo es de 17- 141 cm y de 10- 34 cm, respectivamente, la longitud de peciolo de 15- 60 cm. **Inflorescencia:** Crece en forma erecta, su longitud y ancho es de 33- 51 cm, de 27- 37 cm, respectivamente, el ancho del raquis y su grosor es de 10.17- 20.10 mm, y de 9.78- 18.14 mm, respectivamente, el número de 5- 10 brácteas, la longitud, ancho y grosor de la segunda bráctea 8- 24 cm, de 45.13-58.65 mm y de 17.33- 26.43 mm, respectivamente, la disposición de las brácteas es dística, la coloración de las brácteas son verde, rojo, amarillo, la coloración del raquis es amarillo rojizo. No presenta pubescencia. **Flor:** La coloración de los sépalos son verde con blanco, la coloración del pedicelo es blanco, la longitud de sépalos de la flor más desarrollada es de 54.48- 80.48 mm, el ancho y grosor de la flor más desarrollada es de 3.05- 6.55 mm y de 2.57- 4.67 mm, respectivamente, la longitud y ancho del pedicelo es de 5.55- 11.49 mm, y de 3.25- 4.85 mm, respectivamente. **Fruto:** La coloración del ovario es amarillo, el número de frutos en la segunda bráctea es de 9- 18, la longitud y ancho de ovario es de 6.14- 8.08 mm y de 4.17- 5.58 mm, respectivamente y presenta 3 lóculos. **Rizoma:** Su raíz es Paquimorfo.

2. *Heliconia Bihai x Heliconia Schaefer's Bihai* “Iris Red”

Planta: Musoide, de 2.55- 4.32 m de altura, la longitud del tallo, ancho y grosor es de 1.00- 1.46 m, de 51.33- 66.81 mm, y de 46.08- 63.19 mm, respectivamente. La coloración del tallo es verde intenso, el tallo tiene forma ovalada, con ausencia de pubescencia, con una consistencia semi suave del peciolo. Algunas características morfológicas se presentan en el Anexo 7. **Hoja:** La hoja madura presenta ausencia de ondulamiento, la base es asimétrica, con ápice acuminada, la longitud y el ancho del limbo es de 137- 192 cm y de 27- 33 cm, respectivamente, coloración verde intenso, con disposición dística, con 5- 7 hojas, la longitud de peciolo es de 53- 87 cm. **La hoja bandera:** Presenta características similares a la anterior la longitud y ancho del limbo es de 50- 180 cm y de 18- 32 cm, respectivamente, la coloración es verde claro, la longitud de peciolo de 25- 93 cm. **Inflorescencia:** Crece en forma erecta, su longitud y ancho es de 34- 48 cm y de 17- 44 cm, respectivamente. El ancho y el raquis son de 15.99- 26.63 mm y de 14.24- 21.12 mm, respectivamente. El número de brácteas es de 6- 9, la longitud, ancho y grosor de la segunda bráctea es de 15- 22 cm, de 51.30- 64.49 mm, y de 27.46- 39.46 mm, respectivamente, con disposición dística de las brácteas, las coloraciones de las brácteas son rojo con verde, la coloración del raquis es rojo. Con ausencia de pubescencia. **Flor:** La coloración de los sépalos son verde con blanco, la coloración del pedicelo es blanco, la longitud de sépalos de la flor más desarrollada es de 63.18- 80.20 mm, el ancho y el grosor de la flor más desarrollada es de 5.87- 10.38 mm y de 2.01- 4.68 mm, respectivamente, la longitud y ancho del pedicelo es de 5.56- 10.35 mm y de 2.92- 4.57 mm, respectivamente. **Fruto:** La coloración del ovario es amarilla, el número de frutos en la segunda bráctea es de 9- 14, la longitud y ancho del ovario es de 5.63- 8.63 mm y de 3.85- 4.77 mm, respectivamente y presenta 3 lóculos. **Rizoma:** Su raíz es Paquimorfo.

3. *Heliconia Stricta* “Royal Tagami”

Planta: Musoide, de 1.30- 2.37 m de altura, la longitud del tallo, ancho y grosor es de 40- 87 cm, de 30.01- 41.46 mm y de 18.77- 39.08 mm, respectivamente, la coloración del tallo es verde claro, el tallo es de forma ovalada, con ausencia de pubescencia, con una consistencia suave. Algunas

características morfológicas se presentan en el Anexo 8. **Hoja:** El limbo de la hoja madura con ausencia de ondulamiento, la base es de forma asimétrica, con ápice acuminada, la longitud y ancho del limbo es de 56- 99 cm y de 20- 28 cm, respectivamente, la hoja presenta coloración verde claro, con disposición dística, con 4- 7 hojas, la longitud de peciolo es de 31- 58 cm. **Hoja Bandera:** Presenta características similares a la anterior con la longitud y ancho del limbo es de 24- 84 cm y de 8- 26 cm, respectivamente, la longitud de peciolo es de 12- 55 cm. **Inflorescencia:** Crece en forma erecta, su longitud y ancho de la inflorescencia es de 29- 50 cm y de 25- 43 cm, respectivamente, el ancho y grosor del raquis es de 11.09- 21.17 mm y de 11.70- 20.22 mm, respectivamente, el número de brácteas es de 5- 8, la longitud, ancho y grosor de la segunda bráctea es de 15- 28 cm, de 41.86- 49.56 mm y de 21.21- 40.39 mm, respectivamente, con disposición de las brácteas dística, la coloración de las brácteas son rojo con amarillo, la coloración del raquis es amarillo. Con ausencia de pubescencia en la inflorescencia. **Flor:** La coloración de los sépalos son verde con blanco, la coloración del pedicelo es blanco, la longitud de sépalos de la flor más desarrollada es de 54.22- 71.90 mm, el ancho y grosor de la flor más desarrollada es de 4.76- 10.26 mm y de 2.78- 9.25 mm, respectivamente, la longitud y ancho del pedicelo es de 2.79- 14.37 mm y de 4.53- 10.48 mm, respectivamente. **Fruto:** La coloración del ovario es blanca, el número de frutos es de 6- 15 en la segunda bráctea, la longitud y ancho del ovario es de 6.23- 12.01 mm y de 2.96- 10.59 mm, respectivamente y presenta 3 lóculos. **Rizoma:** Su raíz es Paquimorfo.

En el grupo 3 como se puede observar en el dendograma de la (Figura 1), está conformado por cuatro especies, que a continuación se enlistan, en primer lugar se encuentra la *H. Latispatha* “MexicanGold”, *H. Bourgaeana* x *H. Collinsiana*, *H. Champagniana* “Maya Blood”, *H. Collinsiana* Benth, estas especies se caracterizan por ser plantas grandes con un hábito de crecimiento musoide, presentan su tallo ovalado y tanto las hojas como las brácteas la presentan en forma dística, también presentan la coloración de los sépalos de color amarillo. Según Iracheta (*et al.*, 2013), señala que los rizomas de las heliconias pueden crecer de forma paquimorfa.

Por otro lado, las variables que presentaron mayor diferencia son: Longitud de planta y tallo, así también presencia de pubescencia y de coloración en el tallo; la variable de forma del ápice de la hoja es importante para caracterizar, ya que la mayoría presenta de forma acuminada y la *H. Bourgaeana* es la única que presento diferencia. Las variables ancho y longitud de la hoja, longitud de peciolo y posición de la inflorescencia en este grupo fueron descriptores que marcaron las diferencias entre los otros descriptores. A continuación, se presentan las características morfológicas de las especies de este grupo.

1. *Heliconia Latispatha* Benth “Mexican Gold”

Planta: Musoide, de 2.74- 3.50 m de altura, la longitud, ancho y grosor del tallo es de 1.15- 1.90 m, de 11.46- 70.21 mm y de 11.86- 59.80 mm, respectivamente, la coloración del tallo es verde rojizo, el tallo tiene forma ovalada, con presencia de pubescencia, con una consistencia suave. **Hoja:** El limbo de la hoja madura con ausencia de ondulamiento, la base es de forma asimétrica, con ápice acuminada, la longitud y ancho del limbo es de 1.00- 1.60 m y de 14- 33 cm, respectivamente, la hoja presenta coloración verde intenso, con disposición dística, con 5- 7 hojas, la longitud de peciolo de 62- 111 cm. **Hoja Bandera:** Presenta características similares a la anterior, con longitud y ancho del limbo de 18- 133 cm y de 15-27 cm, respectivamente, la coloración es verde intenso, la longitud de peciolo de 10- 70 cm. **Inflorescencia:** Crece en forma erecta, la longitud y ancho de la inflorescencia es de 36- 56 cm y de 34-44 cm, respectivamente, el ancho y grosor del raquis es de 10.78- 46.05 mm y de 10.94- 15.40 mm, respectivamente, el número de brácteas es de 7- 12, la longitud, ancho y grosor de la segunda bráctea es de 15- 21 cm, de 19.49- 46.50 mm y de 11.47- 29.63 mm, respectivamente, con disposición espiral de las brácteas, la coloración de las brácteas son amarillas, la coloración del raquis es verde claro. Con presencia de pubescencia en la inflorescencia. **Flor:** La coloración de los sépalos son verde claro, la coloración del pedicelo es blanco, la longitud de sépalos de la flor más desarrollada es de 50.12- 60.84 mm, el ancho y el grosor de la flor más desarrollada es de 3.15- 5.76 mm y de 1.97 -4.19 mm, respectivamente, la longitud y ancho del pedicelo es de 3.37- 6.83 mm y de 2.15-3.85 mm, respectivamente. **Fruto:** La coloración del ovario es amarilla, el número de frutos en la segunda bráctea de 13- 18, la longitud y ancho de ovario es de 5.60- 9.22 mm y de 3.35- 4.99 mm, respectivamente y presenta 3 lóculos. **Rizoma:** Su raíz es leptomorfo.

2. *Heliconia bourgaeana* Petersen X *Heliconia collinsiana* griggs cv. Pedro Ortiz.

Planta: Musoide, de 3.05- 4.73 m de altura, la longitud, ancho y grosor del tallo es de 1.40- 2.98 m, de 57.80- 78.51 mm y de 46.17- 62.68 mm, respectivamente. La coloración del tallo es verde rojizo, el

tallo tiene forma ovalada, con ausencia de pubescencia con una consistencia semi suave. Algunas características morfológicas se presentan en la Anexo10. **Hoja:** El limbo de la hoja madura con ausencia de ondulamiento, la base es de forma asimétrica, con ápice acuminada, la longitud y ancho del limbo es de 1.10-1.70 m y de31-37.20 cm, respectivamente, la hoja presenta coloración verde claro, con disposición dística, con 5- 7 hojas, la longitud de peciolo de 67- 110 cm. **Hoja Bandera:** Presenta características similares a la anterior, la longitud y ancho del limbo es de 41- 146 cm y de20-42 cm, respectivamente, la longitud de peciolo es de 21- 90 cm. **Inflorescencia:** Crece en forma pendular, la longitud y ancho de la inflorescencia es de 43-79 cm y de 42-60 cm, respectivamente, el ancho y grosor del raquis es de 14.42- 19.25 mm y de 12.10- 18.49 mm, respectivamente, el número de 8- 17 brácteas, la longitud, ancho y grosor de la segunda bráctea es de 19.50- 28 cm, de 47.30-58.39 mm y de28.14- 35.88 mm, respectivamente, con disposición dística las brácteas, tanto el raquis como las brácteas son de coloración rojo. Con ausencia de pubescencia en la inflorescencia. **Flor:** La coloración de los sépalos y del pedicelo es amarilla, la longitud de sépalos de la flor más desarrollada de 54.98-91.26 mm, el ancho y grosor de la flor más desarrollada es de 4.53-6.98 mm y de 2.57-6.90 mm, respectivamente, la longitud y ancho del pedicelo es de 3.88- 20.30 mm y de2.42- 4.98 mm, respectivamente. **Fruto:** La coloración del ovario es amarilla, el número de frutos en la segunda bráctea de 4 - 19, la longitud y ancho de ovario es de 7.19- 12.41 mm y de5.84- 9.56, respectivamente y presenta 3 lóculos. **Rizoma:** Su raíz es Paquimorfo.

3. *Heliconia Champagniana* “Maya blood”.

Planta: Musoide, de 3.70- 5.00 m de altura, la longitud, ancho y grosor del tallo es de 1.40- 1.70m, de 55.38- 87.62 mm y de34.88- 71.08 mm, respectivamente, la coloración del tallo es verde rojizo, el tallo tiene forma ovalada, con presencia de pubescencia, con una consistencia dura. Algunas características morfológicas se presentan en el Anexo 11. **Hoja:** El limbo de la hoja madura con ausencia de ondulamiento, la base es de forma asimétrica, con del ápice acuminada, la longitud y ancho del limbo es de 132- 183 cm y de37- 48 cm, respectivamente, la hoja presenta coloración verde intenso, con disposición dística, con 5- 6 hojas, la longitud de peciolo de 70- 150 cm. **Hoja Bandera:** Presentan características similares a la anterior, la longitud y ancho del limbo es de 78- 132 cm y de30- 40 cm, respectivamente, la coloración es verde claro, la longitud de peciolo de 20- 100 cm. **Inflorescencia:** Crece en forma erecta, la longitud y ancho de la inflorescencia es de 47- 76 cm y de20- 30 cm, respectivamente, el ancho y el grosor del raquis es de 13.82- 18.73 mm y de11.85-20.65 mm, respectivamente, el número de 10- 16 brácteas, la longitud, ancho y grosor de la segunda bráctea es de 11- 14 cm, de 39.61- 45.30 mm y de27.17- 33.31 mm, respectivamente, con disposición dística de las brácteas, la coloración de las brácteas es rojo con amarillo, la coloración del raquis es rojo con amarillo. Con ausencia de pubescencia en la inflorescencia. **Flor:** La coloración de los sépalos y del pedicelo es amarillo, la longitud de sépalos de la flor más desarrollada es de 54.11-77.14 mm, el ancho y grosor de la flor más desarrollada es de 4.28- 6.09 mm y de2.33- 4.63 mm, respectivamente, la longitud y ancho del pedicelo es de 7.36- 10.69 mm y de 2.94- 9.19 mm, respectivamente. **Fruto:** La coloración del ovario es amarillo, el número de 10- 15 frutos en la segunda bráctea, la longitud y ancho de ovario es de 4.15- 9.24 mm y de4.23- 5.72 mm, respectivamente, y presenta 3 lóculos. **Rizoma:** Su raíz es leptomorfo.

4. *Heliconia Collinsiana* grigg

Planta: Musoide, con altura de 3.24- 4.92 m, la longitud, ancho y grosor del tallo es de 1.80- 3.05m, de 55.34- 85.22y de45.67- 70.69 mm, respectivamente, la coloración del tallo es verde intenso, el tallo tiene forma ovalada, con ausencia de pubescencia con una consistencia suave. Algunas características morfológicas se presentan en el Anexo 12. **Hoja:** La hoja madura presenta ausencia de ondulamiento, la base es forma asimétrica, con ápice acuminada, la longitud y ancho del limbo es de 116- 165 cm y de 30- 40 cm, respectivamente, la hoja presenta coloración verde intenso, con disposición dística, con 5- 6 hojas, la longitud de peciolo es de 51- 60 cm. **Hoja Bandera:** Presenta las mismas características similares a la anterior, la longitud y ancho del limbo es de 70- 133 cm y de24-33 cm, respectivamente, la coloración es verde claro, la longitud de peciolo de 36- 66 cm. **Inflorescencia:** Crece en forma pendular, la longitud y ancho de la inflorescencia es de 58- 95 cm y de 40- 55 cm, respectivamente, el ancho y grosor del raquis es de 6.34- 9.08 mm y de 4.45- 9.17 mm, respectivamente, el número de 9- 16 brácteas, la longitud, ancho y grosor de la segunda bráctea es de 19- 26 cm, de 21.20- 35.91 mm y de9.68- 21.23 mm, respectivamente, con disposición espiral de las brácteas, tanto el raquis como las brácteas son de coloración rojo. Con ausencia de pubescencia en la inflorescencia. **Flor:** La coloración de los sépalos es amarillo, la coloración del pedicelo es amarillo, la

longitud de sépalos de la flor más desarrollada de 59.91- 74.50 mm, el ancho de la flor más desarrollada de 6.15- 10.01 mm, el grosor de la flor más desarrollada de 4.22- 7.78 mm, la longitud del pedicelo de 8.55- 13.44 mm, el ancho del pedicelo de 2.94- 4.09 mm. **Fruto:** La coloración del ovario es amarillo, el número de 13- 30 frutos en la segunda bráctea, la longitud y ancho de ovario es de 5.44- 7.61 mm y de 5.33- 7.16 m, respectivamente, y presenta 3 lóculos. **Rizoma:** Su raíz es Paquimorfo.

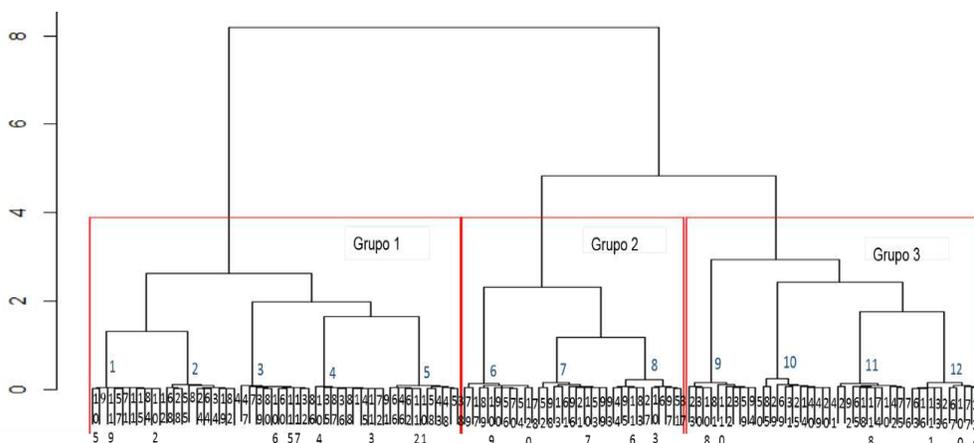


Figura 1. Dendrograma de 120 accesiones de Heliconias. INIFAP-UNACH, 2015.
Descripción

Cuadro 1: Heliconias que se distribuyeron en los diferentes grupos, con base a su morfología. INIFAP-UNACH 2015.

Grupo	Nº	Código	Especie de Heliconia
1	1	HRI-105	<i>H. Psittacorum</i> x <i>H. Spathocicirnatata</i> Cv “Golden Torch”
	11	HRI-68	<i>H. Psittacorum</i> x <i>H. Spathocicirnatata</i> Cv “Tropic´s”
	26	HRI-60	<i>H. Psittacorum</i> “Sassy”
	31	HRI-104	<i>H. Psittacorum</i> “Lady Di”
	16	HRI-64	<i>H. Psittacorum</i> x <i>H. Spathocicirnatata</i> Cv “Tropic´s”
	41	HRI-66	<i>H. Vaginalis</i>
2	1	HRI-79	<i>H. Caribaea</i> x <i>H. Bihai</i> “Jaquinni”
	11	HRI-52	<i>H. Bihai</i> x <i>H. Schaefer´s</i> “Iris Red”
	21	HRI-44	<i>H. Stricta</i> “Royal Tagami”
3	1	HRI-23	<i>H. Latispatha</i> “Mexican Gold”
	11	HRI-85	<i>H. Bourgaeana</i> x <i>H. Collinsiana</i>
	21	HRI- 2	<i>H. Champagniana</i> “Maya Blood”
	31	HRI-63	<i>H. Collinsiana</i>

CONCLUSION

Existen descriptores morfológicos dentro de las heliconias, que nos permiten identificar a las diferentes especies, como son hábito de crecimiento y tipo de planta. Dentro de las variables relacionadas con el follaje, la más importante son: la forma del ápice y coloración del tallo. Con respecto a la inflorescencia, el tipo de crecimiento de la inflorescencia fue importante para caracterizar a las heliconias. Generalmente las heliconias que presentan inflorescencia colgante, fueron las que presentan mayor longitud.

En conclusión, el primer grupo lo integran las especies de porte pequeñas, se pudo identificar que en su mayoría lo conforma la especie *Psittacorum*. Sin embargo, se anexó en este grupo la información relacionada a la especie *Vaginalis*, cabe decir que esta especie en las condiciones del Campo Experimental Rosario Izapa, tiene las características morfológicas similares a las especies *Psittacorum*, como tipo de planta y flor, situación o aspectos que no se cumplen en su hábitat natural,

ya que el tamaño de planta llega a medir cinco metros de altura en sus condiciones naturales. En el siguiente grupo se definen tres especies con características similares en tamaño de planta e inflorescencia, además las tres tienen inflorescencias con crecimiento erecto. Se agruparon las *Heliconias Bihai*, sin embargo, se definió la especie *Caribaeapor* su porte mediano y tamaño de flor. El último grupo está conformado con las heliconias de porte grande (dos metros en adelante), donde sus características: tamaño de flor, número de brácteas son parecidas. Los aspectos morfológicos cuantitativos: tamaño de hoja, el número de hoja, peciolo, el follaje, son proporciones diferentes a las medianas y pequeñas.

LITERATURA CITADA

- Iracheta-Donjuán L., Olivera de los Santos A., Ortiz-Curiel S. y López- Gómez P. 2013. Propagación de heliconias. INIFAP. CIRPAS. Campo Experimental Rosario Izapa. Folleto Técnico Número 30. Tuxtla Chico, Chiapas, México. 29 p.
- Jerez, E. 2007. El cultivo de las heliconias. Cultivos Tropicales. 28:29- 35.
- Olivera de los S.A. 2014. Informe Final del Banco de Germoplasma de Ornamentales Tropicales. Campo Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias-Experimental Rosario Izapa. Mimiografiado, Tuxtla Chico Chiapas. 25 pg.
- Rzedowski, J. 2006. Vegetación de México. Primera edición digital. Comisión Nacional para la conservación y uso de la biodiversidad. México. 501 p.
- Sosof, V.J.R; G. Alvarado; M.S. Sánchez. 2006. Estudio de la variabilidad de cultivares nativos de flores del genero *Heliconia (Heliconiaceaea)* provenientes de la región Suroccidente de Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala. P 6-63.
- Vázquez- García, L.M. 2005. Recursos genéticos ornamentales de México. Avances. Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS- SAGARPA) y Universidad Autónoma del Estado de México. 109 p.
- Velasco, J.I. 2007. Heliconias para flor cortada: Una especie nueva en el catálogo de la floricultura mexicana. Teorema ambiental, revista técnico- ambiental.
- Viegas, P.H; Liner, A.M; Ambrosano, G.M. y Batista. Maria de Fatima. Acclimatization of micropropagated *Heliconia Bihai (Heliconiaceae)* Plants. Sci. Agric., 2005, Vol. 62, nº 3. 299-301 p.

RESPUESTA DE LA YUCA PARA RAÍZ *Manihot esculenta* Crantz A LA FERTILIZACION CON NPK EN UN ACRISOL HUMICO DE TABASCO, MÉXICO
YUCA ROOT *Manihot esculenta* Crantz RESPONSE TO NPK FERTILIZATION IN A HUMIC ACRISOL OF TABASCO, MÉXICO

¹López-López R, ¹Ramírez-Guillermo MA, ¹Martínez-Herrera J, ²Cámara-Córdova J, ³Durán-Prado A

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Huimanguillo. Km 1 carretera Huimanguillo-Cárdenas, Huimanguillo, Tabasco, México. C.P. 86400.

²Núcleo Académico Básico de la Maestría en Seguridad Alimentaria de la División Académica de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

³Campo Experimental Cotaxtla-INIFAP.

Autor para correspondencia: lopez.rutilo@inifap.gob.mx

RESUMEN

La producción de yuca (*Manihot esculenta*: Crantz) en Tabasco se realiza en condiciones de temporal y existen escasos estudios sobre dosis de fertilización NPK que optimicen y maximicen el rendimiento de raíz. Los objetivos del estudio fue evaluar el efecto de la fertilización con NPK en la producción de raíz de yuca para alimento; determinar dosis óptima económica; y monitorear el potencial matricio del suelo. El experimento se sembró el 30 de junio de 2017 y se cosechó a inicios de abril de 2018. Se aplicaron cuatro dosis de N, P₂O₅ y K₂O: 0, 80, 160 y 240 kg ha⁻¹, respectivamente, en un diseño de bloques al azar en arreglo San Cristóbal con tres repeticiones. La densidad de siembra fue de 13,300 plantas por ha. Se midieron variables de la planta y contenido de clorofila en hojas, rendimiento de yuca de primera, segunda y total, a los 7 y 9 meses después de la siembra. Se midió diariamente el potencial matricio del suelo, durante el período del cultivo. El N y P incrementa el rendimiento de raíz de primera calidad y el rendimiento total. El potasio tiene una influencia positiva cuando los niveles son superiores a 160 kg ha⁻¹. Las variables de la planta y el rendimiento de raíz se incrementaron por el efecto de N y P aplicado. No se observó efecto significativo por el K aplicado (P>0.05). La interacción NP promovió el rendimiento de yuca de primera, atura de planta y número de raíces por planta. El mayor rendimiento fue con 160 kg N y 160 kg de P₂O₅ ha⁻¹. La dosis óptima económica se estimó en 125 kg Nha⁻¹ y 90 kg de P₂O₅, con rendimiento total de 12.5 t ha⁻¹. El potencial matricio del suelo varió de 0 a -87 kPa a 15 y 30 cm de profundidad del suelo.

Palabras clave: *rendimiento de raíz, temporal, dosis óptima económica, potencial matricio*

INTRODUCCIÓN

La yuca (*Manihot esculenta*: Crantz) es un importante cultivo alimenticio que crece y se desarrolla principalmente en climas tropicales húmedos. Las raíces de la yuca crecen verticalmente en el suelo a un metro de profundidad, por esta razón tienen capacidad de tolerar la sequía y la baja fertilidad del suelo (Cock and Howeler, 1978). La yuca puede crecer en todo tipo de suelo, pero se adapta mejor en suelos franco arenosos con buen drenaje y fertilidad media. Existe la necesidad de adoptar las prácticas y métodos culturales más adecuados que aumente el rendimiento de raíz, aunque tiene la capacidad de producirse en suelos de baja fertilidad, el rendimiento relativo es mayor en condiciones de alta fertilidad del suelo, por lo tanto, existe la necesidad de mejorar la fertilidad del suelo para obtener un mejor rendimiento de raíces.

La siembra de yuca en suelos ácidos (Ultisoles o Acrisoles) de baja fertilidad, se traduce en una disminución de la materia orgánica del suelo, nitrógeno (N) y en última instancia reduce el rendimiento de la yuca (Hairiah *et al.*, 2000). Sin embargo, la adición de materia orgánica como estiércol o residuos de cultivos en el suelo puede aumentar el contenido de N y Carbono (C) en el suelo cultivado de yuca (Fließbach *et al.*, 2007). Entre los diversos elementos nutritivos, el nitrógeno se requiere en cantidades más altas e influye directamente en la productividad, pero desafortunadamente su disponibilidad para las plantas es siempre escasa debido a su alta movilidad dentro del suelo. La disponibilidad de N en el suelo está determinada por las condiciones y la cantidad de materia orgánica del suelo (Cookson *et al.*, 2002). La mineralización es el proceso de descomposición de la materia orgánica que involucra microorganismos, estos son responsables de la disponibilidad de N en el suelo.

Wijanarko (2015) en suelos ácidos (Hapludults típicos) encontró que el N está correlacionado positivamente con el N soluble en agua, la materia orgánica en partículas, el N de biomasa microbiana, la materia orgánica en partículas de C, el C de biomasa microbiana, el N-total de peso seco de plantas, concentración de N y absorción de N de plantas de yuca, sin embargo está negativamente correlacionada con la relación C:N. Se encontró una mayor tasa de mineralización de N en suelos con baja relación C: N de materia orgánica y mayor fertilidad.

Entre los nutrientes del suelo, el N se cita como el más utilizado por la yuca (Ayoola y Makinde, 2007; Adjei-Nsiah, 2010; Santos *et al.*, 2014). La disponibilidad de N se ve afectada por el bajo nivel de materia orgánica presentes en el suelo reservado para su cultivo. Reichert *et al.* (2015) no encontró ningún efecto en la producción de yuca a partir de la tasa de descomposición y liberación de nutrientes por la fragmentación de residuos de la hojarasca. Tales resultados posiblemente se deben a los bajos niveles de nutrientes presentes en estos residuos y a las altas pérdidas por lixiviación (Stewart *et al.*, 2006).

A pesar de que el suministro natural de N en los suelos tropicales es limitado, no se utiliza fertilizante nitrogenado por la mayoría de los agricultores en el cultivo de yuca. El crecimiento y desarrollo de la yuca se realiza en condiciones de deficiencia de N, lo que resulta en límites en su producción potencial (Cruz *et al.*, 2006). La fertilización con N promueve un aumento en la altura de la planta, producción de brotes, rendimiento de raíces, número de raíces por planta y contenido de almidón y proteína

de las hojas (Cardoso Júnior *et al.*, 2005; Asare *et al.*, 2009; Kaweewong *et al.*, 2013). Sin embargo, un exceso de N disponible puede reducir la producción de raíces tuberosas debido a la promoción del desarrollo excesivo de brotes (Tsay *et al.*, 1989). La respuesta de la planta a N también se ve influenciada por el ciclo de la variedad, dado que los cultivares de ciclo corto responden a tasas más altas de N y son más eficientes en su uso (Byju y Anand, 2009).

Souza dos Santos *et al.* (2014) evaluaron el efecto de la aplicación de nitrógeno en las concentraciones de N, P, K, Ca, Mg y S en la yuca, variedad aciolina, en diferentes tiempos de cosecha. Concluyen que las fechas de cosecha y las dosis de N afectan las concentraciones de nutrientes en las hojas de yuca. La dosis de macronutrientes en las hojas, a los 120 días después de la emergencia (DDE), es un buen indicador del estado nutricional de la planta de yuca. La dosis de 150 kg ha⁻¹ de N aumentó el número de raíces por planta. La secuencia de la concentración de macronutrientes en las hojas de la yuca, fue N > Ca > K > Mg > P > S.

Oliveira *et al.*, (2017) mencionan que el nitrógeno es considerado como el nutriente más limitante para la yuca y su disponibilidad puede influir en el ciclo de cultivo y en la cosecha anterior. Encontraron para todos los tiempos de cosecha, que las aplicaciones de N promueve un aumento en el rendimiento de materia fresca de raíz. A los 300 y 360 DDE, el rendimiento de materia fresca y almidón de raíz y el índice de cosecha mostraron una respuesta cuadrática en función del nivel N. La mayor eficiencia de N en la producción de materia fresca de raíces ocurre a los 300 DDE, promoviendo una cosecha temprana. La dosis de eficiencia técnica máxima fue de 226 kg ha⁻¹ N, con un rendimiento de 62 Mg ha⁻¹ de materia fresca de la raíz, 13 Mg ha⁻¹ de almidón y un índice de cosecha del 81%.

Sangakkara y Wijesinghe (2014) encontraron que la aplicación fraccionada de 90 kg de N, en el momento de la siembra y 45 días después del crecimiento inducido de tubérculos, resultó en buenos rendimientos, en comparación con una aplicación (al momento de la siembra) y tres aplicaciones divididas (siembra, 45 y 90 DDS). La aplicación fraccionada en dos partes también desarrolló la mayor eficiencia de recuperación de N tanto por número de brotes como por el número de raíces. Diversos autores han encontrado los beneficios de fraccionar el fertilizante nitrogenado en el cultivo de la yuca, debido a que la aplicación de todo el N en la siembra produce más tubérculos que cuando se aplica el N en tres fracciones debido a una mayor área foliar en la iniciación del tubérculo, pero los rendimientos son menores, lo que podría deberse a la falta de hojas durante el abultamiento. En contraste, la aplicación de N en tres fracciones induce el excesivo crecimiento vegetativo, que reduce los índices de cosecha (Sangakkara y Wijesinghe, 2014).

La aplicación de cal en suelos ácidos disminuye la solubilidad de Al y Mn y posiblemente aumenta la disponibilidad de P (Ngwu, 2006). La cal pone los suelos en un rango de pH deseable que permite la disponibilidad del nutriente para la planta. También reduce la toxicidad de Al, Mn, Fe, mejora la estructura del suelo y controla la infiltración (Ngwu, 2006). El Ca²⁺ principalmente de cal y el yeso

actúa como catalizador para mejorar la funcionalidad del suelo y el rendimiento de yuca (Anikwe *et al.* 2016).

Los productores de yuca de la sabana de Huimanguillo, Tabasco suelen no fertilizar al cultivo, sin embargo, con la intención de hacer más eficiente la fertilización para alcanzar rendimientos óptimos, evitar contaminación del suelo y acumulación de nitratos en el cultivo, y racionalizar los costos de producción, es necesario determinar la respuesta de la yuca a la fertilización inorgánica. Los objetivos de la presente investigación fueron: 1) cuantificar el efecto de la fertilización con N, P y K en la producción de yuca para raíz en un acrisol húmico de la sabana de Huimanguillo Tabasco; y 2) determinar las dosis óptimas económicas de fertilización con N, P y K para la producción de yuca y 3) monitorear el potencial de presión del agua en condiciones de temporal en un acrisol húmico durante el periodo del cultivo de yuca.

MATERIALES Y METODOS

El experimento fue establecido el 30 de junio de 2017, el diseño experimental utilizado fue bloques al azar con tres repeticiones. Los niveles de fertilización fueron: 0, 80, 160 y 240 de N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente. El arreglo de tratamientos fue San Cristóbal para 3 factores que resulta en 12 tratamientos. La unidad experimental fue de 5 hileras separadas a un m x 5 m de longitud para un área de 20 m². La parcela útil fueron las tres hileras centrales de 3 m de longitud, donde se tomaron 5 plantas previamente identificadas como submuestras para la medición de variables.

La aplicación de los fertilizantes fue a los 20, 80 y 120 días después de la siembra (DDS), dividido en tres fracciones proporcionalmente iguales, es decir un tercio de NPK por cada aplicación. Las fuentes de N fueron urea (46-00-00), la de P₂O₅ fue el fosfato di amónico (18-46-00) y de K₂O fue el cloruro de potasio (00-00-60).

El suelo se clasifica como acrisol húmico de textura franca, fuertemente ácido (4.2), con altos contenidos de materia orgánica (15%), pero con bajos contenidos de nitrógeno (0.17%) y fósforo (10 mg kg⁻¹) en los primeros 30 cm de profundidad, baja capacidad de intercambio catiónico (9.3 Cmol kg⁻¹), alto contenido de hierro (42.8 mg kg⁻¹) y acidez intercambiable de 0.3 meq 100 g⁻¹. Los acrisoles húmicos son suelos profundos que presentan un horizonte A muy oscuro y fuertemente húmico, enseguida pueden aparecer horizontes de transición que descansan en horizonte B amarillentos o rojizos fuertemente intemperizados (Palma *et al.*, 2007).

La acumulación de materia orgánica se debe a las condiciones de acidez y a la posición topográfica que limita los procesos erosivos. La Capacidad de Intercambio Cationico (CIC) es baja en todo perfil acentuándose en el horizonte B, donde la acidez intercambiable aumenta considerablemente. El fósforo asimilable se encuentra casi completamente fijado por el hierro y aluminio. El drenaje superficial es rápido, en cambio el drenaje interno se ve disminuido por la presencia del horizonte B árgico que reduce también el enraizamiento de las plantas, por lo que el manto freático se encuentra cerca del horizonte A durante la época de lluvias (Palma *et al.* 2007).

Se usó la variedad local *sabanera* reconocida por sus características organolépticas para consumo como hortaliza fresca y para industria. Se caracteriza por su gran porte, profusa ramificación, lóbulos foliares de forma elíptico lanceolada y, particularmente, por la pigmentación amarilla de las células del parénquima de almacenamiento de la raíz que estarían asociadas a la presencia de β-carotenos, precursores de la vitamina A (5, 11), que hacen de este un clon de importancia para la agricultura. Las ramas estaqueras o varetas fueron extraídas de plantas madres de 9 meses de edad, cultivadas bajo un mismo sistema de manejo.

Las varetas fueron de 25 cm de longitud (5-7 yemas), las cuales se sembraron manualmente el 30 de junio de 2017 con un marco de plantación de 1 m entre hileras x 0.75 m entre plantas, para una densidad de población de 13,300 plantas ha⁻¹ en posición horizontal a 10 cm de profundidad. Las plantas se cosecharon a los 9 meses (270 días después de la siembra). El control de maleza se hizo de manera manual con azadón.

La primera fertilización se realizó el 19 de julio de 2017, 19 días después de la siembra (DDS) o 14 días después de la emergencia de la planta. La segunda se realizó dos meses después de la primera (19 de septiembre de 2017, 80 DDS). La tercera se realizó a los 140 DDS (17 de noviembre de 2017). Se observaron daños causados por mosca blanca (*Bemisia tabaci*), para el control se aplicó Dimetoato a una dosis de 30 mL por bomba de mochila de 18 L. Se aplicaron dos dosis de imidacloprid (30 ml por bomba de mochila de 18 L) para el control de *B. tabaci* a los 45 y a los 70 días después de la siembra con resultados satisfactorios.

Se instalaron tensiómetros y sensores wáter mark para medir la tensión de humedad del suelo en 4 sitios estratégicos a dos profundidades 15 y 30 cm, y un pluviómetro para el registro de la precipitación. El objetivo es determinar el potencial de presión del agua en el suelo en kPa para conocer el esfuerzo que la planta realiza para absorber el agua a través de sus raíces.

Los datos de la planta y rendimiento de raíces se agruparon para el análisis estadístico. Antes del análisis de rendimiento, se hicieron pruebas de normalidad, autocorrelación y homocedasticidad, mediante el procedimiento GLM del programa SAS (SAS Institute 1985; Cary, N.C., EE.UU.) y los datos se ajustaron a los de una distribución normal. Se usaron los coeficientes de correlación de Pearson

para determinar relaciones entre las variables más importantes. Para cada variable se estimó un modelo de regresión en función de tratamientos: N, P y K aplicados. Con el modelo estimado se midieron a los 7 meses de edad y en la cosecha (9 meses) los valores de altura de planta, contenido de clorofila (medido con SPAD 502 Plus, *Spectrum Technologies, Inc*), número de raíces, rendimiento de raíces de primera y segunda calidad y total y su relación con los niveles de N, P y K, para la representación gráfica de la respuesta. Los frutos de primera calidad son de una longitud mayor o igual a 30 cm y ancho mayor o igual a 2.5 cm que se comercializa en fresco en el mercado regional. Los frutos de segunda calidad se refieren a las dimensiones menores a los anteriormente mencionado y el rendimiento total es la suma de ambos. La dosis óptima económica fue obtenida por el método gráfico de manera preliminar.

RESULTADOS Y DISCUSION

Efecto del Nitrógeno, Fósforo y Potasio en el rendimiento de raíz de yuca.

El rendimiento de raíz de yuca de primera calidad y rendimiento total tuvo un efecto significativo ($P \leq 0.05$) el factor N, no así para P y K ($P \geq 0.05$). El P tiene un efecto significativo en el rendimiento de raíz de yuca de segunda calidad y el K tuvo un efecto significativo en el rendimiento total de raíces. El efecto del N y P en su representación grafica (Figura 1) muestra que el N incrementa el rendimiento de raíz de yuca en mas de 1000 kg ha^{-1} con 80 kg ha^{-1} . Con 160 kg ha^{-1} de N el rendimiento de raíz de primera se incrementa ligeramente, sin embargo, para la dosis de 240 kg ha^{-1} de N, los rendimientos de raíz tienden a disminuir. El potasio tiene una influencia positiva cuando los niveles son superiores a 160 kg ha^{-1} .

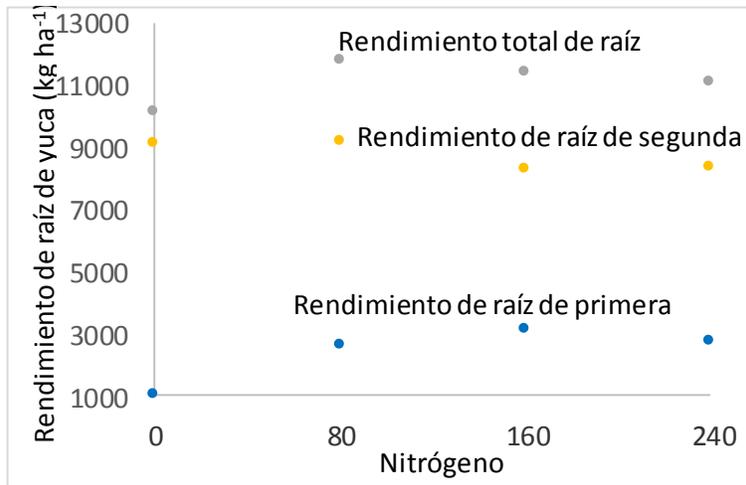
La fertilización nitrogenada promueve un aumento en el rendimiento de raíces, tanto de primera calidad como en el rendimiento total (Cardoso Júnior *et al.*, 2005; Asare *et al.*, 2009; Kaweewong *et al.*, 2013) y es el nutriente más utilizado por la yuca (Ayoola y Makinde, 2007; Adjei-Nsiah, 2010; Santos *et al.*, 2014), según los resultados obtenidos.

Con base en la Figura 1, la dosis optima económica de fertilización preliminar puede ser de $125 - 90 - 00 \text{ kg ha}^{-1}$ de N P K, respectivamente, para raíz de primera calidad con una densidad de 13,300 plantas por ha. La respuesta grafica de los tres factores permiten calcular la dosis optima económica de la variable más importante para los productores que comercializan la yuca en fresco para el mercado regional. Sin embargo, para la yuca de segunda calidad y el total de rendimiento de raíz puede observarse otras dosis óptimas para la producción de harina.

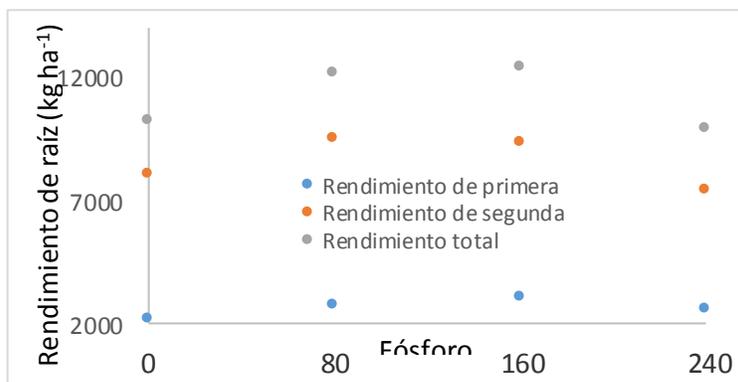
El análisis de varianza demostró que el efecto de tratamiento donde interactuaron los factores, tuvo un efecto significativo ($P \leq 0.5$) en el rendimiento de segunda calidad y rendimiento total de raíz de yuca, donde la interacción N y P fueron los factores que más influyeron con una respuesta del cultivo (Cuadro 2). El efecto de las interacciones en el rendimiento de primera calidad no tuvo una influencia significativa debido a que en algunas unidades experimentales no se obtuvieron raíces de yuca de primera calidad según el tamaño definido previamente. Esto ocasionó que la desviación estándar fue de 1833 kg ha^{-1} y un coeficiente de variación de 70.3 %.

Efecto del Nitrógeno, Fósforo y Potasio en variables de la planta.

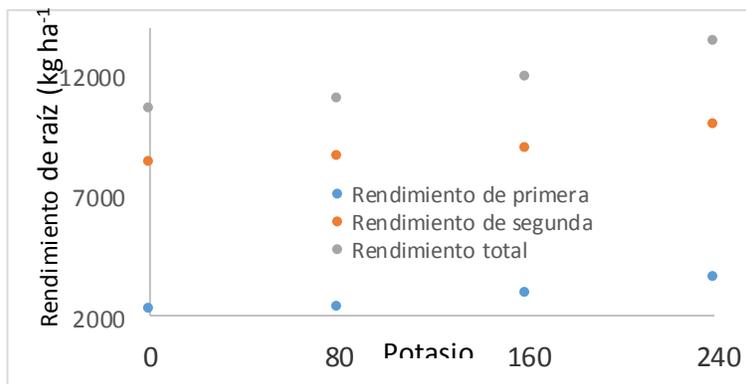
El N, P y K tuvieron un efecto altamente significativo ($P \leq 0.01$), en la altura de planta y altura de tallo a los 7 meses de edad y en la época de cosecha (nueves meses después de la siembra). La altura de planta a la cosecha se incrementó por el N aplicado, en 53 cm con 80 kg de N hasta 83 cm con $240 \text{ kg de N ha}^{-1}$. Por el N aplicado, se observó respuesta positiva hasta 80 kg N ha^{-1} , con un mayor incremento hasta 240 kg N ha^{-1} (Figura 2). La respuesta de la altura de planta al P y K fue similar con 80 kg ha^{-1} decreciéndose con 160 y 240 kg ha^{-1} de P y en el caso de K se incrementó la altura de planta con 240 kg ha^{-1} similar al N.



a)



b)



c)

Figura 1. Efecto del Nitrógeno (a), Fósforo (b) y Potasio (c) en el rendimiento de raíz de yuca de primera y segunda calidad y total con una densidad de población de 13,300 plantas por hectárea en un acrisol húmico en condiciones de temporal.

El rendimiento de raíz de primera calidad presentó una correlación positiva con la altura de la planta a los 7 meses de edad y a la cosecha ($r = 0.59$ y $r=0.56$, ambos con $P \leq 0.01$), lo que indica que a mayor altura se espera mayor desarrollo de raíces de la yuca. Resultados similares se obtuvieron con la correlación entre el rendimiento total de yuca con la altura de planta ($r=0.44$, con $P \leq 0.01$)

Cuadro 1. Efecto de tratamientos NPK en el rendimiento de yuca raíz de primera, segunda calidad y rendimiento total en un acrisol húmico en condiciones de temporal.

Tratamiento (NPK)	Rendimiento raíz de primera calidad (Kg ha ⁻¹)	Rendimiento raíz de segunda calidad (Kg ha ⁻¹)	Rendimiento total de raíz (Kg ha ⁻¹)
4 (160 – 160 – 00)	3786 a ^z	8512 a b	12298 a b
12 (80 – 80 – 240)	3547 a	9931 a b	13477 a
6 (160 – 00 – 160)	3520 a	7359 a b	10879 a b
7 (00 – 160 – 160)	3502 a	9133 a b	12635 a b
8 (160 – 160 – 160)	3370 a	9399 a b	12768 a b
10 (240 – 80 – 80)	2758 a	8379 a b	11137 a b
11 (80 – 240 – 80)	2545 a	7359 a b	9904 a b
2 (160 – 00 – 00)	1937 a	7891 a b	9829 a b
9 (80 – 80 – 80)	1694 a	10285 a	11979 a b
1 (00-00-00)	1683 a	7024 b	8707 b
3 (00-160-00)	1498 a	10285 a	11784 a b
5 (00-00-160)	1445 a	10019 a b	11465 a b
Media	2607.075	8798.111	11405.19
Desviación estándar	1833.14	1573.467	2092.842
Coefficiente de variación (%)	70.31	17.88	18.35

^zValores con la misma letra dentro de columna son iguales de acuerdo con la prueba de Duncan con $P \leq 0.05$; DMS: Diferencia Mínima Significativa.

La fertilización con N promueve un aumento en la altura de la planta, el número de raíces por planta y contenido de clorofila en las hojas, mayor que el P y K, lo que coincide con Cardoso Júnior *et al.*, 2005; Asare *et al.*, 2009; Kaweewong *et al.*, 2013).

El número de raíces por planta de primera calidad no tuvo un efecto significativo entre tratamientos, ni como factores en los distintos niveles de N, P y K, sin embargo, en la producción de raíces de segunda calidad, los factores N, P y la interacción NPK tuvieron un efecto altamente significativo ($P \leq 0.01$) entre los tratamientos (Cuadro 2).

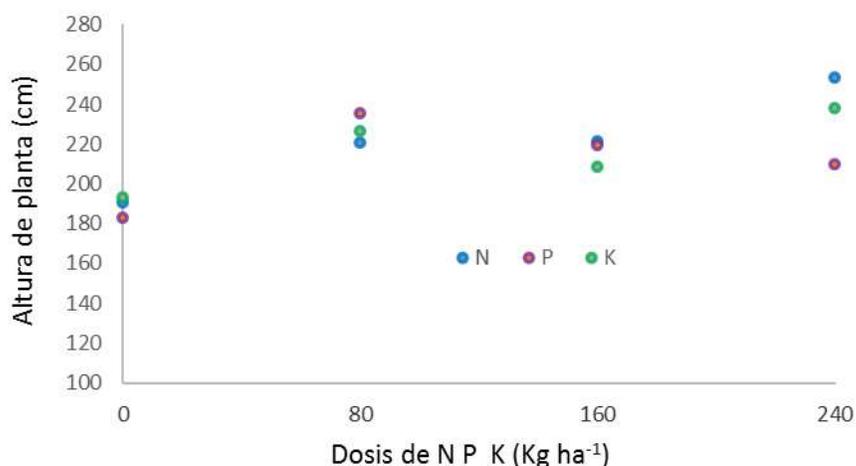


Figura 2. Efecto de N P K en la altura de planta (cm) de yuca para raíz en un acrisol húmico en condiciones de temporal.

Cuadro 2. Efecto de tratamientos NPK en altura de planta, contenido de clorofila y número de raíces por planta durante la cosecha de raíz (9 meses después del trasplante) en un acrisol húmico en condiciones de temporal.

Tratamiento (NPK)	Altura de planta (cm)	Altura de tallo (cm)	Contenido de clorofila	Número total de raíces
10 (240 – 80 – 80)	253.3 a	156.60 a	39.87 a	9.2 c d e
4 (160 – 160 – 00)	239.7 a b	143.93 a	38.57 a	10.9 a b c
12 (80 – 80 – 240)	237.6 a b	151.67 a	36.80 a	10.0 b c d
8 (160 – 160 – 160)	233.9 a b	151.80 a	33.07 a b	12.4 a
9 (80 – 80 – 80)	214.9 c	130.47 a b	32.53 a b	11.4 a b
7 (00 – 160 – 160)	213.1 c	134.13 a b	31.43 a b	10.5 a b c d
11 (80 – 240 – 80)	209.7 c d	120.70 a b c	42.30 a	10.2 b c d
6 (160 – 00 – 160)	200.2 d	123.07 a b c	37.70 a b	10.5 a b c d
3 (00-160-00)	188.6 e	129.20 a b c	31.83 a b	9.3 c d e
5 (00-00-160)	185.3 e	123.40 a b c	33.10 a b	8.4 d e
2 (160-00-00)	173.8 f	121.33 b c	35.67 a b	8.7 d e
1 (00 – 00 – 00)	170.3 f	98.60 b c	27.23 b	7.8 e
Media	210.03	131.24	35.00	9.96
Desviación estándar	36.24	18.19	7.5	1.05
Coeficiente de variación (%)	17.25	13.86	22.0	10.6

²Valores con la misma letra dentro de columna son iguales de acuerdo con la prueba de Duncan con $P \leq 0.05$; DMS: Diferencia Mínima Significativa.

El contenido de clorofila a los siete meses de edad en las hojas de yuca, presentó una correlación positiva con la aplicación de diferentes dosis de nitrógeno ($r = 0.4$, $P \leq 0.05$), esta relación es lineal positiva (Figura 3) que expresa a mayor aplicación de N al suelo es mayor el contenido de clorofila en las hojas y en consecuencia se promueve un aumento en la altura de la planta, número de raíces por planta y contenido de clorofila en las hojas, lo que coincide con Cardoso Júnior *et al.*, 2005; Asare *et al.*, 2009; Kaweewong *et al.*, 2013).

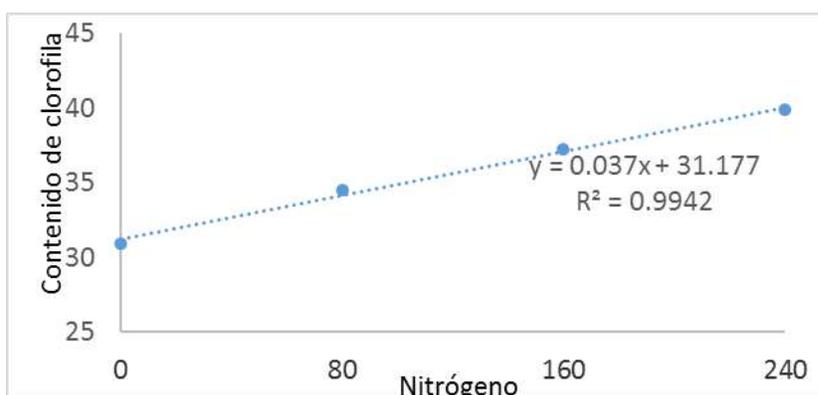


Figura 3. Relación entre el contenido de clorofila y la fertilización nitrogenada en hojas de yuca a los 7 meses de edad en un acrisol húmico en condiciones de temporal.

Potencial de presión del agua en el suelo (potencial matricio) y su relación con la precipitación

En la Figura 4 se presentan el efecto de la lluvia en el potencial matricio del suelo. Este potencial, expresada en kilo pascuales (Kpa) a los 15 y 30 cm de profundidad, es el esfuerzo que el cultivo realiza para absorber el agua a través de sus raíces, donde 0 Kpa significa que el suelo se encuentra

saturado de humedad, mientras que los valores negativos expresan que el suelo se encuentra parcialmente saturado, valores más negativos significan que la planta deberá ejercer un mayor esfuerzo para absorber el agua y esto puede ocasionar un estrés hídrico en las plantas.

Se puede observar que el comportamiento del potencial matrico es similar en ambos sitios en las dos profundidades estudiadas, donde de manera general, a la profundidad de 15 cm es ligeramente más seco que a los 30 cm, cuando no ocurre lluvia, esto es debido a que la parte superficial del suelo se encuentra expuesta a la radiación solar e influye directamente en la perdida de humedad del suelo y por consiguiente aumenta la tensión de humedad del suelo.

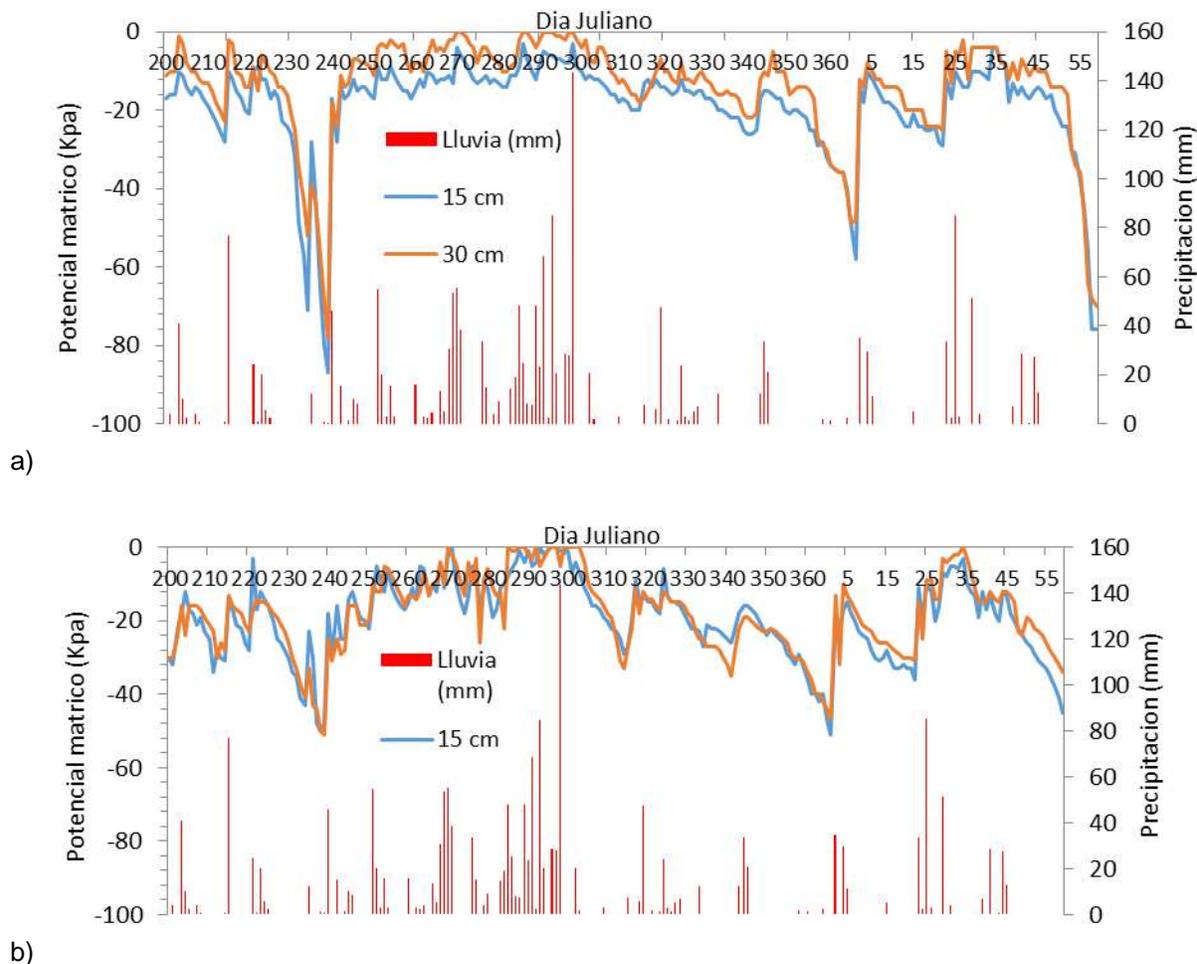


Figura 4. a) Potencial de presión del agua en el suelo medido con tensiómetros b) medidos con sensores wáter mark y precipitación durante el periodo del cultivo 19 de julio de 2017 al 28 de febrero de 2018 en el cultivo de yuca de temporal en un acrisol húmico de Huimanguillo, Tabasco

En la etapa inicial del cultivo se puede observar que el potencial matrico fue cercano a cero creando condiciones adecuadas para el brote y crecimiento del cultivo. A los 30 días se observa deficiencias de humedad en el suelo con valores entre -51 a -87 kPa, el cual están relacionados con la escasa cobertura vegetal. El total de la precipitación durante el periodo del cultivo fue de 753 mm, distribuida de manera que la planta no expresó estrés hídrico crítico para su crecimiento y desarrollo.

CONCLUSIONES

El N y P incrementa el rendimiento de raíz de yuca de primera calidad y el rendimiento total. El potasio tiene una influencia positiva cuando los niveles son superiores a 160 kg ha⁻¹. Las variables de la planta y el rendimiento de raíz se incrementaron por el efecto de N y el P₂O₅ aplicado No se observó

efecto significativo por el K aplicado ($P > 0.05$). La interacción NP promovió el rendimiento de yuca de primera, la altura de planta y el número de raíces por planta. El mayor rendimiento fue con 160 kg N ha^{-1} y 160 Kg de P_2O_5 .

La dosis óptima económica de N y P se estimó en 125 kg N ha^{-1} y 90 kg de P_2O_5 , con rendimientos de raíz de 12.5 t ha^{-1} obteniéndose la mejor rentabilidad del cultivo.

El potencial de presión del agua en el suelo durante el periodo de cultivo de yuca en condiciones de temporal varió de 0 a -87 kPa a 15 y 30 cm de profundidad del suelo, con una precipitación total de 753 mm, lo que indicó el poco esfuerzo de la planta para absorber el agua a través de sus raíces.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el financiamiento al proyecto con No.1043833989 PN 1153: Generación de Tecnología para la producción sustentable y uso Integral de malanga y Yuca en Tabasco y Veracruz, México.

LITERATURA CITADA

- Adjei-Nsiah S. 2010. Yield and nitrogen accumulation in five cassava varieties and their subsequent effects on soil chemical properties in the forest/savanna transitional agro-ecological zone of Ghana. *J Soil Sci Environ Manage.* 1:15-20.
- Asare D.K., Ayeh E.O., Amenorpe G. 2009. Response of rainfed cassava to methods of application of fertilizer-nitrogen in a coastal savannah environment of Ghana. *World J Agric Sci.* 5:323-27.
- Ayoola O.T. and Makinde E.A. 2007. Fertilizer treatment effects on performance of cassava under two planting patterns in a cassava-based cropping system in South West Nigeria. *Res Journal Agric. Biol. Sci.* 3:13-20.
- Byju G., Anand M.H. 2009. Differential response of short-and long-duration cassava cultivars to applied mineral nitrogen. *J Plant Nutr Soil Sci.* 172:572-6. <https://doi.org/10.1002/jpln.200800044>
- Cardoso Júnior N.S., Viana A. E..S, Matsumoto S.N., Sediyaama T., Carvalho F.M. 2005. Efeito do nitrogênio em características agrônômicas da mandioca. *Bragantia.* 64:651-9. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052005000400015>
- Cock, J.H., Howeler, R.H., 1978. The Ability of Cassava to Grow on Poor Soils. *In: Jung, G.A. (Ed.), Crop Tolerance to Sub-Optimal Land Conditions. American Society of Agronomy ASA Special Publication No 32, Madison, Wisconsin, USA, p: 145–154.*
- Cookson WR, Cornforth IS, Rowarth JS (2002) Winter soil temperature (2–15 °C) effects on nitrogen transformations in clover green manure amended or unamended soils: a laboratory and field study. *Soil Biology and Biochemistry* 34:1401–1415 doi:10.1016/S0038-0717(02)00083-4.
- Cruz J.L., Pelacani C.R., Araújo W.L. 2006. Effect of nitrate and ammonium on growth and efficiency of nitrogen use by cassava plants. *Bragantia.* 65:467-75. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052006000300013>.
- Fließbach A, Oberholzer H, Gunst L, Mader P. 2007. Soil organic matter and biological soil quality indicators after 21 years of organic and conventional farming. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 118: 273–284 DOI:10.1016/j.agee.2006.05.022.
- Hairiah K, Van Noordwijk M, Cadisch G (2000) Crop yield, C and N balance of three types of cropping systems on an Ultisol in Northern Lampung. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences* 48: 3-17 doi:10.1016/S1573-5214(00)80001-9.
- Kaweewong J., Kongkeaw T., Tawornprek S., Yampracha S., Yost R. 2013. Nitrogen requirements of cassava in selected soils of Thailand. *J Agric Rural Develop Trop Subtrop.* 114:13-9.
- Ngwu, E.O. 2006. Fundamentals of Soil Science for Colleges and University. Fidgina Global Service Ltd., Enugu.
- Oliveira N.T., Uchôa S.C.P., Alves J.M.A., Albuquerque J.A.A., Rodrigues G.S. 2017. Effect of harvest time and nitrogen doses on cassava root yield and quality. *Revista Brasileira Ciencia do Solo.* 41:e0150204. <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20150204>.
- Palma-López D. J., J. Cisneros D., E. Moreno C. y J.A. Rincón-Ramírez 2007. Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable. Colegio de Postgraduados-ISPROTAB-FUPROTAB. Villahermosa, Tabasco, México. 195 p.
- Reichert J.M., Rodrigues M.F., Bervald, C.M.P., Brunetto G., Kato O.R., Schumacher M.V. 2015. Fragmentation, fiber separation, decomposition, and nutrient release of secondary-forest

- biomass, mechanically chopped-and-mulched, and cassava production in the Amazon. *Agric Ecosyst Environ.* 204:8-16. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.02.005>.
- Sangakkara R. U. & Wijesinghe B. D (2014). Nitrogen fertilizer affects growth, yield, and N recovery in cassava (*Manihot esculenta* L. Crantz). *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 45:11, 1446-1452, DOI: 10.1080/00103624.2014.904330
- Santos N.S., Alves J.M.A., Uchôa S.C.P., Oliveira N.T., Albuquerque J.A.A. 2014. Absorption of macronutrients by cassava in different harvest dates and dosages of nitrogen. *Rev. Cienc. Agron.* 45:633-40. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902014000400001>.
- Souza dos Santos, N., Arcanjo A. J.M., Pereira U. S.C., Trajano de Oliveira, N. Alves de Albuquerque. J.A. 2014. Absorption of macronutrients by cassava in different harvest dates and dosages of nitrogen. *Revista Ciencia Agronómica*, 45 (4): 633-640.
- Tsay J.S., Fukai S., Wilson G.L. 1989. Growth and yield of cassava as influenced by intercropped soybean and by nitrogen application. *Field Crop Res.* 21:83-94. [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(89\)90044-0](https://doi.org/10.1016/0378-4290(89)90044-0)
- Wijanarko A. 2015. Effect of Organic Matter and Soil Fertility on Nitrogen Mineralization and its uptake by Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) in a Typic Hapludults. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*, 3 (3): 232-240. DOI: [http://dx.doi.org/10.18006/2015.3\(3\).b232.240](http://dx.doi.org/10.18006/2015.3(3).b232.240).

CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS DE CRUZAS VARIETALES Y VARIEDADES SINTÉTICAS DE MAICES AMARILLOS Y SU POTENCIAL PARA EL TRÓPICO HÚMEDO DE MÉXICO

AGRONOMIC CHARACTERISTICS OF VARIETAL CROSS AND SYNTHETIC VARIETIES OF YELLOW MAIZES AND THEIR POTENTIAL FOR THE HUMID TROPIC OF MEXICO

¹Barrón Freyre S, ²Sierra Macías M, ²Rodríguez Montalvo FA

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Huimanguillo, Km 1 Carretera Huimanguillo-Cárdenas, Huimanguillo Tabasco, México.

²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Cotaxtla, Km 34 Carretera Veracruz-Córdova, Medellín de Bravo, Veracruz, México.

Autor para correspondencia: barron.sabel@inifap.gob

RESUMEN

El mejoramiento genético es dinámico por lo que se continua formando y evaluando material para obtener una mejor respuesta productiva, a través de la hibridación no convencional se han obtenido nuevos genotipos de maíz, pues se sabe que una craza varietal rinde más que la variedad porque su arreglo epistático tiene mayor número de efectos dominantes heterocigóticos que la variedad. En forma similar, el compuesto varietal rinde más que el sintético debido a que su arreglo epistático tiene el doble de efectos dominantes tanto homocigóticos como heterocigóticos. El efecto epistático heterocigótico tiene su valor más alto cuando la frecuencia génica es igual a un medio, por lo que no es raro que los híbridos simples alcancen altos rendimientos (Márquez, 2014). Para conocer el rendimiento y características agronómicas de cruza varietales y variedades sintéticas de maíz amarillo en el área tropical húmeda de México. En el ciclo primavera-verano 2017 se estableció en el Campo Experimental Huimanguillo, cuyas coordenadas geográficas son 17° 51' 4.52'' N, 93° 23' 46.96' O y 20 msnm, clima Am (cálido húmedo), un ensayo para conocer y evaluar el comportamiento agronómico de 36 genotipos de maíz bajo un diseño alpha látice 6 x 6 con tres repeticiones, con parcela experimentales de dos surcos de 5 m de largo y útiles de dos surcos de 4.8 m. La siembra se realizó el 19 y 20 de julio en forma manual, en surcos separados a 80 cm y depositando la semilla dos semillas cada 20 cm para asegurar una densidad de 62,500 plantas por hectárea. La primera fertilización se realizó con la fórmula 80-60-60 de N, P₂O₅ y K₂O, seis días después de la siembra (dds), mientras que la segunda (80-00-00), fue 32 dds; se realizó un manejo eficiente de malezas y plagas. Delos resultados y su análisis se concluye que la craza varietal S10TLYNGSHGAB01 X S03TLYQHAGAB03 (tratamiento 17) con 5586 kg ha⁻¹ y la variedad sintética S10TLYNGSHGAB01 (tratamiento 30), con 5136 kg ha⁻¹ son los de mejor comportamiento agronómico general; por los días a floración masculina y femenina y altura de planta y de mazorca el grupo de cruza varietales y variedades sintéticas evaluados se pueden clasificar como de ciclo y de porte intermedio y existe material genético con potencial para seguir evaluándolo en el trópico húmedo de México y superar la productividad de los que actualmente se recomiendan.

Palabras clave: *Cruzas varietales, variedades sintéticas, maíz.*

INTRODUCCIÓN

En la región tropical del país se siembran 3.2 millones de hectáreas de maíz, de las cuales un millón están comprendidas en provincias agronómicas de buena y muy buena productividad y donde es factible el uso de semilla mejorada de híbridos y variedades sintéticas ya que estos expresan al máximo su potencial genético bajo condiciones favorables de clima suelo y manejo por parte de los agricultores (Sierra *et al.*, 2001). Sin embargo, los rendimientos promedio en esta región son bajos, debido entre otras razones al escaso uso de semilla mejorada, no obstante que existen híbridos y variedades mejoradas de maíz y la tecnología de producción con los cuales es factible incrementar la producción actual de este cultivo.

En los últimos años se han generaron híbridos y variedades con potencial de rendimiento, adaptados a las condiciones tropicales húmedas del estado de Veracruz y Sureste del país, entre los que destacan por su uso actual H-520, VS-536, H-519C, V-537C, V-556AC y de reciente liberación, el híbrido H-564C de alto rendimiento y alta calidad proteínica. (Sierra *et al.*, 1992; Sierra *et al.*, 2008; Sierra *et al.*, 2004; Sierra *et al.*, 2011).

El mejoramiento genético es dinámico por lo que se continua formando y evaluando material para obtener una mejor respuesta productiva, a través de la hibridación no convencional se han obtenido nuevos genotipos de maíz, pues se sabe que una cruce varietal rinde más que la variedad porque su arreglo epistático tiene mayor número de efectos dominantes heterocigóticos que la variedad. En forma similar, el compuesto varietal rinde más que el sintético debido a que su arreglo epistático tiene el doble de efectos dominantes tanto homocigóticos como heterocigóticos. El efecto epistático heterocigótico tiene su valor más alto cuando la frecuencia génica es igual a un medio, por lo que no es raro que los híbridos simples alcancen altos rendimientos (Márquez, 2014).

Como resultado de las hibridaciones no convencionales, Gómez *et al*, (2017), después de diferentes evaluaciones realizadas en el período de 2011 al 2015 en más de 20 ambientes de Guerrero, generaron el HV-240 que superó al maíz nativo 15% del rendimiento de grano, que corresponde de 600 a 800 kg ha⁻¹.

Tadeo, *et al*, (2015) encontraron que la mejor combinación no convencional de cruce simple x variedad, CS156 x V 54 A (6796 kg/ha), superó en 38% el rendimiento de V-54 A (4918 kg/ha) y la segunda mejor combinación (CS156 x V 55 A), rindió 6204 kg/ha, que fue superior en 17,3% con respecto a su variedad progenitora V-55 A (5288 kg/ha). Se incrementó el rendimiento al cruzar las variedades mejoradas de grano amarillo con cruces simples, lo que representa una alternativa para ofrecer genotipos con mayor capacidad productiva manteniendo ciclo vegetativo y con facilidad para el abastecimiento de semilla de productores de maíz.

Por lo anterior el objetivo del ensayo fue conocer el rendimiento y características agronómicas de cruces varietales y variedades sintéticas de maíz amarillo en el área tropical húmeda de México.

MATERIALES Y MÉTODOS

En el ciclo primavera-verano 2017 se estableció en el Campo Experimental Huimanguillo, cuyas coordenadas geográficas son 17° 51' 4.52" N, 93° 23' 46.96" O y 20 msnm, clima Am (cálido húmedo), un ensayo para conocer y evaluar el comportamiento agronómico de 36 genotipos de maíz bajo un diseño alpha látice 6 x 6 con tres repeticiones, con parcela experimentales de dos surcos de 5 m de largo y útiles de dos surcos de 4.8 m. El suelo del Campo Experimental Huimanguillo es de textura franco arenosa, pH de 7.9, bajo contenido de materia orgánica (1.6 %) y de nitrógeno aprovechable (17.6 ppm de NH₄ + NO₃), el fósforo detectado es de 14 ppm y el de potasio 0.30 me/100 g.

La preparación del suelo dio inicio el 22 de mayo con un chapeo mecánico y dos pasos de rastra en forma cruzada, se complementó con un tercer paso un día antes de la siembra. La siembra se realizó el 19 y 20 de julio en forma manual, en surcos separados a 80 cm y depositando la semilla dos semillas cada 20 cm para asegurar una densidad de 62,500 plantas por hectárea. La primera fertilización se realizó con la fórmula 80-60-60 de N, P₂O₅ y K₂O, seis días después de la siembra (dds), mientras que la segunda (80-00-00), fue 32 dds; la incorporación del fertilizante al suelo en ambas oportunidades fue manual y a espeque a 10 cm de la planta.

La maleza se controló aplicando un día después de la siembra atrazina, a una dosis de 2 l/ha del producto comercial Gesaprim autosuspendible y a los 26 días después de la siembra, en postemergencia a la maleza de hoja angosta o zacates, se utilizó Nicosulfuron (Sansón 4 SC) a razón de 60 g de I.A./ha.

La plaga que requirió control fue el Gusano cogollero, se inició con la aplicación de Clorpirifos etil (Lorsban 480E, 750 ml/ha) a los 8 y 13 dds, continuó a los 22 y 27 dds con el uso de Cipermetrina (Arrivo 200 CE, 250 ml/ha) y terminó a los 34 dds con Deltametrina (Decis Forte 10 EC, 150 ml/ha).

Para acelerar el secado y reducir el daño por pájaros la dobla se realizó en madurez fisiológica (12 de octubre) y la cosecha 132 días después de la siembra.

Las variables de respuesta evaluadas fueron días a floración masculina y femenina, altura de planta y de mazorca, se calificó el aspecto y la sanidad de planta y de mazorca mediante la escala 1 (lo mejor), a 5 (lo peor); se determinaron los porcentajes de acame, de mala cobertura de mazorca, de pudrición total de mazorca y daño de pájaros, a la cosecha se registró el rendimiento de grano. A las variables de respuesta se realizó el análisis de varianza y la prueba de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante los 132 días que permaneció la prueba se acumularon 1147.7 mm de lluvia en 75 eventos, lo que implica un día con lluvia y otro no, dicha cantidad excede las necesidades del maíz para la región;

Cuadro 1. Días a floración, altura de planta y de mazorca, relación grano-olote y rendimiento de grano en la evaluación de cruza varietales y variedades sintéticas de maíz amarillas. Ciclo P-V 2017. Campo Experimental Huimanguillo. CIRGOC. INIFAP.

TRAT	Días a floración		Altura (cm)		Rel. G/O	Rend (kg/ha)
	Masculina	Femenina	planta	mazorca		
1						
2	50.3 ^{ab}	50.7 ^{abc}	263 ^{abc}	130 ^a	0.83 ^{ab}	5176 ^{a-d}
3	52.3 ^{ab}	53.3 ^{ab}	263 ^{abc}	134 ^a	0.82 ^{ab}	3942 ^{c-i}
4	51.7 ^{ab}	52.0 ^{abc}	261 ^{abc}	126 ^a	0.80 ^b	3273 ^{f-j}
5	51.7 ^{ab}	51.7 ^{abc}	260 ^{abc}	121 ^a	0.83 ^{ab}	4322 ^{b-g}
6	51.7 ^{ab}	52.0 ^{abc}	254 ^{abc}	121 ^a	0.80 ^b	3069 ^{g-j}
7	49.7 ^b	50.0 ^{bc}	248 ^{abc}	122 ^a	0.85 ^{ab}	4730 ^{a-e}
8	50.3 ^{ab}	50.7 ^{abc}	256 ^{abc}	120 ^a	0.83 ^{ab}	4453 ^{b-g}
9	50.7 ^{ab}	51.0 ^{abc}	258 ^{abc}	119 ^a	0.85 ^{ab}	4741 ^{a-e}
10	51.0 ^{ab}	51.7 ^{abc}	238 ^c	111 ^a	0.82 ^{ab}	3547 ^{e-j}
11	51.3 ^{ab}	51.3 ^{abc}	253 ^{abc}	118 ^a	0.84 ^{ab}	3779 ^{d-i}
12	51.0 ^{ab}	51.0 ^{abc}	248 ^{abc}	122 ^a	0.81 ^{ab}	3917 ^{d-i}
13	50.7 ^{ab}	51.0 ^{abc}	243 ^{bc}	122 ^a	0.85 ^{ab}	4504 ^{b-g}
14	52.3 ^{ab}	53.0 ^{abc}	258 ^{abc}	129 ^a	0.85 ^{ab}	4696 ^{b-f}
15	51.7 ^{ab}	52.0 ^{abc}	266 ^{abc}	124 ^a	0.81 ^{ab}	4628 ^{b-f}
16	51.0 ^{ab}	51.7 ^{abc}	257 ^{abc}	132 ^a	0.84 ^{ab}	4960 ^{a-e}
17	50.7 ^{ab}	50.7 ^{abc}	255 ^{abc}	125 ^a	0.83 ^{ab}	4353 ^{b-g}
18	52.3 ^{ab}	52.3 ^{abc}	270 ^{ab}	130 ^a	0.81 ^{ab}	5586 ^{ab}
19	51.0 ^{ab}	51.3 ^{abc}	243 ^{bc}	116 ^a	0.82 ^{ab}	2748 ^{hij}
20	51.3 ^{ab}	52.0 ^{abc}	247 ^{abc}	120 ^a	0.81 ^{ab}	3646 ^{e-j}
21	51.0 ^{ab}	51.7 ^{abc}	263 ^{abc}	123 ^a	0.83 ^{ab}	4328 ^{b-g}
22	50.7 ^{ab}	51.3 ^{abc}	247 ^{abc}	116 ^a	0.83 ^{ab}	3919 ^{d-i}
23	52.0 ^{ab}	52.0 ^{abc}	269 ^{ab}	119 ^a	0.80 ^b	2698 ^{ij}
24	51.7 ^{ab}	52.3 ^{abc}	264 ^{abc}	125 ^a	0.82 ^{ab}	4606 ^{b-f}
25	52.0 ^{ab}	52.3 ^{abc}	273 ^a	122 ^a	0.82 ^{ab}	4285 ^{b-g}
26	51.0 ^{ab}	51.7 ^{abc}	262 ^{abc}	129 ^a	0.82 ^{ab}	5388 ^{abc}
27	51.7 ^{ab}	52.0 ^{abc}	273 ^a	127 ^a	0.80 ^b	4711 ^{b-f}
28	51.0 ^{ab}	51.0 ^{abc}	245 ^{abc}	114 ^a	0.83 ^{ab}	4035 ^{c-i}
29	51.0 ^{ab}	51.3 ^{abc}	258 ^{abc}	125 ^a	0.85 ^{ab}	4305 ^{b-g}
30	50.7 ^{ab}	50.7 ^{abc}	248 ^{abc}	126 ^a	0.84 ^{ab}	3985 ^{c-i}
31	51.3 ^{ab}	51.3 ^{abc}	257 ^{abc}	122 ^a	0.85 ^{ab}	5136 ^{a-d}
32	51.7 ^{ab}	52.3 ^{abc}	248 ^{abc}	121 ^a	0.82 ^{ab}	2615 ^{ij}
33	53.3 ^a	54.3 ^a	249 ^{abc}	116 ^a	0.81 ^b	2210 ^j
34	51.3 ^{ab}	51.7 ^{abc}	268 ^{ab}	118 ^a	0.80 ^b	3816 ^{d-i}
35	52.0 ^{ab}	52.3 ^{abc}	264 ^{abc}	120 ^a	0.82 ^{ab}	4166 ^{b-h}
36	52.0 ^{ab}	52.3 ^{abc}	262 ^{abc}	127 ^a	0.82 ^{ab}	4241 ^{b-g}
Media	49.3 ^{ab}	49.3 ^c	270 ^{ab}	128 ^a	0.86 ^a	6166 ^a

lo anterior se confirma si se analiza por etapas, hasta la floración se precipitaron 394.3 mm, de la floración a la madurez fisiológica 414.8 mm y de la dobla a cosecha 338.6 mm; la precipitación media diaria en las etapas descritas fue de 7.7 mm, 12.5 mm y 7.2 mm respectivamente, lo cual demuestra que durante todo el ciclo la humedad disponible excedió la demanda del maíz, sobre todo de la floración a la madurez.

El análisis de varianza de las seis variables que se describen en el cuadro 1, encontró diferencias estadísticas altamente significativas en las variables días a floración masculina y femenina, altura de planta, relación grano-olote y rendimiento de grano, no se detectaron diferencias a un $\alpha \leq 0.05$ en la variable altura de mazorca; el coeficiente de variación más alto en éstas variables fue el del rendimiento de grano con 10.51 % lo que demuestra que las diferencia detectadas no se deben a errores experimentales sino a la expresión fenotípica de los genotipos evaluados.

Cuadro 2. Porcentaje de acame, mala cobertura de mazorca, mazorca podrida y daño de pájaro en la evaluación de cruza varietales y variedades sintéticas de maíz amarillos. Ciclo P-V 2017. Campo Experimental Huimanguillo. CIRGOC. INIFAP.

TRAT 1	GENEALOGÍA	Porcentaje			
		Acame	M. Cobertura	M. Podrida	D. Pájaro
2	S07TLYNGAB01 X S10TLYNGAB02	3.5	5.3	12.0	3.3
3	S07TLYNGAB01 X S11TLYNHGAB03	8.3	5.6	12.5	4.1
4	S07TLYNGAB01 X S10TLYNGSHGAB01	8.2	11.5	13.3	0.0
5	S07TLYNGAB01 X S03TLYQHGAB05	8.0	4.8	13.5	5.9
6	S07TLYNGAB01 X S05TLYQHGAB02	2.5	5.5	20.2	7.2
7	S10TLYNGSHGAB02 X S11TLYNHGAB03	5.3	4.0	9.0	5.9
8	S10TLYNGSHGAB02 X S10TLYNGSHGAB01	0.7	9.1	9.1	6.8
9	S10TLYNGSHGAB02 X S03TLYQHGAB05	0.7	8.0	7.8	6.3
10	S10TLYNGSHGAB02 X S05TLYQHGAB02	0.0	11.6	10.6	3.6
11	S10TLYNGSHGAB02 X S03TLYQHGAB03	4.3	8.9	12.5	4.1
12	S11TLYNHGAB03 X S10TLYNGSHGAB01	4.7	7.6	12.2	3.4
13	S11TLYNHGAB03 X S030TLYQHGAB05	5.4	6.0	7.5	5.2
14	S11TLYNHGAB03 X S050TLYQHGAB02	7.1	4.9	6.5	3.2
15	S11TLYNHGAB03 X S03TLYQHGAB03	7.8	4.3	4.4	0.9
16	S10TLYNGSHGAB01 X S03TLYQHGAB05	1.4	2.8	11.5	4.1
17	S10TLYNGSHGAB01 X S05TLYQHGAB02	1.7	9.3	9.2	8.4
18	S10TLYNGSHGAB01 X S03TLYQHGAB03	6.2	6.5	7.0	3.2
19	S03TLYQHGAB05 X S05TLYQHGAB02	2.9	8.8	16.1	6.7
20	S03TLYQHGAB05 X S03TLYQHGAB03	6.7	7.1	18.7	6.9
21	S03TLYQHGAB05 X S11TLYNHGAB05	5.7	6.7	12.7	4.4
22	S05TLYQHGAB02 X S03TLYQHGAB03	5.4	12.3	14.0	3.5
23	S05TLYQHGAB02 X S11TLYNHGAB05	2.9	11.3	15.8	3.6
24	S05TLYQHGAB02 X SINT-1A	12.6	8.3	9.2	6.9
25	S03TLYQHGAB03 X S11TLYNHGAB05	0.0	7.0	14.9	4.1
26	S03TLYQHGAB03 X SINT-1A	7.8	8.0	7.3	2.2
27	S11TLYNHGAB05 X SINT-1A	0.8	4.8	9.6	1.7
28	S07TLYNHGAB01	2.0	4.2	11.8	1.3
29	S10TLYNGSHGAB02	2.4	7.2	11.0	4.5
30	S11TLYNHGAB03	2.9	8.0	12.3	3.9
31	S10TLYNGSHGAB01	6.1	3.4	6.2	1.4
32	S03TLYQHGAB05	1.6	5.7	20.4	3.6
33	S05TLYQHGAB02	6.2	17.9	15.7	10.2
34	S03TLYQHGAB03	9.4	8.6	12.4	4.0
35	S11TLYNHGAB05	2.5	10.8	17.2	11.4
36	SINT-1A	15.1	7.3	11.2	2.8
Media	H-520	7.6	3.4	9.1	2.0

La floración masculina en promedio se presentó a los 51.3 días, el tratamiento 36 con 49.3 días a dicha floración fue el más precoz, mientras que el tratamiento 32 con 53.3 días fue el más tardío, entre ellos existe diferencia estadística según la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$), el rango fue de solo 4 días lo que permite caracterizar al grupo evaluado como de ciclo intermedio precoz a intermedio. La floración femenina ocurrió en promedio a los 51.6 días, lo que permite afirmar que ambas floraciones se presentaron el mismo día o cuando mucho con un día de diferencia, de hecho los genotipos 32 y 36 también coinciden con los valores más altos y más bajos de la prueba.

En altura de planta la media del ensayo fue de 257 cm con alturas máximas de 273 cm en los tratamientos 24 y 26 y mínima de 238 cm en el tratamiento 9, solo entre estos tratamientos existe diferencia estadística según la prueba de medias, el tratamiento 9 también presenta la menor altura de

mazorca con 111 cm, sin embargo, ésta no difiere estadísticamente del resto; la media en la altura de mazorca fue de 123 cm; de acuerdo a los valores obtenidos en ambas alturas, al grupo de genotipos evaluados se les puede clasificar como de porte intermedio.

Cuadro 3. Calificación a la sanidad de planta y de mazorca y del arquetipo en la evaluación de cruza varietales y variedades sintéticas de maíz amarillas. Ciclo P-V 2017. Campo Experimental Huimanguillo. CIRGOC. INIFAP.

TRAT	Sanidad			Calificación	
	Planta		Mazorca	Planta	Mazorca
	Tizón	Roya			
1	1.5 ^a	1.3 ^{ab}	2.0 ^{ab}	2.3 ^{abc}	2.3 ^{bc}
2	1.2 ^a	1.5 ^{ab}	1.7 ^{ab}	3.0 ^{abc}	2.7 ^{abc}
3	1.5 ^a	1.5 ^{ab}	1.3 ^{ab}	2.7 ^{abc}	3.0 ^{abc}
4	1.5 ^a	1.7 ^{ab}	2.0 ^{ab}	2.7 ^{abc}	2.7 ^{abc}
5	1.3 ^a	1.2 ^b	2.3 ^{ab}	2.7 ^{abc}	3.0 ^{abc}
6	1.8 ^a	1.7 ^{ab}	1.3 ^{ab}	2.7 ^{abc}	2.3 ^{bc}
7	1.7 ^a	1.5 ^{ab}	2.0 ^{ab}	2.3 ^{abc}	3.0 ^{abc}
8	1.7 ^a	1.5 ^{ab}	1.7 ^{ab}	2.3 ^{abc}	3.0 ^{abc}
9	1.3 ^a	1.5 ^{ab}	1.3 ^{ab}	2.0 ^{bc}	3.0 ^{abc}
10	1.8 ^a	1.7 ^{ab}	3.0 ^a	3.0 ^{abc}	3.3 ^{abc}
11	1.5 ^a	1.5 ^{ab}	2.0 ^{ab}	3.0 ^{abc}	2.7 ^{abc}
12	1.8 ^a	1.5 ^{ab}	1.3 ^{ab}	3.0 ^{abc}	2.7 ^{abc}
13	1.7 ^a	1.5 ^{ab}	1.0 ^b	2.0 ^{bc}	2.7 ^{abc}
14	1.3 ^a	1.5 ^{ab}	1.0 ^b	2.7 ^{abc}	2.7 ^{abc}
15	1.7 ^a	1.8 ^{ab}	1.7 ^{ab}	3.0 ^{abc}	3.3 ^{abc}
16	1.5 ^a	1.8 ^{ab}	1.7 ^{ab}	2.7 ^{abc}	2.3 ^{bc}
17	1.3 ^a	1.8 ^{ab}	1.0 ^b	1.7 ^c	2.0 ^c
18	2.0 ^a	2.0 ^a	2.3 ^{ab}	3.0 ^{abc}	3.3 ^{abc}
19	1.5 ^a	2.0 ^a	3.0 ^a	3.3 ^{ab}	3.3 ^{abc}
20	1.7 ^a	1.7 ^{ab}	2.3 ^{ab}	3.0 ^{abc}	3.0 ^{abc}
21	1.7 ^a	1.7 ^{ab}	2.3 ^{ab}	2.7 ^{abc}	3.0 ^{abc}
22	1.5 ^a	1.5 ^{ab}	3.0 ^a	2.0 ^{bc}	3.7 ^{ab}
23	1.5 ^a	1.3 ^{ab}	1.7 ^{ab}	2.7 ^{abc}	2.7 ^{abc}
24	1.3 ^a	1.5 ^{ab}	1.7 ^{ab}	2.7 ^{abc}	2.7 ^{abc}
25	1.5 ^a	1.7 ^{ab}	1.3 ^{ab}	2.7 ^{abc}	3.0 ^{abc}
26	1.5 ^a	1.8 ^{ab}	1.3 ^{ab}	2.7 ^{abc}	2.7 ^{abc}
27	1.8 ^a	1.5 ^{ab}	1.7 ^{ab}	3.0 ^{abc}	2.7 ^{abc}
28	1.5 ^a	1.5 ^{ab}	1.7 ^{ab}	2.3 ^{abc}	3.0 ^{abc}
29	1.7 ^a	1.5 ^{ab}	1.7 ^{ab}	3.0 ^{abc}	2.7 ^{abc}
30	1.3 ^a	1.7 ^{ab}	1.3 ^{ab}	3.0 ^{abc}	2.3 ^{bc}
31	2.2 ^a	1.8 ^{ab}	2.7 ^{ab}	3.7 ^a	4.0 ^a
32	2.0 ^a	1.5 ^{ab}	2.7 ^{ab}	3.0 ^{abc}	3.7 ^{ab}
33	1.5 ^a	1.8 ^{ab}	1.7 ^{ab}	3.3 ^{ab}	2.7 ^{abc}
34	1.7 ^a	1.3 ^{ab}	2.3 ^{ab}	3.0 ^{abc}	3.3 ^{abc}
35	1.7 ^a	1.7 ^{ab}	1.7 ^{ab}	3.0 ^{abc}	2.3 ^{bc}
36	1.3 ^a	1.3 ^{ab}	2.0 ^{ab}	2.7 ^{abc}	2.3 ^{bc}
Media	1.6	1.6	1.9	2.7	2.9

La relación grano-olote promedio es de 0.82, valor que está dentro de lo normal, sin embargo, la media de rendimiento está por debajo de la obtenida en un ensayo de trilineales establecido en el mismo ciclo y bajo las mismas circunstancias, lo cual confirma que no necesariamente una mayor relación implica mejor rendimiento, sino que una crusa varietal rinde más que una variedad pero a su vez menos que un híbrido simple y trilineal formados de manera convencional (Márquez, 2014); la relación mayor se encontró en el H-520 con 0.86 y la menor en los tratamientos 3, 5, 22, 26 y 33 con

0.80. El rendimiento máximo le corresponde al H-520 con 6166 kg ha⁻¹ y el mínimo al tratamiento 32 con 2210 kg ha⁻¹, sin embargo, existen cuatro genotipos: S07TLYNGAB01 X S10TLYNGAB02, S10TLYNGSHGAB01 X S03TLYQHGAB03, S03TLYQHGAB03 X SINT-1A y S10TLYNGSHGAB01 (tratamientos 1, 17, 25, 30), que son igual estadísticamente al testigo trilineal H-520 y que superan las 5 t ha⁻¹, mostrando con ello un buen potencial para la región húmeda del País, de los cuatro mencionados la cruza varietal S10TLYNGSHGAB01 X S03TLYQHGAB03 (tratamiento 17) con 5586 kg ha⁻¹ y el sintético S10TLYNGSHGAB01 con 5136 kg ha⁻¹ son los de mejor comportamiento agronómico general.

En el cuadro 2 se describen los resultados a nivel de media de cuatro variables, de la información se observa que el porcentaje medio de acame es de 4.9 %, pero existen genotipos con valores superiores al 10 % (tratamiento 35, 15.1 % y tratamiento 23 con 12.6 %); también se observan 17 tratamientos cuyo porcentaje de acame esta ente el 0 y 5 %. El promedio en el porcentaje de mazorca con mala cobertura fue de 7.4 %, coincidiendo el mayor con el tratamiento 32 (17.9 %) y el menor con el tratamiento 15 (2.8 %); el H-520 en la prueba presentó un valor de 3.4 %.

El porcentaje de mazorca podrida osciló entre el 4.4 % y 20.2 % con un rango de 15.8 % y con una media de 11.8 %, sólo en cuatro de los genotipos el porcentaje fue menor o igual al 7 %, lo cual es no es adecuado para las condiciones de Tabasco. En relación al porcentaje de mazorca dañada por pájaro los máximos valores pertenecen a los tratamientos 32 y 34 con 10.2 % y 11.4 % respectivamente, tratamientos que también presentaron porcentajes no adecuados de mala cobertura de mazorca; la media del ensayo es de 4.5 %.

En el cuadro 3 se tienen cinco variables de respuesta, en cuatro de ellas se detectaron diferencias altamente significativas, solo en la incidencia de tizón no se detectó diferencia a un $\alpha \leq 0.05$; los coeficientes de variación oscilaron entre el 30.01 % para sanidad de mazorca y 14.89 % para la presencia roya.

En la calificación de enfermedades foliares (80 días después de la siembra), se obtuvo una media para el Tizón (*Helminthosporium maydis* y *Helminthosporium turcicum*) y Roya (*Puccinia sorghi* y *Puccinia polysora*) de 1.6, con máximos de 2.0 para el tratamiento 18 en ambas enfermedades y mínimos de 1.2 para el tratamiento 2 en tizón y 1.2 para el tratamiento 3 en Roya, de acuerdo a los índices descritos se puede afirmar que la presencia de éstos patógenos y su efecto negativo en el rendimiento fue nulo dada la etapa fisiológica en que se presentaron. En la mazorca el daño por enfermedades (*Diplodia Spp.*, *Gibberella Spp.* y *Fusarium Spp.*) sigue siendo mayor que en el follaje pues su media es de 1.9 y máximos de 3.0; es importante mencionar que los tratamientos 13, 14 y 17 al calificar su sanidad obtuvieron un valor de 1.0 sinónimo de mínima presencia de los patógenos descritos (< al 10 % del grano), sin embargo si hubo un porcentaje mayor de mazorca podrida en forma total, esto que parece una contradicción no lo es, dado que en la pudrición total influyen factores tales como el daño de pájaros, el acame y la mala cobertura de mazorca.

En arquetipo de planta existen tratamientos como el 31 con 3.7 de calificación, o el 19 con 3.3 que no compiten con el resto, lo mismo ocurre con los tratamientos 22 y 32 cuyas calificaciones al arquetipo de mazorca fueron de 3.7; las medias en las variables señaladas son de 2.7 y 2.9 lo que implica la existencia de germoplasma con plantas y mazorcas heterogéneas o poco uniforme en planta y en mazorca.

CONCLUSIONES

La cruza varietal S10TLYNGSHGAB01 X S03TLYQHGAB03 (tratamiento 17) con 5586 kg ha⁻¹ y la variedad sintética S10TLYNGSHGAB01 (tratamiento 30), con 5136 kg ha⁻¹ son los de mejor comportamiento agronómico general.

Por los días a floración masculina y femenina, altura de planta y de mazorca al grupo de cruza varietales y variedades sintéticas evaluados se puede clasificar como de ciclo y porte intermedio.

Existe material genético con potencial para seguir evaluándolo en el trópico húmedo de México y superar la productividad de los que actualmente se recomiendan.

LITERATURA CITADA

Gómez, M. N. O.; Cantú, A. M. A.; Vázquez C. M. G.; Castillo, G. F.; Hernández, G. C. A.; Aragón, C. F.; Espinosa, C. A. y Palemón, A. F. 2017. Híbrido varietal HV-240: nueva variedad de maíz

- para la montaña baja de Guerrero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* Vol. 8 (5): 1219 – 1223.
- Márquez, S. F. 2014. Epítasis en la variedad, la craza varietal, el compuesto varietal y el sintético de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana*. Vol. 37 (4): 319 – 324.
- Sierra, M. M.; Palafox, C. A.; Rodríguez, M. F. A.; Espinosa, C. A.; Gómez, M. N.; Caballero, H. F.; Barrón, F. S.; Zambada, M. A. y Vásquez, C. G. 2008. H-520, híbrido trilineal de maíz para el trópico húmedo de México. *Agricultura Técnica en México* 34(1): 119-122.
- Sierra, M. M.; Palafox, C. A., Cano, R. O.; Rodríguez, M. F. A., Espinosa, C. A.; Turrent, F. A.; Gómez, M. N.; Córdova, O. H.; Vergara, A. N.; Aveldaño, S. R.; Barrón, F. S.; Romero, M. J.; Caballero, H. F.; González, C. M. y Betanzos, M. E. 2001. Descripción varietal de H-519C, H-553C y V-537C, maíces con alta calidad de proteína para el trópico húmedo de México. INIFAP CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla. Folleto Técnico Núm.30. Veracruz, Ver., México. 21 p.
- Sierra, M. M.; Palafox, C. A.; Rodríguez, M. F.; Espinosa, C. A.; Vásquez, C. G.; Gómez, M. N.; Barrón F. S. 2011. H-564C, Híbrido de maíz con alta calidad de proteína para el trópico húmedo de México. *Revista Mexicana de las Ciencias Agrícolas* Vol 2(1): 71-84.
- Sierra, M. M.; Márquez, S. F.; Valdivia, B. R.; Córdova, O. H.; Lezama, G. R.; Pescador, R. A. 2004. Uso de probadores en la selección de líneas para formar híbridos de maíz (*Zea mays* L). *Agric. Téc. Méx.* Vol 30 (2): 169-181
- Sierra, M.M.; Rodríguez, M. F.; Castillo, G. R.; Preciado, O. R. E. y Márquez, S. F. 1992. VS-536 variedad sintética de maíz para el trópico de Veracruz y regiones similares. Folleto Técnico Núm. 2 Campo Cotaxtla. SARH. INIFAP. CIRGOC. 11 p.
- Tadeo, R. M.; Espinosa, C. A.; Guzmán, M. R.; Turrent, F. A.; Zaragoza, E. J. y Virgen, V. J. 2015. Productividad de híbridos varietales de maíz de grano amarillo para valles altos de México. *Agronomía Mesoamericana* Vol. 26 (1): 65 -72.

**RENDIMIENTO Y CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS DE HÍBRIDOS TRILINEALES DE
MAÍZ BLANCO PARA EL TRÓPICO HÚMEDO DE MÉXICO**
PERFORMANCE AND AGRONOMIC CHARACTERISTICS OF TRILINEAL HYBRIDS OF WHITE
CORN FOR THE HUMID TROPICS OF MEXICO

¹Barrón Freyre S, ² Sierra Macías M, ² Rodríguez Montalvo FA

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Huimanguillo, Km 1 Carretera Huimanguillo-Cárdenas, Huimanguillo Tabasco, México.

²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Cotaxtla, Km 34 Carretera Veracruz-Córdoba, Medellín de Bravo, Veracruz, México.

Autor para correspondencia: barron.sabel@inifap.gob

RESUMEN

A través del mejoramiento genético para el trópico húmedo se pueden formar y detectar nuevos híbridos con mayores rendimientos debido a una mayor heterosis interracial, mejor tolerancia al acame de raíz, mayor resistencia a enfermedades y madurez precoz, entre otras. En teoría los híbridos de dos líneas son más productivos que los de tres, pero los primeros presentan mayor interacción genotipo ambiente, por lo que no son recomendables comercialmente debido que también su producción de semilla es más costosa (Torres, *et al.*, 2011). Por ello y para conocer el rendimiento y características agronómicas de híbridos trilineales de maíz blanco en un sitio representativo del trópico húmedo de México, durante el ciclo primavera-verano 2017, se estableció en el Campo Experimental Huimanguillo, un ensayo donde se evaluaron 49 híbridos trilineales de maíz blanco en un diseño alpha látice 7 x 7 con tres repeticiones, con parcelas experimentales de un surco de 5 m de largo y útiles de 4.8 m, en la siembra se logró una densidad de 62,500 plantas por hectárea, se fertilizó con la fórmula 160-60-60 de N, P₂O₅ y K₂O respectivamente. Del análisis de los resultados y su discusión se concluyó que los híbridos trilineales (LT-154 X CLRCW 247) X LT-165 y (LT-154 X LT-165) X LT-155 por su rendimiento de 6732 kg ha⁻¹ y 6325 kg ha⁻¹ y demás características agronómicas tienen un buen comportamiento agronómico; por los días a floración masculina y femenina el grupo de híbridos evaluados se clasifican como de ciclo intermedio-precoz o de intermedio-tardío; por su altura de planta y de mazorca al grupo de genotipos evaluados se les clasifica como de porte intermedio y que existe un alto porcentaje de híbridos con mala cobertura de mazorca, que se acaman y con alta incidencia de pudrición de mazorca, características que condicionan el uso de semilla mejorada en maíz para autoconsumo.

Palabras clave: Rendimiento, híbridos, maíz.

INTRODUCCIÓN

En México, el 85 % de la superficie de maíz se siembra en condiciones de temporal, por lo que el riesgo de producir se debe a los posibles excesos y/o deficiencias de humedad; no se dispone de semilla mejorada nacional suficiente para cubrir la demanda empresarial y se tienen bajos rendimientos en la agricultura de autoconsumo. Ante el cambio climático se acrecientan los problemas de plagas y enfermedades, las sequías y las inundaciones que en conjunto con la diversidad de sistemas de producción se requiere adecuar periódicamente los paquetes tecnológicos para incrementar su producción (INIFAP, 2018).

En la región tropical del país se siembran 3.2 millones de hectáreas de maíz, de las cuales un millón están comprendidas en provincias agronómicas de buena y muy buena productividad y donde es factible el uso de semilla mejorada de híbridos y variedades sintéticas ya que estos expresan al máximo su potencial genético bajo condiciones favorables de clima suelo y manejo por parte de los agricultores (Sierra *et al.*, 2001). Sin embargo, los rendimientos promedio en esta región son bajos, debido entre otras razones al escaso uso de semilla mejorada, no obstante que existen híbridos y variedades mejoradas de maíz y la tecnología de producción con los cuales es factible incrementar la producción actual de este cultivo.

Durante los últimos años se generaron híbridos y variedades con gran potencial de rendimiento, adaptados a las condiciones tropicales húmedas del estado de Veracruz y Sureste del país, entre los que destacan por su uso actual H-520, VS-536, H-519C, V-537C, V-556AC y de reciente liberación, el

híbrido H-564C de alto rendimiento y alta calidad proteínica. (Sierra *et al.*, 1992; Sierra *et al.*, 2008; Sierra *et al.*, 2004; Sierra *et al.*, 2011).

A través del mejoramiento genético para el trópico húmedo se pueden formar y detectar nuevos híbridos con mayores rendimientos debido a una mayor heterosis interracial, mejor tolerancia al acame de raíz, mayor resistencia a enfermedades y madurez precoz, entre otras. En teoría los híbridos de dos líneas son más productivos que los de tres, pero los primeros presentan mayor interacción genotipo ambiente, por lo que no son recomendables comercialmente debido que también su producción de semilla es más costosa (Torres, *et al.*, 2011).

Por ello el objetivo del ensayo fue conocer el rendimiento y características agronómicas de híbridos trilineales de maíz blanco en un sitio representativo del trópico húmedo de México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante el ciclo primavera-verano 2017, se estableció en el Campo Experimental Huimanguillo, cuyas coordenadas geográficas son 17° 51' 4.52" N, 93° 23' 46.96" O y 20 msnm, con clima Am, cálido húmedo, de acuerdo con la clasificación climática de Köppen modificada por García, un experimento para evaluar 49 híbridos trilineales de maíz blanco; el suelo del sitio experimental es de textura franco arenosa, pH de 7.9, bajo contenido de materia orgánica (1.6 %) y de nitrógeno aprovechable (17.6 ppm de NH₄ + NO₃), el fósforo es de 14 ppm y el de potasio 0.30 me/100 g.

En el experimento se utilizó un diseño alpha láctice 7 x 7 con tres repeticiones; con parcelas experimentales de un surco de 5 m de largo y útiles de 4.8 m, la siembra se efectuó el 19 y 20 de junio depositándose 2 y 1 semillas por golpe cada 20 cm, para luego realizar un aclareo a una planta por mata y lograr una densidad de 62,500 plantas por hectárea, la fertilización se llevó acabo con la fórmula 160-60-60 de N, P₂O₅ y K₂O respectivamente.

Para el manejo de la maleza un día después de la siembra se aplicó atrazina, a una dosis de 2 l/ha del producto comercial Gesaprim autosuspendible y a los 26 días después de la siembra, en postemergencia a la maleza de hoja angosta o zacates, se utilizó Nicosulfuron (Sanson 4 SC) a razón de 60 g de I.A./ha.

La primera fertilización se realizó con la fórmula 80-60-60 de N, P₂O₅ y K₂O, 6 días después de la siembra (dds), mientras que la segunda (80-00-00), fue a los 32 dds; la incorporación del fertilizante al suelo en ambas oportunidades fue manual y a espeque a 10 cm de la planta.

La plaga que requirió control fue el Gusano cogollero, se inició con la aplicación de Clorpirifos etil (Lorsban 480E, 750 ml/ha) a los 8 y 13 dds, continuó a los 22 y 27 dds con el uso de Cipermetrina (Arribo 200 CE, 250 ml/ha) y terminó a los 34 dds con Deltametrina (Decis Forte 10 EC, 150 ml/ha).

Las variables de respuesta cuantificadas fueron días a floración masculina y femenina, altura de planta y de mazorca, aspecto y sanidad de planta y de mazorca, plantas acamadas, cobertura de mazorca; a la cosecha se registraron las variables de rendimiento de grano, pudrición de mazorca y humedad de grano; la escala de calificación utilizada en algunas variables fue de 1 a 5. A las variables de se corrió el análisis de varianza y la prueba de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La precipitación acumulada durante el período de prueba fue de 1147.7 mm de lluvia en 75 eventos, cantidad que excede las necesidades del maíz para la región; al observar períodos semanales se detectó que en todos ellos se presentó la lluvia, por lo que se considera que su distribución fue buena, además, de la siembra hasta la floración se precipitaron 394.3 mm y de la floración a la madurez fisiológica 414.8 mm, para un total de 809.1 mm; de la dobla a cosecha se acumularon 338.6 mm, éste exceso de agua es un factor que puede provocar ineficiente calidad del grano, sobre todo en genotipos de mala cobertura de mazorca.

El análisis de varianza de las seis variables descritas en el cuadro 1 mostró diferencias altamente significativas, lo que implica que al menos dos de los genotipos evaluados muestran comportamientos agronómicos diferentes en las variables de respuesta evaluadas; así mismo los coeficientes de variación de las primeras cinco variables son menores al 5.5 % y la de rendimiento de grano es de 16.54 %, por lo que se puede afirmar que las diferencias citadas no son resultado de errores experimentales.

La media en los días a floración masculina y femenina fueron de 51 y 51.7 respectivamente con una diferencia entre ellas de un día, lo que implica buena sincronía en la floración y buena adaptación a las condiciones agroclimáticas del área de prueba, el genotipo más tardío fue el tratamiento 36 con 56

Cuadro 1. Días a floración, altura de planta y de mazorca, relación grano-olote y rendimiento de grano en híbridos trilineales de maíz blanco. Ciclo P-V 2017. Campo Experimental Huimanguillo. INIFAP. CIRGOC.

TRAT	Días a floración		Altura (cm)		Rel. G/O	Rend (kg/ha)
	Masc	Fem	Pta	Mzca		
1	49.3 ^{f-i}	49.7 ^{igh}	250 ^{a-d}	121 ^{a-i}	0.83 ^{ab}	6185 ^{abc}
2	50.3 ^{c-i}	49.0 ^{d-h}	248 ^{a-d}	118 ^{a-l}	0.81 ^{ab}	5689 ^{a-d}
3	51.0 ^{b-i}	51.0 ^{b-h}	232 ^{cd}	110 ^{d-n}	0.80 ^{ab}	5987 ^{abc}
4	52.3 ^{a-h}	52.7 ^{a-g}	245 ^{a-d}	118 ^{a-l}	0.75 ^{ab}	4171 ^{a-g}
5	51.3 ^{b-i}	51.3 ^{b-h}	271 ^a	132 ^{ab}	0.85 ^a	6868 ^a
6	52.3 ^{a-h}	52.7 ^{a-g}	237 ^{a-d}	114 ^{a-n}	0.77 ^{ab}	5087 ^{a-g}
7	49.7 ^{e-i}	50.0 ^{e-h}	237 ^{a-d}	98 ^{k-n}	0.84 ^a	6462 ^{ab}
8	54.3 ^{ab}	54.0 ^{a-d}	239 ^{a-d}	106 ^{f-n}	0.74 ^{ab}	2851 ^{d-g}
9	17.3 ^{ghi}	49.0 ^{gh}	247 ^{a-d}	111 ^{b-n}	0.82 ^{ab}	6325 ^{ab}
10	53.0 ^{a-f}	53.0 ^{a-f}	270 ^{ab}	131 ^{abc}	0.82 ^a	6003 ^{abc}
11	54.3 ^{ab}	55.3 ^{ab}	261 ^{a-d}	122 ^{a-h}	0.78 ^{ab}	2600 ^{efg}
12	53.3 ^{a-e}	53.7 ^{a-e}	254 ^{a-d}	113 ^{b-n}	0.78 ^{ab}	5151 ^{a-g}
13	50.3 ^{c-i}	50.7 ^{c-h}	262 ^{a-d}	128 ^{a-e}	0.82 ^{ab}	5868 ^{abc}
14	52.3 ^{a-h}	52.7 ^{a-g}	254 ^{a-d}	122 ^{a-i}	0.79 ^{ab}	5722 ^{a-d}
15	52.7 ^{a-g}	53.7 ^{a-e}	235 ^{a-d}	110 ^{d-n}	0.78 ^{ab}	5263 ^{a-f}
16	51.0 ^{b-i}	50.7 ^{c-h}	249 ^{a-d}	121 ^{a-i}	0.82 ^{ab}	4197 ^{a-g}
17	51.0 ^{b-i}	51.0 ^{b-h}	251 ^{a-d}	116 ^{a-m}	0.80 ^{ab}	5015 ^{a-g}
18	51.7 ^{b-i}	53.0 ^{a-f}	233 ^{bcd}	103 ^{h-n}	0.80 ^{ab}	4757 ^{a-g}
19	51.0 ^{b-i}	50.7 ^{c-h}	270 ^{ab}	129 ^{a-d}	0.79 ^{ab}	4918 ^{a-g}
20	54.0 ^{abc}	54.0 ^{a-d}	244 ^{a-d}	121 ^{a-j}	0.79 ^{ab}	3805 ^{b-g}
21	50.7 ^{b-i}	50.3 ^{d-h}	240 ^{a-d}	110 ^{d-n}	0.78 ^{ab}	4193 ^{a-g}
22	52.0 ^{b-i}	51.3 ^{b-h}	245 ^{a-d}	109 ^{d-n}	0.85 ^a	6732 ^a
23	50.0 ^{d-i}	49.7 ^{igh}	228 ^d	97 ^{mn}	0.81 ^{ab}	6089 ^{abc}
24	51.0 ^{b-i}	50.7 ^{c-h}	229 ^d	101 ⁱ⁻ⁿ	0.77 ^{ab}	4078 ^{a-g}
25	48.7 ^{ghi}	49.0 ^{gh}	263 ^{a-d}	113 ^{b-n}	0.81 ^{ab}	5645 ^{a-d}
26	52.3 ^{a-h}	53.0 ^{a-f}	257 ^{a-d}	114 ^{a-n}	0.82 ^{ab}	5703 ^{a-d}
27	51.0 ^{b-i}	51.0 ^{b-h}	255 ^{a-d}	118 ^{a-k}	0.78 ^{ab}	4966 ^{a-g}
28	51.3 ^{b-i}	51.3 ^{b-h}	248 ^{a-d}	113 ^{b-n}	0.81 ^{ab}	6344 ^{ab}
29	51.0 ^{b-i}	51.3 ^{b-h}	268 ^{abc}	132 ^{ab}	0.79 ^{ab}	5419 ^{a-e}
30	49.0 ^{ghi}	49.0 ^{gh}	244 ^{a-d}	112 ^{b-n}	0.80 ^{ab}	5065 ^{a-g}
31	53.3 ^{a-e}	53.7 ^{a-e}	263 ^{a-d}	135 ^a	0.83 ^a	5206 ^{a-f}
32	51.7 ^{b-i}	51.3 ^{b-h}	250 ^{a-d}	125 ^{a-g}	0.81 ^{ab}	6005 ^{abc}
33	52.7 ^{a-g}	53.0 ^{a-f}	256 ^{a-d}	113 ^{b-n}	0.81 ^{ab}	5443 ^{a-e}
34	50.3 ^{c-i}	50.0 ^{e-h}	256 ^{a-d}	127 ^{a-f}	0.83 ^a	6607 ^{ab}
35	52.0 ^{b-i}	51.7 ^{b-h}	236 ^{a-d}	120 ^{a-j}	0.83 ^a	4068 ^{a-g}
36	56.0 ^a	56.0 ^a	234 ^{a-d}	107 ^{e-n}	0.76 ^{ab}	3392 ^{c-g}
37	50.0 ^{d-i}	49.7 ^{igh}	243 ^{a-d}	100 ^{j-n}	0.83 ^a	4739 ^{a-g}
38	53.7 ^{a-d}	54.0 ^{a-d}	242 ^{a-d}	105 ^{g-n}	0.71 ^b	2503 ^{fg}
39	51.7 ^{b-i}	52.0 ^{b-h}	231 ^{cd}	97 ^{lmn}	0.78 ^{ab}	5366 ^{a-f}
40	51.7 ^{b-i}	51.7 ^{b-h}	244 ^{a-d}	113 ^{b-n}	0.85 ^{ab}	5925 ^{abc}
41	53.0 ^{a-f}	54.0 ^{a-d}	243 ^{a-d}	106 ^{g-n}	0.79 ^{ab}	4546 ^{a-g}
42	51.3 ^{b-i}	51.3 ^{b-h}	235 ^{a-d}	114 ^{b-n}	0.82 ^{ab}	6280 ^{abc}
43	53.0 ^{a-f}	53.3 ^{a-f}	244 ^{a-d}	108 ^{e-n}	0.78 ^{ab}	5445 ^{a-e}
44	51.0 ^{b-i}	50.7 ^{c-h}	255 ^{a-d}	120 ^{a-j}	0.81 ^{ab}	6944 ^a
45	51.3 ^{b-i}	51.0 ^{b-h}	244 ^{a-d}	111 ^{c-n}	0.79 ^{ab}	5358 ^{a-f}
46	48.3 ⁱ	48.7 ^h	258 ^{a-d}	124 ^{a-h}	0.81 ^{ab}	5370 ^{a-f}
47	52.3 ^{a-h}	52.3 ^{a-h}	255 ^{a-d}	116 ^{a-m}	0.80 ^{ab}	5686 ^{a-d}
48	51.7 ^{b-i}	52.0 ^{b-h}	248 ^{a-d}	122 ^{a-h}	0.82 ^{ab}	5353 ^{a-f}
49	53.7 ^{a-d}	54.3 ^{abc}	229 ^d	95 ⁿ	0.79 ^{ab}	2305 ^g
Media	51.0	51.7	248	115	0.80	5177

días en ambas floraciones y el más precoz el híbrido H-520 con 48.3 a masculina y 48.7 a femenina, por lo que el rango en la floración fue de entre siete y ocho días, por ello en el grupo de materiales evaluado se pueden encontrar genotipos de ciclo intermedio precoz o de ciclo intermedio tardío para el ciclo de primavera-verano.

La altura de planta media fue de 248 cm y de mazorca 115 cm, valores considerados adecuados, ninguno de los materiales sobrepasó los 300 cm en planta, de hecho los de mayor porte fueron los tratamientos 5 y 10 con 271 y 270 cm respectivamente; en altura de mazorca cuatro genotipos lograron alturas menores a los 100 cm (tratamientos 7, 23, 39, 48), lo que se considera no adecuado para el ciclo de prueba; 44 de los híbridos presentan alturas de planta estadísticamente iguales, según la prueba de medias, en cambio en altura de mazorca solo 24 de ellos son iguales, lo que implica una mayor variabilidad en esta variable respecto a la de planta; en general al grupo de genotipos se le clasifica como de porte intermedio, característica observada en el testigo H-520. Torres, *et al.*, 2011 consideran que los genotipos de mayor producción de grano tienen un mayor número de días a floración masculina y femenina y mayores alturas de planta y mazorca, lo que no necesariamente se cumplió en la presente evaluación.

La media en la relación grano-olote fue de 0.80, con máximos de 0.85 en los tratamientos 5, 22 y 40 y con mínimos de 0.71 en el tratamiento 38, por lo regular los intermedios y mayores índices se asocian a los más altos rendimientos de grano, cuya media del ensayo fue de 5177 kg ha⁻¹, siendo mayor a las 6.5 t ha⁻¹ en los tratamientos 5, 22, y 44 con rendimientos de 6868 kg ha⁻¹, 6732 kg ha⁻¹ y 6944 kg ha⁻¹ respectivamente; el testigo H-520 logró un rendimiento estadísticamente igual a los descritos 5370 kg ha⁻¹, lo que demuestra que existe material genético que compite por rendimiento con el testigo y con potencial para su recomendación.

En el cuadro 2 se describen cuatro variables a nivel de medias; en relación a los porcentajes medios de acame, su media es de 4.5 %, sin embargo existen seis genotipos (tratamientos 15, 18, 25, 29, 34, 42), cuyas medias superan el 10 %, considerado alto, pero existen 10 genotipos con un nulo acame (tratamientos 11, 12, 13, 22, 27, 33, 40, 43). El porcentaje medio de mazorca con mala cobertura es de 8.6 % mismo que se considera alto, sin duda 18 materiales con porcentajes mayores al 10 %, provocaron que la media fuese alta; para el trópico húmedo se considera que genotipos con una cobertura de mazorca deficiente tienen baja posibilidad de ser adoptados por los productores, dado el alto porcentaje que produce maíz para autoconsumo.

El porcentaje medio de mazorca podrida del ensayo es de 9 %, semejante a la media de mazorca con mala cobertura, pues en general estas variables están relacionadas positivamente, la mala cobertura es un factor que incide en la mazorca podrida; del total de genotipos probados solo los tratamientos 9 y 20 no presentaron mazorca podrida, incluso el 9, fue uno de los de mayor rendimiento de grano. Otra variable que tiene relación directa con la mala cobertura es el daño de pájaro, éste en una prueba como la descrita se presenta con mayor frecuencia en genotipos con la mayor precocidad y con los porcentajes mayores de mala cobertura, en el ensayo la media es de 2.9 % con valores extremos de 0 % y 18.2 %.

En el cuadro 3 están descritos los resultados de cinco variables, se puede observar que solo en aspecto de mazorca se detectaron diferencias altamente significativas; al calificar la incidencia de enfermedades en planta y mazorca las medias fueron de 1.4 para Tizón, (*Helminthosporium maydis* y *Helminthosporium turcicum*) y de 1.2 para Roya (*Puccinia sorghi* y *Puccinia polysora*), y 1.8 en la mazorca; en general se puede comentar que las enfermedades foliares más comunes tuvieron baja incidencia, sin embargo en mazorca, enfermedades como *Diplodia Spp.*, *Gibberella Spp.* y el *Fusarium Spp.*, provocan baja calidad en el grano y reducción en el rendimiento del mismo; genotipos como el del tratamiento 13 con calificación de 3, tienen desventaja respecto a aquellos calificados con un valor de 1 y cuya incidencia de enfermedades es menor al 10 %.

Cuadro 2. Porcentaje de acame, mala cobertura de mazorca, mazorca podrida y daño de pájaro en híbridos trilineales de maíz blanco. Ciclo P-V 2017. Campo Experimental Huimanguillo. INIFAP. CIRGOC.

TRAT	GENEALOGÍA	Acame	Porcentaje		Daño Pájaro
			Mala Cobertura	Mzca Podrida	
1	(LT-154 X CLRCW 247) X LT-155	2.8	17.5	10.1	5.7
2	(LT-164 X LT-165) X LT-155	3.9	7.5	9.6	0.0
3	(LT-164 X LT-165) X LT-166	1.3	19.2	17.9	5.2
4	(LT-169 X CLRCW 247) X LT-166	6.7	2.6	11.7	4.1
5	(LT-164 X LT-166) X LT-155	1.3	12.4	13.7	4.1
6	(LT-164 X LT-165) X CLRCW 247	6.9	6.7	6.6	2.6
7	(LT-164 X LT-165) X LT-156	1.3	4.3	8.6	4.3
8	(LT-154 X CLRCW 247) X LT-169	4.5	8.3	9.5	2.7
9	(LT-154 X LT-165) X LT-155	5.3	4.0	0.0	1.2
10	(LT-169 X CLRCW 247) X LT-155	4.3	13.6	10.0	6.3
11	(LT-164 X LT-166) X LT-169	0.0	13.9	5.6	3.9
12	(LT-164 X LT-166) X CLRCW 247	0.0	16.5	14.7	7.4
13	(LT-164 X LT-166) X LT-156	0.0	15.2	15.3	7.5
14	(LT-170 X LT-165) X LT-166	1.5	7.0	5.7	3.0
15	(LT-170 X LT-165) X CLRCW 247	12.2	7.0	2.8	2.7
16	(LT-172 X LT-165) X LT-155	9.0	5.9	5.8	2.9
17	(LT-172 X LT-165) X LT-166	3.8	4.2	9.8	4.2
18	(LT-172 X LT-165) X CLRCW 247	16.2	8.0	7.7	4.5
19	(LT-170 X CLRCW 247) X LT-155	6.7	11.5	9.5	4.0
20	(LT-170 X CLRCW 247) X LT-166	0.0	12.7	0.0	0.0
21	(LT-154 X CLRCW 247) X LT-166	3.6	5.4	16.3	0.0
22	(LT-154 X CLRCW 247) X LT-165	0.0	1.3	4.5	1.3
23	(LT-154 X LT-165) X LT-156	1.3	2.6	8.6	1.9
24	(LT-154 X LT-165) X LT-166	0.0	9.2	15.2	4.8
25	(LT-169 X LT-165) X LT-155	12.7	10.8	9.0	1.5
26	(LT-169 X LT-165) X LT-156	6.3	4.9	3.2	0.0
27	(LT-169 X LT-165) X LT-166	0.0	6.2	14.9	2.8
28	(LT-164 X LT-166) X LT-165	1.3	1.3	5.2	0.0
29	(LT-170 X LT-165) X LT-155	16.7	9.6	10.2	1.4
30	(LT-172 X LT-165) X LT-156	5.3	7.2	6.9	0.0
31	(LT-170 X CLRCW 247) X LT-156	9.3	1.4	4.5	0.0
32	(LT-170 X CLRCW 247) X LT-165	5.3	5.1	3.8	1.3
33	(CLRCW 247 X LT-156) X LT-169	0.0	5.4	6.7	0.0
34	(CLRCW 247 X LT-156) X LT-165	10.1	2.5	8.6	0.0
35	(LT-155 X CLRCW 247) X LT-166	5.3	15.4	15.9	8.0
36	(LT-164 X LT-165) X LT-169	5.3	6.4	3.2	0.0
37	(LT-154 X CLRCW 247) X LT-156	4.5	4.6	8.9	3.0
38	(LT-154 X LT-165) X LT-169	7.1	13.4	12.8	2.0
39	(LT-154 X LT-165) X CLRCW 247	3.0	6.4	6.5	1.7
40	(LT-154 X LT-166) X LT-156	0.0	7.4	12.6	1.3
41	(LT-169 X LT-165) X CLRCW 247	2.9	0.0	3.5	1.7
42	(CLWN509 X CLWN247) X LT-165	13.5	2.8	1.4	0.0
43	(CLWN509 X CLWN247) X CLRCW 247	0.0	10.1	5.9	0.0
44	(CLWN509 X CLWN247) X LT-166	6.4	10.4	8.3	2.5
45	H-567	4.0	14.6	12.6	2.2
46	H-520	2.6	14.0	18.2	6.5
47	HE-3B	2.4	14.2	10.2	7.0
48	HE-7B	2.8	13.8	12.5	8.7
49	H-566 ^a	2.1	16.6	14.7	4.4
	Media	4.5	8.6	9.0	2.9

Cuadro 3. Calificación a la sanidad y arquetipo de planta y de mazorca de híbridos trilineales de maíz blanco. Ciclo P-V 2017. Campo Experimental Huimanguillo. INIFAP. CIRGOC.

TRAT	Sanidad			Calificación	
	Planta		Mazorca	Planta	Mazorca
	Tizón	Roya			
1	1.3 ^a	1.2 ^a	1.7 ^a	3.0 ^a	2.7 ^{bc}
2	1.7 ^a	1.3 ^a	2.0 ^a	2.7 ^a	3.0 ^{abc}
3	1.2 ^a	1.3 ^a	2.3 ^a	2.3 ^a	3.0 ^{abc}
4	1.2 ^a	1.3 ^a	1.7 ^a	2.7 ^a	3.3 ^{abc}
5	1.7 ^a	1.2 ^a	2.0 ^a	2.3 ^a	2.7 ^{bc}
6	1.7 ^a	1.5 ^a	2.0 ^a	2.0 ^a	3.3 ^{abc}
7	1.0 ^a	1.5 ^a	1.7 ^a	2.7 ^a	2.3 ^c
8	1.5 ^a	1.2 ^a	2.3 ^a	2.7 ^a	4.0 ^{abc}
9	1.7 ^a	1.0 ^a	1.3 ^a	2.7 ^a	3.3 ^{abc}
10	1.2 ^a	1.3 ^a	2.3 ^a	2.3 ^a	3.3 ^{abc}
11	1.7 ^a	1.3 ^a	2.7 ^a	2.3 ^a	5.0 ^a
12	1.3 ^a	1.3 ^a	2.3 ^a	2.0 ^a	3.3 ^{abc}
13	1.2 ^a	1.5 ^a	3.0 ^a	2.3 ^a	3.0 ^{abc}
14	1.2 ^a	1.2 ^a	2.0 ^a	2.0 ^a	2.7 ^{bc}
15	1.2 ^a	1.3 ^a	1.7 ^a	2.7 ^a	3.7 ^{abc}
16	1.3 ^a	1.3 ^a	1.7 ^a	3.0 ^a	3.7 ^{abc}
17	1.2 ^a	1.2 ^a	1.7 ^a	2.0 ^a	3.7 ^{abc}
18	1.2 ^a	1.2 ^a	1.7 ^a	2.7 ^a	3.7 ^{abc}
19	1.3 ^a	1.2 ^a	2.0 ^a	3.0 ^a	3.3 ^{abc}
20	1.7 ^a	1.0 ^a	1.3 ^a	3.3 ^a	3.7 ^{abc}
21	1.7 ^a	1.0 ^a	2.3 ^a	2.3 ^a	3.0 ^{abc}
22	1.2 ^a	1.3 ^a	1.3 ^a	2.7 ^a	2.3 ^c
23	1.2 ^a	1.5 ^a	1.7 ^a	3.0 ^a	2.3 ^c
24	1.3 ^a	1.0 ^a	2.0 ^a	3.0 ^a	3.7 ^{abc}
25	1.5 ^a	1.2 ^a	1.7 ^a	2.7 ^a	2.7 ^{bc}
26	1.3 ^a	1.3 ^a	1.3 ^a	3.3 ^a	3.3 ^{abc}
27	1.3 ^a	1.2 ^a	2.3 ^a	1.7 ^a	3.3 ^{abc}
28	1.3 ^a	1.2 ^a	1.3 ^a	2.7 ^a	2.7 ^{bc}
29	1.8 ^a	1.3 ^a	2.0 ^a	3.0 ^a	3.3 ^{abc}
30	1.8 ^a	1.3 ^a	1.3 ^a	2.3 ^a	2.7 ^{bc}
31	1.2 ^a	1.0 ^a	1.0 ^a	2.3 ^a	2.7 ^{bc}
32	1.5 ^a	1.3 ^a	1.0 ^a	2.7 ^a	2.7 ^{bc}
33	1.5 ^a	1.3 ^a	1.3 ^a	2.7 ^a	2.7 ^{bc}
34	1.7 ^a	1.2 ^a	1.7 ^a	2.7 ^a	2.0 ^c
35	1.5 ^a	1.2 ^a	2.7 ^a	3.0 ^a	3.3 ^{abc}
36	1.3 ^a	1.3 ^a	1.3 ^a	2.7 ^a	4.0 ^{abc}
37	1.3 ^a	1.0 ^a	2.0 ^a	3.7 ^a	3.7 ^{abc}
38	1.3 ^a	1.5 ^a	1.7 ^a	3.7 ^a	4.7 ^{ab}
39	1.0 ^a	1.2 ^a	1.7 ^a	2.7 ^a	3.0 ^{abc}
40	1.2 ^a	1.0 ^a	1.7 ^a	2.3 ^a	3.3 ^{abc}
41	1.5 ^a	1.2 ^a	1.0 ^a	2.7 ^a	3.7 ^{abc}
42	1.3 ^a	1.5 ^a	1.0 ^a	3.0 ^a	2.3 ^c
43	1.3 ^a	1.2 ^a	2.0 ^a	2.3 ^a	3.0 ^{abc}
44	1.2 ^a	1.3 ^a	1.7 ^a	2.7 ^a	2.3 ^c
45	1.2 ^a	1.2 ^a	2.0 ^a	2.3 ^a	3.0 ^{abc}
46	1.5 ^a	1.2 ^a	2.7 ^a	3.3 ^a	2.7 ^{bc}
47	1.2 ^a	1.3 ^a	2.0 ^a	2.0 ^a	3.0 ^{abc}
48	1.3 ^a	1.2 ^a	2.3 ^a	2.0 ^a	3.0 ^{abc}
49	1.0 ^a	1.2 ^a	2.0 ^a	2.7 ^a	4.7 ^{ab}
Media	1.4	1.2	1.8	2.6	3.2

Las medias en el arquetipo de planta y de mazorca fueron de 2.6 y 3.2 respectivamente, lo que implica cierta desuniformidad en tamaño de planta y de mazorca, lo que a la vista del productor puede ser motivo para no utilizar un genotipo; el valor mínimo en arquetipo de planta es de 1.7 y el mayor de 3.3, mientras que en mazorca el menor es de 2.0 y el mayor de 5.0; el grupo de genotipos con mejor comportamiento e igual estadísticamente al testigo en aspecto de mazorca, fueron los tratamientos 7, 22, 23, 34, 42, y 44, mismos que son parte del grupo que lograron los mejores rendimientos de grano.

CONCLUSIONES

Los híbridos trilineales (LT-154 X CLRCW 247) X LT-165 y (LT-154 X LT-165) X LT-155 por su rendimiento de 6732 kg ha⁻¹ y 6325 kg ha⁻¹ y demás características agronómicas tienen un buen comportamiento agronómico.

Por los días a floración masculina y femenina el grupo de híbridos evaluados se clasifican como de ciclo intermedio-precoc o de intermedio-tardío.

Por su altura de planta y de mazorca al grupo de genotipos evaluados se les clasifica como de porte intermedio.

Existe un alto porcentaje de híbridos con mala cobertura de mazorca, que se acaman y con alta incidencia de pudrición de mazorca, características que condicionan el uso de semilla mejorada en maíz para autoconsumo.

LITERATURA CITADA

- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. 2018. Programa de desarrollo del INFAP, 2018 – 2030. Documento de trabajo. 456 p.
- Sierra, M. M.; Palafox, C. A.; Rodríguez, M. F. A.; Espinosa, C. A.; Gómez, M. N.; Caballero, H. F.; Barrón, F. S.; Zambada, M. A. y Vásquez, C. G. 2008. H-520, híbrido trilineal de maíz para el trópico húmedo de México. *Agricultura Técnica en México* 34(1): 119-122.
- Sierra, M. M.; Palafox, C. A.; Rodríguez, M. F.; Espinosa, C. A.; Vásquez, C. G.; Gómez, M. N.; Barrón F. S. 2011. H-564C, Híbrido de maíz con alta calidad de proteína para el trópico húmedo de México. *Revista Mexicana de las Ciencias Agrícolas* Vol 2(1): 71-84.
- Sierra, M. M.; Márquez, S. F.; Valdivia, B. R.; Córdova, O. H.; Lezama, G. R.; Pescador, R. A. 2004. Uso de probadores en la selección de líneas para formar híbridos de maíz (*Zea mays* L). *Agric. Téc. Méx.* Vol 30 (2): 169-181
- Sierra, M.M.; Rodríguez, M. F.; Castillo, G. R.; Preciado, O. R. E. y Márquez, S. F. 1992. VS-536 variedad sintética de maíz para el trópico de Veracruz y regiones similares. Folleto Técnico Núm. 2 Campo Cotaxtla. SARH. INIFAP. CIRGOC. 11 p.
- Torres, F. J. L.; Morales, R. E. J.; González, H. A.; Laguna, C. A. y Córdova O. H. 2011. Respuesta de híbridos trilineales y probadores de maíz en Valles Altos del Centro de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. Vol (2)6: 829-844.

USO DE FEROMONA EN EL CONTROL DEL GUSANO COGOLLERO *Spodoptera frugiperda* USE OF PHEROMONE IN THE CONTROL FALL ARMYWORM *Spodoptera frugiperda*

¹De la Cruz-Martínez V, ¹Andrés-Meza P, ²Del Rosario Arellano J, Leyva Ovalle OR, ¹Murguía-González J, ¹Serna-Lagunes R, ³Espinosa-Calderón A, ⁴Sierra Macías M, ⁵Tadeo-Robledo M, ⁶Gómez-Montiel NO, Rodríguez Montalvo FA, ¹Cebada-Merino M

^{1*}Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad Veracruzana. Región Orizaba-Córdoba. Camino antiguo Amatlán-Peñuela. Amatlán de los Reyes, Córdoba, Ver., Méx. CP. 94950.

² Universidad Autónoma Chapingo. Km 38.5 carretera México-Texcoco, Texcoco de Mora, México. CP. 56230.

³Campo Experimental Valle de México, Laboratorio de Calidad de Maíz, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). 56250. Coatlinchán, Texcoco, EdodeMéx.

⁴Campo Experimental Cotaxtla. INIFAP. C.P. 92277. Medellín de Bravo, Veracruz. Méx.

⁵Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. Universidad Autónoma de México. 54714. Cuautitlán Izcalli, EdodeMex.

⁶Campo Experimental Iguala. INIFAP. Km 2.5 carretera Iguala-Tuxpan, Iguala de la Independencia, Gro., Méx. CP. 40000.

Autor para correspondencia: pandres@uv.mx

RESUMEN

El gusano cogollero *Spodoptera frugiperda*, es catalogada como una de las principales plagas en cultivo de maíz, los daños en rendimiento pueden disminuir hasta un 30% si no se controla a tiempo. El uso intensivo de plaguicidas ha ocasionado resistencia, resurgencia y contaminación ambiental. Buscar alternativas ecológicas para su control es importante para lograr un adecuado equilibrio ambiental en los diferentes sistemas de producción. Bajo este contexto, el objetivo del presente trabajo de investigación fue determinar eficiencia de la Feromona (Pherocon Cap®) para la atracción sexual de machos adultos de gusano cogollero bajo un sistema de producción sembrado con el híbrido de maíz A-7573. Se establecieron dos trampas cada una con una cápsula de feromona a los 53 días después de la siembra, durante el mes de junio de 2018 bajo condiciones de temporal en una superficie de 5000 m², en la localidad de Moyoapan Grande, Coscomatepec de Bravo, Ver. Se muestreó en cinco fechas con intervalo de 72 a 96 h, con conteo de especímenes adultos *S. frugiperda* y diversos organismos que fueron atraídos por la feromona. El porcentaje inicial de daño en el cultivo por *S. frugiperda* fue de 54%. El valor mayor de atracción de gusano cogollero ocurrió durante las primeras dos fechas de muestreo con 46 y 38 machos adultos, respectivamente. Se constató la eficiencia como atrayente sexual para el control de la población en el cultivo de maíz. Se observó una gran diversidad de insectos como: dípteros, lepidópteros, hemípteros y coleópteros, en este último orden se puede considerar a *Macroductylus mexicanus* como una plaga potencial.

Palabras clave: *Spodoptera frugiperda*, *Zea mays* L., feromona, templado húmedo.

INTRODUCCION

El cultivo agrícola anual más importante en México es el maíz (*Zea mays* L.), se encuentra en todo el territorio bajo condiciones climáticas y edáficas variadas, lo que resulta una gran diversidad de ecotipos, a tal punto que ha sido considerado centro de origen y diversidad del cultivo (Kato *et al.*, 2009; Serratos, 2009; FAO, 2017). Esta poacea es multifacética por el amplio uso tanto de grano como planta, útil en alimentación humana, animal, o como materia prima para la industria. Un tipo de consumo tradicional y popular en México es el elote, denominado como el estado inmaduro de la mazorca (Espinosa *et al.*, 2002). Existen diversos factores que disminuyen la calidad y rendimiento del cultivo, dentro de los que destaca la presencia de plagas, este factor origina un grave problema fitosanitario, yaciendo el gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) como causante de los mayores daños si no se realizan medidas de control (Blanco *et al.*, 2014), tales estragos son evidente en varios cultivos comerciales, dentro de las que destaca además del maíz, el sorgo, algunos pastos, cultivos alternos como alfalfa, arroz, algodón, etc (Malo *et al.*, 2001; Cruz *et al.*, 2012; Casmuz *et al.*, 2010). Un ataque temprano de la plaga en *Z. mays*, produce retraso en el desarrollo del cultivo, además, el daño a tejidos que formarán la mazorca disminuye el rendimiento hasta en un 30%; y en casos severos causa la muerte de la planta (Aguirre *et al.*, 2016), con ataque durante todo el ciclo del

cultivo, por ejemplo, se ha documentado que en épocas de sequía la larva produce daños similares al gusano trozador (Deras, 2014). Su control es con frecuencia mediante aplicación de insecticidas químicos, pero su uso acrecenta costos de producción, además que se relaciona con el desarrollo de resistencia del insecto y ocasiona impactos negativos al medio ambiental (Devine *et al.*, 2008; Ahmad y Arif, 2010; Barrientos *et al.*, 2013), por otra parte puede ocasionar la muerte de diversos organismos útiles en el control biológico de plagas presentes en el cultivo, tal es el caso de moscas Tachinidae como *Lespesia aletiae* (Riley), *L. archippivora* (Riley), *Winthemia deilephila* (Osten Sacken), y *Archytas marmoratus* (Townsend), que actúan como parasitoides en gusano cogollero (González *et al.*, 2018).

Desde la década de los 80, se consideró el uso de la feromona sexual de insectos como técnica de manejo integrado de plagas (MIP), útil tanto para evaluación como control de poblaciones, al hacer seguimientos, captura en masa e interrumpir el apareamiento (Carde y Elkinton 1984; Wyatt, 1998; Agudelo *et al.*, 2010); por su bajo costo y facilidad de implementación, se ha expuesto como alternativa atractiva para una agricultura sustentable (Adamczyk *et al.*, 2003; Villalobos, 2003). Particularmente para gusano cogollero, se aisló por primera vez la sustancia (Z)-9-tetradecenyl-1-ol-acetato (Z-9-TDA) (Sekul y Sparks, 1967). Es tanta la importancia, que la mayor parte de reportes publicados se ha concentrado en feromonas de lepidópteros (Romero, 2012). Al respecto, se evaluó atracción y captura de adultos machos de *S. frugiperda* en trampas con agua bajo una mezcla de dos componentes de la feromona sexual (cis-7-dodec-enyl-acetato (Z-7-DDA) y cis-9-tetradecenyl-acetato (Z-9-TDA)), donde los valores críticos se registraron entre la segunda a séptima semana después de la siembra (Salas, 2001). Agudelo *et al.* (2010), determinaron la eficiencia y vida media en campo de dos feromonas correspondientes a las marcas comerciales ChemTica de origen costarricense y Pherobank de origen holandés, encontraron que la primera, presentó mejor comportamiento, con un promedio de captura de 25.79 adultos por trampa día, en comparación con 1.58 de Pherobank, la vida media se degrada a los 50 días en campo a 30°C, con 23.3 mm de pluviosidad, así la eficiencia depende de la marca comercial. Nexticapán *et al.* (2001), reportó que mayores valores para captura de machos ocurren durante la época de lluvias, junto con un mayor porcentaje de daño foliar promedio en el cultivo de maíz, contrario a la época de secas al no detectar poblaciones significativas de *Spodoptera*. Kuniyoshi (2002), registró menor presencia de larvas de *S. frugiperda* y *Heliothis. zea* en lotes con trampas sexuales en comparación con los que no tenían. Por otro lado, la aparición de poblaciones de insectos según Coyle *et al.* (2013), puede ocurrir de manera extensa y persistir en periodos de tiempo cortos, ser cíclicos o irregulares, cuya fluctuación depende principalmente de las condiciones ambientales.

Es indiscutible el uso de hormonas sexuales para numerosos propósitos de investigación, sin embargo, la prioridad es implementar un control efectivo de la plaga, sin embargo, es de utilidad también identificar la entomofauna que puede, datos que pueden ser de utilidad para una planificación efectiva de manejo, ya que es posible la atracción de las trampas de feromona a una gran cantidad de insectos no objeto (Agudelo *et al.*, 2010). El propósito del estudio fue determinar eficiencia de la Feromona (Pherocon Cap®) para la atracción sexual de machos adultos de gusano cogollero bajo un sistema de producción sembrado con el híbrido de maíz A-7573, a fin de brindar una opción posible de control en la zona templada del centro del estado de Veracruz, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El experimento se llevó a cabo durante el mes de junio del 2018 en la localidad de Moyoapan Grande, municipio de Coscomatepec, Ver., localizada entre el paralelo 19°03'13.929" de latitud norte y meridiano 97°03'54.03" de longitud oeste (Figura 1), cuenta con temperatura promedio de 17.2°C y una precipitación promedio de 1891 mm anual, característico de un clima templado C(m)(f) (García y CONABIO, 1998; Hijmans *et al.*, 2005; CONAGUA, 2017).

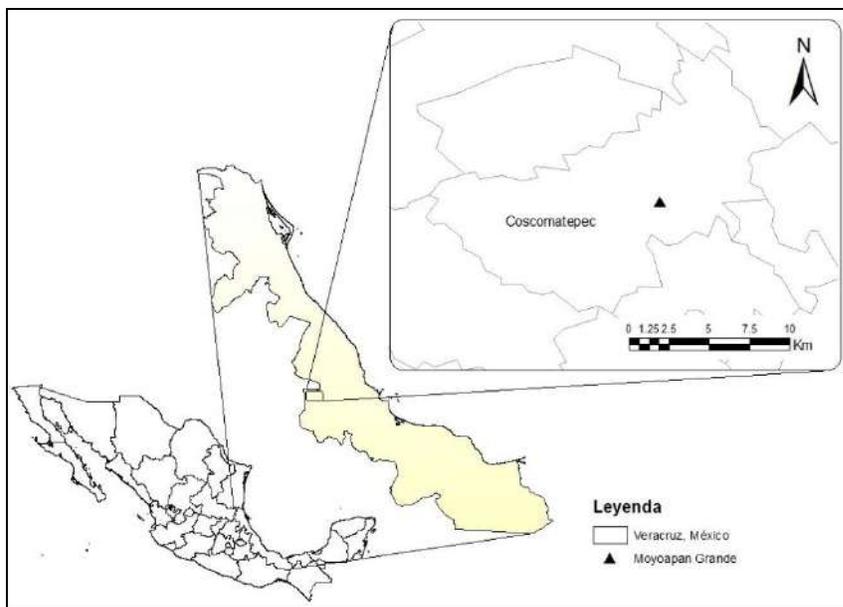


Figura 1. Localización geográfica del experimento.

Manejo experimental

La siembra se realizó el 23 de abril de 2018 con el híbrido de maíz A-7573 la cual cuenta con una densidad de población de 48,000 plantas ha⁻¹, antes de colocar los tratamientos se realizó un monitoreo general en la parcela para verificar el daño en plantas causado por gusano cogollero, la técnica consistió en un cinco de oros con revisión de 10 plantas por punto (Nexticapan *et al.*, 2009). El tratamiento residió de dos trampas con la feromona comercial Pherocon Cap, establecidas a los 53 días después de la siembra. Su diseño consistió en colocar la feromona sujeta con un alambre suspendido en trampas de agua. El artefacto se construyó con una botella plástica de 2 L de capacidad con dimensiones de 32 cm de alto por 10.5 cm de diámetro, en la parte central se cortó la pared de la botella en forma de dos ventanas rectangulares localizadas a 10 cm después del fondo. La cubierta circular se perforó y colocó un alambre de zinc galvanizado de 30 cm de longitud doblada a los 3 cm del techo de la botella, en la punta inferior se suspendió la cápsula impregnada con feromona, y el superior quedó sujeto a una estaca de bambú. Los recipientes se llenaron con agua a 1 cm antes del borde y se les agregó una pequeña cantidad de detergente en polvo para romper la tensión superficial del agua y facilitar el hundimiento de las polillas e insectos capturados, así como evitar aglutinamiento en la superficie. Se distribuyeron dentro de la parcela a una distancia de 30 m de las orillas, a una altura de 0.6 m cubriendo una superficie de 2500 m² por trampa. La revisión y conteo de palomillas de gusano cogollero (estado adulto), e insectos diferentes a este se efectuó en cinco momentos con un intervalo de 72 a 96 h entre uno y otro a partir del 15 de junio (Malo *et al.*, 2001). Los organismos fueron identificados *ex situ* con base en la forma básica de la clase insecta a partir de indicadores morfológicos (tipo de alas, aparato bucal y tipo de metamorfosis). Después de cada conteo los especímenes se desecharon de las trampas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se encontró un 54% de daño causado por gusano cogollero en el cultivo a los 53 días después de la siembra, bajo condiciones de temporal, en el ciclo primavera-verano, lo expuesto es similar a Nexticapan *et al.* (2009) quienes reportaron que durante el inicio de lluvias los daños por *S. frugiperda* aumentan considerablemente. En la Figura 2 se observa una mayor cantidad de atracción durante los primeros dos monitores realizados el 15 y 18 de junio, estos valores correspondieron a 46 y 38 machos atrapados, respectivamente, con una disminución notable a partir del tercer monitoreo, hasta culminar en solo tres individuos en la última fecha (21, 25 y 28 de junio). La captura de machos incide en menor número de estos insectos en el entorno, circunstancia que no permite copular con las hembras, de tal manera que el daño por la plaga disminuye (Agudelo *et al.*, 2010). Por otra parte, la

población de insectos capturados distintos a gusano cogollero fueron constituidos por los siguientes ordenes: coleóptero, díptero, lepidóptero y hemíptero.

Al respecto *Macrodactylus mexicanus* (coleóptero), se presentó como una plaga potencial durante el periodo de muestreo, resultado acorde con lo reportado por Agudelo *et al.* (2010) al encontrar al mismo orden representado por 553 y 402 individuos especímenes de *Cyclocephala sp.* Y es que, la captura de insectos no objetivo en estas trampas ha sido registradas en el cultivo de maíz en la costa de Chiapas, México (Malo *et al.*, 2001), incluyendo especies benéficas, para tal caso se identificaron insectos del orden himenóptero (avispas y abejas), mismas que son polinizadoras y algunas pueden actuar como parasitoides, esta atracción según Agudelo *et al.* (2010), se debe a estímulos visuales, olfativos o por azar de las trampas con feromona.

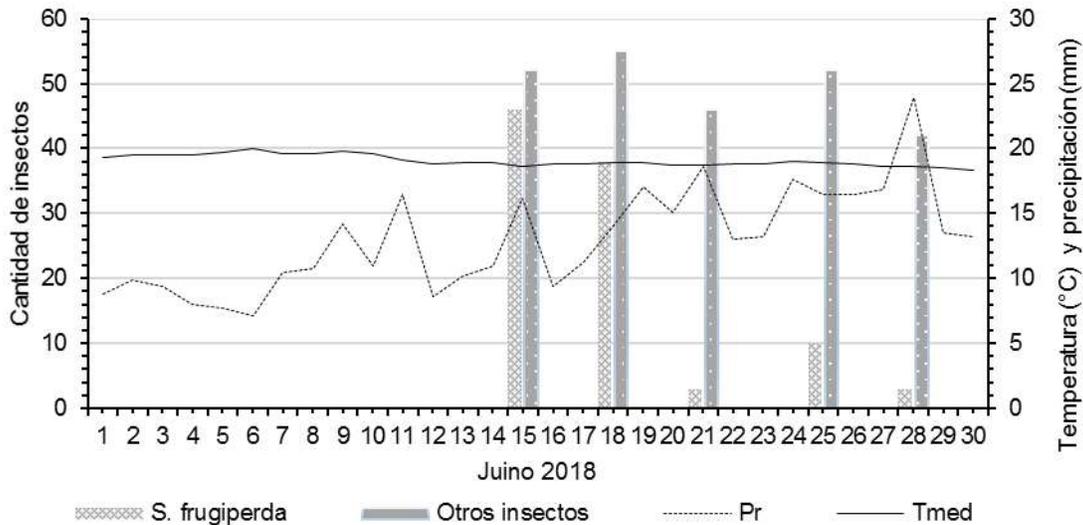


Figura 2. Periodo de desarrollo del experimento en la localidad de Moyoapan Grande, Coscomatepec, Ver.

El periodo de lluvias con base al análisis de la serie histórica del lugar (27 años) comienza a principios de junio, con una temperatura mínima/máxima de 18.34 y 20.03°C, extendiéndose hasta octubre, al respecto, se observó que la precipitación promedio semanal se incrementa gradualmente (Cuadro 1), aunque se ve una diferencia marcada en la precipitación acumulada al pasar de 20 a 40 mm aproximadamente en las primeras tres semanas (del 21 al 30 de junio), aspecto que sujeta a una disminución en la temperatura de 0.86 °C al final del experimento. La condición de baja humedad justo antes de comenzar con el manejo de las trampas permitió una mayor eficiencia en la captura de *S. frugiperda*; sin embargo, en la última semana el aumento en la precipitación provocó una disminución de adultos en las trampas por las larvas que se ahogan en el cogollo de la planta de maíz y por ende no permitir complementar su ciclo de vida. Lo anterior se corrobora por la cantidad constante y superior de insectos contabilizados (42 a 55 individuos) diferentes a *S. frugiperda*, los cuales tienen distinto hábito alimenticio a gusano cogollero, la cantidad representa el 71.18% del total de los organismos capturados. Los resultados ostentados hasta el momento difieren con lo indicado por Nexticapan *et al.* (2001) y Salas (2001), al mencionar que durante la época de lluvias se incrementó la cantidad de gusano cogollero. Una explicación convincente es que, las variables climáticas influyen en la supervivencia y duración de los ciclos de vida de los insectos, causando variaciones en el número de individuos (Hodgson *et al.* 2011; Auad *et al.* 2015), por lo que la fluctuación poblacional no siguen una curva sigmoidea definida (Martínez *et al.*, 2018), sin embargo de manera sistemática se reporta que durante el mes de mayo y junio aumenta la captura de machos de *S. frugiperda* para condiciones de una disminución de temperatura y aumento de precipitación.

Cuadro 1. Condiciones climáticas durante el experimento.

Semana	Precipitación (mm)	Precipitación acumulada	Temperatura (°C)
1	8.77	61.41	19.58
2	11.72	82.07	19.24
3	14.50	101.50	18.79
4	16.03	144.28	18.72

CONCLUSIONES

La feromona Pherocon Cap demostró ser excelente atrayente de machos adultos de *S. frugiperda* en el cultivo de maíz. Se identificó a *Macroductylus mexicanus* como una segunda plaga potencial. Se recomienda que las trampas con feromona se instalen al inicio de la siembra y se retiren al culminar el ciclo del cultivo, toda vez que la plaga se comporta de manera diferente de acuerdo con las condiciones climáticas del lugar. El enfoque utilizado en el presente trabajo se considera una alternativa para disminuir y controlar poblaciones de *S. frugiperda* y no necesariamente para erradicar la población.

LITERATURA CITADA

- Adamczyk J, Williams JR, Reed JT, Hubbard DW, Hardee DD. 2003. Spatial and temporal occurrence of beet armyworm. Florida Entomologist 86(3):229-232.
- Aguirre, L.A., A. Hernández J. M., Flores, E. Cerna, J. Landeros, G.A. Frías, and M.K. Harris. 2016. Evaluation of foliar damage by *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) to genetically modified corn (Poales: Poaceae) in Mexico. FL Entomol. 99:276-280. doi:10.1653/024.099.0218.
- Agudelo, J. A., Amaya, O. S., Garramuño, E. A., & Cárdenas, J. A. 2010. Evaluación de dos marcas comerciales de la feromona sexual de *Spodoptera frugiperda* Smith (Lepidoptera: Noctuidae) en el Tolima, (Colombia). Revista Corpoica: Ciencia y Tecnología Agropecuaria, 11(2), 137-143.
- Ahmad, M. and Arif, M. I. 2010. Resistance of beet armyworm *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae) to endosulfan, organophosphorus and pyrethroid insecticides in Pakistan. Crop Prot. 29:1428-1433.
- Auad, A.M., S.E.B. Silva, J.C. Santos, and T.M. Vieira. 2015. Impact of fluctuating and constant temperatures on key life history parameters of *Sipha flava* (Hemiptera: Aphididae). FL Entomol. 98:424-429. doi:10.1653/024.098.0205
- Barrientos, G. J. E.; Huerta, de la P. A.; Escobedo, G. J. S. y López, O. J. F. 2013. Manejo convencional de *Spodoptera exigua* en cultivos del municipio de Los Reyes de Juárez, Puebla. Rev. Méx. Cienc. Agríc. 4:1197-1208.
- Carde, RT; Elkinton, JS. 1984. Field trapping with attractants: methods and interpretation. In Techniques in Pheromone Research. New York, Springer-Verlag. p. 111-129.
- Casmuz, A., M.L. Juárez, M.G. Socías, M.G. Murúa, S. Prieto, S. Medina, E. Willink, y G. Gastaminza. 2010. Revisión de los hospederos del gusano cogollero del maíz, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). Rev. Soc. Entomol. Argent. 69:209-231.
- Coyle, D.R., J. Pickering, K.A. Dyer, F.R. Lehman, J.E. Mohan, and K.J.K. Gandhi. 2013. Dynamics of an unprecedented outbreak of two native moth species, *Cissusa spadix* and *Phoebria atomaris* (Lepidoptera: Noctuidae), on oak trees (*Quercus spp.*) in the Southeastern United States. Am. Entomol. 59(2):82-94.
- Cruz, I., M.L. Corrêa-Figueiredo, R. Braga-da-Silva, I. Fernández-da-Silva, C. de Souza-Paula, and J.E. Foster. 2012. Using sex pheromone traps in the decision-making process for pesticide application against fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*).
- Deras, H. 2014. Guía Técnica. El cultivo de maíz. El Salvador: CENTA Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal "Enrique Álvarez Córdova" (CENTA).
- Devine, G. J.; Eza, D.; Ogusuku, E. y Furlong, M. J. 2008. Uso de insecticidas: contexto y consecuencias ecológicas. Rev. Perú Med. Exp. Salud Pública. 25:74-100.
- Espinosa A.; Sierra, M., y Gómez, N. 2002. Producción y tecnología de semillas mejoradas de maíz por el INIFAP en el escenario sin la PRONASE. Agronomía Mesoamericana 14(1): 117-121. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=437141116>.

- González M., Hernández Z. D. A., & Ruíz C. E. 2018. Parasitoides (Diptera: Tachinidae) del Gusano Cogollero *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) en Maíz en Durango, México. *Southwestern Entomologist*, 43(1), 183-187.
- Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G. and Jarvis, A. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International journal of climatology*, 25(15), 1965-1978.
- Hodgson, J.A., C.D. Thomas, T.H. Oliver, B.J. Anderson, T.M. Brereton, and E.E. Crone. 2011. Predicting insect phenology across space and time. *Glob. Change Biol.* 17:1289-1300. doi: 10.1111/j.1365-2486.2010.02308.x
- Kato Y. T. A., Mapes S. C., Mera O. L. M., Serratos H. J. A., Bye B. R. 2009. Origen y Diversificación del Maíz: Una Revisión Analítica. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D. F. 116 p. [http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/pdf/Origen %20del %20MaizUv.pdf](http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/pdf/Origen%20del%20MaizUv.pdf)
- Kuniyoshi V. C. 2002. Evaluación del uso de feromonas para el control y monitoreo de *Spodoptera frugiperda* y *Helicoverpa zea* en maíz dulce. Proyecto especial presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniera agrónoma en el grado académico de licenciatura. Zamaron, Honduras.
- Malo, E. A., Cruz L. L., Valle, M. J., Virgen, A., Sánchez J. A. & Rojas J. C. 2001. Evaluation of commercial pheromone lures and traps for monitoring male fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) in the coastal region of Chiapas, Mexico. *Florida Entomol.* 84: 659-664.
- Martínez Jaime, O. A., Salas Araiza, M. D., & Díaz García, J. A. 2018. Curva de crecimiento poblacional de *Spodoptera frugiperda* en maíz en Irapuato, Guanajuato, México. *Agronomía Mesoamericana*, 29(2), 315. <https://doi.org/10.15517/ma.v29i2.27126>.
- Nexticapan G. A., Magdub M. A., Vergara Y. S., Martín M. R., & Larqué S. A. 2009. Population changes and damages caused by the fall armyworm (*Spodoptera frugiperda* JE Smith) in maize cultivated in a continuous production system affected by hurricane Isidore. *Universidad y Ciencia Trópico Húmedo*, 25(3), 273–277.
- Romero L. A. A. 2012. Uso de feromonas sexuales para el conocimiento y manejo de los “ensambles gallina ciega” en México. *Interciencia*, 37(7), 559–564.
- Salas, J. 2001. Captura de *Spodoptera frugiperda* en trampas con feromona. *Revista Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*, 59, 48-51.
- Sekul, AA & Sparks, AN. 1967. Sex pheromone of the fall armyworm moth: Isolation, Identification and Synthesis. *J. Econ. Entomol.* 60:1270-1272.
- Serratos H., J. A. 2009. El Origen y la Diversidad del Maíz en el Continente Americano. Greenpeace. Ciudad de México, México. 33 p. <http://www.greenpeace.org/mexico/Global/mexico/report/2009/3/el-origen-y-la-diversidad-del.pdf>
- Wyatt, T. D. 1998. Putting pheromones to work: Paths forward for direct control, pp. 445-459 In R. T. Carde and A. K. Minks (eds.), *Insect Pheromone Research New Directions*. Chapman & Hall, NY.

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

- CONAGUA. 2017. <http://smn.cna.gob.mx/es/informacion-climatologica-ver-estado?estado=ver> (consultado el 18 de noviembre de 2017).
- FAO. 2017. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. <http://www.fao.org/in-action/agronoticias/detail/fr/c/1045647/> (consultado el 6 mayo de 2017).
- García, E. - Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 1998. http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/clima1mgw.xml?_httpcache=yes&_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html.xsl&_indent=no (consultado el 22 de mayo de 2018).

CARACTERIZACIÓN MORFOLOGICA DE LA RAÍZ DE YUCA *Manihot esculenta* Crantz, DEL BANCO DE GERMOPLASMA DEL CAMPO EXPERIMENTAL HUIMANGUILLO TABASCO
CHARACTERIZATION MORPHOLOGIC OF THE ROOT OF CASSAVA *Manihot esculenta* Crantz, THE GERMOPLASM BANK OF THE CAMPO EXPERIMENTAL HUIMANGUILLO TABASCO

¹De Dios L MO, ¹García S A, ²Rodríguez C M, ²Sumano L D, ³Gutiérrez B R, ³Ruiz B P

¹Egresados de la Carrera de Ingeniería en Agronomía (UPCH).

²INIFAP C. E. Huimanguillo Km1 Carr. Huimanguillo-Cárdenas.

³Profesores de la Universidad Popular de la Chontalpa (UPCH).

Autor para correspondencia: rodriguez.mario@inifap.gob.mx

RESUMEN

El objetivo fue evaluar las características morfológicas de raíz de seis cultivares de yuca a 13 meses de establecimiento. Se realizó en C. E. Huimanguillo, Tabasco. Se utilizó diseño completamente al azar, con seis tratamientos y cinco repeticiones. Los tratamientos: Criolla, Sabanera, Esmeralda, y (colectas (Col)) Col. 1, Col. 2 y Col. 3. Las variables se analizaron con SAS, y comparación de medias (Duncan $\alpha=0.05$ p.). Resultados, color de peridermis de raíz de Criolla, Sabanera, Esmeralda y la Col. 2 predominó café claro, y la Col. 1 y Col. 3 café oscuro. El color de corteza, fue “rosado bajo” en la Criolla y Sabanera, en Col. 2, Col. 3 fue rosado, Esmeralda color crema y en Col. 1 blanco. El color de pulpa que predominó fue “blanco” para las variedades, Criolla, Esmeralda, Col. 1, Col. 2 y Col. 3 y la Sabanera presentó color amarillento. La distribución de raíces fue arracimada en Criolla, Sabanera, Esmeralda, y la Col. 1; en Col. 2 y Col. 3 fue compacta respectivamente. La forma de raíz predominó la cónica en Sabanera, Esmeralda, Col. 1, Col. 2 y Col. 3 y a la Criolla fue cilíndrica. La adhesión de raíces al tallo predominó pedúnculo largo la Criolla, Col. 2, Col. 3 y a la Sabanera. Esmeralda y Col. 3 con pedúnculo cortó. El grosor de raíz inicial, Esmeralda 5.62 cm, y menor con 4.48 cm de la Col. 2 sin diferencia estadística. La parte media del grosor de raíz el promedio fue 5.73 a 4.61 de Criolla y Sabanera respectivamente, sin diferencia estadística. El grosor final de raíz, varió de 4.29 a 2.90 cm de la Criolla y la Sabanera respectivamente con diferencias estadísticas. En longitud de raíz no presentaron diferencias estadísticas entre el mayor de Esmeralda 38.85 cm y menor longitud Col. 31.83 cm.

Palabras claves: raíz, color, grosor, forma

INTRODUCCIÓN

La yuca (*Manihot esculenta* Crantz) es una planta originaria de América de clima tropical, que se consumía hace más de 4,000 años en Perú y por los mayas, que se llevó por el mundo a través de las conquistas (Montoya, 2007). Durante 2016, la producción mundial de raíz de yuca fue 202.93 millones de toneladas, los 10 países con más producción fueron: Nigeria 28.15% del total, le siguieron Tailandia (15.35 %), Brasil (10.38 %), Indonesia (10.22 %) por debajo estos valores se encuentran Ghana, Congo, Viet Nam, Comboya, Angola y Mosambique con 8.77, 7.23, 5.44, 5.02, 4.91 4.48 por ciento respectivamente. (FAOSTAT, 2018). La yuca es la tercera fuente más importante y barata de almidón, aproximadamente un 80% de la producción se usa para consumo humano (harina, almidón), constituyendo la fuente principal de carbohidratos, el otro 20% de la producción es usado para la alimentación animal y procesamiento industrial de más de 300 productos (Textil, papel, madera, adhesivos, lubricantes, dextrina, alcohol) FAO, (2013). México produce 18,365 toneladas de yuca, el valor de la producción de \$ 68,254,639.30 con un rendimiento de 12.97 t ha⁻¹ en 1,448 ha distribuidas en seis estados: Tabasco con 1,213 ha (83.77 %), Michoacán (6.97 %), Morelos (6.35 %), Veracruz (1.38 %) y Yucatán 26.0 (1.31 %) y Guerrero (0.20 %) (SIAP, 2017). De 1,213 ha de la superficie cultivada de yuca en Tabasco, se distribuye en los municipios: Jalapa 41, Huimanguillo 22, Centla 19, Macuspana 14 y Centro 4 por ciento respectivamente. (SIAP, 2017). La yuca produce aún bajo condiciones desfavorables como de estrés hídrico, baja fertilidad y acidez del suelo en las que otros cultivos difícilmente prosperan, por ejemplo, Martín *et al.*, (2018) reporta el cultivo de yuca en suelos africanos están sobre cultivados y tienen baja fertilidad, alta acidez y niveles de aluminio, baja materia orgánica, son poco profundos y altamente compactos, retienen poca humedad del suelo y son altos en la temperatura del suelo en ciertas épocas del año. En estos suelos, con poca fertilidad, la yuca dio 79-80% de los rendimientos máximos después del enclado, mientras que el sorgo y el maíz dieron

solo 9.5 y 52% de sus rendimientos máximos, respectivamente. Lo anterior demuestra mayor potencial de la yuca en relación a otros cultivos. En Tabasco se estima que hay más de 200 mil hectáreas de suelos ácidos, de los cuales destacan los Acrisoles, Cambisoles y Luvisoles. La yuca es una alternativa para contribuir a diversificar el uso integral en beneficio de los productores tabasqueños, sin embargo, es necesario proponer nuevas alternativas de variedades de yuca y tolerantes a las plagas y enfermedades de buen rendimiento y calidad de sus raíces. Las características de las raíces reservantes son útiles en la identificación de genotipos en yuca dada su amplia variabilidad (Marín *et al.*, 2008). Estas pueden adquirir formas y tamaños muy variables, siendo dependientes tanto de la variedad como de las condiciones ambientales (Ceballos y de la Cruz, 2002). Los tubérculos de yuca se deben cosechar cuando no se haya vuelto fibroso o leñoso (cuando el contenido de almidón está en su punto máximo). Se debe cosechar a los 7-15 meses después de la siembra, dependiendo del cultivar. Los tipos dulces se cosechan alrededor de los 7 meses, mientras que las variedades amargas se cosechan entre 12 y 15 meses después de la siembra. El objetivo evaluar las características morfológicas de la raíz y la planta de seis cultivares de yuca a los 13 meses de establecido el cultivo.

MATERIALES Y METODOS

El estudio se realizó en el Campo Experimental Huimanguillo del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) ubicado, en el Km 2. De la Carretera Federal Huimanguillo-Cárdenas, en el estado de Tabasco. (latitud Norte 17° 51' 07" y Longitud Oeste 93° 23' 46"). Donde se resguarda el banco de germoplasma de yuca. Abarca una parcela de ½ hectárea del cultivo se cuenta con 45 colectas. De las cuales se seleccionaron seis cultivares, para su evaluación. Se cosecho a los 13 meses de establecido el cultivo. El clima del municipio de Huimanguillo y sitio de estudio, la clasificación climática de Koppen, modificado por García, es de tipo Am (f) "w" (i) g. La temperatura media anual es de 25.8°C. La precipitación acumulada fue de 1,911 mm durante el ciclo del cultivo. Estos fueron tomados de la estación meteorológica del C. E. Huimanguillo del INIFAP. (Barrón, 2016). El tipo de suelo es Fluvisol donde se estableció el cultivo. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, con seis tratamientos y cinco repeticiones. Los tratamientos fueron: Criolla, Sabanera, Esmeralda, Colecta. 1, Colecta. 2 y Colecta. 3. Las variables fueron cuantitativas y cualitativas para la descripción los cultivares, las practicas agronómicas se aplicó con base en el paquete tecnológico del (INIFAP 2018). Las variables cuantitativas se analizaron con el paquete estadístico SAS, y comparación de medias (Duncan $\alpha=0.05$ p.) y las variables morfológicas de las raíces se empleó el manual de descripción varietal de la yuca las cuales son:

Color de la Peridermis. Se determinó cosechado las raíces, se lavaron con agua se evaluó in situ y en laboratorio en fresco una vez lavadas con agua, consistió en quitar la cáscara de la raíz para observar la tonalidad. El color se tomó de acuerdo a la escala de colores reportada por (Fakuda, et al. (2001) y Domínguez, et al., (1982).

Color de la corteza. Se observó en forma visual ya cuando las raíces estaban colocadas y ordenadas en la mesa del laboratorio. Consistió en quitar la cáscara de la raíz para observar el color. Lo anterior se repitió para las raíces de cada variedad. El color se tomó de acuerdo a la escala de colores de (Domínguez, *et al.*, 1982).

Color de la pulpa. Se observó al momento de trozar en rodajas las raíces, donde se podía observar claramente su color, de acuerdo a (Cock, 1989).

Distribución de las raíces. Se obtuvo visualmente ya cuando se cosecho así se pudo definir la forma de cada raíz si son compactas o arracimadas eran diferentes sus distribuciones según la variedad.

Forma de adhesión de las raíces al tallo: Se observó en cada planta el tipo de cuello o pedúnculo, largo o corto, que presentaba cada una de las plantas evaluadas y así se determinó de acuerdo a (Castillo, *et al.*, 1996).

Forma de la raíz. Se observó, cuando las raíces estaban cosechadas en el campo la variable se obtuvo en forma visual para definir si la forma de la raíz se aproximaba a cilíndricas, fusiformes, o cónicas. De acuerdo (Castillo, *et al.*, 1996).

Longitud de raíz. La longitud de las raíces se midió en centímetro con un flexómetro (Truper) en la cual se midió el largo de cada una de las raíces.

Grosor de raíces, parte inicial, media y final. Para determinar estas variables se utilizó un vernier (Truper), y se fueron ordenando por tamaño de mayor a menor, para obtener la medida en centímetros (cm) de cada raíz. Se determinó de acuerdo a (Cock, 1989).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características morfológicas de las raíces

En el (Cuadro 1). Se presentan los resultados, las características del color de las raíces de yuca obtenidas en las diferentes cultivares.

Color de la Peridermis. De acuerdo a los resultados observados (Cuadro 1) resultaron la Criolla, Sabanera, Esmeralda y la Col. 2 el color que predominó en esta variable fue el café claro, en tanto en las colectas Col.1 y Col. 3 el color predominante fue el color café oscuro, esto está de acuerdo a los colores reportados por (Fakuda, et al. (2001). Domínguez, *et al.* (1982). Dentro de los cuales menciona a los colores blanco o crema, café claro, y café oscuro. En esta variable Meneses et al. (2017). En diferentes accesiones evaluadas de yuca encontró un mayor número raíces con color externo de corteza café claro (57.5 %) a oscuro (42.5 %).

Color de la corteza. De acuerdo a los resultados presentados en (Cuadro 1) de las variedades evaluadas el tono que predominó fue el color “rosado bajo” en las variedades Criolla y Sabanera, en tanto que en las colectas Col. 2, Col. 3 fue el color rosado, y la Esmeralda el color crema y diferenciándose de la Col. 1 el cual fue de color blanco, esto coincide con los estudios reportado por (Fakuda, et al. (2001). Domínguez, *et al.*, (1982), en esta variable dentro de las cuales menciona a los colores blanco, crema y rosado.

Color de la pulpa. En el (Cuadro 1) se muestra esta variable cualitativa, la cual el color que más predominó fue el “blanco” por las variedades, Criolla, Esmeralda, Col. 1, Col. 2 y Col. 3 y la Sabanera presentó un color amarillento, lo cual coincide a los colores reportados por Cock, (1989). Dentro de las cuales menciona el color blanco y amarillento. Meneses *et al.*, (2017), menciona que la pulpa constituye la parte utilizable de la raíz, por lo tanto, es el tejido de mayor relevancia económica. El 57.5 % de las accesiones desarrolló un color de pulpa crema, mientras que el 37.5 % pulpa blanca; no obstante, se encontraron dos accesiones con pulpa amarilla (MMEXCH17 y MMEXCH18).

La pulpa blanca es una de las más preferidas en la elaboración de harinas, así como su venta en fresco en los mercados locales. El color de las raíces es importante debido a que algunos autores lo relacionan con más contenido de proteína a los cultivares de pulpa de color amarillo. (Polanco, 1998; Ceballos y de la Cruz, 2002).

Cuadro 1. Características del color de las raíces de yuca.

Variedad	Color de la Peridermis	Color de la Corteza	Color de la Pulpa
Criolla	Café claro	Rosado bajo	Blanca
Sabanera	Café claro	Rosado bajo	Amarillento
Esmeralda	Café claro	Crema	Blanca
Colecta 1	Café oscuro	Blanco	Blanca
Colecta 2	Café claro	Rosado	Blanca
Colecta 3	Café oscuro	Rosado	Blanca

Distribución de las raíces. En el (Cuadro2). Se presentan los resultados, de la distribución y forma de adición de las raíces a la planta de yuca. Los resultados obtenidos se observan a las variedades que más predominó en su distribución es la forma arracimada las cuales fueron la Criolla, Sabanera, Esmeralda, y la Col. 1 en tanto que las colectas Col. 2 y Col. 3 presentaron una distribución compacta respectivamente. Esta característica es importante para la cosecha mecanizada de yuca debido ya que se evita daños mecánicos en las raíces cuando son compactas y arracimadas (Rodríguez, 1987).

Forma de la raíz. Los resultados obtenidos se presentan en el (Cuadro 2) la cual muestra a las variedades evaluadas, la forma que más predominó fue la cónica en la Sabanera, Esmeralda, Col. 1, Col. 2 y Col. 3 en tanto que en la Criolla fue de forma cilíndrica. Esto está de acuerdo a la literatura que presenta Castillo, *et al.*, (1996) donde menciona las formas de las raíces como, cilíndricas, fusiformes o cónicas. Al respecto, Meneses *et al.*, (2017) reporta que la forma de adhesión de las raíces al tallo: esta variable la forma de la raíz resulta ser un carácter variable, ya que se encontraron de tipo irregular (47.5 %), cónica cilíndrica (42.5 %) y cuatro con forma cilíndrica, de igual forma variable aun en una misma accesión. En el (Cuadro 2) se muestra esta variable, con más predominante con pedúnculo largo de la Criolla, Col. 2, Col. 3 en tanto que la Sabanera, Esmeralda y Col. 3 con pedúnculo corto esto está de acuerdo a lo que reporta Castillo, *et al.*, (1996). Dentro de las

cuales menciona, que cada planta presenta diferente tipo de cuello o pedúnculo, largo o corto. Meneses *et al.*, (2017) indica en su estudio que: Las accesiones en su mayoría presentan una raíz pedunculada (50 %) y mezclada (42.5 %) mientras que MMEXCH6, MMEXCH7 y MMEXCH28 y poseen raíz tipo sésil, por tal, es una característica variable entre y dentro accesiones. Lo expuesto fue similar a Torres (2008) donde 29 de 37 accesiones presentan una raíz pedunculada. Esta característica junto con su longitud de raíz el tipo de inserción al tallo es de importancia económica, ya que durante la cosecha en la separación de tipos sésiles se producen daños en la zona de corte, lo que acelera el deterioro fisiológico y postcosecha, además cuando se mecaniza por otro lado, cuando el pedúnculo es muy largo (>10 cm) es necesario remover gran cantidad de suelo para su extracción y si se rompe ocurren pérdidas de raíz (Ceballos y de la Cruz, 2002).

Cuadro 2. Distribución y forma de adhesión de las raíces a la planta de yuca

Variedad	Distribución de la Raíz	Forma de la Raíz	Forma de adhesión de la raíz al tallo
Criolla	Arracimadas	Cilíndricas	Pedúnculo largo
Sabanera	Arracimadas	Cónicas	Pedúnculo corto
Esmeralda	Arracimadas	Cónicas	Pedúnculo corto
Colecta 1	Arracimadas	Cónicas	Pedúnculo corto
Colecta 2	Compactas	Cónicas	Pedúnculo largo
Colecta 3	Compactas	Cónicas	Pedúnculo largo

Grosor de raíces en (cm) inicial, media y final.

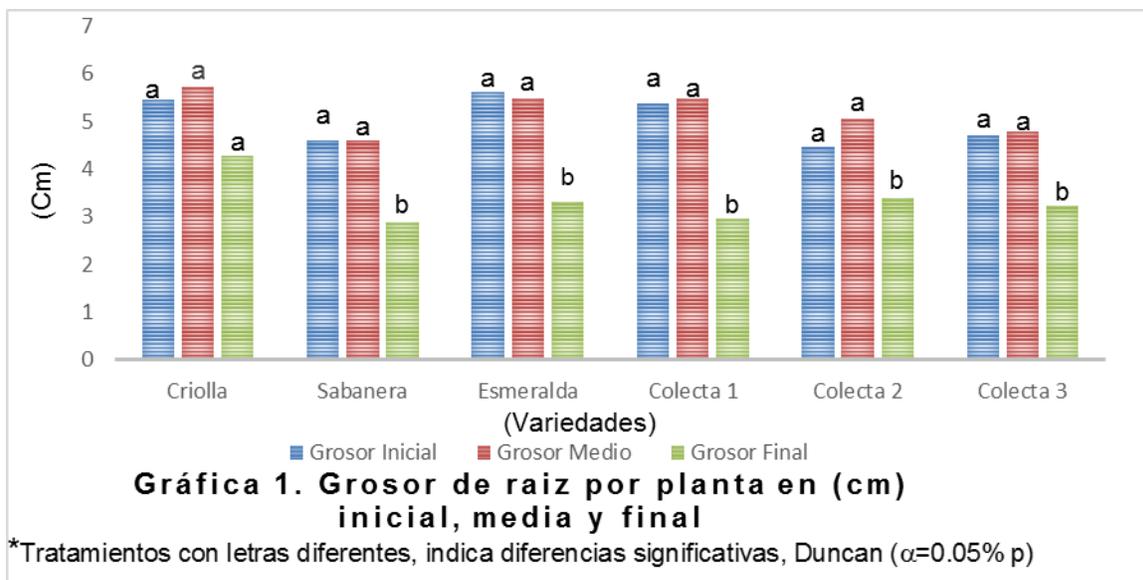
Grosor de raíces (parte inicial). El Grosor de raíz (cm). Se cuantifico el tamaño promedio de la parte inicial dejando un rango donde estaba unida al tallo, como se puede observar en la (Gráfica 1) la que destaco mayor promedio fue la Esmeralda con 5.62 cm, aunque estadísticamente iguales a la Criolla con 5.46 cm, seguido de la Col. 1 con 5.38 cm, Col. 3 con 4.72 cm, Sabanera con 4.60 cm y la Col. 2 con 4.48 cm. (Duncan $\alpha = 0.05$ % p.).

Grosor de raíces (parte media). El Grosor de raíz (cm) los resultados se presentan en la (Gráfica 1), los promedios del grosor de la parte media de las raíces obtenida en la Criolla presento el mayor promedio con 5.73 cm, seguido por la Col. 1 con 5.48 cm, la Esmeralda con 5.48 cm, la Col. 2 con 5.05 cm, la Col. 3 con 4.78 cm y la Sabanera con 4.61 cm. El análisis estadístico no mostró diferencias entre la comparación de medias de tratamientos (Duncan $\alpha = 0.05$ % p). Como se puede observar en esta variable el rango estuvo dentro de 4.61 a 5.73 cm de grosor de raíz, valores por debajo poco menos del 100% con respecto a lo reportado por Cock, (1991), que menciona un promedio mucho mayor (10 cm de diámetro) de las raíces de los resultados obtenidos en este estudio, lo anterior se probablemente pudiera estar asociado a la menor precipitación histórica durante el ciclo del cultivo.

Grosor de raíces (parte final). Para obtener la medición del grosor de las raíces se obtuvo en centímetro (cm) los resultados se presentan en la (Gráfica 1) la que obtuvo mayor promedio fue la Criolla con 4.29 cm, fue estadísticamente superior a los tratamientos en el siguiente orden la Col. 2 con 3.41 cm, aunque estadísticamente iguales que la Esmeralda con 3.31 cm, seguido por la Col. 3 con 3.24 cm, y con menor promedio están la Col. 1 con 2.98 cm y la Sabanera con 2.90 cm. (Duncan $\alpha = 0.05$ % p.).

Longitud de las raíces. Se cuantifico el tamaño promedio a lo largo de la parte, inicial donde se unía al tallo, hasta la parte final (parte fibrosa). Aunque se observaron tendencias de mayor longitud de la variedad Esmeralda con 38.85 cm, por 29.76 cm de la Col. 1, que fue el menor promedio, dentro de este rango estuvieron los tratamientos estudiados, como la Criolla que proporciono 35.37 cm de longitud, seguida por la Sabanera con 34.51 cm, la Col. 2 con 32.95 cm y la Col. 3 con 31.83 cm de longitud de raíz. Sin diferencias estadísticas entre tratamientos (Duncan $\alpha = 0.05$ % p.).

Las características de las raíces de yuca evaluadas se encuentran dentro de las reportadas en otros lugares bajo condiciones diferentes por lo que pudieran ser una opción para validarlas bajo condiciones de suelos en los municipios productores de yuca en Tabasco.



CONCLUSIONES

El color de las raíces de la peridermis la Criolla, Sabanera, Esmeralda y la Col. 2 el color que predominó fue el café claro, en tanto en las Col.1 y Col. 3 fue el color café oscuro. El color de la corteza, el tono fue “rosado bajo” en la Criolla y Sabanera, en la Col. 2, Col. 3 fue el color rosado, Esmeralda el color crema y en Col. 1 el blanco. El color de la pulpa el tono que más predominó fue el “blanco” por las variedades, Criolla, Esmeralda, Col. 1, Col. 2 y Col. 3 y la Sabanera presentó un color amarillento. La distribución de las raíces fue arracimada en la Criolla, Sabanera, Esmeralda, y la Col. 1 en tanto que las Col. 2 y Col. 3 fue distribución compacta respectivamente. La forma de la raíz predominó la cónica en la Sabanera, Esmeralda, Col. 1, Col. 2 y Col. 3 y a la Criolla fue cilíndrica. La adhesión de las raíces al tallo predominó, con pedúnculo largo la Criolla, Col. 2, Col. 3 y a la Sabanera, Esmeralda y a la Col. 3 con pedúnculo cortó. El grosor de raíz inicial fue la Esmeralda 5.62 cm, y la menor con 4.48 cm de la Col. 2 sin diferencia estadística. La parte media del grosor de la raíz el promedio fue 5.73 a 4.61 de la Criolla y la Sabanera respectivamente, no mostraron diferencias significativas. El grosor final de raíz, varió de 4.29 a 2.90 cm de la Criolla y la Sabanera respectivamente con diferencias estadísticas significativas. En la longitud de raíz no presentaron diferencias estadísticas entre el mayor de Esmeralda 38.85 cm y la menor longitud Col. 31.83 cm.

LITERATURA CITADA

- Barrón F. S. (2016). Estación meteorológica del C. E. Huimanguillo del INIFAP.
- Castillo J. J., Ogura M., Quintero F. (1982). Vacuum drying: a fast and reliable SEM processing method to study starch grain clusters and morphology in fresh edible tropical roots and tubers. In 10th International Congress of Electron Microscopy, Hamburgo, Alemania. V. 3, p. 507-508.
- Castillo J.J., Castillo A., Pino LT. (1996). Notas sobre histología foliar y radical de la yuca. En Montaldo A (ed.). La yuca frente al hambre del mundo tropical. Universidad Central de Venezuela, Caracas. 570 p.
- Ceballos H., y De la Cruz (2002). Taxonomía y morfología de la yuca. En: Ceballos H., y Ospina B. La yuca en el tercer milenio. Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización. CIAT. Cali, Colombia. p. 26–58.
- Cock J. H., y El-Saharkawy M.A. (1991). Características fisiológicas para la selección de yuca. En: Hershey C.H., (Ed.) (1991). CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical) Mejoramiento Genético en América Latina. Cali, Colombia. P. xvi, (256-265).
- Cock J. H. (1989). *Cassava*. New potential for a neglected crop. Westview Press, Boulder, Co.
- SIAP.SAGARPA (2018). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesca-Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. En: <http://www.siap.sagarpa.gob.mx> (consultado el Junio de Agosto de 2014).

- Fakuda, W. M. G., Guevara, C. L., Kawuki, R., & Ferguson, M. E. (2001). Selected morphological and agronomic descriptors for the characterization of cassava. IITA.
- FAOSTAT. (2018). Base de datos de cultivos agrícolas. Roma, Italia. (fuente: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC/visualize> (Consultado, 14 junio de 2018)).
- INIFAP. (2018). Paquete Tecnológico para Producción de Yuca. Campo Experimental Huimanguillo. SAGARPA. p. 2
- Martin A.N. Anikwe y Ejike E. Ikenganyia. (2018). Ecophysiology and Production Principles of Cassava (Manihot species) in Southeastern Nigeria. In: Viduranga Waisundara (Ed.) Cassava. Intechopen, p. 105
- Montoya H. S. (2007). Industrialización de la yuca, obtención de almidón nativo y sus aplicaciones. Tecnología en Alimentos Universidad del Valle. (Internet 1 sep 2015).
- Meneses, M. I., Rodríguez, C.M. y Rosas G.X. (2013). Mantenimiento de germoplasma de yuca en resguardo en Veracruz; Colecta de materiales en el estado de Chiapas en: Proyecto, "Aprovechamiento e impulso al cultivo de la yuca en el sureste de México". Informe final de proyecto: INIFAP, SAGARPA, SNICS-SINAREFI, COFUPRO.
- Rodríguez C. M. (1987). Evaluación de arreglos topológicos y maquinaria agrícola para la cosecha mecanizada de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en Huimanguillo Tabasco. Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Estudios Superiores Cuautitlan. Tesis de licenciatura 127 p
- Polanco, D. (1998). Caracterización morfológica, isoenzimática, contenido de cianuro y almidón en el banco de germoplasma in vivo de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) de la Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela. Tesis profesional. Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela. 99 p

**CONTRIBUCIÓN AL CONOCIMIENTO DEL GUSANO BARRENADOR DE LA CALABAZA
CHIGUA *Cucurbita argyrosperma* Huber EN HUIMANGUILLO, TABASCO**
CONTRIBUTION TO THE KNOWLEDGE OF THE PICKLEWORM *Diaphania hyalinata* L. ANF *D.
nitidalis* Stoll OF CHIGUA SQUASH *Cucurbita argyrosperma* Huber IN HUIMANGUILLO, TABASCO

¹Ramírez-Guillermo MA, ¹Barrón Freyre S, ²Hernández-Gómez E, ³López-Domínguez I, ³De los Santos-Ricardez BL

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)-Campo Experimental Huimanguillo. km 1 carretera Huimanguillo-Cárdenas, Huimanguillo, Tabasco, México. C.P. 86400.

²INIFAP Campo Experimental Centro de Chiapas, km 3 carretera Ocozocuautila-Cintalapa, Ocozocuautila de Espinoza, Chiapas, México.

³Laboratorio de Fitopatología y Entomología, INIFAP-Campo Experimental Huimanguillo, Tabasco.
Autor para correspondencia: ramirez.miguel@inifap.gob.mx

RESUMEN

Las especies del género cucurbitácea son parte del alimento básico en los pueblos del trópico y subtropico. Los hongos, bacterias, virus e insectos limitan su producción. La finalidad del estudio es contribuir con conocimientos sobre el barrenador que afecta y limita la producción de *Cucurbita argyrosperma* Huber, el cultivo es una alternativa importante en la generación de ingreso para los pequeños productores. Para ello se monitoreó semanalmente una plantación de *C. argyrosperma* establecido en el Campo Experimental Huimanguillo. Se colectaron larvas que se mantuvieron en cámara de cría hasta obtener el imago. Los adultos fueron tratados para su identificación, encontrándose las especies *Diaphania hyalinata* Linnaeus (Insecta: Lepidoptera: Crambidae) y *Diaphania nitidalis* Stoll (Insecta: Lepidoptera: Crambidae), los cuales en sus etapas larvales realizan los mayores daños al cultivo. El conocimiento generado sobre el barrenador de *C. argyrosperma* permitirá su reconocimiento e identificación del insecto en campo, así como estrategias de control del insecto.

Palabras clave: *Pyralidae*, *Diaphania*, *hyalinata*, *nitidalis*, *trópico*, *pipian*, *chigua*

INTRODUCCIÓN

Se conocen más de 120 géneros y 800 especies de cucurbitácea y las de mayor importancia económica: *Cucumis melo* L., *C. sativus* L., *Citrullus lanatu* (Thumb.) Mat y Nak, y *Cucurbita* spp. (Robinson y Decker-Walters, 1997; Teppner, 2004). El centro de origen y diversidad del genero *cucurbita* ocurrió en Mesoamérica, en donde se domestico *Cucurbita argyrosperma* subsp *argyrosperma* hace más de 8,900 años en la región del Balsas-Jalisco, México, actualmente está cucurbitácea es una fuente de alimento en Latinoamérica (Sanjur *et al.*, 2002; Ceron *et al.*, 2010; Ireta-Paredes *et al.*, 2018; Priori *et al.*, 2018).

La producción de calabazas durante el periodo 2009 a 2013 la lideraron China e India con el 48% de la producción mundial, con una superficie de 863 283 ha, México ocupó el sexto lugar en producción, con una superficie cosechada de 32 337 ha (FAO, 2016). En México, en el año 2009, se estableció 23, 356 ha de *C. argyrosperma* en la etapa de lluvias y sequía.

Durante el 2001, en el estado de Tabasco, se establecieron 2, 865 ha de *C. argyrosperma*. El cual ascendió durante el 2009 a 5,121 ha, para el 2014 se establecieron 5,827 ha y se cosecharon sólo 2, 449 ha con un rendimiento de 668 toneladas en beneficio de 2000 productores. El municipio de Balancán cuenta con la mayor superficie (4965 ha), seguido de Tenosique (845 ha) y el resto de la superficie se encuentra en Jonuta y Emiliano Zapata (INEGI, 2015). A nivel nacional *C. argyrosperma* presentó una tasa de crecimiento, media anual de 28 %, pasó de 3 200 a 12 000 ha (Ireta-Paredes *et al.*, 2018).

A nivel mundial las bacterias, virus y hongos atacan a las cucurbitáceas. Así como plagas entre ellas *Diaphania* spp y *Bactrocera cucurbitae* (Coquillet) (Capinera, 2000). En México, el cultivo es afectado por plagas (gusano barrenador) y enfermedades en el follaje que se agravan debido a la falta de experiencia en el control fitosanitario. Para el 2010 el cultivo se vio afectado por inundaciones y alta incidencia de plagas. Durante el años del 2014, las plagas y enfermedades afectaron hasta un 75% de la producción.

Diaphania hyalinata (Linnaeus) y *D. nitidalis* (Stoll) (Lepidoptera: Pyralidae) son insectos conocidos como gusanos barrenadores de las cucurbitáceas, difundidos ampliamente en América (Metcalf y Flint, 1966), considerándose plagas de importancia económica. Las larvas tienen hábitos alimenticios sobre tallos, yemas terminales, flores y frutos. De acuerdo a sus preferencias las larvas de *D. hyalinata* tienen gusto por las yemas y *D. nitidalis* por las flores. Muñoz *et al.*, (1981) indican que Walsh y Riley en 1869 realizaron el primer reporte de *D. nitidalis* como plaga en cultivo de pepino (*Cucumis sativus*) y Glover en 1871 encontró larvas en frutos de calabaza en los Estados Unidos de Norte América. Posteriormente Wolcott en 1948, reportó las dos especies como plaga de importancia en cucurbitáceas de Puerto Rico. En México se ha reportado la presencia de *D. hyalinata* y *D. nitidalis* afectando *C. sativus*, *C. moschata*, *C. mixta*, *C. melo* L. y *Citrullus lanatus* (Reid y Cuthbert, 1956; Letourneau, 1987; Marín *et al.*, 1995; Letourneau, 1997; Cano y Espinoza, 2002).

MATERIALES Y MÉTODOS

El cultivo de *C. argyrosperma* se estableció en el ciclo Otoño-invierno 2017-2018, en las instalaciones del Campo Experimental Huimanguillo, CEHUI-Tabasco, entre las coordenadas 15Q 0458027 y UTM 1973625 y altitud de 22 m. El suelo se clasifica como Fluvisol éutrico, de textura franco arenosa, pH de 7.9, bajo contenido de materia orgánica (1.6%) y de nitrógeno aprovechable (17.6 ppm de NH₄ + NO₃), el fósforo presente es de 14 ppm y el de potasio 0.30 me/100. Las condiciones agrometeorológicas del sitio es un clima cálido húmedo con abundantes lluvias en verano (Am), una precipitación promedio anual de 2,032 a 2,500 mm y temperatura promedio de 26.3°C. La preparación del suelo se inició en diciembre del 2017 con un chapeo mecánico y dos de rastra para incorporar los residuos orgánicos de la cosecha anterior. La siembra se realizó a partir del 08 de enero de forma manual, depositando cuatro semillas, a los 8 días después de la siembra se efectuó el raleo dejando únicamente dos plantas y así obtener una densidad de 6,665 plantas por hectárea, con un arreglo de establecimiento de 2.40 x 1.25 m entre hileras y plantas, respectivamente.

En la fase de campo: semanalmente por las mañanas durante cuatro meses (enero-abril 2018) se realizaron colecta directa de especímenes que se encontraban en las plantas. Las larvas colectadas fueron criadas en el Laboratorio del CEHUI hasta obtener la pupa y el adulto. Las larvas fueron depositadas cada una en frascos, que se cubrieron con una tela de malla fina para permitir la entrada de aire, diariamente se alimentaron con hojas de *C. argyrosperma* hasta el inicio de la fase de pupa. La determinación de las larvas se realizó de acuerdo a Solís, (2006); Capinera, (2017a); Capinera, (2017b). El montaje de los adultos se realizó de acuerdo a las recomendaciones de Márquez, (2005), Murillo-Hiller y Lezama, (2008) y Andrade *et al.*, (2013). Para la identificación de los especímenes de la familia Crambidae: Pyraustinae se consultó las descripciones realizadas por Cramer, (1782), Ingunza, (1963), Clavijo, (1990), Clavijo, *et al.*, (1995), Vargas *et al.*, (1999), Arias y Clavijo, (2001).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los insectos observados y colectados atacando estructuras vegetativas de Chihua (*Cucurbita argyrosperma* Huber) se clasificaron en: Orden: Lepidoptera, Familia: Crambidae, Subfamilia: Pyraustinae, Género: *Diaphania*.

Identificándose dos especies presentes en el cultivo establecido en el CEHUI-Huimanguillo, Tabasco.

Diaphania hyalinata (Linnaeus, 1767) alimentándose de las hojas (Figura 1a).

Diaphania nitidalis (Stoll, 1781) presente en flores (Figura 2a).

El insecto-plaga es conocido como gusano barrenador de la Chihua. Afecta los cultivos establecidos en los municipios de Balancán, Tenosique y Emiliano Zapata, así como de su presencia en los municipios de Comalcalco, Huimanguillo y Nacajuca, Tabasco, México. Saunders *et al.*, (1998) indican que ambas especies de *Diaphania* se encuentran distribuidas desde Canadá hasta América del Sur y el Caribe y la familia de las Cucurbitaceae son sus hospedantes. De acuerdo a Clavijo (1990) en México se ha reportado la presencia de 12 especies de *Diaphania*.

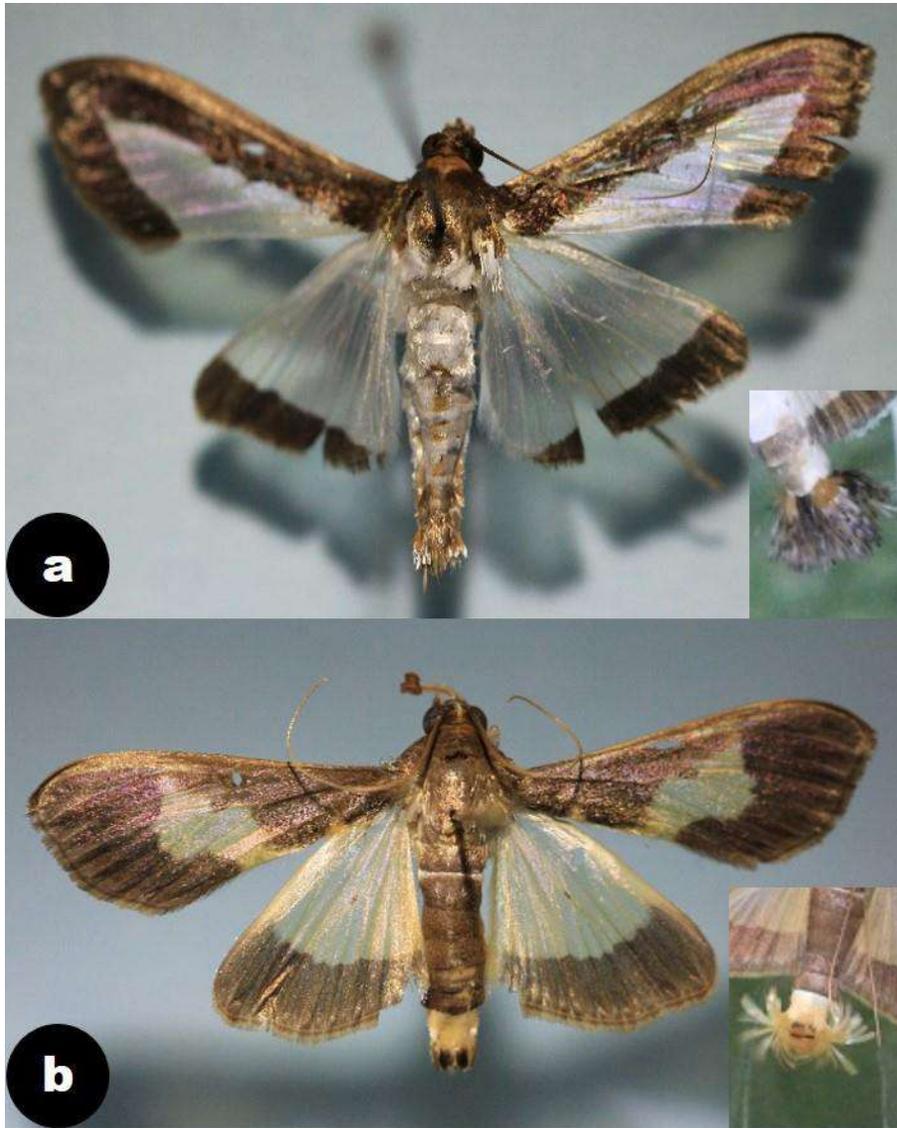


Figura 1. Adultos del barrenador de la Chihuahua. a) *Diaphania hyalinata* (Linnaeus, 1767), b) *Diaphania nitidalis* (Stoll, 1781).

Características morfológicas

Larva:

***D. hyalinata*:** Se capturó un total de cinco larvas en la etapa de colecta. Unas se localizaban alimentándose sobre las hojas y otras se encontraban protegidas dentro de una capa de seda, en el envés de la hoja (Figura 2a). En promedio, las larvas medían 20.49 mm de largo y 2.25 mm ancho, de color verde-olivo claro con dos líneas blancas subdorsales a lo largo del cuerpo (Figura 2b). Las larvas continuaron su desarrollo y comenzó a notarse cambios (dos días después de la captura), deteniéndose su crecimiento y alcanzando en promedio 17.57 mm de largo y 4.54 mm de ancho. De acuerdo a Capinera, (2017a), las larvas colectadas se encontraban en el quinto estadio larval, caracterizándose por las dos líneas blancas subdorsales a lo largo del cuerpo. Saunders *et al*, (1998) indican que las larvas pasan por cinco estadios, con una duración total de 14 a 21 días; el quinto estadio tiene una duración de cinco días; esto explica el corto tiempo que las larvas se alimentaron en cautiverio y pasaron a la etapa de prepupa.

***D. nitidalis*:** no se tiene información.

Prepupa y pupa:

***D. hyalinata*:** durante la fase de prepupa se notó la pérdida del color verde-olivo de la larva y el inicio del hilado de seda del cocón pupal para su protección (Figura 2c). Posteriormente la fase de pupa, la larva sufre una transformación y se envuelve con una capa quitinosa, tornándose de un color café oscuro-marrón, llegando a medir 15.45 mm de largo y 4 mm de grosor (Figura 2d). La duración de la fase de prepupa-pupas hasta que emerge la mariposa fue en promedio de 4 días (Figura 1a).

***D. nitidalis*:** la pupa colectada se encontraba en cocón pupal, en el pedicelo de la flor de *C. argyrosperma*, la pupa presentaba una coloración café oscuro de 16.6 mm de largo y 3.79 mm de grosor. El periodo de la pupa hasta que emergió la mariposa fue de ocho días (Figura 1c). Por su parte De Ingunza, (1963) observó en Perú, un máximo de 9 días en meses de verano y de 10 a 22 días en otoño.

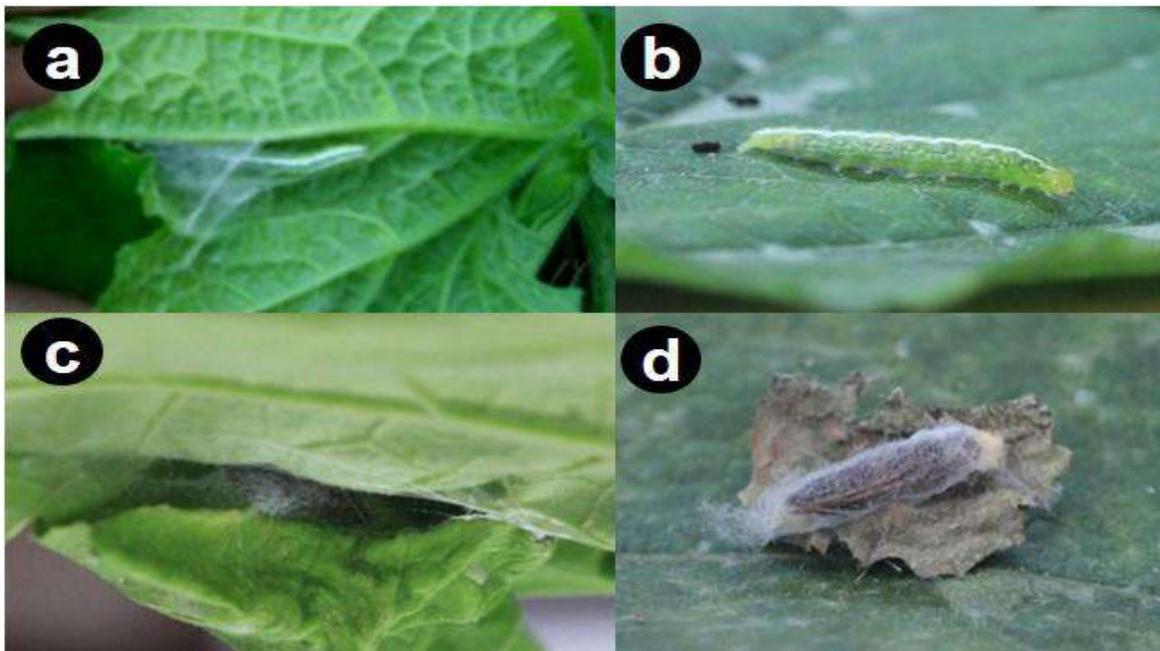


Figura 2 Desarrollo de la larva a pupa de *D. hyalinata*; a) larva en el envés de la hoja, b) larva en quinto estadio, c) cocón en el envés de la hoja, d) pupa.

Adulto:

***D. hyalinata*,** el adulto mostró una extensión alar total de 30.70 mm y un largo del cuerpo de 15.09 mm. Las alas anteriores son de color blanco con un borde castaño oscuro sobre el margen costal y exterior; las alas posteriores presentan la misma coloración, sólo que la banda oscura se encuentra en el margen externo (Figura 1a). La cabeza y el tórax están cubiertos de escamas del color del borde de las alas. El abdomen está cubierto de escamas blancas, en el extremo posterior la escama es parda y forman un penacho (Figura 1a). La descripción morfológica del adulto coincide con lo reportado por Cramer, (1782), Clavijo (1990), Clavijo, *et al.*, (1995), Vargas *et al.*, (1999), Arias y Clavijo, (2001). Es importante tener cuidado debido a que esta especie es parecido a *D. indica* (Saunders, 1851) por lo similar del diseño alar (Bertorelli y Clavijo, 1995; Arcaya *et al.*, 2004). Panthi *et al.* 2017 indican que *D. hyalinata* tiene una relación positiva entre la temperatura y la abundancia de larvas sobre las hojas; a temperaturas de 15 a 20°C menor cantidad de larvas, incrementando en número cuando las temperaturas ascienden a 24-26°C, con mayor abundancia en agosto y septiembre. *D. hyalinata* se encuentra adaptado a las condiciones tropicales (King y Saunders, 1984) y se encuentra desde el nivel del mar hasta los 2,400 m (Arias y Clavijo, 2001)

***D. nitidalis*:** el adulto llegó a contar con una extensión alar de 24.95 mm y el largo del cuerpo fue de 11.45 mm. El ala anterior cuenta con una coloración amarillenta irregular que no llega al margen costal y castaño. Cara dorsal del abdomen completamente castaño, estas descripciones coinciden con lo reportado por Ingunza, (1963), Clavijo, (1990), Clavijo, *et al.*, (1995), Arias y Clavijo, (2001). El ciclo de vida de *D. nitidalis* es de 39 días, bajo condiciones de temperatura de 19°C-32.2°C y humedad relativa

de 39 a 73 % (Godínez, 1984) y puede encontrarse hasta los 1,800 m (Arias y Clavijo, 2001). Las larvas en estaciones con temperatura alta muestran ser más activa al alimentarse, contrario cuando las temperaturas son bajas (Ingunza, 1963). *D. nitidalis* afecta las guías y frutos de *Cucumis melo* L. y *C. sativu* L., en el presente estudio el insecto se colectó en el pedicelo de la flor de *C. argyrosperma*.

Estudios realizados en el estado de Tabasco, México indican que la mayor afectación de *D. hyalinata* procede en monocultivos de *C. moschata* y *C. mixta* a diferencia de los policultivos, así mismo se reporta la presencia de *D. nitidalis* (Letourneau, 1987; Letourneau, 1997). Marín *et al.*, (1995) observaron afectaciones de *Diaphania* spp en cultivo de *Cucumis sativus* L. durante el desarrollo vegetativo, floración y fructificación. Una actividad importante es la eliminación de malezas que puedan existir dentro o alrededor del cultivo de *C. argyrosperma*, ya que algunas pueden actuar como hospederas; *Momordica charantia*, *Luffa* sp., *Melothria* sp., *Cucumis* sp. y *Rytidostylis gracilis* (Lastres, 2004).

Condiciones climáticas del trópico húmedo de Tabasco

El trópico húmedo de Tabasco se caracteriza por temperaturas elevadas, cuya media al año es de 27 °C, la máxima se registra, en mayo, con un valor medio de 36°C, llegando a 42°C como el más caluroso, en tanto que la media más baja, es de 18.5°C se presenta en enero. Los nortes, producen mínimas extremas que van de los 12°C a los 15°C. La precipitación promedio estatal es de 2,550 mm anuales, causando humedad relativa que fluctúa entre 80% y 86%.

En el Estado las lluvias que ocurren a lo largo del año, se clasifican en temporal, nortes y secas.

El temporal (junio a septiembre), lluvias que en general son de corta duración, pero intensas, se da una disminución importante del brillo solar (540 horas totales). Las precipitaciones pueden ser de 300 mm en junio y un máximo de 500 mm en septiembre. Durante este periodo ocurre el fenómeno de la “canícula” o sequía intraestival (15 de julio al 15 de agosto).

Los nortes (octubre a febrero) se caracterizan por lluvias con dirección norte-sur, con mayor frecuencia en los meses de noviembre, diciembre y enero y escasamente en los meses de febrero y marzo. En esta época las precipitaciones son de poca intensidad, pero prolongadas (en ocasiones más de 8 días) y nublados permanentes, alta humedad relativa (más de 75%), temperaturas medias entre los 21 y 18°C y mínimas de 15 a 18°C. El brillo solar se reduce drásticamente al igual que la evapotranspiración. Cerca del litoral costero y hacia el oriente del Estado las precipitaciones son menores a 1500 mm al año incrementándose hacia la zona central de la entidad hasta 2000 mm al año y alcanzando su máximo en la zona sur en donde las masas de aire se condensan al elevarse sobre el declive norte de las montañas chiapanecas con registros superiores a los 4000 mm al año. Cabe resaltar que cualquier lluvia superior a los 50 mm en 24 horas, es clasificada de carácter torrencial, dado que ocasiona problemas de inundación.

La seca (marzo a mayo), se caracteriza por altas temperaturas, ausencia de nubosidad, alto brillo solar (594 horas totales), descenso drástico de las lluvias y una elevada evaporación (363 mm totales); ocurren también vientos cálidos del sur y sureste, conocidos localmente como “sures” (hasta de 40 kph).

Las condiciones ambientales del Estado son propicios para el desarrollo del barrenador y causar daños al cultivo de *C. argyrosperma*, afectando la economía del productor.

Méndez, (2003) encontró que *D. hyalinata* se desarrolla a temperaturas de 26.5 a 28.1°C y humedad relativa de 78.5 a 83% en la provincia de las Tunas, Cuba; por su parte Panthi *et al.* (2017) observaron en el cultivo de calabaza de Florida que la densidad poblacional de larvas de *D. hyalinata* es relativamente baja a temperaturas de 15-20°C y alta cuando la temperatura es de 24-26°C. En el presente estudio las larvas afectaron al cultivo a partir de la presencia de las primeras Hv (Cuadro 1), aunque la población de larvas fue baja en el cultivo, se puede notar que estas toleran temperaturas superiores a los 26°C (Cuadro 1), ya que a partir de la etapa de Hv a PF el rango de temperaturas de acuerdo a los días transcurridos fue de 35°C máximo y 18°C como mínimo (Cuadro 1). En nuestro caso, las larvas colectadas en campo y llevadas al laboratorio, duraron de uno a dos días con alimentación y posteriormente pasaron a la etapa de prepupa y pupa hasta obtener el adulto, durante este tiempo la temperatura del laboratorio fue variable de 27°C a 31°C. Observaciones realizadas por Martínez y Lindo (1987) bajo condiciones de laboratorio a temperatura de 27.5°C y humedad relativa de 82% lograron que larvas de *D. hyalinata* se desarrollaran hasta obtener el adulto; en tanto que Godínez (1984) indica que larvas *D. nitidalis* se desarrollan a temperaturas de 19 a 32.2°C bajo condiciones de laboratorio y obtuvo a los adultos. Ingunza (1963) indica que la temperatura es un factor de importancia en el ciclo biológico de *Diaphania*, las temperaturas bajas pueden causar bajo

desarrollo del insecto, la humedad es otro factor importante, una deshidratación severa de la pupa, tiene efectos irreversibles, deformación o muerte del adulto. Las larvas, pupas e insectos no toleran la alta luminosidad.

Cuadro 1. Desarrollo fenológico de *C. argyrosperma* y presencia de *Diaphania*.

Meses	Enero					Febrero			Marzo		Abril
Condición climática	Nortes								Seca		
Temperatura (°C)	34 – 13					36 – 18			40 – 20		39 – 16
Max/Min al mes											
Precipitación (mm) acumulada al mes	281.7					133.1			7.5		116.5
Fenología de <i>C. argyrosperma</i>	S	G	D	Hv		DGZ	PD	FL	PF		C
Días transcurrido	0	9	11	16	19	25	33	45	54	76	92
Temperatura (°C)	29/15	27/14	23/16	32/21	29/18	27/18	32/21	35/22	33/22	35/20	38/23
Precipitación (mm)	0	0	0	7.0	0	0	51.6	0	0	0	0
Presencia de larvas de <i>Diaphania</i>					*		*			*	

Nota: S: siembra, G: germinación, D: desarrollo de la planta, Hv: hojas verdaderas (3 hojas por planta), DGZ: desarrollo de guías y zarcillos, PD: planta desarrollada completamente, FL: floración, PF: presencia de frutos, C: cosecha de frutos.

CONCLUSIONES

El cultivo de la calabaza pipian o chihua (*Cucurbita argyrosperma* Huber) es de importancia económica y fuente de ingresos para los productores de este cultivo en el estado de Tabasco.

Las principales especies de fitófagos que son factores limitantes del cultivo corresponden al género *Diaphania*.

Se identificaron dos especies de gusano barrenador en el cultivo de *C. argyrosperma*, *D. hyalinata* que se alimenta de las hojas y *D. nitidalis* afecta a las flores.

LITERATURA CITADA

- Arely R. Ireta-Paredes¹, Ponciano Pérez-Hernández², Jaime Bautista-Ortega*¹, E. Lizeth Rosas-Herrera³. 2018. Análisis de la red de valor calabaza chihua (*Cucurbita argyrosperma* Huber) en Campeche, México. *Agrociencia* 52: 151-167.
- Andrade C., M.G., E.R. Henao-Bañol, P. Triviño. 2013. Técnicas y procesamiento para la recolección, preservación y montaje de Mariposas en estudios de biodiversidad y conservación. (*Lepidoptera: Hesperioidea – Papilionoidea*) *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 37 (144): 311-325.
- Arcaya S, E., F. Díaz B. y R. Paz L. 2004. Primer registro de *Diaphania indica* (Saunders, 1851) (*Lepidoptera: Crambidae*) en el cultivo de pepino en Venezuela. *Bioagro* 16 (1): 73-74.
- Arias C, Q. y J. Clavijo. 2001. Clave pictórica de las especies de *Diaphania* Hübner, 1818 (*Lepidoptera: Crambidae*) de Venezuela. *Entomotropica* 16(1):1-13.
- Bertorelli O, M. V. y J. A. Clavijo A. 1995. *Diaphania indica* (Saunders) (*Lepidoptera: Crambidae*): Plaga en una plantación comercial de melon, *Cucumis melo* L., en el Estado Anzoátegui, Venezuela. *Agronomía Tropical* 46(2):233-235.
- Capinera, J. L. 2017a. Melonworm, *Diaphania hyalinata* Linnaeus (*Insecta: Lepidoptera: Crambidae*). EENY163, Department of Entomology and Nematology, UF/IFAS Extension. 4p. <http://edis.ifas.ufl.edu>
- Capinera, J. L. 2017b. Pickleworm, *Diaphania nitidalis* (Stoll) (*Insecta: Lepidoptera: Crambidae*). EENY164, Department of Entomology and Nematology, UF/IFAS Extension. 5p. <http://edis.ifas.ufl.edu>.
- Cerón G, L., J. P. Legaria S., C. Villanueva V. y J. Sahagún C. 2010. Diversidad genética en cuatro especies mexicanas de calabaza (*Cucurbita* spp.) *Rev. Fitotec. Mex.* 33 (3): 189-196.
- Cano R. P. y J. J. Espinoza A. 2002. Melón: generalidades de su producción. Libro Tec. No. 4. SAGARPA-INIFAP. 244 p.
- Clavijo A, J. E. Munroe. y Q. Arias C. 1995. El género *Diaphania* Hübner (*Lepidoptera: Crambidae*): Clave para las especies de importancia económica. *Agronomía Trop.* 45(3):347-358.
- Clavijo A, J. A. 1990. Systematics of black and white species of the genus *Diaphania* Hubner (1818) (*Lepidoptera: Pyralidae: Pyraustinae*). PhD Thesis. McGill University. Montreal, Canada. 276p.

- Cramer, P. 1782. De uitlandsche kapellen voorkomende in de drie waereld-deelen, Asia, Africa en America: Exotic butterflies. Amsteldam, Chez S. J. Baalde; 1779-1782. 248p.
- Godínez, B. G. A. 1984. Biología, dinámica y comportamiento de barrenador (*Diaphania* spp.), en melón (*Cucumis melo* L.), en el Valle de la Fragua, Guatemala. Tesis de Licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. 84p.
- Ingunza S. M. De. 1963. *Diaphania nitidalis* Stoll (Lepidop., Pyraustidae), perforador de las guías y frutos del melón y de otras Cucurbitáceas. Rev.Per. Entom. Agri. 6(1): 73-104.
- King A. B. S. y J. L. Saunders. 1984. Las Plagas Invertebradas de cultivos anuales alimenticios en America Central. Overseas Development Administration (ODA) London. 184 pp.
- Lastres De la R, M. L. 2004. Importancia de las malezas como fuentes de problemas fitosanitarios en el cultivo de melón de exportación. En IX Congreso Internacional de Manejo Integrado de Plagas. El salvador C. A. pp. 165.
- Letourneau, D. K. 1997. Plant-Arthropod interactions in agroecosystems. In: L. E. Jackson (ed) Ecology in agriculture. Academic Press. San Diego California, USA. 453p.
- Letourneau, D. K. 1987. The enemies hypothesis: Tritrophic interactions and vegetational diversity in Tropical Agroecosystems. Ecology 68: 1616-1622.
- Márquez L, J. 2005. Técnicas de colecta y preservación de insectos. Boletín Sociedad Entomológica Aragonesa, 37: 385-408.
- Marín T, M., I. Saldaña y Hernández y H. Cortes M. 1995. Entomofauna asociada al cultivo del pepino (*Cucumis sativus* L.) en el municipio del Centro, Tab. Revista Chapingo 1 (4): 89-93.
- Martínez, P.P. y E. Lindo. 1987. Ciclo biológico y comportamiento de *Diaphania hyalinata* en zapallo y melón. Rev. per. Ent. 29: 113-115.
- Méndez B., A. 2003. Algunas consideraciones sobre la biología y etología de *Diaphania hyalinata* (L.) (Lepidoptera: Pyralidae) en la zona norte de la Provincia de las Tunas. Fitosanidad 7 (4): 3-6.
- Metcalf, C. L y W. P. Flint, 1966. Insectos destructivos e insectos útiles. Sus costumbres y su control. Compañía Editorial Continental 2da. Edid. México, p 719-720. 265. p.
- Murillo-Hiller, L. R y H. J. Lezama U. 2008. Materiales y técnicas para la confección y preservación de colecciones entomológicas. II Congreso Nacional de Museos. Costa Rica. 25p.
- Muñoz J. A., N. Dugum y H. Feneitte. 1981. Presencia del gusano de la auyama (*Diaphania hyaliriata* L.) y del gusano del melón (*Diaphania nitidalis* Stoll) en la isla de Margarita. Resultados preliminares sobre su control en melón. En memoria: Seventeen annual meeting november 1981, Venezuela. Pp.312-320.
- Panthen, B. R., D. R. Seal, G. S. Nuessly y J. L. Capinera. 2017. Seasonal abundance and spatial distribution of *Diaphania hyalinata* (Lepidoptera: Crambidae) on yellow squash in South Florida. Florida Entomologist, 100(3): 647-652.
- Robinson R.W., Decker-Walters D.S., 1997. Cucurbits. CAB International, Wallingford, UK.
- Reid Jr, W. J. y F. P. Cuthbert Jr. 1956. Biology studies of the pickleworm. Journal of Economic Entomology. 49 (6): 870–873. <https://doi.org/10.1093/jee/49.6.870>
- Sanjurjo O, I., D. R. Piperno, A. Thomas C. y L. Wessel-Beaver. 2002. Phylogenetic relationships among domesticated and wild species of Cucurbita (Cucurbitaceae) inferred from a mitochondrial gene: Implications for crop plant evolution and areas of origin. PNAS. 99 (1): 535-540.
- Solis, M. A. 2006. Key to selected pyraloidea (Lepidoptera) larvae intercepted at U. S. ports of entry: Revision of Pyraloidea in "Keys to some frequently intercepted Lepidopterous larvae by Weisman 1986". USDA Systematic Entomology Laboratory. 1. <http://digitalcommons.unl.edu/systementomologyusda/1>
- Teppner H. 2004. Notes on *Lagenaria* and *Cucurbita* (Cucurbitaceae) review and new contributions. Phytion 44: 245-308.
- Vargas, H. A., D. E. Bobadilla, R. Mendozal y H. E. Vargas. 1999. *Diaphania hyalinata* (Linnaeus) (Lepidoptera: Pyralidae: Pyraustinae): nuevo registro para Arica. IDESIA 17: 135-139.
- FAO (Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2018. Estadísticas de la FAO. Producción y comercio. Información en línea. <<http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/S>> (Consulta: mayo de 2018).
- INEGI, Anuario estadístico y geográfico de Tabasco 2015. Agricultura. En: http://www.diputados.gob.mx/sedia/biblio/usieg/usieg_anu.../Tabasco/Agricultura.xls. Consultado 08 junio 2018.

Sección B: Plantaciones

CONTENIDOS DE BORO EN SUELOS DEDICADOS A COCOTERO EN EL ESTADO DE GUERRERO, MÉXICO
BORON CONTENT IN SOILS DEDICATED TO COCONUT IN THE STATE OF GUERRERO, MEXICO

¹Ramírez Silva JH, ¹Aguilar Duarte Y, ¹Ramírez Jaramillo G, ¹Cano-González A, ²Oropeza Salín CM

¹Centro de Investigación Regional Sureste (CIRSE) del INIFAP. Calle 6 Núm. 398 x 13, Avenida Correa Rachó. Col. Díaz Ordáz, C.P. 97130. Mérida Yucatán, México.

²Investigador del Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY). Calle 43 No. 130 x 32 y 34, Chuburná de Hidalgo; CP 97205, Mérida, Yucatán, México.
Autor para correspondencia: ramirez.jorge@inifap.gob.mx

RESUMEN

El Boro (B) es un micronutriente considerado esencial para el cultivo del cocotero y su contenido, en los suelos tropicales, es con frecuencia muy bajo afectando la nutrición y productividad de varios cultivos. En consideración a la importancia que tiene el incremento continuo del cultivo del coco, en Latinoamérica y otras partes del mundo, es relevante darle mayor importancia al tema de la fertilidad de los suelos donde se cultiva el cocotero. Debido a la poca atención que se ha dado, no solamente a la fertilidad edáfica sino también al caso específico del B se planteó este trabajo con el objetivo de conocer la disponibilidad del B y los rangos de suficiencia en suelos dedicados al cocotero en el estado de Guerrero. Se seleccionaron cuatro localidades de muestreo con plantaciones de cocotero en Costa Chica y Costa Grande cuyos contenidos promedio de B en ppm, a 0-30 y 30-60 cm de profundidad, fueron sometidos a un ANVA el cual indicó diferencias altamente significativas ($p=0.05$) a 0-30 cm pero no a 30-60 cm. Independientemente de los resultados estadísticos, solamente Aguas Blancas 1 (Tecpán de Galeana) con 0.31 ppm y Las Tunas (Benito Juárez) con 0.38 ppm estuvieron dentro del rango de suficiencia sugerido por Phytomonitor de 0.3 a 1.5 ppm. Sin embargo, esos contenidos, están cercanos al límite crítico del rango de suficiencia. A 30-60 cm todas las localidades mostraron tener contenidos promedio de B muy por abajo del nivel crítico. Se concluye que todos los suelos presentan deficiencias de B a 30-60 cm de profundidad y que Aguas Blancas 1 y las Tunas son localidades con mejores contenidos de B a 0-30 cm.

Palabras clave: deficiencias, micronutriente, suelos, fertilidad.

INTRODUCCIÓN

Se ha documentado, en fechas relativamente recientes, que el boro (B) es un micronutriente esencial para el normal desarrollo y crecimiento de las plantas. El descubrimiento de su esencialidad se le atribuye principalmente a Warington (1923) y Somer y Lipman (1926). Sin embargo, los rangos, en el suelo, que podrían causar deficiencias y toxicidades a los cultivos es más estrecho que cualquier otro elemento esencial. Adicionalmente, se ha documentado que mientras el contenido de B en el suelo puede ser normal para un determinado tipo de planta, para otra puede resultar tóxico o deficiente (Malavé-Acuña, 2005).

Este elemento es considerado un micronutriente que con frecuencia se encuentra a bajos niveles en los suelos tropicales afectando la nutrición y productividad de varios cultivos, entre ellos la palma de coco. En consideración a la importancia que tiene el crecimiento continuo del cultivo del coco en Latinoamérica y otras partes del mundo, es menester darle mayor importancia a un tema que ha recibido poca atención como la fertilidad de los suelos y la nutrición del cultivo.

Por otra parte, una preocupación sentida sobre la actividad coprera, en el estado de Guerrero, es que a pesar de que existe una demanda mundial creciente de productos y subproductos del cocotero, sus plantaciones son muy viejas y la productividad viene a la baja; por lo que tienen como estrategia sustituir sus plantaciones con planta nueva, no sin antes seleccionar las zonas con mayor potencial productivo y estudiar la fertilidad de los suelos incluyendo al micronutriente Boro cuyas deficiencias han sido documentadas en otras regiones del mundo como es el caso del estado de Rio de Janeiro Brasil (Mirisola Filho, 1997).

En México se han observado deficiencias de B en algunas zonas edafológicas del estado de Quintana Roo y de acuerdo a comunicación personal de Matilde Cortazar Rios del Campo Experimental Chetumal del INIFAP las deficiencias son cada día mas frecuentes (Figura 1) y no debe descuidarse el monitoreo continuo de los suelos y la nutrición del cultivo.

Para el estado de Guerrero, en lo específico, el primer paso fue cuando la empresa Insumos Naturales de la Costa S. de P.R. de RL., a través del Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY) invitan al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) para realizar estudios de fertilidad de suelos debido a la pretensión de introducir, al estado, el coco Enano Verde de Brasil el cual ha demostrado tener mejores rendimientos de copra que los cultivares tradicionales.

En consideración a esto, y enfocando nuestra atención a que el B es esencial para la productividad del cocotero se realizó el primer paso para evaluar los contenidos de B en el suelo y comparar su nivel de suficiencia con lo dispuesto por la literatura.



Figura 1. Deficiencia de B en plantas de coco en el ejido Luís Echeverría, sur de Quintana Roo. Fotografía tomada por la MC. Matilde Cortazar Rios del Campo Experimental CHETUMAL del INIFAP.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el estado de Guerrero en febrero del 2015 en las regiones de Costa Chica y Costa Grande en un clima cálido-subhúmedo Aw0 (García, 1988) y precipitación media anual de 1200 mm. Se seleccionaron tres municipios y cuatro localidades (Figura 2) con plantaciones de 10 hectáreas ubicadas entre 16° 42' 45" a 17° 05' 51" Latitud Norte y de -99° 13' 08" a -100° 28' 58" Longitud Oeste.

En Costa Chica, Municipio de San Marcos, se seleccionó el predio Alto de Ventura y en Costa Grande se seleccionaron tres predios, dos en Tecpàn de Galeana: Aguas Blancas 1 y Aguas Blancas 2 y otro en el municipio de Benito Juárez, predio Las Tunas.

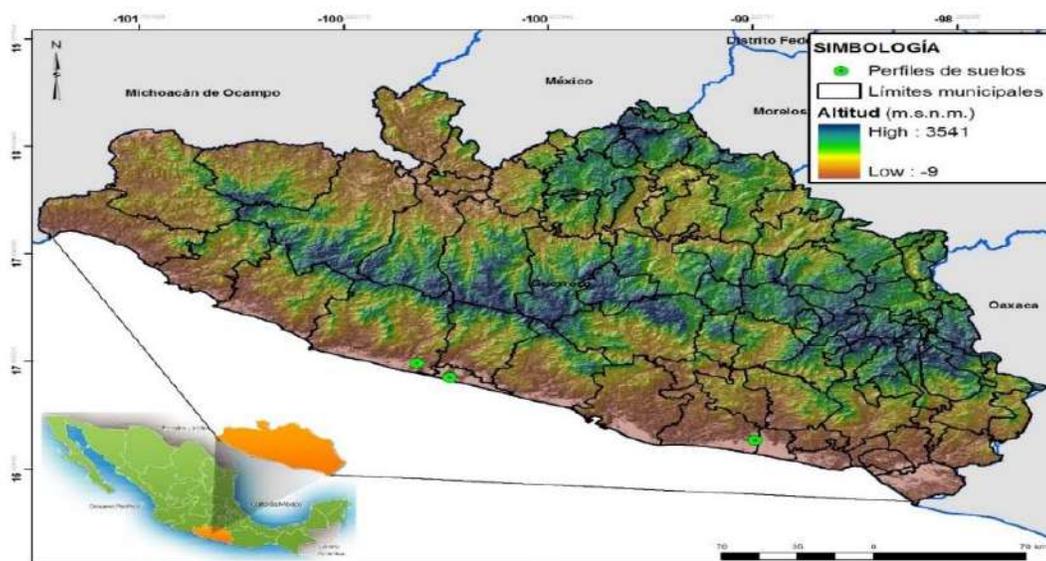


Figura 2. Ubicación geográfica de los sitios de muestreo: Altos de Ventura (1), Aguas Blancas (2) y Las Tunas (3) en el estado de Guerrero. Febrero del 2015.

Usando el Método Bidimensional Sistematizado Aleatorio (Figura 3), se tomaron muestras individuales a 0-30 y 30-60 cm de profundidad del suelo. Se consideraron 9 muestras tanto para Altos de Ventura y Las Tunas mientras que para Aguas Blancas 1 y Aguas Blancas 2 se tomaron 7 y 5 muestras individuales respectivamente. Las muestras de un kg fueron enviadas al laboratorio de suelos de la empresa Phytomonitor en el estado de Sinaloa donde se determinó el contenido de Boro (B+3), reportado en partes por millón (ppm), usando Azometina-H. Los resultados se sometieron a un Análisis de Varianza simple (0.05) usando el programa Stat Advisor, comparando medias con la prueba de Fisher.

Las localidades fueron consideradas como tratamientos y los puntos individuales de muestreo como repeticiones. Los contenidos de B (ppm) se compararon con los rangos de suficiencia (0.3-1.5 ppm) documentados por Phytomonitor, 2015.

400 Metros															
COORDENADAS Y															
33.33	66.66	99.99	133.33	166.56	199.89	232.22	266.55	299.88	333.21	366.54	400				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12				
I ₁	0			0					0			1	27.77	COORDENADAS X	250 Metros
												2	55.55		
									0				3		
I ₂			0			0						4	111.09		
											0	5	138.86		
												6	166.63		
I ₃		0			0							7	194.40		
												8	232.67		
									0			9	250.00		
I _m	n ₁			n ₂			n ₃					100,000			
	k ₁			k ₂			k ₃			k ₄		M ²			
L															

Figura 3. Ejemplo de muestreo por Método Bidimensional Sistematizado

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 4 se observan los contenidos de B a 0-30 y 30-60 cm de profundidad en la localidad de Altos de Ventura. Se aprecia la heterogeneidad química del suelo con un contenido mínimo de 0.03 ppm, un máximo de 0.38 y una media de 0.17 ppm, mientras que a 30-60 cm la mínima fue de 0.04, la máxima de 0.55 y la media de 0.20 ppm. Ambas medias, se encuentra muy por abajo del límite crítico

inferior de 0.3 ppm sugerido por Phytomonitor (2015). Otros autores, consignan que el umbral de los síntomas de deficiencia está sobre 0.7-1 ppm. Sin embargo, este valor depende, ampliamente, no solamente del cultivo sino también de la textura y pH del suelo (INFOAGRO).

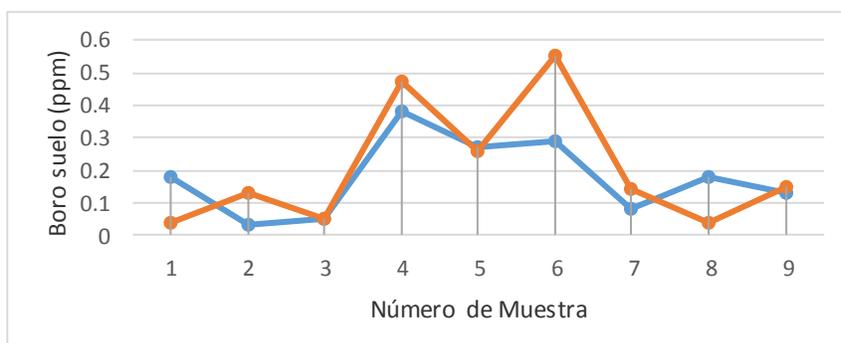


Figura 4. Contenido de B a dos profundidades del suelo en Altos de Ventura, en el Municipio de San Marcos. Costa Chica Guerrero. ■ 0-30 cm ■ 30-60 cm

En el caso de Aguas Blancas 1 (Figura 5) el contenido de B, a 0-30 cm de profundidad, fue mayor que el de Altos de Ventura con un promedio de 0.31 ppm y un valor mínimo y máximo de 0.03 y 0.53 ppm respectivamente. A esa profundidad el contenido promedio de B se encuentra en el valor mínimo del rango de suficiencia. Sin embargo, a 30-60 cm el promedio fue de 0.16 ppm. Sugiriendo que en Aguas Blancas 1 existen muchas probabilidades que el cocotero presente síntomas de deficiencia de B cuando el cocotero desarrolle raíces a mayor profundidad.



Figura 5. Contenido de B a dos profundidades del suelo en Aguas Blancas 1 en el Municipio de Tecpán de Galeana Costa Grande, Guerrero. ■ 0-30 cm ■ 30-60 cm

Por otra parte, en Aguas Blancas 2 (Figura 6) se observan promedios muy bajos de B, en ambas profundidades, con 0.19 y 0.15 ppm a 0-30 y 30-60 cm respectivamente. Siendo el contenido mas alto de 0.32 ppm encontrado, solamente, en un punto de muestreo de ambas profundidades. Esta localidad, presenta limitantes muy fuertes de B y es de esperarse que en el corto y mediano plazo se encuentren deficiencias del elemento en plantaciones nuevas.

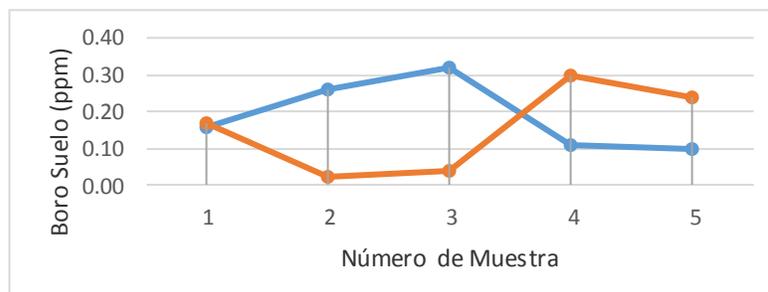


Figura 6. Contenido de B a dos profundidades del suelo en Aguas Blancas 2 en el Municipio de Tecpán de Galeana Costa Grande, Guerrero. ■ 0-30 cm ■ 30-60 cm

En referencia a los contenidos de B en Las Tunas (Figura 7) se observa en un punto específico del muestreo la concentración mas alta (0.64ppm) encontrada de este elemento, a la profundidad de 0-30 cm, en comparación a las otras localidades. Las Tunas, es a futuro, la menos propensa a mostrar deficiencias de B en nuevas plantaciones de cocotero ya que incluso obtuvo el promedio mas alto de B con 0.39 ppm seguida de Aguas Blancas 1 con 0.31 ppm. A pesar de lo anterior, todas las localidades, sin excepción, presentan deficiencias fuertes a 30-60 cm de profundidad por lo que a medida que las raíces profundicen con el tiempo se podrían observar deficiencias en todas las localidades.

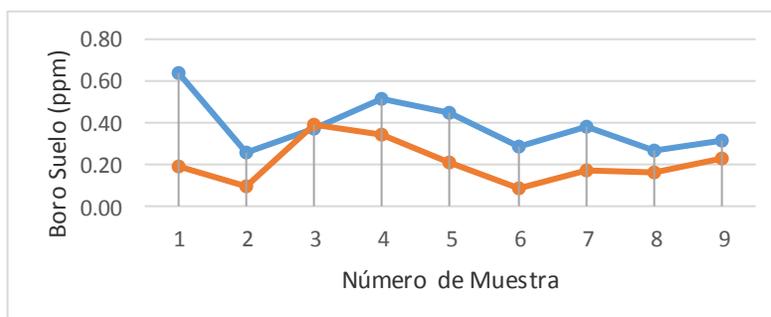


Figura 7. Contenido de B a dos profundidades del suelo en Las Tunas, Municipio de Benito Juárez. Costa Grande, Guerrero. ■ 0-30 cm ■ 30-60 cm

En el cuadro 1 y 2 se consignan los resultados del ANVA para 0-30 cm y 30-60 cm de profundidad respectivamente. Se observa que existen diferencias altamente significativas (5%) a la profundidad de 0-30 cm pero no a 30-60 cm. En cuanto a la comparación de medias, en los cuadros 3 y 4 se aprecia que a 0-30 cm existen cuatro grupos homogéneos, estadísticamente diferentes entre sí; siendo Altos de Ventura el grupo estadístico con el valor mas bajo de B y Las Tunas con el valor más alto. A 30-60 cm todos los resultados son estadísticamente iguales entre las localidades. La repercusión agronómica de esos valores en la aparición futura de deficiencias del elemento se ha discutido con anterioridad.

Cuadro 1. Análisis de Varianza para contenidos de B (ppm) a 0-30 cm de profundidad en suelos dedicados a cocotero en el estado de Guerrero. Febrero 2015.

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado Medio	F	P
Entre Localidades	0.248408	3	0.0828026	5.03	0.0070
Dentro Localidades	0.428089	26	0.016465		
Total	0.676497	29			

Cuadro 2. Análisis de Varianza para contenidos de B (ppm) a 30-60 cm de profundidad en suelos dedicados a cocotero en el estado de Guerrero. Febrero 2015.

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado Medio	F	P
Entre Localidades	0.017	3	0.00575259	0.24	0.8674

Dentro	0.622	26	0.0239311
Localidades			
Total	0.639	29	

Cuadro 3. Comparación de medias (ppm) de B a 0-30 cm de profundidad en suelos dedicados a cocotero en el estado de Guerrero. Febrero 2015

Localidades	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Altos de Ventura	9	0.17	A
Aguas Blancas-2	5	0.19	AB
Aguas Blancas-1	7	0.31	BC
Las Tunas	9	0.38	C

Cuadro 4. Comparación de medias (ppm) de B a 30-60 cm de profundidad en suelos dedicados a cocotero en el estado de Guerrero. Febrero 2015

Localidades	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Altos de Ventura	9	0.20	A
Aguas Blancas-2	5	0.15	A
Aguas Blancas-1	7	0.16	A
Las Tunas	9	0.20	A

CONCLUSIONES

1. Los contenidos de B, a 0-30 cm, de profundidad son estadísticamente diferentes entre todas las localidades, pero estadísticamente iguales a 30-60 cm.
2. Los valores promedio de B, a 0-30 cm, son mas altos en Las Tunas con 0.38 ppm seguido de Aguas Blancas 1 con 0.31 ppm indicando una menor probabilidad de que plantaciones nuevas no presenten deficiencias en las primeras etapas de crecimiento.
3. Altos de Ventura y Aguas Blancas 2 son localidades con los contenidos más bajos de B en ambas profundidades y futuras plantaciones son mas propensas a observar deficiencias.
4. Todas las localidades tienen contenidos muy bajos de B a 30-60 cm. Plantaciones futuras pueden observar deficiencias a mediano plazo al alcanzar las raíces mayor profundidad

LITERATURA CITADA

- Malavé-Acuña A. 2005. Los suelos como fuente de boro para las plantas. Revista UDO Agrícola 5(1): 10-26
- Mirisola Filho, L.A. 1997. Avaliação do estado nutricional do coqueiro anão (*Cocos nucifera* L.) na região norte Fluminense. 1997. 57p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes.
- Phytomonitor. 2015. Análisis de Fertilidad de suelos y niveles de suficiencia. Reportes de Laboratorio. Culiacán Sinaloa.
- Sommer, A. y Lipman C. 1926. Evidence of indispensable nature of zinc and boron for higher green plants. *Plant Physiol.*, 1(1):231-249
- Warrington, k. 1923. The effect of boric acid and bórax on the broad bean and certain other plants. *Ann.Bot.*, 37(1): 629-672

REFERENCIAS INFORMÁTICAS:

- Infoagro.** El boro como nutriente esencial. Parte II. Síntomas, diagnóstico y corrección en cultivos. www.infoagro.com. (Consultado el 10 de junio de 2015).

CORRELACIÓN DEL PODER CALORÍFICO Y LIGNINA DE RESIDUOS DE LA INDUSTRIA DE ASERRÍO EN EL ESTADO DE PUEBLA
CORRELATIONSHIP BETWEEN HEATING VALUE AND LIGNIN CONTENT OF SAWMILL INDUSTRY RESIDUES IN PUEBLA STATE

Aguilar Sánchez P, Honorato Salazar JA, Rebolledo García R

¹ Centro de Investigación Regional Golfo Centro (CIRGOC) del INIFAP. Km 56.5 Carretera Federal México- Puebla, San Martinito, Tlahuapan, Puebla. C.P. 74100.
Autor para correspondencia: aguilar.patricia@inifap.gob.mx.

RESUMEN

La biomasa, proveniente de diversos materiales lignocelulósicos, está en auge debido a sus propiedades energéticas para biocombustibles, ya sea en forma líquida o sólida. Sin embargo, es importante que muchos de estos materiales sean evaluados químicamente y energéticamente, ya que muchos de ellos pueden tener algún otro beneficio como bioproducto. Por lo que, para este trabajo se determinó el poder calorífico, propiedad energética, y el contenido de lignina, uno de los compuestos principales de los materiales lignocelulósicos y que se dice, tiene una correlación con el poder calorífico. Para poder desarrollar este trabajo, se llevaron a cabo 5 repeticiones de cada prueba, donde la determinación de lignina se llevó a cabo por medio de la norma TAPPI T222 om-88 y el poder calorífico se evaluó por medio de un calorímetro de bomba isoperibol, marca PARR1266. Se presentan los resultados del contenido de lignina y poder calorífico de residuos forestales colectados en aserraderos del Estado de Puebla, donde las especies fueron: *Abies religiosa* (oyamel), *Pinus patula* (pino) y *Hevea brasiliensis* (hule). El análisis de comparación de medias, por la prueba de t de Student indica que existen diferencias significativas entre los residuos en cuanto a su contenido de lignina y poder calorífico. En promedio, se obtuvieron valores de contenido de lignina de 28.25, 27.46 y 25.12% para oyamel, pino y hule respectivamente; y para poder calorífico los resultados fueron 4,423.27 Kcal·kg⁻¹ para oyamel, para pino 4,454.44 Kcal·kg⁻¹ y finalmente el residuo de hule fue de 4,242.44 Kcal·kg⁻¹. La correlación obtenida entre el contenido de lignina y poder calorífico fue del 73%. **Palabras clave:** biomasa, poder calorífico, lignina, residuos forestales.

INTRODUCCIÓN

México se está convirtiendo en un foco central de atención para la producción de biocombustibles, un campo que aún se encuentra en las primeras etapas de exploración, sin embargo, antes de promover su producción, es prescindible evaluar primero el potencial natural de la biomasa como punto de partida para la planificación estratégica y con esto garantizar un proceso sustentable (Alemán-Nava *et al.*, 2014).

Opciones para un aprovechamiento sustentable de la biomasa forestal son: un buen manejo de bosques nativos, el uso de los residuos de industrias forestales y las plantaciones, todo esto en pro de la bioenergía. Los residuos forestales son los derivados del aprovechamiento y la transformación industrial de la madera. Se estima que entre el 20 y 60% de la biomasa de los árboles es aprovechada para un fin comercial (madera para construcción, madera aserrada, celulosa y papel, entre otros), y 50% de la madera en rollo que se procesa en los aserraderos son residuos (García y Masera, 2016).

El Estado de Puebla tiene un potencial de 42,502 m³ de residuos forestales en las áreas de corta, de los cuales 12,967 m³ son aportados por especies latifoliadas y 29,536 m³ por coníferas. La cantidad de residuos generados en la industria se estima que es de 141,099 m³ en su totalidad por coníferas (Ordóñez *et al.*, 2013).

La biomasa es un material lignocelulósico, es decir, consta de tres principales compuestos químicos, como son: celulosa, lignina y hemicelulosa. La celulosa retiene la estructura fibrosa cristalina que parece ser el núcleo del complejo, mientras que la hemicelulosa se encuentra entre las micro y las microfibrillas de la celulosa y finalmente la lignina proporciona un papel estructural a la matriz en la que la celulosa y la hemicelulosa está incrustada. La composición de un material lignocelulósico depende de su fuente, es decir, si ésta se deriva de una madera dura, madera blanda o pastos (Potumarthi *et al.*, 2013).

En la actualidad, diversos materiales lignocelulósicos son ampliamente utilizados a nivel mundial, ya que se consideran materias primas limpias que pueden generar combustibles, los cuales pueden utilizarse para combustión directa o transformados, es decir, en forma de pellets, briquetas, gas, etanol y carbón vegetal, entre otros (Carrillo-Parra *et al.*, 2013).

El poder calorífico es considerado uno de los parámetros clave para evaluar la calidad del combustible de un material orgánico para aplicaciones energéticas (Ozveren, 2017). Además, se dice que la composición química está estrechamente relacionada con las aplicaciones potenciales de un material y, por lo tanto, con su uso energético, por lo que el poder calorífico depende en gran medida de estos compuestos (Erol *et al.*, 2010; Álvarez *et al.*, 2015). Algunos autores mencionan que el contenido de lignina y el poder calorífico son parámetros estrechamente relacionados, es decir, a mayor contenido de lignina, mayor poder calorífico (Demirbaş, 2001).

Por lo anterior, este trabajo tiene como objetivo principal analizar la correlación entre el poder calorífico y el contenido de lignina de residuos de la industria de aserrío colectados en el estado de Puebla, con la finalidad de contar con parámetros de calidad para su posible uso como biocombustible sólido.

MATERIALES Y MÉTODOS

Colecta. Se llevó a cabo una colecta de aserrín en los principales aserraderos de la Región de Chignahuapan, Puebla, en cada sitio se tenían identificados estos residuos, correspondientes a las especies de oyamel, pino y hule. El aserrín fue colocado en bolsas negras con su respectiva identificación. Posteriormente, estas biomásas fueron trasladadas al C.E. San Martinito del INIFAP-Puebla, para su preparación en los análisis químicos.

Preparación de la muestra. Se realizó una reducción de tamaño de las muestras en un molino tipo Thomas Wiley, de acuerdo a la norma TAPPI T 257. Posteriormente el material molido se tamizó utilizando unas mallas del número 40 mm y 60 mm, utilizando para los análisis el material contenido en la malla 60. Las muestras tamizadas se colocaron en bolsas con identificación y se almacenaron para sus análisis posteriores.

Contenido de lignina. Antes de realizar la determinación del contenido de lignina, las muestras se sometieron a una extracción secuencial de etanol-benceno (1:2 v/v), etanol al 95% y agua destilada caliente, por períodos de 6, 4 y 2 horas respectivamente, de acuerdo con las especificaciones de la norma TAPPI T 204. La determinación de la lignina se llevó a cabo según la norma TAPPI T 222, donde previamente se preparó una solución de ácido sulfúrico al 72% (24 ± 0.1 N), la cual se utilizó adicionando $15 \text{ ml} \cdot \text{g}^{-1}$ de muestra, hasta que la muestra quedó cubierta en su totalidad de la solución, manteniendo una temperatura no mayor a 2°C . Posteriormente, la muestra se colocó en baño maría a una temperatura de 20°C por dos horas, agitándose en lapsos de 15 min. Después de esto, el material se pasó a un matraz Erlenmeyer de 1 L, adicionándole agua destilada hasta obtener un volumen de 575 ml y a continuación, se colocó en una parrilla, llevándose a ebullición por cuatro horas, evitando la pérdida del volumen inicial. La solución se dejó reposar para que la lignina insoluble se precipitará y posteriormente se realizó el sifoneo de la parte líquida y el filtrado de la parte sólida con un crisol Gooch previamente pesado, el cual se colocó en una estufa a $103^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ por 24 horas. El contenido de lignina se calculó de acuerdo a la ecuación siguiente (1):

$$\text{Lignina [\%]} = \frac{A \times 100}{W} \quad (1)$$

dónde: A = peso de la lignina [g]
 W = peso del espécimen de prueba [g].

Poder calorífico (PC). Para la determinación de PC, se utilizó un Calorímetro Modelo Parr 1266, siguiendo el procedimiento del manual de operación. Antes de iniciar la prueba el calorímetro se calibró con tabletas de ácido benzoico de grado calorífico y con un peso no mayor a 1 g. Para su determinación del PC, se formó un pellet con el material molido (retenida en el tamiz 60) con un peso aproximado de 1 g. El pellet se colocó en una cápsula de combustión y se colocó en la parte superior un alambre de ignición de 10 cm, donde este debía rozar con la muestra prensada. Después se inyectó oxígeno y finalmente, la bomba se colocó en una cubeta, conectándose a unos electrodos. La determinación del PC se llevó a cabo en un tiempo no mayor a diez minutos, realizando cinco repeticiones por muestra. Los resultados se obtuvieron directamente del calorímetro en unidades $\text{cal} \cdot \text{g}^{-1}$ y se ajustaron de acuerdo a la ecuación 2.

$$PCt = \frac{Ee (At) - 10 - Lai (k)}{Pm} \quad (2)$$

dónde: PCt = poder calorífico total [$\text{cal}\cdot\text{g}^{-1}$]
 Ee = Energía equivalente [$\text{cal}\cdot\text{°C}^{-1}$]
 At = Aumento de la temperatura [°C]
 Lai = Longitud del alambre de ignición quemado (cm)
 k = Constante ($2.3 \text{ cal}\cdot\text{cm}^{-1}$)
 Pm = Peso de la pastilla (muestra) [g]

Contenido de humedad. Para la determinación del CH, previamente se colocaron unos vasos de 10 ml a una estufa, a $103 \text{ °C} \pm 2 \text{ °C}$, por lo menos 4 horas, se sacaron de la estufa y se mantuvieron en un desecador. Después de esto, se pesaron los vasos y se registraron los pesos. Después se tomó aproximadamente 1 g de material molido, pesándose el vaso con el material y se colocó en una estufa a una temperatura de $103 \text{ °C} \pm 2 \text{ °C}$ hasta que se alcanzó a peso constante (aproximadamente 6 horas). El cálculo para determinación de CH se realizó como a continuación describe en la ecuación 3:

$$CH = \left(\frac{Ph - Po}{Po} \right) * 100 \quad (3)$$

dónde: CH (%) = Contenido de humedad en por ciento
 Ph = Peso de la madera con humedad h
 Po = Peso anhidro de la madera

Para el análisis estadístico, se llevó a cabo una correlación de coeficientes con el programa SAS, por el procedimiento de CORR, para después realizar una regresión lineal simple en Excel

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 1 se muestran los resultados de las pruebas de calorimetría, contenido de lignina y contenido de humedad. En cuanto a los resultados de poder calorífico, se observa que las especies tienen un desprendimiento de calor similar. El contenido de lignina para el residuo de oyamel fue el más destacado con 25.25%, en comparación con las otras muestras. Las muestras analizadas presentaron en promedio un contenido de humedad del 9.23%.

Tabla 1. Promedios de contenido de humedad, lignina y poder calorífico.

Muestra	Contenido de humedad (%)	de Contenido de Lignina (%)	de Poder calorífico ($\text{Kcal}\cdot\text{kg}^{-1}$)
Pino	9.36	27.46	4,454.44
Oyamel	9.72	28.25	4,423.27
Hule	8.62	25.12	4,242.44

El análisis de correlación y regresión lineal del poder calorífico y contenido de lignina demostró un valor de R^2 de 0.73, valor que está por debajo de otros estudios, como el de Acar y Ayanoglua (2012) que obtuvieron una correlación de 0.93 en diversos materiales lignocelulósicos, entre ellos residuos forestales. Por otro lado, Demirbaş (2003) mostró un coeficiente de correlación similar, el cual fue de 0.96 para muestras de madera.

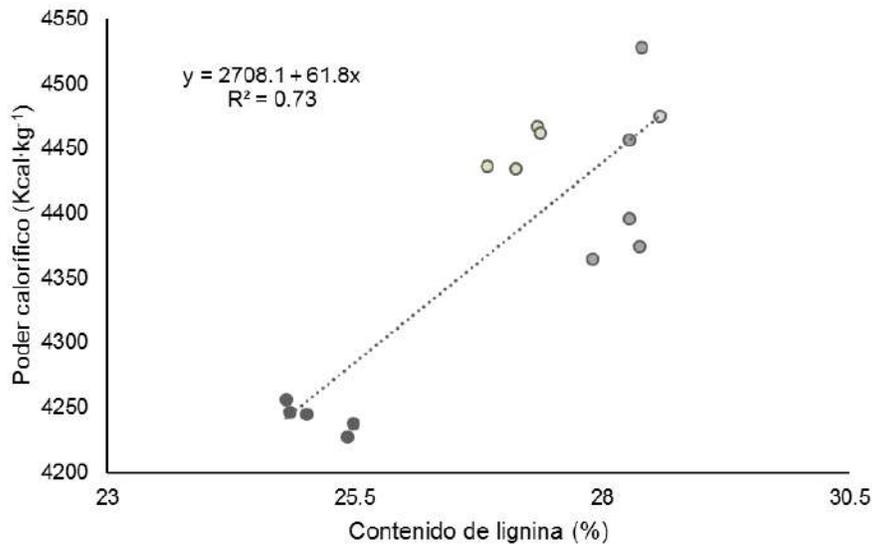


Figura 1. Valores de poder calorífico & contenido de lignina para los residuos agrícolas.

CONCLUSIONES

El residuo de pino obtuvo el valor más alto de poder calorífico con 4,454.44 Kcal·kg⁻¹, sin embargo, el oyamel fue el que mostró mayor contenido de lignina con 28.25%. Por lo que, este trabajo de investigación demuestra que, a diferencia de otros estudios, el contenido de lignina no está completamente relacionado con el poder calorífico, ya que se obtuvo una R² de 0.73 y es probable que otros factores de composición química intervengan también para esta correlación.

LITERATURA CITADA

- Acar, S; Ayanoglua, A. 2012. Determination of higher heating values (HHVS) of biomass fuels. *Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research*. 28(2): 749-758.
- Alemán-Nava, G. S; Casiano-Flores, V. H; Cárdenas-Chávez, D. L; Díaz-Chavez, R; Scarlat, N; Mahlkecht, J; Dallemand, J. F; Parra, R. 2014. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 32:140–153.
- Álvarez, A; Pizarro, C; García, R; Bueno, J. L. 2015. Spanish biofuels heating value estimation based on structural analysis. *Industrial Crops and Products*. 77: 983–991
- Carrillo-Parra, A; Foroughbakhch-Pournav, R, Bustamante-García, V. 2013. Calidad del carbón de *Prosopis laevigata* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) M.C. Johnst. y *Ebenopsis ebano* (Berland.) Barneby & J.W. Grimes elaborado en horno tipo fosa. *Revista mexicana de ciencias forestales*. 4 (17): 62-71.
- Demirbaş, A. 2001. Relationships between lignin contents and heating values of biomass. *Energy Conversion & Management*. 42: 183-188.
- García-Bustamante, C. A; Masera-Cerutti, O. 2016. Estado del arte de la bioenergía en México Red Temática de Bioenergía (RTB) del Conacyt. pp.10-33.
- Ordóñez-Prado, C; Buendía-Rodríguez, E; Carrillo-Ávila, N; Flores-Velázquez, R; Fuentes-López M. E. 2013. Distribución espacial de residuos forestales en el estado de Puebla. 3er. Congreso Nacional de Investigación en Cambio Climático. pp. 3-17.
- Ozveren, U. 2017. An artificial intelligence approach to predict gross heating value of lignocellulosic fuels. *Journal of the Energy Institute*. 90: 397-407.
- Potumarthi, R; Raju-Baadhe, R; Bhattacharya, S. 2013. *Biofuel Technologies. Recent Developments. Chapter 1, Fermentable Sugars from Lignocellulosic Biomass: Technical Challenges*. Springer. pp. 3-27.

TECNOLOGÍAS DE EXPLORACIÓN GEOFÍSICA APLICADAS AL CAMPO FORESTAL Y AGRÍCOLA
GEOPHYSICAL EXPLORATION TECHNOLOGIES APPLIED TO THE FORESTRY AND AGRICULTURAL FIELD

¹Rodríguez Robles U, ²Arredondo Moreno T

¹Cátedras CONACyT, El Colegio de la Frontera Sur, Km. 15.5, Carr Villahermosa-Reforma, R/a Guineo 2a. Secc. CP 86280. Villahermosa, Tabasco, México.

²División de Ciencias Ambientales, Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, Camino a la Presa de San José # 2055, Lomas 4ta Sección, C.P. 78216 San Luis Potosí, S.L.P., México.

Autor de correspondencia: urodriguez@mail.ecosur.mx

RESUMEN

Los agrónomos, silvicultores, ecólogos, ecohidrólogos y biogeoquímicos necesitan información detallada sobre la salud vegetal, las propiedades y procesos del suelo, incluidos los cambios en el nivel freático, las sales y otros elementos que pueden influir en la productividad y el funcionamiento de los ecosistemas y sistemas productivos. Confiar en las técnicas tradicionales de muestreo y observación para dichos conocimientos puede ser costoso, lento e inviable, especialmente si las escalas espaciales involucradas son grandes. La obtención de imágenes geofísicas proporciona una alternativa o complemento a los métodos tradicionales para recopilar variables subsuperficiales a lo largo del tiempo y el espacio. En este estudio, aplicamos los aspectos de las imágenes geofísicas, en particular las imágenes eléctricas y electromagnéticas, que puedan beneficiar a los silvicultores y agrónomos que buscan una comprensión más clara del subsuelo superficial, el estado hídrico de los árboles y la detección temprana de plagas y enfermedades, para su control y combate. Utilizando imágenes de resistividad eléctrica, por ejemplo, hemos podido mostrar con el efecto de las conversiones de uso del suelo en la agricultura sobre la movilización de sal a lo largo de transectos, nivel freático, precipitados y lixiviación de nitratos. Además, hemos detectado galeras de barrenadores en los troncos y podrición temprana por agentes biológicos patógenos, que aceleran el proceso de mortandad forestal. Los avances recientes en el radar de penetración terrestre y otros métodos de imágenes geofísicas actualmente brindan oportunidades para obtener imágenes subsuperficiales con suficiente detalle para localizar madrigueras de animales pequeñas (≥ 5 cm de diámetro) y raíces de plantas (6 mm de diámetro). Los Agrónomos, Silvicultores y comunicad científica, deberían beneficiarse de la adopción de estas tecnologías de imágenes escalables y mínimamente invasivas para explorar el subsuelo, la salud fitosanitaria y avanzar en nuestra investigación colectiva.

Palabras clave: *GPR, Tomografías-IRE, Agricultura, Silvicultura, Tecnología-no-invasiva.*

INTRODUCCION

El potencial que tienen los métodos geofísicos para estudiar el subsuelo ha sido reconocido desde hace mucho tiempo, mostrando que pueden brindar ventajas competitivas muy importantes en el mercado, primero, con sus aplicaciones iniciales en la investigación de la estructura y el funcionamiento interno de la Tierra (Aditama *et al.*, 2017) y posteriormente siguiendo su uso extensivo por parte de la industria petrolera desde principios del siglo XX (Ogretmen y Seren, 2014). Sin embargo, la aplicación del GPR (Radar de Penetración Terrestre por sus siglas en inglés) y Tomografías IRE (Imágenes de Resistividad Eléctrica) puede trascender cualquier campo desde las biogeociencias hasta las ciencias forenses (Raz-Yaseef *et al.*, 2013). Este trabajo analizamos el impacto que pueden tener en la agricultura (siembra y cosecha) y en el campo forestal (sustrato, capa freática, diámetro de raíces, salud vegetal). En esta investigación, utilizamos la sensibilidad de las tomografías de imágenes resistividad eléctrica (IRE) del suelo al agua y a las sales para comprender varios procesos ecohidrológicos. En los bosques semiáridos y templados del Complejo Volcánico Sierra de San Miguelito y Sierra de Santa Rosa, utilizamos IRE para evaluar los cambios potenciales de la tabla de agua, el sustrato geológico, la presencia de agentes biológicos patógenos y el flujo de agua interno de los árboles y, para describir las relaciones espaciales subsuperficiales entre la vegetación y los mecanismos fisiológicos en el fenómeno de mortandad forestal.

La tecnología de georradar se puede utilizar para mapear y determinar la profundidad de las capas de agua subterránea. Estas capas proporcionan los recursos hídricos para el cultivo, independientemente de las precipitaciones pluviales, ya que los cultivos sembrados en el lugar correcto pueden usar sus raíces para acceder a estas zonas de la capa freática (Heggy *et al.*, 2003). Georradar GPR (Radar de Penetración Terrestre por sus siglas en inglés) se utiliza como una técnica no destructiva para la investigación del subsuelo de baja profundidad. De este modo ofrece una cartografía del perfil del suelo. Se compone de una unidad de ondas electromagnéticas y una de grabación digital (Cui *et al.*, 2011). Cuando se conoce la ubicación y la difusión de las capas freáticas, los fertilizantes pueden ser ajustados de acuerdo a la cantidad de agua disponible. A través del uso adecuado de agua y fertilizantes, los rendimientos de las cosechas y el uso del agua se pueden optimizar, y la agricultura se vuelve menos dependiente de los patrones de precipitación.

Hasta hace aproximadamente dos décadas, los métodos y las herramientas geofísicas seguían siendo difíciles de acceder para usos más rutinarios debido a los altos costos de los equipos y las prospecciones, así como la escasez de instrumentos adecuados para las mediciones superficiales del subsuelo. Los avances recientes en electrónica y equipamiento, adquisición y procesamiento de datos y visualización e interpretación de datos han reducido muchas de las limitaciones anteriores de las imágenes geofísicas. A pesar de la necesidad de datos superficiales en el subsuelo, la comunidad agrícola y forestal se ha mantenido en su mayoría sin conocimiento de los avances recientes en imágenes geofísicas que pueden beneficiar en gran medida su producción. El objetivo fue destacar algunas oportunidades en imágenes geofísicas, especialmente el uso de Tomografías IRE y GPR para la investigación agrícola y forestal, e identificar formas en que estos métodos pueden identificar las relaciones entre suelo, agua, vegetación, y otros componentes del sistema.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitios experimentales

Uno de los sitios está situado en la Sierra de San Miguelito, en un ecosistema de bosque semiárido de pino y encino, creciendo en un complejo volcánico formado por derrames de lava de composición riolítica (San Luis Potosí, SLP); el segundo se sitúa en la Sierra de Santa Rosa, un macizo montañoso ubicado en la región fisiográfica de la meseta central correspondiente al período cretácico, con vegetación encinar dominante (*Q. potosina* y *Q. castanea*). Finalmente, el tercer estudio se realizó en el sitio experimental de pastizales semiáridos en la Estación del INIFAP ubicada en la subprovincia geográfica de los Llanos de Ojuelos, Jal., se trabajaron con parcelas de 2.5 x 2.5 en donde crecían frijol y maíz.

Parcelas experimentales.

A lo largo de un transecto de 2.5 km, que corre paralelo a la cuenca hidrográfica, donde los pinos y encinos están distribuidos uniformemente en rodales puros y mixtos, se establecieron un total de 12 parcelas 12 parcelas experimentales de 25 m de diámetro con cuatro réplicas por tipo de rodal (pino, encino y mixtos) En adición, para la exploración y rastro de raíces con el GPR establecimos una parcela de 8.5 m x 6 m con transectos paralelos (1 m) para observar el eje horizontal de las raíces y nivel de la tabla de agua. Para minimizar el ruido de la señal de radargramas procedemos a la limpieza previa la superficie del sustrato de la basura y ramitas en todas parcelas experimentales. Para determinar la resistividad eléctrica en los tres sitios de estudio, se instalaron 72 electrodos geofísicos recubiertos con gel de sulfato de cobre (24 para cada tipo de soporte) se instalaron con orientación suroeste con espaciado entre electrodos de 1 m (a lo largo de la pendiente). Los radargramas GPR se generaron utilizando un MALÅ RAMAC X3M GPR (antenas blindadas): sistema ProEx acoplado a una rueda de inspección. Los tomogramas ERT fueron tomados usando el SYSCAL KID SWITCH-24 (instrumentos IRIS) con una caja de interruptores de 24 multielectrodos.

Las simulaciones de inversión y de avances se realizaron con el software RES2DINV (software Geotomo) para la posterior manipulación de archivos de datos con el módulo ArcMap aplicando un método kriging bayesiano empírico (ArcGIS Desktop, ESRI 2011). Para obtener más detalles sobre los softwares y algoritmos utilizados, ver Rodríguez Robles *et al.* (2017).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Todas las imágenes geofísicas ayudaron a interpretar la distribución espacial de las raíces de los árboles en los suelos y el lecho rocoso meteorizado, así como las características del suelo rocoso y nivel de agua. Sin embargo, algunas dificultades en la interpretación de los radares crudos (perfiles de

radar sin filtrar) incluyen el ruido y las áreas fantasma causadas por las características de los suelos orgánicos y rocosos. Sin embargo, los radargramas muestran claras reflexiones hiperbólicas que correspondían a la posición de las raíces de los árboles (validadas con excavaciones de campo) a ciertas profundidades. Los resultados del tomógrafo IRE, para los 50 cm superiores ayudaron a identificar las áreas de mayor drenaje (200-450 m⁻¹) y fractura (400-700 m⁻¹) (Figura 1). Las salidas del tomógrafo IRE del software RES2DINV revelaron la roca exfoliada que ocurre en el área de estudio. Usando las antenas blindadas del GPR identificamos raíces de pinos y encinos finas y gruesas de 0.6 a 7.5 cm de diámetro a diferentes profundidades en el suelo del suelo y material rocoso. También detectamos árboles que anclan sus troncos usando raíces gruesas de abajo del afloramiento rocoso. Aplicando las tomografías IRE evaluamos el estado interno de los árboles. Los Encinos y Pinos mostraron descomposición temprana en la madera, actividad por hongos, grietas y lesiones sangrantes (necrosis), además se pudo apreciar la actividad hidráulica en el tronco de los árboles. Con tomografías IRE, rastreamos los cambios mensuales en la humedad en la interface suelo-roca que explicaba claramente la distribución de raíz espacial de ambas especies de árboles. En el sitio experimental del INIFAP, observamos el movimiento de agua el sistema productivo y la demanda necesaria para ser una producción eficiente, además fue posible observar, depósitos de sales (lixiviados) a diferentes profundidades. El horizonte delgado y eléctricamente conductivo de bajo de la cobertura vegetal (0- 150 Ω m), una zona de suelo salada altamente conductiva. Con base en esta evidencia, pudimos concluir que el cambio en el uso de la tierra es una preocupación importante para los recursos hídricos en la región debido a su rápida influencia en la infiltración profunda de agua en el suelo y la lixiviación. Más investigación interdisciplinaria podría avanzar nuestra comprensión en la eco hidrología de los bosques, salud vegetal y productividad de los sistemas

Los perfiles de IRE muestran una relación entre la posición de las raíces, baja resistividad del suelo (mayor disponibilidad de agua) y mayor fractura del lecho de roca. El suelo superior corresponde a primera capa de 20-25 cm, la capa intermedia incluye bolsas de suelo y fracturas de roca y está representada por la franja punteada a lo largo del radargrama y el lecho de roca fresca comienza debajo de la línea sólida. Círculos de diferentes tamaños representan las raíces de diferentes diámetros (2.5 – 6 cm). Los círculos negros indican las raíces que se usaron para la calibración de GPR. Los árboles marcados con "X" indican la presencia de psicrómetro del suelo sensores para

calibrar la humedad.

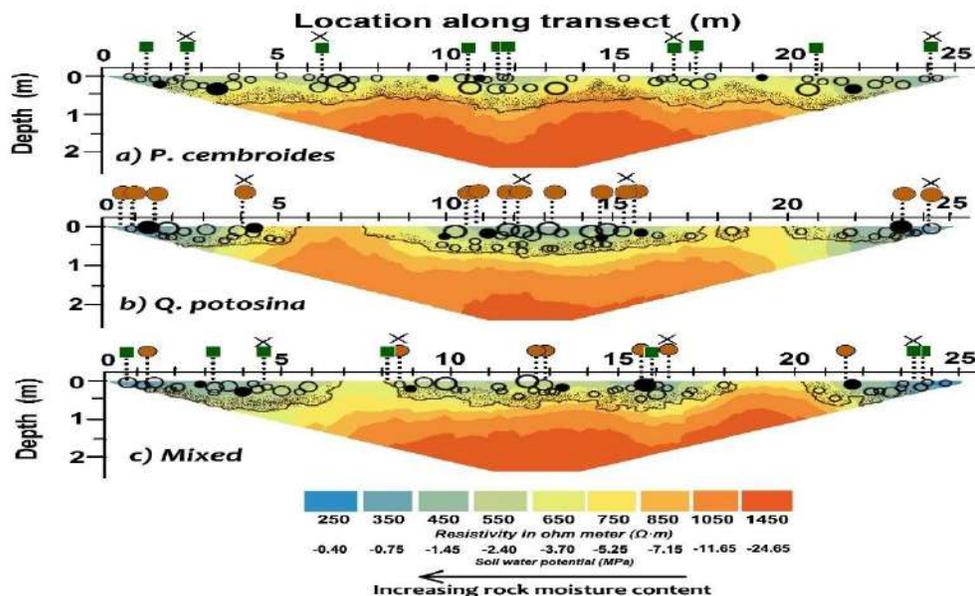


Figura 1. Tomografías IRE en (a) *Pinus cembroides*, (b) *Quercus potosina* y (c) bosques de pino-encino.

CONCLUSIONES

Al igual que con todas las herramientas de investigación, se deben cumplir algunas condiciones básicas para aplicar las imágenes geofísicas a los campos de estudio. Estos incluyen rangos compatibles de condiciones de campo, una buena correspondencia entre el método de obtención de imágenes y la información subsuperficial buscada, la capacidad de obtener datos geofísicos de alta calidad, la disponibilidad de esquemas adecuados de procesamiento e inversión de datos y la posibilidad de vincular respuestas geofísicas a variables subsuperficiales de interés. Una advertencia adicional con imágenes geofísicas es que pueden sobre interpretarse para extraer conclusiones incorrectas o poco realistas. Teniendo en cuenta estas consideraciones, los esfuerzos para integrar imágenes geofísicas para la investigación en los diferentes campos de aplicación, se deben hacer en colaboración entre ecologistas y geofísicos con la experiencia y la exposición interdisciplinarias interdisciplinaria.

LITERATURA CITADA

- Aditama, I. F., Widodo, Setiawan, T., Bijaksana, S., and Sanny. 2017. Use of electrical geophysical methods for supporting agricultural practices, AIP Conference Proceedings, 1861, 030027, 10.1063/1.4990914.
- Ogretmen, Z., and Seren, A. 2014. Investigating fracture-cracked systems with geophysical methods in Bayburt Kiratli travertine, *J Geophys Eng*, 11, 10.1088/1742-2132/11/6/065009.
- Raz-Yaseef, N., Koteen, L., and Baldocchi, D. D. 2013. Coarse root distribution of a semi-arid oak savanna estimated with ground penetrating radar, *J Geophys Res-Biogeophys*, 118, 135-147, 10.1029/2012jg002160.
- Heggy, E., Paillou, P., Costard, F., Mangold, N., Ruffie, G., Demontoux, F., Grandjean, G., and Malezieux, J. M. 2003. Local geoelectrical models of the Martian subsurface for shallow groundwater detection using sounding radars, *J Geophys Res-Planet*, 108, 10.1029/2002je00187.
- Cui, X. H., Chen, J., Shen, J. S., Cao, X., Chen, X. H., and Zhu, X. L. 2011. Modeling tree root diameter and biomass by ground-penetrating radar, *Sci China Earth Sci*, 54, 711-719, 10.1007/s11430-010-4103-z.
- Rodríguez-Robles, U., Arredondo, T., Huber-Sannwald, E., Ramos-Leal, J. A., and Yépez, E. A. 2017. Technical note: Application of geophysical tools for tree root studies in forest ecosystems in complex soils, *Biogeosciences*, 14, 5343-5357, <https://doi.org/10.5194/bg-14-5343-2017>.

REFERENCIAS INFORMATICAS

- Rodríguez-Robles et al, 2017. <https://www.biogeosciences.net/14/5343/2017/>

CARACTERIZACIÓN Y SELECCIÓN DE GENOTIPOS DE DURAZNO EN ZACATECAS CHARACTERIZATION AND SELECTION OF PEACH GENOTYPES IN ZACATECAS

¹ Melero Meraz V, ¹Zegbe JA, ¹ Herrera MD, ²Fernández Montes MR

¹INIFAP-Campo Experimental Zacatecas, Calera de V.R., Zac.

²INIFAP-Campo Experimental El Bajío, Celaya, Gto., México.

Autor para correspondencia: jzegbe@gmail.com

RESUMEN

En este estudio se evaluaron 44 genotipos de durazno (GD) que maduraron entre julio y septiembre. Se valoraron características tales como diámetro polar (DP), ecuatorial (DE), peso fresco del fruto (PF), peso de semilla (PS), peso del mesocarpio (PM), porción comestible (PC), firmeza (F), sólidos solubles totales (SST) y materia seca del fruto (MSF). El análisis de la información identificó dos genotipos sobresalientes. El GD-26 que mostró las mejores dimensiones de fruto, alto contenido de SST, concentración de MSF, un color amarillo intenso en la epidermis y mesocarpio del fruto que otros GD incluyendo a los testigos 'Victoria' y el durazno criollo local. Otro genotipo destacado fue 'Cristalino', el cual presentó mayor PF (90-115 g), alta F (58.9-78.5 N) y alto contenido de SST (10-15° Brix). Éste es un durazno diferente al criollo porque presenta epidermis chapeada y pulpa blanca; además, es un genotipo con alto potencial nutraceutico sobre todo en la epidermis y flavonoides en la pulpa. No obstante, en el proceso de validación, otros genotipos sobresalientes podrían atraer la atención de productores líderes en diversas regiones, antes de registrarse y liberarse como nuevas variedades de durazno para Zacatecas y áreas agro-ecológicas similares.

Palabras clave: *Prunus persica* L. Batsch, época de cosecha, calidad de fruta

INTRODUCCION

El durazno [*Prunus persica* (L.) Bastch] es la tercera especie frutal de clima templado más cultivada en el mundo. En México, este frutal es uno de los más explotados en 26 estados, y prácticamente se produce en las cuatro estaciones del año. El 70% de la producción se concentra en Michoacán (32,567 t), Zacatecas (25,921 t), Chihuahua (23,391 t), Edo. México (22,987 t) y Puebla (22,069 t). Esta fruta tiene un alto valor económico y nutricional. Anualmente se cosechan cerca de 180,000 t con un valor de \$1, 400 millones (SIAP-SAGARPA, 2018). Zacatecas es un estado importante en este cultivo. Existen alrededor de 9,000 ha y se considera que 2, 500 familias se dedican a cultivarlo. El durazno que se produce en el estado goza de un gran prestigio a nivel nacional por los atributos que le confieren su relativa calidad (piel y pulpa de color amarillo, hueso pegado, agradable sabor, dulzor y aroma) es apreciado para consumo en fresco o para proceso. Sin embargo, es de tamaño pequeño (< 80 g) y rara vez la fruta alcanza la talla establecida en la norma mexicana para durazno fresco; además de sufrir inestabilidad en los precios durante la segunda decena de septiembre por la saturación del mercado (SIAP-SAGARPA, 2018; Torres, 1982).

En las zonas productoras de Zacatecas existe una gran riqueza genética de durazno. Tradicionalmente se ha propagado por semilla y se han elegido mediante selección masal los mejores criollos generando una gran diversidad de genotipos. Esta situación ha mitigado en parte los problemas de adaptación; sin embargo, ciertos genotipos frecuentemente son dañados por heladas tardías durante la floración y el cuajado de frutos. También existe alta susceptibilidad a hongos como la cenicilla polvorienta (*Podosphaera pannosa*) durante los meses más secos y la pudrición de la fruta ocasionada por *Monilinia fructicola* durante la época lluviosa, lo que incrementa los costos de producción. Tanto en México como en otras zonas productoras del mundo han tenido una alta dependencia por variedades originadas en los programas de mejoramiento de USA, Italia, Francia, entre otros. (Pérez *et al.*, 1993). Desde la revolución verde, las variedades vegetales que se generan tienen principalmente los componentes de adaptación, productividad y tamaño del fruto (Zegbe *et al.*, 1999; Badenes y Byrne, 2012; Brown *et al.*, 2014).

Se han realizado muy pocas hibridaciones dirigidas o específicas para obtener materiales para cubrir las necesidades locales; además, en la selección de individuos son poco consideradas las exigencias de los consumidores (Rumayor *et al.*, 2009; Sánchez *et al.*, 2012). Los atributos organolépticos y de calidad como tipo y color de pulpa, rubor en la piel, contenido de sólidos solubles, nutrimental y

nutracéutico, entre otros aspectos que influyen directamente en la aceptabilidad del consumidor, se consideran en un plano secundario. La falta de sólidos hidrosolubles o dulzura, compuestos volátiles y no volátiles en la fruta se encuentran entre las quejas recurrentes de los consumidores de durazno. También, la industria solicita variedades con altos contenidos de azúcar para obviar la adición de endulzantes (Brooks *et al.*, 1993; Crisosto y Crisosto, 2005).

La calidad de la fruta es fundamental para que los productos frescos sean aceptados y preferidos por los consumidores, especialmente por la presencia de numerosas variedades, frutos sustitutos y alta competencia de los mercados, (Ruiz y Egea, 2008). Es imperativo que los programas de mejoramiento sean apoyados con estudios sensoriales para incluir las características que un consumidor idealiza, sin restarle importancia a la adaptación, resistencia a patógenos y la disminución de costos de producción (Brooks *et al.*, 1993; Cantín *et al.*, 2009; Rumayor *et al.*, 2011). La exigencia en la calidad del durazno cambia a mediano y largo plazo; consecuentemente, es necesario ofertar duraznos orgánicos, inocuos, con etiquetado inteligente que facilite la trazabilidad, que contribuya a la salud humana; pero además, de subproductos sin aditivos sintéticos (Sánchez *et al.*, 2012). Por lo anterior, los mejoradores de ésta y otras especies frutales coinciden, en que, el éxito y permanencia de los nuevos cultivares en los mercados dependen directamente del grado de satisfacción que producen en el consumidor; y a su vez la compra repetida de un durazno con determinadas características (Crisosto *et al.*, 2012).

Para iniciar un programa de mejoramiento, la mejor base genética, es con una colección de genotipos ya adaptados a ciertas condiciones ecogeográficas, individuos silvestres, criollos y cultígenos, posteriormente introducir variedades con los genes deseables (Hawkes, 1977; Zegbe *et al.*, 1999). Así los diferentes programas, al través de cruza dirigidas entre genotipos contrastantes han logrado obtener progenies nuevas que presentan individuos con grupos de genes que expresan características deseables (Pérez, 2000; Pérez, 2007; Ogundiwin *et al.*, 2009; Kole y Abbott, 2012; Fresnedo-Ramirez *et al.*, 2013). Así, ha sido posible generar variedades con frutos de gran calibre (Okie y Scorza, 2001; Byrne *et al.*, 2012), con mayor concentración de sólidos solubles y materia seca, un amplio rango de acidez, con mayor firmeza que coadyuve al manejo postcosecha (Byrne *et al.*, 1991; Génard y Bruchou, 1992; Esti *et al.*, 1997; Brovelli *et al.*, 1998; Wu *et al.*, 2003; Quilot *et al.*, 2004; Colaric *et al.*, 2005; Cevallos-Casals *et al.*, 2006; Scorza *et al.*, 2006; Ruiz y Egea, 2008; Boudehri *et al.*, 2009; Cantín *et al.*, 2009; Cevallos-Jain y Priyadarshan, 2009), entre otras características. También, ha sido posible la ampliación del calendario de cosecha con variedades con un reducido periodo de desarrollo de fruto, entre otros atributos de interés que, influyen en la aceptación y preferencia del fruto por el consumidor (Sharpe *et al.*, 1954; Okie, 1998; Aranzana *et al.*, 2010; Rumayor *et al.*, 2011; Frett *et al.*, 2012). Por otro lado, es recomendable que cada variedad que se libera, esta sea difundida no sólo con la descripción botánica, sino también con sus requerimientos agro-climáticos y tecnología de producción.

Desde 1983, el INIFAP ha mantenido un programa de mejoramiento genético en el que se ha generado una amplia diversidad genética de duraznero para distintas condiciones agro-ecológicas, es así, que se cultiva en casi todo el país. Esta base genética ha sido establecida en campos experimentales estratégicos. Los objetivos son: desarrollar variedades con 1) requerimientos intermedios de frío invernal (400 a 600 horas frío), 2) floración tardía (mayor al 15 de marzo), 3) ampliación de la época de cosecha y periodos cortos de desarrollo de fruto, 4) alta calidad de fruta (tamaño de fruto) y 5) tolerancia a la araña roja (*Eotetranychus lewisi*) y cenicilla (*Podosphaera pannosa*). Este estudio se concentró en el tercer y cuarto objetivo con genotipos de durazno (GD) sobresalientes donde se evaluaron características de frutos de durazno como tamaño, contenido de azúcar, firmeza, entre otros caracteres y, analizar las relaciones entre parámetros de calidad del fruto con el fin de seleccionar genotipos potenciales para producción comercial.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio está siendo conducido en el Campo Experimental Zacatecas (22° 54' LN, 102° 39' LW, a 2,197 msnm) en el municipio de Calera de Víctor Rosales, Zacatecas, dependiente del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. El clima del sitio es semi-árido, con una precipitación media anual de 416 mm, donde el 75 % de ésta ocurre en los meses de junio a septiembre. La temperatura media anual es de 14.6° C y la acumulación de frío media anual de noviembre a febrero fue de 600 horas frío en 2015.

La evaluación se realizó entre 2015 y 2016 en una población de árboles de durazno (1, 050) de cuatro años de edad, espaciados a 4.5 x 1 m y formados en "V". Se evaluaron 44 genotipos de durazno (GD) sobresalientes; además, se incluyeron como referencia al durazno 'Victoria' y un criollo local que presentan las características de los cultivares más comunes en Zacatecas.

La fruta (10 frutos) se cosechó manualmente en madurez de consumo. Se consideraron maduros los frutos una vez que se apreció la desaparición de clorofila en la piel y comenzó aparecer el matiz propio del genotipo (amarillo o blanco crema) dependiendo del genotipo y se registró la fecha de cosecha de cada GD.

La evaluación físico-química consistió en registrar individualmente el diámetro polar (DP) y ecuatorial (DE) con un vernier digital (Modelo CD-6, CS, Mutituyo Co., Japan), peso fresco del fruto (PF), el peso del mesocarpio (PM), la semilla (PS) y concentración de materia seca del fruto (MSF, eliminando el contenido de agua en una estufa a 65°C), con una balanza electrónica (Velab Modelo-VE-303, Clase II), la porción comestible [$PC=(\text{peso de mesocarpio}/\text{peso de fruto}) \times 100$], la firmeza (F) se midió en dos lados opuestos sin piel evitando la sutura carpelar con un penetrómetro (Modelo FT 327, Wagner Instruments, CT,) y en la determinación de la concentración de sólidos solubles totales (SST) se usó un refractómetro digital (Modelo ATC-1 Atago, Japan).

La información fue utilizada para seleccionar genotipos sobresalientes y con potencial para validarse con productores. En este trabajo se seleccionó un genotipo; no sólo se evaluaron las características anteriormente descritas, sino que, además, se determinaron características relacionadas con su potencial nutracéutico y se elaboró un plan de manejo para su producción comercial.

La información se analizó descriptiva y multivariadamente por componentes principales (CP) con el sistema de análisis estadístico (ver. 9.3, SAS Institute, Cary, NC, USA).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De entre la población incluida, con base en los criterios de calidad ya descritos, se consideraron 44 GD como sobresalientes. El periodo de cosecha se inició en julio y terminó septiembre. Así, se cosecharon 9, 11 y 24 GD en julio, agosto y septiembre, respectivamente. Para el criterio de desconcentración de la cosecha, fue factible ofertar fruta por un periodo más amplio. Esto fue posible debido a que la maduración resultó ser una característica altamente heredable; en consecuencia, esta situación coadyuvó a resolver el problema de saturación de mercado durante el septiembre, mes en que los precios de venta del productor, disminuyen significativamente debido a la concentración de la cosecha (Torres, 1982; Sánchez *et al.*, 2012).

El análisis de componentes principales, indicaron que la mayor parte de la variabilidad entre los GD se distribuyó en tres variables compuestas. Las variables DP, DE, PF, PS, PM y PC presentaron una alta correlación entre ellas y mientras que SST y MSF se asocian entre sí (Cuadro 1). Los tres primeros componentes principales (CPI = 4.9, CPII = 1.66 y CPIII = 1.2) explicaron colectivamente 87.2% de la variabilidad (Cuadro 2, Figura 1). De acuerdo con Yeater *et al.* (2015) si existen muchas variables altamente correlacionadas es común que la varianza se distribuya en un número reducido de CP, contrario a lo que ocurre cuando existen pocas variables de carácter redundante.

La variación del CPI fue definido colectivamente por las dimensiones físicas del fruto (DP, DE, PF, PS, PM y PC) entre los GD (Cuadro 2; Figura 1), este primer componente explicó 55% de la variabilidad esto indica que entre los genotipos existe alta variabilidad en tamaños y cantidad de pulpa de los frutos entre los GD. En otros estudios, la cruce entre genotipos contrastantes ha originado una amplia diversidad de las características parietales (Crisosto *et al.*, 2006, Cantín *et al.*, 2009, Cantín *et al.*, 2010).

Los SST y la MSF se agruparon en el CPII que explicó 18.5% de la variabilidad. Estas características estuvieron directamente relacionadas con la capacidad individual de cada genotipo para utilizar los frutos como vertederos de foto asimilados. Esto indica que existe diversidad entre los individuos para usar con eficiencia la captura de carbono para elaborar moléculas estructurales que son los principales componentes de la materia seca y compuestos hidrosolubles. De estos últimos, la mayor es sacarosa presente en las células del mesocarpio que llega a ser hasta 65% del total de los sólidos solubles totales y en menor cantidad glucosa y fructosa. Estos últimos aumentan conforme disminuye la firmeza por la hidrólisis de los carbohidratos que se utilizan en la respiración celular (Brooks *et al.*, 1993; Byrne *et al.*, 1991). De acuerdo con estudios de aceptabilidad y preferencia, los consumidores tienden a elegir frutos con alta dulzura; mientras que lo opuesto sucede con fruta cuya concentración

de azúcares es menor (Crisosto, 2001; Peace *et al.*, 2005; Crisosto y Crisosto, 2005; Crisosto *et al.*, 2006).

Cuadro 1: Correlación lineal simple entre atributos del fruto de los genotipos de durazno evaluados en Zacatecas, Mex. Diámetro polar (DP), polar (DE), peso fresco del fruto (PF), peso de semilla (PS), peso del mesocarpio (PM), Porción comestible (PC), firmeza (F), solidos solubles totales (SST) y materia seca del fruto(MSF).

DP	DE	PF	PS	PM	PC	F	SST	MSF
DE	0.86**	0.93**	0.63**	0.93**	0.60**	-0.32**	-0.34**	-0.25**
PF		0.93**	0.70**	0.93**	0.57**	-0.22**	-0.36**	-0.16**
PS			0.71**	0.99**	0.62**	-0.34**	-0.27**	-0.14*
PM				0.69**	-0.08**	-0.03 ^{ns}	-0.35**	-0.10 ^{ns}
PC					0.64**	-0.35**	-0.26**	-0.14*
F						-0.44**	0.04 ^{ns}	-0.10*
SST							-0.13 ^{ns}	0.12*
*								0.63**

representa significancia estadística a $P \leq 0.05$;
 ** representa significancia estadística a $P \leq 0.01$;
^{ns} no significativa

El CPIII explicó 13.6% de la variabilidad. La F definió a este CP (Cuadro 2; Figura 1), posiblemente por la uniformidad en cuanto al tipo de durazno que se busca y la etapa de maduración. Esta característica es de alta relevancia, pues se requiere que los GD resistan el manejo postcosecha dada la reducida tecnificación en el embalaje. En este trabajo identificaron GD con diferentes fechas de maduración con frutos que en promedio fueron más firmes que los criollos locales; además se observó que estos GD tuvieron mayor tamaño a los cultivados aquí. Esto último, rompió el paradigma de los “duraznos pequeños zacatecanos”. Además, el análisis coadyuvó a identificar aquellos GD con los mayores contenidos de solidos solubles y materia seca (Figura 1). De este trabajo se consideraron dos genotipos: GD-26 y ‘Cristalino’ con potencial para validarse en campo con productores; no obstante, otros GD aquí evaluados, podrían ser considerados como genotipos candidatos a nuevos cultivares.

Cuadro 2: Vector raíz y correlación simple entre componentes principales atributos físicos y químicos de frutos de durazno provenientes de diferentes progenies. Desviación estándar (σ), diámetro polar (DP), ecuatorial (DE), peso fresco del fruto (PF), peso de semilla (PS), peso del mesocarpio (PM), Porción comestible (PC), firmeza (F), solidos solubles totales (SST) y materia seca del fruto(MSF).

	Media $\pm \sigma$	Componentes principales					
		I		II		III	
		Vector raíz	R	Vector raíz	R	Vector raíz	R
DP (mm)	51.5 \pm 4.0	0.43	0.95	0.01	0.02	0.00	0.00
DE (mm)	53.3 \pm 3.9	0.43	0.95	-0.01	-0.02	0.13	0.14
PF (g)	78.9 \pm 16.5	0.44	0.98	0.08	0.10	0.11	0.12
PS (g)	4.1 \pm 0.7	0.31	0.70	-0.26	-0.34	0.47	0.52
PM (g)	74.7 \pm 16.0	0.44	0.98	0.09	0.11	0.09	0.10
PC (%)	94.7 \pm 0.9	0.28	0.62	0.40	0.52	-0.37	-0.41
F (N)	64.5 \pm 12.4	-0.17	-0.37	-0.38	-0.49	0.43	0.48
SST ($^{\circ}$ Brix)	13.7 \pm 1.7	-0.17	-0.39	0.62	0.80	0.23	0.25
MSF (mg \cdot g $^{-1}$)	158.7 \pm 32.2	-0.12	-0.27	0.47	0.60	0.61	0.67
Valor raíz		4.96		1.66		1.23	
Varianza explicada (87.2%)		55.1		18.5		13.6	

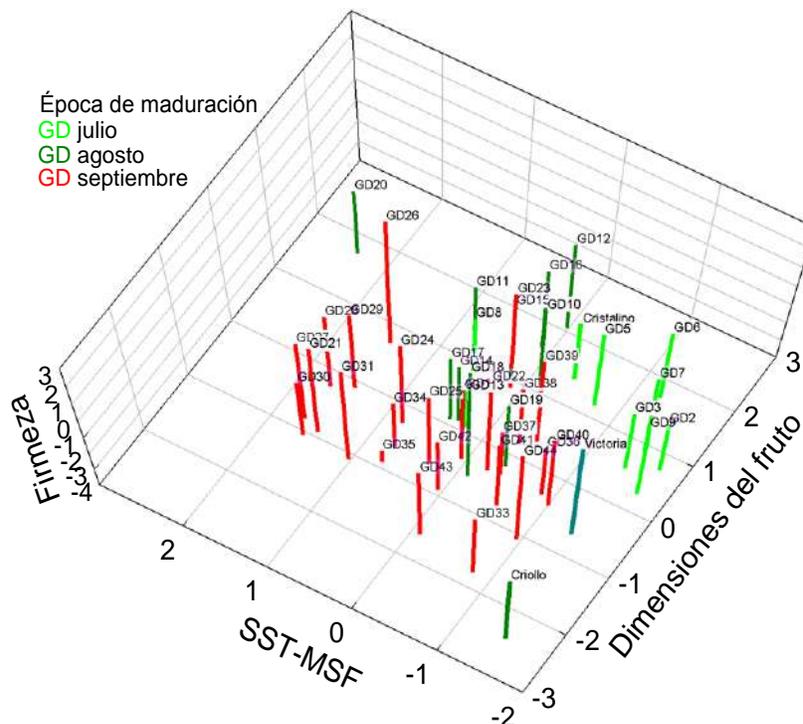


Figura 1. Dispersión de GD con base en 9 atributos de calidad del fruto que definieron el tamaño, el contenido de sólidos solubles totales (SST) y materia seca (MSF) y firmeza del fruto con maduración escalonada.

Selección de 'Cristalino'

Es un híbrido obtenido de la cruce entre la variedad de pulpa blanca 'Nieve' con la selección 'I-95'. Presenta una floración tardía, hasta la primera quincena de marzo, misma que le permite evadir el daño por heladas tardías. La maduración de 'Cristalino' ocurre 50 días antes que el durazno criollo esta ocurre en la primera quincena de julio. Esta característica la convierte en una variedad temprana para el estado de Zacatecas. La fruta es forma redonda-aplanada, escasa pubescencia con la piel de color blanco crema con un atractivo rubor (chapa) brillante. Dependiendo de la exposición a la radiación solar el chapeado puede ser mayor al 70% (Figura 2).

Dentro del análisis 'Cristalino' se posiciono en el grupo de GD de frutos grandes alcanza un peso entre 90 y 115 g, alta firmeza soporta de 58.9 a 78.5 N y de regular a buena regular concentración de SST y MSF, pero además es muy aromático (Figura 1; Figura 2). La pulpa es blanca con el hueso adherido, alto contenido de jugo y sólidos solubles totales de sabor muy agradable. Se diferencia de los duraznos tradicionales de pulpa amarilla de Zacatecas, y con estos atributos se convierte en una alternativa que fortalece la cadena de valor del sistema producto (Figura 2).

El perfil de compuestos nutraceuticos indicó que es un fruto con una alta riqueza funcional en el epicarpio y la pulpa es rica en flavonoides (Cuadro 3). Dentro del fruto, la concentración de los metabolitos no se distribuye uniformemente y estos se pueden concentrar también, en la epidermis o capas sub-epidérmicas. Algunos informes mencionan, que por ejemplo, en uvas, cítricos, granadas, mango, entre otras, contienen mayor cantidad de compuestos fenólicos y flavonoides en la piel que en otras partes de la pulpa dado que muchos de ellos comúnmente actúan como un mecanismo de defensa para protegerse de depredadores o condiciones adversas de clima (Gorinstein *et al.*, 2001; Mattila *et al.*, 2006; Taiz y Zeiger, 2006; Tavarini *et al.*, 2008; Manzoor *et al.*, 2012). Se ha observado que los duraznos de pulpa blanca contienen mayor cantidad de compuestos fenólicos que los de pulpa amarilla (28-111 versus 21-61 µg/100g de peso fresco, respectivamente) pero contienen menor cantidad de carotenoides totales (7-20 versus 71-210 mg/100g de peso fresco, respectivamente); además, los compuestos fenólicos confieren mayor actividad antioxidante que la vitamina C o ácido ascórbico (Gil *et al.*, 2002).



Figura 2. Fruta madura de 'Cristalino'

Cuadro 3: Perfil parcial de compuestos con potencial nutracéutico determinados en el durazno 'Cristalino'. Media (n=3) \pm Desviación estándar (σ) en peso seco.

Compuesto	Cáscara	Pulpa
Carotenoides totales (mg Eq de b-caroteno \cdot g $^{-1}$)	16.49 \pm 0.41	1.94 \pm 0.04
Fenoles totales (mg Eq de ácido gálico \cdot g $^{-1}$)	30.70 \pm 3.04	4.90 \pm 0.15
Flavonoides totales (mg Eq de (+)-catequina \cdot g $^{-1}$)	13.91 \pm 0.01	43.44 \pm 0.54
Taninos condensados (mg Eq de (+)-catequina \cdot g $^{-1}$)	51.80 \pm 0.19	1.02 \pm 0.02
Antocianinas totales (mg Eq de cianidina 3-glucósido \cdot g $^{-1}$)	0.12 \pm 0.00	0.07 \pm 0.00

Manejo de una huerta de durazno 'Cristalino'.

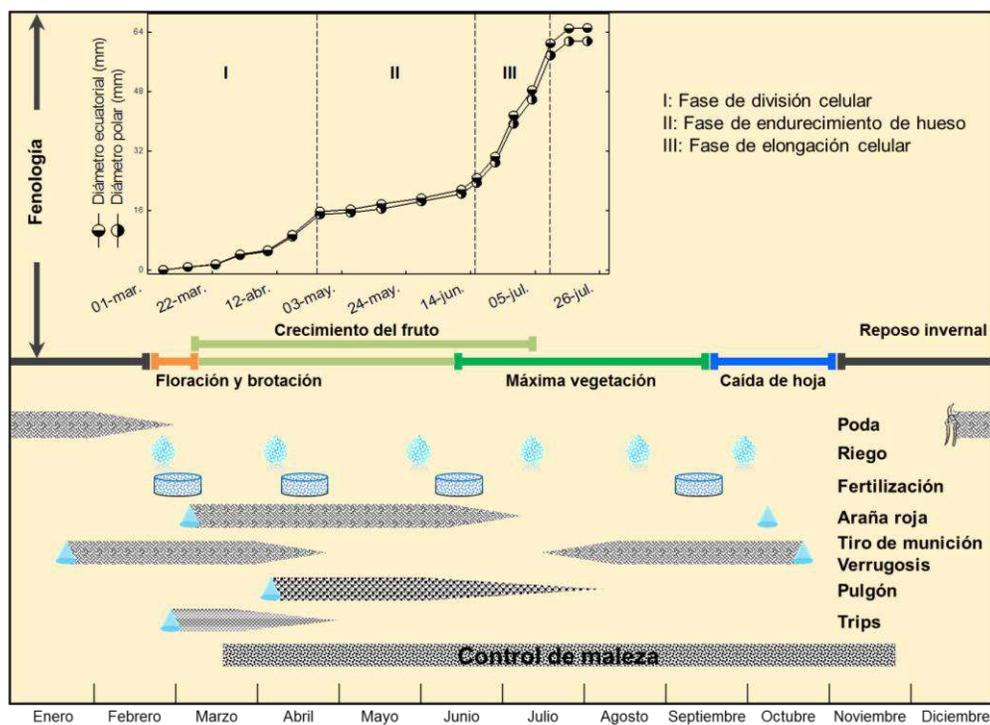


Figura 3. Fenología, labores de cultivo y control fitosanitario de 'Cristalino'.

De manera general, las prácticas culturales se indican en la Figura 3. 'Cristalino' es un árbol con un vigor medio, ideal para huertas de altas densidades, (e.g., más de 1000 árboles por ha). La conducción del árbol puede ser en Vaso multijeje, ípsilon o Tatura (Y), entre otros sistemas, que permitan un dosel bien distribuido. Para tener el huerto uniforme debe utilizarse planta injertada, es indispensable realizar poda de fructificación durante el endoletargo. Si se presenta un alto asentamiento de fruta, se recomienda el raleo previo a la fase II de crecimiento del fruto para incrementar el tamaño de ella. En verano se sugiere la eliminación de crecimientos vigorosos ubicados al centro del árbol.

El genotipo 'Cristalino', posee diversas ventajas sobre los duraznos criollos. 'Cristalino' ha prosperado bien a una altura de 2000 msnm, donde se acumulan poco más de 400 horas frío (temperatura inferior a 7°C) con lluvias predominantes en verano. No se recomienda establecerlo en regiones donde la temperatura de invierno es mayor a 25° C; ya que podría adelantarse la floración. Potencialmente puede ser cultivado en Zacatecas o en otras zonas productoras de Aguascalientes, Tlaxcala y otros Estados, en donde las variedades de pulpa blanca, están siendo comercializadas con buenos precios.

CONCLUSIONES

Este estudio sirvió de apoyo para la identificación de genotipos de duraznos sobresalientes. Uno de ellos fue el GD-26 que mostró las mejores dimensiones de fruto, alto contenido de SST, concentración de MSF, un color amarillo intenso en la epidermis y mesocarpio que otros GD como 'Victoria' y el criollo local. Otro genotipo sobresaliente fue 'Cristalino', el cual presentó un buen tamaño de fruto (90-115 g), alta firmeza (58.9-78.5 N) y alto contenido de SST (10-15° Brix). Este genotipo es un durazno diferente al criollo, es de piel y pulpa blanca, además es un genotipo con alto potencial nutracéutico, cuya epidermis y pulpa son ricas en flavonoides.

LITERATURA CITADA

- Aranzana, M.J., Abbassi, E.-K., Howad, W. and Arús, P. 2010. Genetic variation, population structure and linkage disequilibrium in peach commercial varieties. *BMC Genetics* 11:69.
- Badenes, M.L. And Byrne, D. H. 2012. *Fruit Breeding*, Springer.
- Boudehri, K., Bendahmane, A., Cardinet, G., Troadec, C., Moing, A. and Dirlwanger, E. 2009. Phenotypic and fine genetic characterization of the D locus controlling fruit acidity in peach. *BMC plant biology*, 9, 59.
- Brooks, S. J., Moore, J. N. and Murphy, J. B. 1993. Quantitative and qualitative changes in sugar content of peach genotypes [*Prunus persica* (L.) Batsch.]. *J. American Society for Horticultural Science* 118:97-100.
- Brovelli, E. A., Brecht, J. K., Sherman, W. B. and Sims, C. A. 1998. Potential maturity indices and developmental aspects of melting-flesh and nonmelting-flesh peach genotypes for the fresh market. *J. American Society for Horticultural Science* 123:438-444.
- Brown, J., Caligari, P. and Campos, H. 2014. *Plant Breeding*, Wiley.
- Byrne, D.H., Nikolic, A.N. and Burns, E.E. 1991. Variability in sugars, acids, firmness, and color characteristics of 12 peach genotypes. *J. American Society Horticultural Science* 116:1004-1006.
- Byrne, D., Raseira, M., Bassi, D., Piagnani, M., Gasic, K., Reighard, G., Moreno, M. and Pérez, S. 2012. Peach. In: Badenes, M.L. and Byrne, D.H. (eds.) *Fruit Breeding*. Springer US.
- Cantín M. C. M. 2009. Estudio agronómico y de la calidad del fruto del melocotonero [*P. persica* (L.) Batsch] en diferentes poblaciones de mejora para la selección de nuevos cultivares. Tesis-Doctor, Universidad de Zaragoza.
- Cantín, C.M., Gogorcena, Y. and Moreno, M.Á. 2009. Analysis of phenotypic variation of sugar profile in different peach and nectarine [*Prunus persica* (L.) Batsch] breeding progenies. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 89:1909-1917.
- Cantín, C. M., Gogorcena, Y. and Moreno, M. Á. 2010. Phenotypic diversity and relationships of fruit quality traits in peach and nectarine [*Prunus persica* (L.) Batsch] breeding progenies. *Euphytica* 171:211-226.
- Cevallos-Casals, B.A., Byrne, D., Okie, W.R. and Cisneros-Zevallos, L. 2006. Selecting new peach and plum genotypes rich in phenolic compounds and enhanced functional properties. *Food Chemistry* 96:273-280.

- Colaric, M., Veberic, R., Stampar, F. and Hudina, M. 2005. Evaluation of peach and nectarine fruit quality and correlations between sensory and chemical attributes. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 85:2611-2616.
- Crisosto, C. 2001. How do we increase peach consumption? V International Peach Symposium 592:601-605.
- Crisosto, C.H. and Crisosto, G.M. 2005. Relationship between ripe soluble solids concentration (RSSC) and consumer acceptance of high and low acid melting flesh peach and nectarine [*Prunus persica* (L.) Batsch] cultivars. *Postharvest Biology and Technology* 38:239-246.
- Crisosto, C. H., Crisosto, G.M., Echeverria, G. and Puy, J. 2006. Segregation of peach and nectarine [*Prunus persica* (L.) Batsch] cultivars according to their organoleptic characteristics. *Postharvest Biology and Technology* 39:10-18.
- Crisosto, G.M. J. Hasey, J.A. Zegbe and C.H. Crisosto. 2012. New quality index based on dry matter and acidity proposed for Hayward kiwifruit. *California Agriculture* 66(2):70-75.
- Esti, M., Messia, M.C., Sinesio, F., Nicotra, A., Conte, L., La Notte, E. and Palleschi, G. 1997. Quality evaluation of peaches and nectarines by electrochemical and multivariate analyses: relationships between analytical measurements and sensory attributes. *Food Chemistry* 60:659-666.
- Fresnedo-Ramirez, J., Martinez-Garcia, P., Parfitt, D., Crisosto, C. and Gradziel, T. 2013. Heterogeneity in the entire genome for three genotypes of peach [*Prunus persica* (L.) Batsch] as distinguished from sequence analysis of genomic variants. *BMC Genomics* 14:750.
- Frett, T. J., Gasic, K., Clark, J. R., Byrne, D., Gradziel, T. and Crisosto, C. 2012. Standardized phenotyping for fruit quality in peach [*Prunus persica* (L.) Batsch]. *Journal of the American Pomological Society* 66:214-219.
- Génard, M. and Bruchou, C. 1992. Multivariate analysis of within-tree factors accounting for the variation of peach fruit quality. *Scientia Horticulturae* 52:37-51.
- Gil, M.I., Tomas-Barberan F.A., Hess-Pierce B. and A. Kader. 2002. Antioxidant capacities, phenolic compounds, carotenoids, and vitamin C contents of nectarine, peach, and plum cultivars from California. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50:4976-4982.
- Gorinstein, S.; Zachwieja, Z.; Folta, M.; Barton, H.; Piotrowicz, J.; Zemser, M.; Weisz, M.; Trakhtenberg, S.; Martín-Belloso, O. 2001. Comparative contents of dietary fiber, total phenolics, and minerals in persimmons and apples. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49: 952–957.
- Hawkes, J. G. 1977. The importance of wild germplasm in plant breeding. *Euphytica* 26:615-621.
- Cevallos-Jain S.M. and Priyadarshan, P.M. 2009. *Breeding plantation tree crops: temperate species*, Springer.
- Kole, C. and Abbott, A. G. 2012. *Genetics, genomics and breeding of stone fruits*, Taylor and Francis.
- Manzoor, M., Anwar, F.; Saari, N., Ashraf, M. 2012. Variations of antioxidant characteristics and mineral contents in pulp and peel of different apple (*Malus domestica* Borkh.) cultivars from Pakistan. *Molecules* 17, 390–407.
- Mattila, P., Hellström, J. and Törrönen, R. 2006. Phenolic acids in berries, fruits, and beverages. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54: 7193-7199.
- Ogundiwin, E., Peace, C., Gradziel, T., Parfitt, D., Bliss, F. and Crisosto, C. 2009. A fruit quality gene map of *Prunus*. *BMC Genomics* 10:587.
- Okie, W. and Scorza, R. 2001. Breeding peach for narrow leaf width. *Acta Horticulturae* 592:137-141.
- Okie, W.R. 1998. *Handbook of peach and nectarine varieties: performance in the southeastern United States and index of names*. U.S.D.A. Agriculture Handbook 808 p.
- Peace, C.P., Crisosto, C.H. and Gradziel, T.M. 2005. Endopolygalacturonase: a candidate gene for freestone and melting flesh in peach. *Molecular Breeding* 16:21-31.
- Perez G.S. 2007. *Duraznero: Ecofisiología, mejoramiento genético y manual para su manejo*. Ediciones UAQ. Querétaro, México 115 p.
- Perez, G. 2000. Regio, Toro, San Juan Viejo, Amiranda, San Carlos, Amarillo de Junio Y Acuitzio: nuevas variedades de duraznero para Guanajuato. Folleto técnico No. 1. Campo Experimental Norte de Guanajuato. CIRCE-inifap. 16p.
- Pérez, S., Montes, S. and Mejía, C. 1993. Analysis of peach germplasm in Mexico. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 118:519-524.

- Rumayor, R.A.F., Sánchez, T.B.I y Zegbe, D.J.A. 2011. Estudio sensorial como estrategia de mercadotecnia para el durazno mexicano. XV Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Administrativas 189-196.
- Quilot, B., Génard, M., Kervella, J. and Lescourret, F. 2004. Analysis of genotypic variation in fruit flesh total sugar content via an ecophysiological model applied to peach. *Theoretical and Applied Genetics* 109:440-449.
- Ruiz, D. and Egea, J. 2008. Phenotypic diversity and relationships of fruit quality traits in apricot (*Prunus armeniaca* L.) germplasm. *Euphytica* 163:143-158.
- Rumayor, R. A.; Llamas, L.I. J.; Melero, M. V. y Zegbe, D. J. 2009. Descripción fenotípica de material genético de durazno para Zacatecas. INIFAP. Campo Experimental Zacatecas, CIRNOC-INIFAP.
- Sánchez T.B.I., Zegbe D.J.A. y Rumayor R.A.F. 2012. Producción y comercialización del durazno criollo de Zacatecas. Folleto técnico No. 43. Campo Experimental Zacatecas. CIRNOC-INIFAP, 43 P.
- Scorza, R., Miller, S., Glenn, D.M., Okie, W.R. and Tworkoski, T. 2006. Developing Peach Cultivars with Novel Tree Growth Habits. *Acta Horticulturae* 713:61-64.
- Sharpe, R., Webb, T. and Lundy, H. 1954. Peach variety tests. *Procedure Florida State Horticultural Society* 245-247.
- SIAP, 2018. <http://www.siap.gob.mx/> (consultado el 12 de junio de 2018).
- Taiz, L. y Zeiger, E. 2006. *Fisiología Vegetal*. Editorial Universitat Jaume. 3er edición. pp. 529-580.
- Tavarini, S.; Innocenti, E.D.; Remorini, D.; Massai, R.; Guidi, L. 2008. Antioxidant capacity, ascorbic acid, total phenols and carotenoids changes during harvest and after storage of Hayward kiwifruit. *Food Chemistry*. 107: 282-288.
- Torres, Q., MA. Elba 1982. Monografía de la poda del durazno (*P. persica* (L) Batsch). Tesis de Ingeniero Agrónomo, Universidad De Guadalajara.
- Wu, B., Quilot, B., Kervella, J., Génard, M. and LI, S. 2003. Analysis of genotypic variation of sugar and acid contents in peaches and nectarines through the Principle Component Analysis. *Euphytica* 132:375-384.
- Yeater, K. M., Duke, S. E. and Riedell, W.E. 2015. Multivariate analysis: greater insights into complex systems. *Agron. J.* 107:799-810.
- Zegbe, D.J., Rumayor, R.A., Reveles, T.R., y Pérez, B.H. 1999. 'Victoria' un clon de durazno (*Prunus persica* L.) de hueso pegado para Zacatecas. *Revista Fitotecnia Mexicana* 22:227-235

**PRODUCCIÓN DE BIOMASA DE 20 COLECTAS DE MORINGA BAJO LAS CONDICIONES
AGROCLIMÁTICAS DEL SURESTE DE MÉXICO**
BIOMASS PRODUCTION OF 20 COLECTAS OF MORINGA UNDER THE AGROCLIMATIC
CONDITIONS OF SOUTHEASTERN MEXICO

Basulto Graniel JA, Burgos Díaz JA, Gamboa JA

Centro de Investigación Regional Sureste (CIRSE) del INIFAP. Calle 6 Núm. 398 x 13, Avenida Correa
Rachó. Col. Díaz Ordaz, C.P. 97130. Mérida Yucatán, México.
Autor para correspondencia: basulto.jorge@inifap.gob.mx

RESUMEN

Para México una de las especies que reúnen a corto y mediano plazo, ventajas agronómicas y tecnológicas como la adaptación a diversos ambientes, bajos requerimientos de agua, alto potencial de rendimiento de grano y follaje, así como alto contenido de aceite y calidad del mismo es la *Moringa oleifera*, especie versátil, conocida comúnmente como Moringa la cual ha cobrado gran interés debido a sus cualidades nutricionales y energéticas, por lo que se ha posicionado como una alternativa de producción en varias regiones del mundo. El objetivo del presente estudio fue cuantificar la producción de biomasa de 20 colectas de Moringa en el Sureste de México. El experimento se estableció en el Sitio Experimental Uxmal, bajo temporal en un suelo luvisol ródico. Se utilizó un diseño experimental de Bloques al azar, con cuatro repeticiones. Los tratamientos fueron 20 colectas de Moringa con una antigüedad de cuatro años, sembradas a una distancia de siembra de 3 m entre plantas y 1.5 m entre hileras. El 21 de mayo abril de 2017 se dio un corte de uniformización a 1.40 m de altura a todas las plantas de las parcelas; los cortes de evaluación se realizaron mensualmente en cuatro plantas en competencia completa. En base a los resultados obtenidos se consideran como colectas promisorias para producción de biomasa de Moringa en el Sureste de México, las colectas 1, 2 y 4 con rendimientos promedio de la suma de cuatro cortes de evaluación con 30965, 28482 y 26382 kg ha⁻¹ de biomasa respectivamente.

Palabras claves: *Moringa*, *colectas*, *biomasa*, *rendimiento*.

INTRODUCCION

La *Moringa oleifera* es un árbol originario del sur del Himalaya y del noroeste de la India, que se ha extendido a otras partes de India, Bangladesh, Afganistán, Pakistán, Sri Lanka, Sudeste Asiático, Asia Occidental, Península Arábiga, África del Este y del Oeste, sur de la Florida, Caribe, Centroamérica y gran parte de América del Sur. En América tropical se cultiva generalmente como planta ornamental, se piensa que fue llevada de la India a África por los ingleses e introducida al Caribe por los franceses y de allí a Centroamérica (Ramachandran et al., 1980; Folkard y Sutherland, 1996; Bonal et al., 2012). Es un árbol perenne de muy rápido crecimiento que puede vivir 20 años. Aporta una elevada cantidad de nutrientes al suelo, además de protegerlo de factores externos como la erosión, la desecación y las altas temperaturas (Alfaro y Martínez, 2008; Falasca y Bernabé, 2008; Liñán, 2010). Puede alcanzar entre 7 y 12 m de altura y de 20 a 40 cm de diámetro, con una copa abierta tipo paraguas y fuste recto (Figura 1). Las hojas son compuestas y están dispuestas en grupos de folíolos con 5 pares de éstos acomodados sobre el pecíolo principal y un folíolo en la parte terminal.

El árbol brinda una innumerable cantidad de productos valiosos que las comunidades han aprovechado por cientos, tal vez por miles de años en sus centros de origen y otros países donde ha sido introducida. Las hojas de moringa se emplean para consumo humano por sus altas cantidades de vitamina A, vitamina C, hierro y potasio; también contiene alrededor de 27 % de proteína y 9 aminoácidos esenciales para el ser humano, además se emplean en la medicina tradicional (Alfaro y Martínez, 2008). También se consumen las flores, los frutos y las semillas. Las semillas se emplean, para la purificación del agua y se extrae de ellas un aceite que se puede usar para consumo humano con una calidad parecida al de oliva. Este aceite puede ser empleado para la elaboración de biodiesel (Alfaro y Martínez, 2008). Las hojas y tallos; son el forraje ideal para los animales, por su alto valor de proteína (27%), se usa en los vacunos, ovinos, porcinos, peces y aves (Folkard y Sutherland, 1996). Los residuos de la extracción del aceite de las semillas pueden utilizarse como acondicionador del suelo o como fertilizante y tienen potencial para ser utilizados como suplemento alimenticio avícola y ganadero ya que tiene 60 % de proteína y 75 % de digestibilidad (Folkard y Sutherland, 1996).

La Moringa *Moringa oleifera* en Sureste de México, se presenta como una alternativa renovable energética multipropósito, a partir de la cual se pueden desarrollar materias primas sustitutas para el petróleo, además de otros usos por su valor alimenticio humano y animal (Basulto *et al* 2015 a; Basulto *et al* 2015 b; Basulto *et al* 2016).

Sin embargo, no se cuenta con variedades generadas de este cultivo bioenergético, que estén adaptadas a las regiones potenciales de México, se desconoce el manejo agronómico y el rendimiento agroindustrial; por lo tanto, se requiere iniciar la selección de genotipos elite y desarrollar tecnologías sustentables de producción para la Moringa, como cultivo bioenergético y como fuente de alimento en México.

En base a lo anterior el objetivo del presente estudio fue cuantificar la producción de biomasa de 20 colectas de Moringa en el Sureste de México.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se estableció en el Sitio Experimental Uxmal, en un tipo de suelo Luvisol ródico con clima AW₀. Ubicado en las coordenadas con Latitud Norte de 20° 24' 04" y una Longitud Oeste de 89° 45' 04", con una altitud de 41 msnm, una temperatura media anual de 24.2°C, una Humedad relativa promedio de mayo a octubre 78% y de noviembre a abril 73%; y presenta una precipitación media anual entre 900 y 1000 mm.

Se utilizó un diseño experimental de Bloques al azar, con cuatro repeticiones, donde los tratamientos fueron 20 colectas de Moringa realizadas en el estado de Yucatán.

Los tratamientos fueron 20 colectas de Moringa con una antigüedad de cuatro años, sembradas a una distancia de siembra de 3 m entre plantas y 1.50 m entre hileras. La parcela experimental consistió de 6 plantas y la parcela útil de 4 plantas en competencia completa. El 15 de junio de 2017 se dio un corte de uniformización a 1.40 m de altura a todas las plantas de las parcelas; se realizaron cuatro cortes de evaluación de evaluación, uno cada mes de julio a octubre durante el temporal.

Se tomaron las variables, diámetro basal, longitud de rebrote del follaje, número de ramas, rendimiento de biomasa fresca y biomasa seca.

Se realizaron análisis estadísticos de análisis de varianza y pruebas de medias DMS, 0.05.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Diámetro Basal, longitud de follaje y número de ramas

En el Cuadro 1 se presentan las medias de las variables Diámetro Basal, longitud de follaje y número de ramas tomados antes de realizar el corte de evaluación correspondiente al mes de septiembre el cual es el más lluvioso del año, biomasa (hojas y tallos) promedio suma de cuatro cortes.

En el diámetro basal la colecta 22 con 15.55 cm fue significativamente diferente ($P < 0.05$) a las colectas 9, 13, 1, 4, 19, 8, 17, 20, 16, 5 y 14 cuyos valores van de 12.03 a 10.93 cm. En la longitud del follaje la colecta 1 con 1.24 m fue significativamente diferente ($P < 0.05$) a las colectas 18, 12, 17 y 3 cuyos valores van de 1.00 a 0.95 m.

En número de rebrotes al primer corte destacó la colecta 4 con 39.25 rebrotes siendo significativamente diferente ($P < 0.05$) a las colectas 3, 7, 20, 10, 5, 19 y 14 cuyos valores van de 27.00 a 18.00 ramas.

Biomasa en materia verde

En el Cuadro 2 se presentan las medias de las variables de biomasa en materia verde del corte 1, corte 2, corte 3, corte 4 y la suma de materia verde de los cuatro cortes, en 20 colectas de Moringa. La Materia verde se compone de la materia verde de las hojas más la materia verde de los tallos.

En la suma de materia verde de los cuatro cortes sobresalió la colectas 1 con 30965 kg ha⁻¹ siendo significativamente diferente ($P < 0.05$) a las colectas 11, 20, 19, 8, 12, 16, 3, 10, 18, 5 y 14 cuyos valores se encontraron entre 15328 y 21402 kg ha⁻¹ (Figura 1). El rendimiento de la colecta 1 estuvo debajo de los rendimientos de producción de biomasa verde de 54400 y 107000 kg MV/ha/año reportados por Reyes-Sánchez *et al.*, 2006; hay que tomar en consideración que la siembra del experimento evaluado no fue con la idea de sembrar bancos de proteína, sino para su posible uso en la alimentación humana y animal, además de que fue evaluado exclusivamente bajo temporal.

Se pudo observar en la suma de los rendimientos de cada corte, que éstos disminuyeron mes con mes. Se obtuvo de manera general que el 37 % del total de la MS es hoja y el restante 63% es tallo.

Cuadro 1. Medias de Diámetro basal (cm), Longitud de follaje (m) y número de ramas de 20 colectas de Moringa en el estado de Yucatán.

Colecta	Diámetro basal (cm)	Colecta	Longitud de follaje (m)	Colecta	Numero de rebrotes
T12	15.55 a	T1	1.24 a	T4	39.25 a
T7	14.13 ab	T2	1.20 ab	T9	36.00 ab
T10	14.10 ab	T15	1.15 abc	T11	34.00 abc
T11	14.08 ab	T10	1.15 abc	T1	33.25 abcd
T3	14.05 ab	T20	1.15 abc	T2	33.00 abcd
T2	13.88 abc	T14	1.11 abc	T17	33.00 abcde
T6	13.48 abc	T7	1.09 abc	T15	31.50 abcde
T15	13.40 abcd	T19	1.09 abc	T8	31.00 abcde
T18	13.15 abcd	T13	1.08 abc	T6	30.75 abcde
T9	13.03 bcd	T4	1.06 abc	T12	29.50 abcdef
T13	12.88 bcd	T8	1.05 abc	T18	29.25 abcdef
T1	12.85 bcd	T11	1.04 abc	T16	29.00 abcdef
T4	12.73 bcd	T16	1.03 abc	T13	28.75 abcdef
T19	12.60 bcd	T9	1.03 abc	T3	27.00 bcdef
T8	12.50 bcd	T5	1.03 abc	T7	26.75 bcdef
T17	12.30 bcd	T6	1.03 abc	T20	26.75 bcdef
T20	12.05 bcd	T18	1.00 bc	T10	23.25 cdef
T16	11.98 bcd	T12	0.98 c	T5	21.25 def
T5	11.50 cd	T17	0.96 c	T19	20.50 ef
T14	10.93 d	T3	0.95 c	T14	18.00 f

DMS 2.4757 0.2186 12.096

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

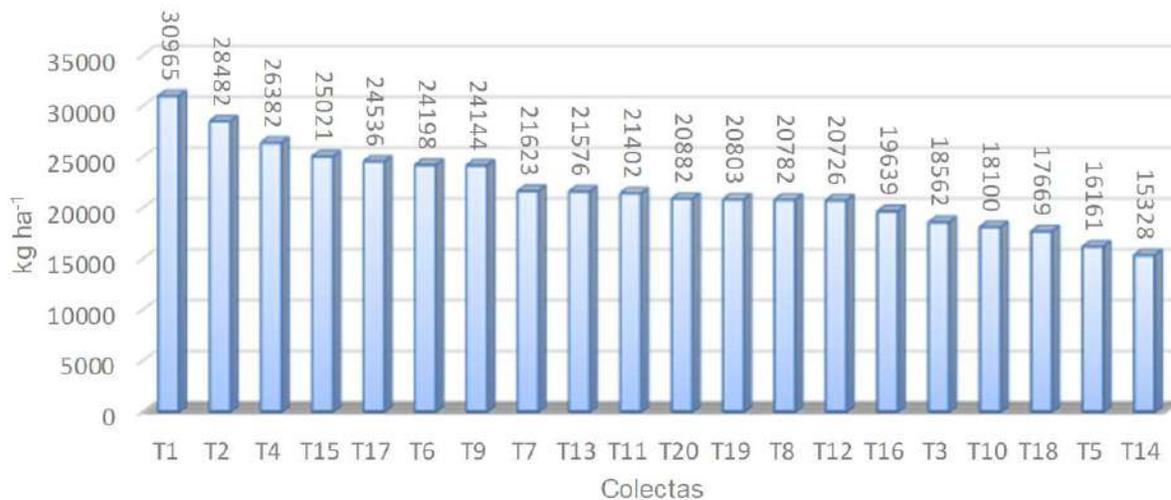


Figura 1. Rendimiento de biomasa de 20 colectas de moringa en el Sureste de México

Calidad fisicoquímica de 20 materiales de Moringa

Los resultados de porcentaje de materia seca (MS) y los promedios de los análisis fisicoquímicos del follaje de los materiales, se presentan en el cuadro 3. Para MS del follaje no se presentaron diferencias significativas ($P > 0.05$) entre las colectas, el rango que se obtuvo fue de 16.9 a 20.4%, siendo las colectas 4 y 19 las que presentaron mayor porcentaje de materia seca. También no hubo diferencias significativas ($P > 0.05$) entre los materiales en los análisis fisicoquímicos de la Moringa; para las Cenizas, se obtuvieron valores de 8.0 a 10.8%; los porcentajes de PC determinados fueron

Cuadro 2. Rendimiento de Biomasa verde del corte 1 (julio), corte 2 (agosto), corte 3 (septiembre), corte 4 (octubre) y la suma de los cuatro cortes, de 20 colectas de Moringa.

colecta	Corte de julio	Corte de agosto	Corte de septiembre	Corte de octubre	Rendimiento de follaje de MV en kgha ⁻¹
T1	11985	7019	7359	4601	30965 a
T2	9971	7440	7027	4043	28482 ab
T4	8786	7050	6194	4352	26382 abc
T15	9238	6855	5673	3255	25021abcd
T17	8767	6726	5593	3451	24536 abcde
T6	7568	6577	6044	4008	24198 abcde
T9	8590	6800	5557	3196	24144 abcde
T7	7144	6364	5203	2913	21623 abcde
T13	6687	6215	5239	3434	21576 abcde
T11	6517	5716	5636	3533	21402 abcde
T20	5917	5696	5457	3812	20882 bcde
T19	6972	5679	4784	3369	20803 bcde
T8	6452	5382	5931	3015	20782 bcde
T12	7848	5359	4750	2769	20726 bcde
T16	6530	5598	4866	2644	19639 bcde
T3	5751	4937	4936	2939	18562 cde
T10	6136	5718	4075	2170	18100 cde
T18	6494	4827	4148	2200	17669 cde
T5	5083	3559	5179	2340	16161 de
T14	4866	3857	3607	2997	15328 e
TOTAL	147301	117377	107260	65040	

MS 9605.5

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

de 21.3 a 29.9 %; algunos por arriba de los valores reportados por Reyes-Sánchez et al., 2006 que obtuvieron entre 17 y 27.4% de PC; y de Alfaro y Martínez, 2008 que reportaron 27 % de PC en hojas ; para FAD se obtuvo rangos que van de 16.7 a 26.4% y para la FND de 20.3 a 30.4%.

Cuadro 3. Calidad fisicoquímica (%) del follaje de 20 colectas de Moringa

COLECTA	MS en follaje	Cenizas en follaje	PC en follaje	FAD en follaje	FND en follaje	Aceite en semilla
1	19.4	9.1	26.0	21.5	25.0	30.7
2	17.7	9.7	27.4	20.9	23.5	38.4
3	19.8	9.8	22.5	26.4	30.4	37.6
4	20.3	10.8	22.7	24.8	27.8	38.7
5	18.9	10.3	21.3	23.4	29.7	36.1
6	19.2	9.7	23.8	22.7	28.2	33.0
7	17.9	9.9	24.2	21.0	25.0	41.9
8	17.2	9.3	27.8	19.1	21.4	33.7
9	17.4	9.0	28.6	17.5	20.3	41.3
10	19.8	8.9	28.6	17.3	22.7	35.9
11	17.0	9.2	28.7	18.5	22.6	38.8
12	17.2	9.2	26.7	19.2	22.1	36.4
13	18.6	8.0	25.8	17.1	21.3	36.7
14	18.5	9.1	26.4	16.7	20.3	36.6
15	16.9	9.1	28.1	20.7	23.9	38.4
16	19.1	8.0	29.9	18.9	23.8	40.6
17	18.4	8.8	23.2	19.2	23.9	38.1
18	18.0	9.1	24.2	22.0	27.4	40.3
19	20.4	8.8	26.7	18.0	20.3	36.2
20	17.8	9.7	25.6	19.2	22.5	37.3

Los porcentajes de El contenido de aceite en los genotipos evaluados se encuentran en un rango de 30.70 a 41,90 %. Las colectas 7 y 9 presentan los mayores contenidos de aceite, con valores superiores al 40 %.

CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos se consideran como colectas promisorias para producción de biomasa de Moringa en el Sureste de México, las colectas 1, 2 y 4 con rendimientos promedio de la suma de cuatro cortes de evaluación con 30965, 28482 y 26382 kg ha^{-1} de biomasa respectivamente. Las cuales se vislumbran como buenos materiales para ser empleados alimentación humana o animal.

LITERATURA CITADA

- Alfaro, N.C. y Martínez, W. 2008. Uso potencial de la Moringa (*Moringa oleifera*, Lam) para la producción de alimentos nutricionalmente mejorados. Guatemala, CA: Seriprensa, S.A. INCAP y CONCYT. pp. 28.
- Basulto, G.J., Reyes, R.A.L., Gamboa, J.A y Góngora, G.S. 2015 a. Evaluación agronómica de colectas de moringa (*Moringa oleifera*) en un suelo luvisol ródico en el estado de Yucatán. XXVII Reunión Científica – Tecnológica Forestal y Agropecuaria Tabasco 2015. Y IV Simposio Internacional de Producción Agroalimentaria Tropical. Del 5 y 6 de noviembre de 2015. Villa Hermosa, Tabasco. (Trabajo completo 7 p).
- Basulto, G.J., Reyes, A.L., Góngora, G.S., Gamboa, J. A. 2015 b. Evaluación agronómica de 20 materiales de Moringa en suelo luvisol ródico en el Estado de Yucatán, México. Convención Internacional Agroforestal, 6to. Congreso Forestal de Cuba, II Congreso Internacional de Café y Cacao y VI Encuentro Internacional de Jóvenes Investigadores. Palacio de Convenciones de La Habana, Cuba, del 13 al 17 de abril de 2015. (Trabajo completo 6 p).
- Basulto-Graniel, J. A., Rico-Ponce, H. R., González-Jiménez, A., Díaz-Fuentes, V.H., Rueda-Sánchez, A., Ortiz-Curiel, S., Solís-Bonilla, J. L., Reyes-Reyes A. L. 2016. Componentes tecnológicos para la producción de semilla de moringa como insumo para biocombustibles. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Pacífico Sur. Campo Experimental Rosario Izapa. Folleto Técnico Número 42. Tuxtla Chico, Chiapas, México. 25 p.
- Bonal, R.R., Rivera, R.O.M y Bolivar, C.M.E. 2012. *Moringa oleifera*: una opción saludable para el bienestar. MEDISAN 16(10):1596
- Folkard, G. y Sutherland, J. 1996. *Moringa oleifera* un árbol con enormes potencialidades. Agroforestry Today 8 (3): 5-8.
- Falasca, S.L. y Bernabé, M.A. 2008. Potenciales usos y delimitación del área de cultivo de *Moringa oleifera* en Argentina. Revista Virtual de REDESMA. 16 p.
- Liñan, T.F. 2010. *Moringa oleifera* El árbol de la nutrición. Ciencia y salud Virtual. Vol. 2 No. 1, diciembre de 2010 pp. 130-138.
- Ramachandran, C., Peter, K.V., Gopalakrishnan, P.K. 1980. Drumstick (*Moringa oleifera*): a multipurpose Indian vegetable. Economic Botany 34(3): 276-283.
- Reyes-Sánchez, N; Ledin S; Ledin I. 2006. Biomass production and chemical composition of *Moringa oleifera* under different management regimes in Nicaragua. Agroforestry Systems 66:231–242

**FENOLOGÍA Y RENDIMIENTO DE VARIEDADES DE UVA PARA MESA CULTIVADAS EN EL
SUB-TRÓPICO SEMI-ÁRIDO TEMPLADO**
PHENOLOGY AND YIELD OF TABLE GRAPES GROWN IN THE TEMPERATE SEMI-ARID
SUBTROPICAL

Zegbe JA, Reveles-Torres LR

INIFAP-Campo Experimental Zacatecas. Km 24.5 Carretera Zacatecas-Fresnillo, Calera de Víctor
Rosales, Zacatecas, México.

*Autor para correspondencia: jzegbe@gmail.com

RESUMEN

El propósito de esta investigación fue estudiar la fenología y producción de uvas blancas, rojas y negras para mesa. Las variedades con cosechas tempranas fueron Queen (agosto 12), Exotic (agosto 17) y Rish Baba (agosto 18); mientras que las tardías fueron Calmeria (septiembre 18), Almeria (septiembre 22), Emperador (septiembre 27) y Ribier (septiembre 27). Los mejores rendimientos, en promedio, se registraron en la variedad blanca Olivette Blanche (13.5 t/ha), en la roja Queen (14.4 t/ha) y en la negra Exotic (19.4 t/ha). Los más altos contenidos de azúcares (°Brix) se produjeron en la variedad blanca Calmeria (20.0%) y en la roja Flame Tokay (18.8%). Con esta información, los usuarios podrán decidir qué variedades podrían ser cultivadas comercialmente.

Palabras clave: *Vitis vinífera*, etapas de crecimiento, producción, sólidos solubles.

INTRODUCCION

El género *Vitis* es cultivado para consumo en fresco e industrial entre los 25 y 50° de latitud en ambos hemisferios. En el hemisferio norte la especie *V. vinífera* es también cultivada comercialmente en bajas latitudes (22° y 23°) como en Aguascalientes, Coahuila y Zacatecas, México. En esta última entidad, la viticultura se desarrolla en un microclima clasificado como subtropical árido templado en altitudes entre 2,032 y 2,197 m. En consecuencia, ha sido necesario introducir y evaluar variedades de uvas industriales y de mesa para conocer el grado de adaptación a climas no mediterráneos. En cuanto a uvas de mesa, agronómica y comercialmente, cuatro aspectos importantes a evaluar son: 1) comportamiento fenológico, 2) color de la uva (blanca, roja y negra), 3) rendimiento y 4) calidad de la uva, básicamente tamaño del racimo y concentración de azúcares. El concepto de fenología en especies frutales, se refiere al estudio de los fenómenos biológicos que ocurren cíclica y anualmente en interacción con el medio ambiente, como son la brotación, floración, amarre de la fruta, maduración, cosecha, caída de hojas, etc., (Elmendorf *et al.*, 2016). En *V. vinífera*, Pearce y Coombe (2004) propusieron una escala de 47 eventos fenológicos (principales e intermedios); que, dentro de los principales, incluyeron: 1) el desarrollo de brotes e inflorescencias, 2) floración, 3) formación de las bayas, 4) maduración de las bayas y, 5) senescencia (caída de hojas). ¿Dónde radica la importancia de conocer estos eventos biológicos? Desde el punto de vista agronómico, conocer la fenología de un cultivo, ayuda a entender el proceso de producción, ya que la identificación de dichos eventos coadyuva a la correcta aplicación de prácticas agrícolas (planeación oportuna) como la poda de sarmientos (cañas), fertilización mineral, manejo del follaje y órganos reproductivos, control de la maleza, plagas, enfermedades, aplicación del riego y programación de la cosecha, entre otros (Zapata *et al.*, 2017). Sin embargo, la expresión de los eventos fenológicos está íntimamente asociados con el clima de la localidad y la carga genética de cada variedad (Elmendorf *et al.*, 2016). Dicha interacción (genotipo-ambiente) experimentará un efecto positivo o negativo en el rendimiento biológico y en la calidad que afectará su comercialización (Way *et al.*, 1988). Por lo tanto, la introducción y evaluación de variedades es un proceso obligado para conocer la factibilidad de qué genotipos funcionarían en algún agro-ecosistema, con determinadas prácticas agrícolas y condiciones de mercado (Harding, 1988). Esta investigación tuvo como propósito estudiar la fenología y producción de uvas blancas, rojas y negras para mesa.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se condujo en el Campo Experimental Zacatecas (22° 54' LN, 102° 39' LO). Éste se encuentra a 2,197 m sobre el nivel del mar. El sitio experimental tiene una temperatura media anual de 14.6 °C y precipitación media anual de 416 mm, de la cual el 75 % ocurre durante el verano, particularmente de junio a septiembre. La evaporación promedio anual es de 1,609 mm. El suelo es

franco arenoso con pH de 7.5 y un contenido de materia orgánica de 0.57 %. El viñedo consistió de sarmientos plantados directamente en 1982 a 3 m entre hileras y 1.80 m entre plantas. Se evaluaron siete variedades blancas (Almería, Calmería, Dattier de Beyrouth, Italia, Moscatel de Alexandria, Olivette Blanche, Rish Baba), cuatro rojas (Flame Tokay, Kismishi, Málaga Roja y Queen) y cuatro negras (Black Rose, Emperador, Exotic y Ribier). Las plantas fueron formadas en un sistema de pérgola (Figura 1A) y conducidas (SC) en cordón bilateral en forma de “ese”, doble uni-lateral (en forma de “U”) y cuadrilateral en forma de “H” (Figura 1B, 1C y 1D, respectivamente). Este último factor se mantuvo fijo en el análisis de la información que se presenta. El viñedo fue manejado con prácticas comerciales de producción. Se registraron los siguientes eventos fenológicos: brotación, floración, envero, madurez de cosecha y defoliación. La información, en días julianos, se colectó de cinco plantas por variedad por sistema de conducción cuando cada estadio fenológico alcanzó 50%. Se utilizó una base de datos de 19 años (1985-1988, 1990-1998, 2000-2001, 2008-2011). La información de producción correspondió a los ciclos del 2009 al 2011. El rendimiento por hectárea se estimó con el peso de acumulado por planta de cada variedad. La concentración de sólidos solubles totales (CSST) se determinó antes de la cosecha muestreando al azar algunos racimos de cinco plantas por variedad y por SC. Cinco granos por racimo por planta se mezclaron, exprimieron y con algunas gotas, la CSST se determinó con un refractómetro digital (Modelo PR-32 α , Atago, Co. Ltd., Tokyo, Japón). Toda la información se analizó por color de las variedades al través de intervalos de confianza con $p \leq 0.05$.

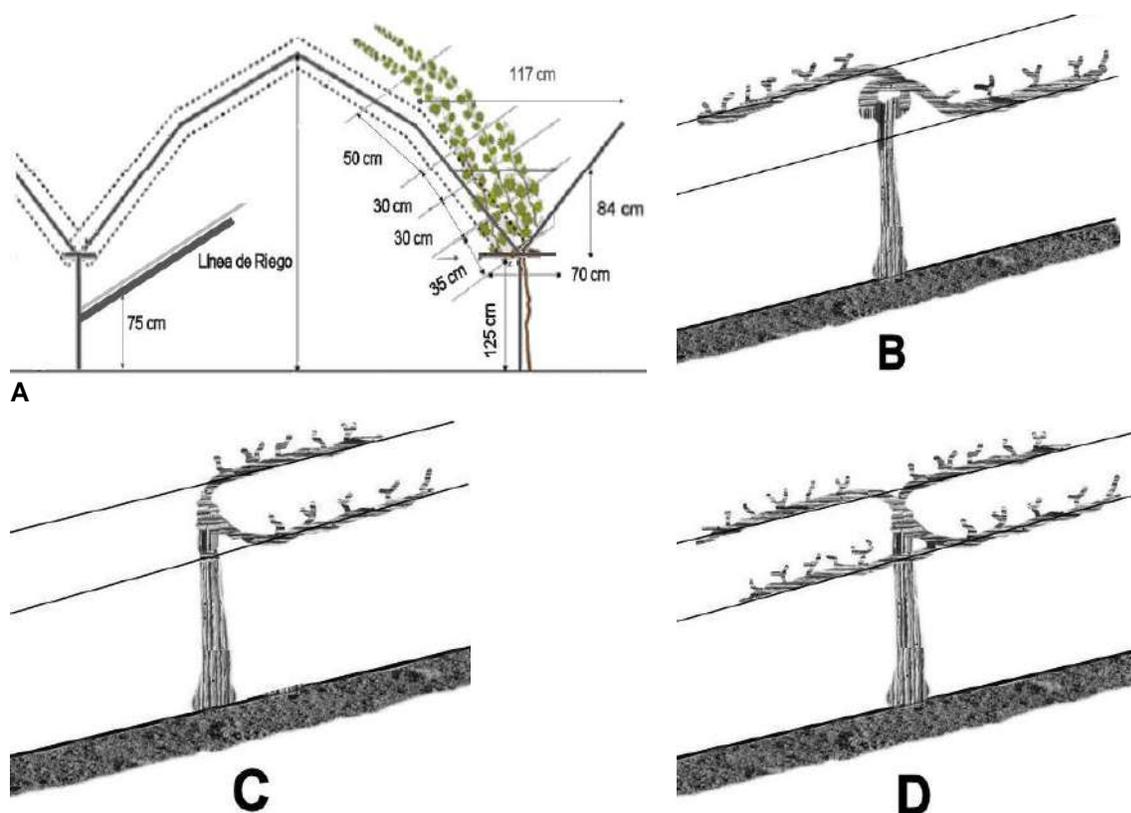


Figura 1. Sistema de espaldera en pérgola para uva de mesa (A). Sistemas de conducción de las parras, en forma de “ese (S)” (B), doble uni-lateral (C) y cuadrilateral (D).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Bajo las condiciones de esta región, se encontró que la expresión fenológica de las variedades incluidas en este estudio fue contrastante en los cinco eventos fenológicos considerados (Figura 2). La brotación es una de las etapas fenológicas más críticas, primero por la cantidad de frío que las plantas reciben durante el invierno (requerimientos de frío invernal) y después por el descenso de la temperatura por debajo de cero grados centígrados que normalmente se presenta en esta región

durante esta etapa fenológica. Las variedades más tempranas (50% de brotación) fueron Queen (marzo 24), Rish Baba (marzo 25), Kishmishi (marzo 28) y Calmeria (marzo 28), mientras que las variedades Moscatel de Alexandria (abril 11) y Black Rose (abril 13) fueron las más tardías. El resto de las variedades tuvo una brotación intermedia entre estos dos grupos de variedades. Las variedades Rish Baba (abril 30), Queen (mayo 1) y Calmeria (mayo 5) alcanzaron el 50% de la floración más temprano que Black Rose y Emperador (mayo 19). El resto de las variedades presentaron una floración (50%) intermedia entre estos dos grupos de uvas. El envero (cambio de color del racimo) se observó primero en Exotic (julio 10), Rish Baba (julio 12) y Kishmishi (julio 16) y al final Almeria (agosto 23) y Emperador (agosto 24). El resto de las variedades presentaron un envero (50%) intermedio entre estos dos grupos de uvas. En contraste, el 50% de la cosecha, en promedio, la alcanzaron Queen (agosto 12), Exotic (agosto 17) y Rish Baba (agosto 18); mientras que las más tardías fueron Calmeria (septiembre 18), Almeria (septiembre 22), Emperador (septiembre 27) y Ribier (septiembre 27). El resto de las variedades presentaron un envero (50%) intermedio entre estos dos grupos de variedades. La entrada a letargo (descanso invernal) es importante para reanudar el siguiente ciclo vegetativo y reproductivo, físicamente éste se manifiesta con el amarillamiento y caída de las hojas (Elmendorf *et al.*, 2016). Esta etapa se observó primero en las variedades Moscatel de Alexandria (octubre 11) y Dattier de Beyrouth (octubre 14) y al final en Almeria (octubre 28), Malaga Roja (octubre 30), Kishmishi (noviembre 1) y Emperador (noviembre 4). El resto de las variedades alcanzaron esta etapa de manera intermedia entre estos dos grupos de variedades. Con la información arriba indicada resulta básica para la determinación los requerimientos térmicos en función de la estimación de temperaturas base para cada evento fenológico por variedad (Elmendorf *et al.*, 2016; Zapata *et al.*, 2017). También, es útil para establecer la evolución de insectos-plaga y enfermedades para su control biológico o químico y la oportuna aplicación de práctica agrícolas (Zapata *et al.*, 2017).

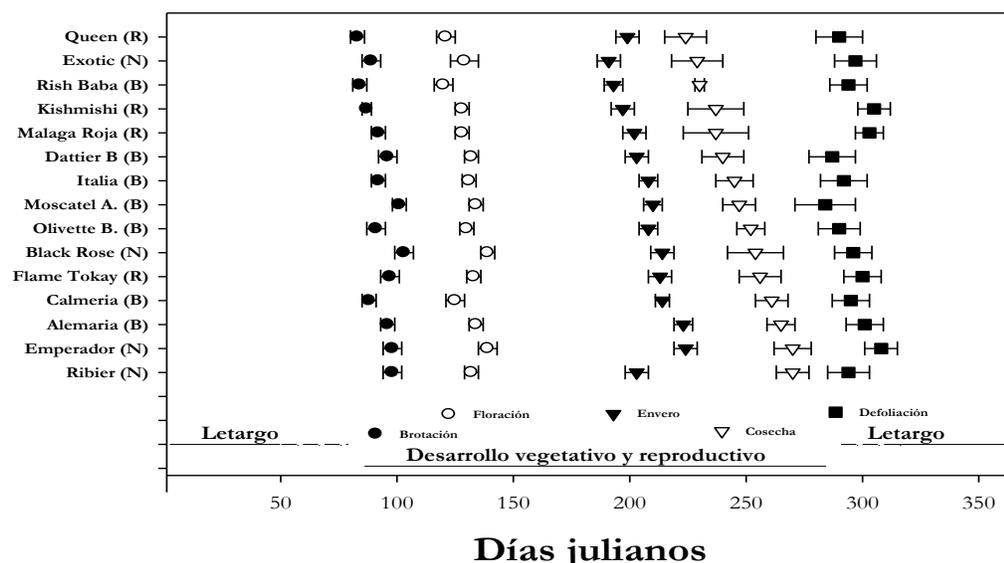


Figura 2. Comportamiento fenológico de 15 variedades de uvas blancas (B), rojas (R) y negras (N) para mesa. Las barras horizontales en cada evento fenológico indican intervalos de confianza con $p \leq 0.05$.

La variedad Olivette Blanche produjo, en promedio, el rendimiento más alto que el resto de las variedades blancas. En contraste, en las variedades rojas, Queen produjo el mejor rendimiento; mientras que, en las variedades negras, Exotic tuvo el mayor rendimiento, seguido por Ribier y Black Rose (Cuadro 1). Tomando en consideración la edad de las variedades (≈ 29 años), hubo genotipos, dentro de los tres colores, que superaron las 10 t/ha que oficialmente, en promedio, se obtuvieron en Zacatecas para 2016 (SIAP, 2018). La norma mexicana establece 16 °Brix como el contenido mínimo de CSST para la comercialización de esta uva (NMX-FF-026-SCFI-2006). En este sentido, las

variedades blancas Olivette Blanche y Rish Baba, la roja Malaga Roja, y la negra Emperador, no alcanzaron dicho estándar (Cuadro 1). En contraste, las variedades blancas como Calmeria, Dattier de Beyrouth y Moscatel de Alexandria, y la roja Flame Tokay superaron significativamente el estándar mínimo de °Brix establecido por la norma mexicana (Cuadro 1).

Cuadro 1. Valores medios de rendimiento y concertación de sólidos solubles totales (CSST) (\pm intervalos de confianza con $p \leq 0.05$) de 15 variedades de uva para mesa. Campo Experimental Zacatecas, 2017.

Color/variedad	Rendimiento (t ha ⁻¹)	CSST (°Brix)
Blancas		
Alemaria	4.1 \pm 1.5	16.1 \pm 0.9
Calmeria	7.6 \pm 1.5	20.0 \pm 0.8
Dattier de Beyrouth	5.9 \pm 1.6	19.1 \pm 0.4
Italia	8.0 \pm 1.6	17.6 \pm 0.7
Moscatel Alexandria	7.3 \pm 1.8	19.4 \pm 0.9
Olivette Blanche	13.5 \pm 3.8	14.7 \pm 0.5
Rish Baba	7.2 \pm 2.3	14.8 \pm 0.3
Rojas		
Flame Tokay	8.6 \pm 1.3	18.8 \pm 0.6
Kishmishi	6.3 \pm 2.3	16.3 \pm 0.5
Malaga Roja	4.1 \pm 1.2	15.4 \pm 0.4
Queen	14.4 \pm 2.6	17.8 \pm 0.3
Negras		
Black Rose	10.2 \pm 2.0	17.2 \pm 0.5
Emperador	3.0 \pm 0.7	12.4 \pm 0.9
Exotic	19.4 \pm 2.8	15.6 \pm 1.4
Ribier	15.9 \pm 0.7	15.9 \pm 0.3

CONCLUSIONES

Las variedades con cosechas tempranas fueron Queen (agosto 12), Exotic (agosto 17) y Rish Baba (agosto 18). Las tardías fueron Calmeria (septiembre 18), Almeria (septiembre 22), Emperador (septiembre 27) y Ribier (septiembre 27). Los mejores rendimientos se produjeron en la variedad blanca Olivette Blanche (13.5 t/ha), en la roja Queen (14.4 t/ha) y en la negra Exotic (19.4 t/ha). Los más altos contenidos de azúcares se detectaron en la variedad blanca Calmeria (20.0%) y en la roja Flame Tokay (18.8%).

Agradecimientos

A Viridiana Sugly Ibette Domínguez Canales, Luis Alberto Alvarado García y Luis Alberto Vega Carrillo el apoyo técnico y de laboratorio durante la ejecución de la investigación.

LITERATURA CITADA

- Elmendorf, S. C., Jones, K. D., Cook, B. I., Diez, J. M., Enquist, C. A. F., Hufft, R. A., Jones, M. O., Mazer, S. J., Miller-Rushing, A. J., Moore, D. J. P., Schwartz, M. D., and Weltzin, J. F. 2016. The plant phenology monitoring design for the national ecological observatory network. *Ecosphere*, 7: 1-16.
- Harding, P.H. 1988. Ensayos de evaluación de cultivares. *In*: Moore. J. N., and Janick, J. (Eds.), *Métodos genotécnicos en frutales*. AGT Editor, S.A. México, D.F. pp. 500-514.
- Pearce, I. and Coombe, B. G. 2008. Grapevine phenology. *In*: Dry, P. R., and Coombe, B. G. (Eds.), *Viticulture: Volume 1-Resources*. Broadview, South Australia. Winetiltles Pty Ltd. pp. 150-166.
- Way, R. D., Sanford, J. C. and Lakso, A.N. 1988. Fructificación y productividad. *In*: Moore. J. N., and Janick, J. (Eds.), *Métodos genotécnicos en frutales*. AGT Editor, S.A. México, D.F. pp. 479-495.
- Zapata, D., Salazar-Gutierrez, M., Chaves, B., Keller, M., and Hoogenboom, G. 2017. Predicting key phenological stages for 17 grapevine cultivars (*Vitis vinifera* L.). *American Journal of Enology and Viticulture*, 68: 60-72.

REFERENCIAS INFORMATICAS

NMX-FF-026-SCFI-2006. Productos Alimenticios no Industrializados para Uso Humano – Fruta Fresca – Uva de Mesa (*Vitis Vinifera* L.) – Especificaciones (Cancela A La Nmx-Ff- 026-1994-Scfi). (Consultado 14 de mayo de 2018).

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/AvanceNacionalCultivo.do (Consultado 16 de junio de 2018).

**IMPLEMENTACIÓN DEL MÉTODO DE DISIPACIÓN DE CALOR PARA MEDIR EL FLUJO DE
SAVIA EN PALMA DE ACEITE *Elaeis guineensis* Jacq.**
IMPLEMENTATION OF METHOD FOR MEASURING HEAT DISSIPATION SAP FLOW IN OIL PALM
Elaeis guineensis Jacq.

¹Juárez-Bonilla MC, ²Lagunes-Espinoza LC, ²Vázquez-Navarrete CJ, ²Rincón-Ramírez JA,
²Mendoza-Hernández JHR, ²Del Rivero-Bautista N

¹Tesista licenciatura, Universidad Autónoma Chapingo (UACH), Unidad Regional Universitaria
Sursureste (URUSSE). Km. 7 Carretera Teapa-Vicente Guerrero, Ranchería San José Puyacatengo,
C.P. 86800. Teapa, Tabasco. México.

²Colegio de Postgraduados (CP), Campus Tabasco. Periférico S/N, C.P. 86500. Heroica Cárdenas,
Tabasco, México.

Autor para correspondencia: lagunes@colpos.mx

RESUMEN

La disponibilidad de agua es una limitante para que un cultivo alcance su máxima producción, y el máximo potencial productivo de la palma de aceite está asociado al uso de agua durante las etapas de crecimiento y reproductivas. Para conocer las características del uso de agua de la palma de aceite en una plantación de la región Sierra de Tabasco, durante los meses de bajas precipitaciones, se estimó la densidad de flujo de savia a nivel hoja, palma y plantación, usando el método de Granier o TDP. Para ello, de abril a junio de 2017, se instalaron estaciones de monitoreo automatizadas de medición de flujo de savia en palmas de aceite de 5 y 10 años de edad, junto con sensores de humedad relativa y temperatura. El experimento se estableció bajo un diseño de bloques al azar con cinco repeticiones, considerando una palma como unidad experimental. En cada palma se colocaron tres sensores de disipación de calor en la base del raquis de una hoja completamente expandida, haciendo un total de 15 sensores por edad. Para el uso de agua, se observaron diferencias estadísticas en edad ($\alpha < 0.05$). En palmas de 5 y 10 años de edad, el uso de agua promedio a nivel de palma fue 130 L día⁻¹ y de 95.2 L día⁻¹, y a nivel de sitio de 1.86 mm día⁻¹ y de 1.37 mm día⁻¹, respectivamente. Estos resultados permiten avanzar en la comprensión de los factores subyacentes para asegurar una producción sustentable y rentable de palma de aceite en la región.

Palabras clave: *Elaeis guineensis*, flujo de savia, sensor disipación de calor, transpiración, Tabasco

INTRODUCCION

La transpiración o flujo de savia en el sentido extenso, se define como la salida de vapor de agua, que se efectúa principalmente a través de los estomas de las plantas. La importancia de la transpiración radica en que permite, a través del flujo de agua en el xilema, el intercambio gaseoso, el ascenso de la savia, el movimiento de elementos minerales, nutrientes y la disipación de la energía radiante. En consecuencia, el estatus hídrico de la planta se regula por un control sensible a la absorción y a la pérdida de agua, que junto al intercambio de dióxido de carbono (CO₂), la tasa de transpiración determina la eficiencia de uso del agua de la planta (Beck, 2010).

Desde el punto de vista ecológico, las relaciones de agua en un rodal (transpiración e interceptación del agua de lluvia por la canopia) pueden ser medidos por los métodos del balance de agua, del flujo de vapor o del flujo de savia. La técnica de flujo de savia proporciona información a nivel de árbol (m²), por tanto, los estimados están directamente relacionados con las condiciones microambientales y pueden escalarse a nivel de rodal o plantación (Granier *et al.*, 1996).

Entre los métodos para medir flujo de savia (o de agua) está el método de disipación de calor (TDP) o método *Granier* (Granier, 1985, 1987). El método *Granier* consiste en instalar sensores de disipación termal (termopares) de 12.5 mm de longitud y 2 mm de diámetro (uno de los termopares unido a una bobina generadora de calor) para medir la densidad de flujo de savia (J s, g cm⁻² h⁻¹) en el tronco de árboles a partir de la diferencia de voltaje medida entre los termopares. Las sondas debajo de cada sensor se conectan a una fuente de alimentación regulada electrónicamente a 6 V y son calentadas continuamente durante el periodo de experimentación y deben de poseer una potencia de salida por centímetro de ~ 0.1 W cm. Las dos sondas de cada sensor se insertan en orificios perforados a la altura del pecho en el tronco para el caso de árboles y en la base del raquis de la hoja para la palma de aceite (Niu *et al.*, 2015) a una distancia entre ellos de 10 cm. La tensión diferencial entre la sonda

calentada y la sonda referenciada es registrada para obtener la densidad de flujo de savia gravimétrico (J g, $g\ cm^{-2}\ h^{-1}$), dividiendo este flujo por el área conductora de agua ($g\ h^{-1}$) (Granier 1985, 1987). En palma de aceite el método ha sido calibrado en Jambi, Indonesia, utilizando 56 hojas de 10 palmas en una plantación de 12 años de edad (Niu *et al.*, 2015), encontrando tasas de transpiración de $1.1\ mm\ día^{-1}$. Roll *et al.* (2015), usando el mismo método de Granier, determinaron que las tasas de uso de agua por hoja y por palma se incrementaron cinco veces de una plantación de 2 años a una de aproximadamente 12 años para luego mantenerse constante. Las tasas de transpiración mostraron una tendencia similar, variando de $0.2\ mm\ día^{-1}$ en una plantación de dos años a $2.5\ mm\ día^{-1}$ en una de 12 años, señalando que existe una alta variabilidad en tasas de transpiración en las plantaciones de edades intermedias.

En México se han establecido plantaciones de palma de aceite en los últimos años en Veracruz, Tabasco, Campeche y Chiapas, alcanzando actualmente una superficie plantada de 90,118 ha en el país (SIAP, 2017). En Tabasco se encuentran plantadas 16,195.2 ha, donde se producen 163,005.3 t de fruto fresco con un rendimiento promedio de $14.8\ t\ ha^{-1}$ (SIAP, 2017), principalmente en los municipios de Centro, Jalapa, Macuspana, Tacotalpa y Teapa. Las consecuencias del área sembrada en los componentes del ciclo hidrológico no se han explorado, particularmente la estimación de las tasas de transpiración a diferentes edades de una plantación y la contribución de la transpiración de palma a la evapotranspiración. Estimados de evapotranspiración derivados de enfoques basados en datos micrometeorológicos o de estudios de cuencas varían de 1.3 a $6.5\ mm\ día^{-1}$ para diferentes sitios tropicales y condiciones climáticas (Henson y Harun, 2005). En la región existe diversidad en la edad de las plantaciones establecidas de palma de aceite y en los suelos donde se encuentran establecidas, lo que puede resultar en diferencias en el uso del agua. Adicionalmente, los factores limitantes del rendimiento aún no son estudiados a profundidad, lo cual compromete los posibles beneficios socioambientales de este cultivo (Woittiez *et al.*, 2017).

El objetivo de este estudio fue implementar el método *Granier* en una plantación de palma de aceite a dos edades, y calcular el flujo de savia (transpiración) por edad, a nivel de hoja, palma y plantación durante los meses de bajas precipitaciones en Tabasco.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del sitio de estudio. El estudio se realizó en dos plantaciones de palma de aceite, de 5 años y 10 años de edad, localizadas en el municipio de Tacotalpa, Tabasco, a una altura media de 35 msnm, en las coordenadas UTM 1951468 Norte y 518573 Este. La plantación tiene una densidad de 143 plantas/ha, y la aplicación de fertilizante y de herbicidas se realizó de acuerdo al manejo del productor cooperante.

Diseño experimental. Se utilizó el diseño de bloques al azar, con dos edades de palma (5 y 10 años) y cinco repeticiones por edad (una palma, una repetición).

Instalación de estaciones de monitoreo de flujo de savia. Las estaciones de monitoreo automatizado de datos de flujo de savia se integraron con multiplexors modelo AM16/32 y datalogger CR1000 de Campbell Scientific Inc., Logan, USA., sondas de temperatura, humedad relativa, radiación fotosintéticamente activa (μ moles de fotones $m^{-2}\ s^{-1}$) y humedad del suelo a 20, 40 y 60 cm de profundidad, por edad de la palma. En cada edad de palma se instalaron tres sensores de disipación de calor (TDP, Granier, 1985) por palma para medir el flujo de savia. Los sensores fueron construidos en el laboratorio de Fisiología Vegetal del Colegio de Postgraduados-Campus Tabasco. El total de palmas con sensores fue de cinco, con un total de 15 sensores por edad. Los sensores se colocaron en la base del raquis (un sensor por raquis) de tres hojas por palma, siguiendo la metodología descrita por Niu *et al.* (2015). Cada sensor fue cubierto con material aislante de calor para reducir los gradientes de temperatura, la radiación y lluvia.

Variables evaluadas. En las cinco palmas marcadas por edad se contó el número de hojas verdes totales, con base en la filotaxia de la palma de aceite. En palmas de 10 años de edad se construyó un andamio para alcanzar las hojas, y realizar las mediciones. Los datos de flujo de savia se colectaron semanalmente. Los datos de mV del datalogger fueron convertidos a densidad de flujo de savia (J_s , $g\ cm^{-2}\ h^{-1}$) con las ecuaciones de calibración derivadas empíricamente por Granier (1985): $J_s = aK^b$. Los valores de los parámetros de la ecuación de calibración derivados de peciolo de palma de aceite por Niu *et al.* (2015) fueron usados: $a = 48.24$ y $b = 1.61$. K es definida como $K = \frac{\Delta T_{max} - \Delta T}{\Delta T}$, donde ΔT_{max} ($^{\circ}C$) es la diferencia de temperatura entre el sensor de calentamiento y el de referencia bajo

condiciones de flujo cero, y ΔT ($^{\circ}\text{C}$) es la diferencia de temperatura en un tiempo dado. Las tasas de uso de agua por hoja individual fueron calculadas mediante la suma de la densidad de flujo de savia durante el día y multiplicada por el área conductiva de las hojas (A_c). El A_c fue calculado a partir de los diámetros del raquis entre los dos termopares del sensor. Los valores de uso de agua de las hojas donde se posicionaron los sensores fueron medidos simultáneamente y se promediaron (kg día^{-1}). Para escalar el uso de agua de una palma (Kg día^{-1}), el uso de agua de las hojas fue multiplicado por el número de hojas por palma; y el uso de agua de la plantación fue obtenido al multiplicar el uso de agua por palma por el número de palmas por superficie (ha), y así obtener las tasas de transpiración por plantación (T , mm día^{-1}). La toma de datos se realizó durante los meses de bajas precipitaciones en Tabasco, del 5 de abril al 23 de junio del año 2017.

Análisis estadístico. Los datos de flujo de savia fueron tratados con el programa JMP PRO 12 (SAS Institute Inc, 2015).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Número de hojas verdes. El número de hojas verdes por palma se mantuvo constante durante el periodo de estudio dentro de cada edad, con un rango de 35 a 41, siendo el tratamiento de 10 años con el menor número de hojas (35). Estos valores están en el límite inferior de número de hojas que señala Carr (2011) para una palma madura (> 8 años). Este autor indica que la canopia de una palma madura está formada de 40 a 50 hojas verdes, cada una de más de 5 m de longitud.

Flujo de savia en plantaciones de 5 y 10 años de edad. El análisis preliminar de datos de flujo de savia en las plantaciones en estudio, muestra que las palmas de 5 años usan mayor cantidad de agua por día (L día^{-1}) que las palmas de 10 años. Por palma alrededor de 150 L día^{-1} y las tasas de transpiración a nivel sitio alrededor de 2.0 mm día^{-1} , el cual se incrementa en los primeros meses y disminuye ligeramente en el tiempo (Figura 1).

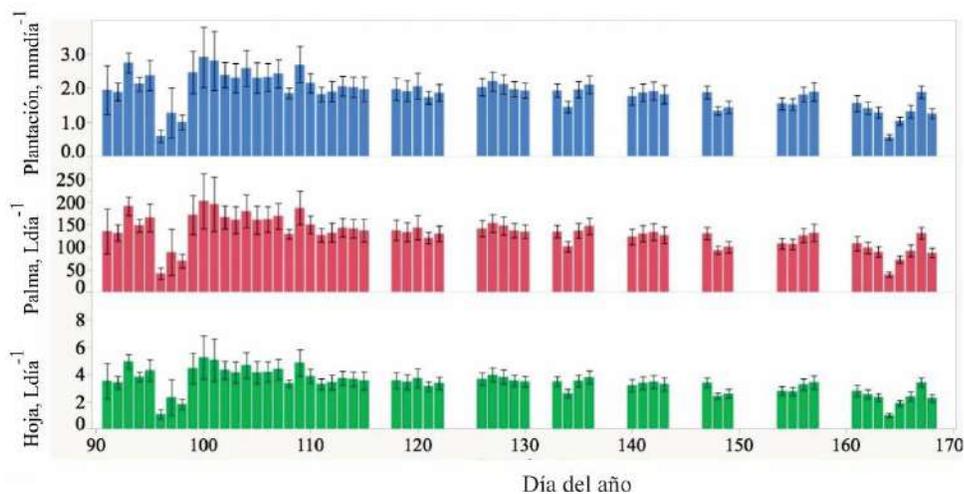


Figura 1. Flujo de savia de plantaciones de palma de aceite de cinco años de edad a nivel de hoja y de palma (L día^{-1}); y uso de agua a nivel de plantación (mm día^{-1}), de abril a junio de 2017, en Tacotalpa, Tabasco, México.

En contraste, en palmas de 10 años de edad (Figura 2), el uso de agua fue de alrededor de 90 L día^{-1} y las tasas de transpiración de 1.4 mm día^{-1} . Este menor uso de agua observada en palmas de 10 años en el presente trabajo parece estar asociado al menor número de hojas, lo que reduce la superficie foliar y el índice de área foliar, y en consecuencia el intercambio gaseoso, pero también puede estar ligado a la menor actividad en crecimiento y producción de estas palmas, en comparación con las palmas de cinco años de edad, que muestran mayor actividad en parámetros reproductivos (datos no mostrados). Así, en la plantación de Tacotalpa, Tabasco evaluada durante los meses de bajas precipitaciones, las palmas de 5 y 10 años de edad, mostraron un uso de agua promedio a nivel de palma de 130 L día^{-1} y de 95.2 L día^{-1} , y a nivel de sitio de 1.86 mm día^{-1} y de 1.37 mm día^{-1} , respectivamente. Estos resultados se encuentran en el rango observado por Röhl *et al.* (2015), en plantaciones de Sumatra, Indonesia. Pero difieren en las tasas de uso de agua por hoja y palma por edad. Las palmas en Sumatra, Indonesia mostraron un uso de agua por plantación que se incrementó

cinco veces de una edad de 2 años hasta los 10 años y después se mantuvo constante. Y las tasas de transpiración variaron de 0.2 mm día^{-1} en plantaciones de 2 años de edad a 2.5 mm día^{-1} en plantaciones de 12 años de edad, aunque observaron que las plantaciones de edades intermedias muestran una alta variación en las tasas de transpiración.

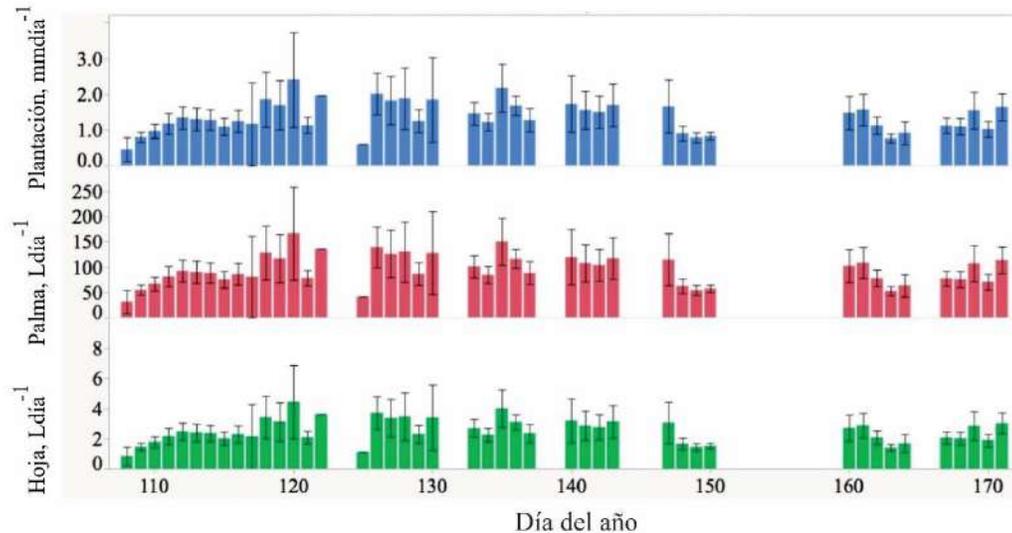


Figura 2. Flujo de savia de plantaciones de palma de aceite de cinco años de edad a nivel de hoja y de palma (L día^{-1}); y uso de agua a nivel de plantación (mm día^{-1}), de abril a junio de 2017, en Tacotalpa, Tabasco, México.

CONCLUSIONES

La implementación del método *Granier* en una plantación de palma de aceite, permitió estimar el flujo de savia a nivel de hoja y palma; y el uso de agua a nivel de plantación. Se estimó que las palmas de cinco años de edad tienen un mayor uso de agua que las 10 años de edad evaluadas durante la época de baja precipitación en la región. Las palmas de 5 y 10 años de edad, mostraron un uso de agua promedio a nivel de palma de 130 L día^{-1} y de 95.2 L día^{-1} , y a nivel de sitio de 1.86 mm día^{-1} y de 1.37 mm día^{-1} , respectivamente.

AGRADECIMIENTOS

Proyecto PIRE, Michigan Technological University, Dra. Heidi Absjornsen y José Gutiérrez-López de la New Hampshire University.

LITERATURA CITADA

- Beck, Ch.B. 2010. An Introduction to Plant Structure and Development. Plant Anatomy for the Twenty-First Century. Segunda edición. Cambridge University Press. 441 pp.
- Carr M. 2011. The water relations and irrigation requirements of oil palm (*Elaeis guineensis*): a review. *Expl. Agric.* 47(4): 629-652.
- Granier, A. 1985. Une nouvelle méthode pour la mesure du ux de sève brute dans le tronc des arbres. *Ann. For. Sci.* 42:193–200.
- Granier, A. 1987. Evaluation of transpiration in a Douglas-fir stand by means of sap flow measurements. *Tree Physiology.* 3: 309–320.
- Granier, A., Biron, P., Köstner, B., Gay, L.W., y Najjar, G. 1996. Comparisons of xylem sap flow and water vapour flux at the stand level and derivation of canopy conductance for Scots pine. *Theoretical Applied Climatology.* 53:115-122.
- Henson, I.E. y Harun, M.H. 2005. The influence of climatic conditions on gas and energy exchanges above a young oil palm stand in north Kedah. *J. Oil Palm Res.*, 17: 73-91.
- JMP PRO 12. Copyright SAS Institute Inc 2015. SAS and all other SAS institute product or service names are registered trademarks or trademarks of SAS Institute Inc., Cary, NH, USA.

- Niu, F., Röhl, A., Hardanto, A.K., Mejjide, A., Köhler, M., Hendrayanto y Hölscher, D. 2015. Oil palm water use: calibration of a sap flux method and a field measurement scheme. *Tree Physiology*. 00: 1-11 doi:10.1093/treephys/tpv013.
- Röhl, A., Niu, F., Mejjide, A., Hardanto, A., Hendrayanto, Knohl, A., y Hölscher, D. 2015. Transpiration in an oil palm landscape: effects of palm age. *Biogeosciences*. 12: 5619-5633. doi:10.5194/bg-12-5619-2015.
- SIAP. 2017. Producción Agrícola. Ciclo: cíclicos y perennes. Modalidad: temporal palma africana o de aceite. <http://www.siap.gob.mx/>. Fecha de consulta 22/05/2017.
- Woittiez, L.S., van Wijk, M.T., Slingerland, M., van Noordwijk, M., y Giller, K.E. 2017. Yield gaps in oil palm: A quantitative review of contributing factors. *European Journal of Agronomy*. 83: 57-77. doi:10.1016/j.eja.2016.11.002

EVALUACIÓN DE 20 GENOTIPOS DE *Moringa oleifera* BAJO CONDICION DE TEMPORAL EN EL VALLE DE APATZINGAN, MICHOACAN
EVALUATION OF 20 GENOTYPES OF *Moringa oleifera* UNDER TEMPORARY RAINFALL REGIMEN CONDITION IN THE APATZINGAN VALLEY, MICHOACAN

¹Rico Ponce HR, ²Reyes Reyes AL.

¹Campo Experimental Valle de Apatzingán del INIFAP. km. 17.5 Carretera Apatzingán-Cuatro Caminos, C.P. 60781. Antúnez Michoacán, México.

²Campo Experimental Rosario Izapa del INIFAP. Carretera Tapachula - Cacahoatan Km. 18, Rosario Izapa, Tuxtla Chico, CP. 30870. Tapachula, Chiapas, México.
Autor para correspondencia: rico.hectorromulo@inifap.gob.mx

RESUMEN

La *Moringa oleifera* representa una oportunidad como generadora de materia prima para la producción de biocombustibles, siendo una alternativa de energía renovable que contribuiría a disminuir los efectos del cambio climático en México. El objetivo de experimento fue generar el componente tecnológico del genotipo óptimo para su cultivo el Valle de Apatzingán, por su adaptabilidad y mayor rendimiento de grano, el establecimiento del experimento fue el 03 julio del 2013 en el Campo Experimental Valle de Apatzingán del INIFAP ubicado en el Mpio. de Paracuaro en el Estado de Michoacán, bajo condición de régimen de humedad de temporal, se evaluaron un total de 20 genotipos bajo un diseño experimental de bloques al azar con 4 repeticiones durante tres ciclos de cosecha, las variables estudiadas fueron altura de planta, diámetro de tallo, número de ramas, número de vainas totales por planta, peso promedio de vaina y rendimiento de grano, las variables fueron sometidas al análisis de varianza y comparación de medias, La madurez fisiológica de las vainas se logró a los 222 días posteriores al establecimiento del cultivo y en relación al número total de vainas por planta logradas por los tratamientos fluctuó de 110.3 para el genotipo INIFAP-RIMOR 16 a 169.6 para el genotipo INIFAP-RIMOR 15 el análisis estadístico de varianza no fue significativo para ésta variable, los mejores genotipos para la producción de grano de moringa correspondió a los genotipos INIFAP-RIMOR 14, INIFAP-RIMOR 11, INIFAP-RIMOR 7 con un promedio de rendimiento de grano en los tres ciclos de cosecha de 838.4, 831.2 y 793.1 kg/ha., respectivamente.

Palabras clave: *Moringa*, genotipos, rendimiento

INTRODUCCION

La *Moringa oleifera* representa una oportunidad como generadora de materia prima para la producción de biocombustibles, siendo una alternativa de energía renovable que contribuiría a disminuir los efectos del cambio climático en México. El INIFAP inició las investigaciones sobre esta especie para ser aprovechada con un enfoque multipropósito en diferentes regiones geográficas de México, principalmente en Sonora, Yucatán, Jalisco, Michoacán y Chiapas para conocer su comportamiento agronómico, su composición nutricional para el consumo humano y animal y energético, como nueva especie productora de aceite para biodiesel (Zamarripa et al., 2011). En el 2011, se establecieron 20 genotipos colectados en México, los resultados de las evaluaciones realizadas en genotipos de *Moringa* en el laboratorio de bioenergía del Campo Experimental Rosario Izapa en Chiapas demuestran su potencial como insumo para la obtención de biodiesel; el aceite posee la mayoría de las características que exige la norma europea para la calidad del biodiesel, tales como alto número de cetanos, viscosidad, índice de acidez y estabilidad de oxidación. *Moringa oleifera* es una especie con una demanda de luz muy alta, y por lo común se siembra con espaciamientos de 3 por 3 m a 5 por 5 m en plantaciones en bloque, y a 5 m de distancia en plantaciones lineares (Nautiyal, & Venhataraman, 1987).

MATERIALES Y MÉTODOS

El establecimiento del experimento fue el 03 julio del 2013 en el Campo Experimental Valle de Apatzingán del INIFAP ubicado en el Mpio. de Paracuaro en el estado de Michoacán y su ubicación geográfica es 102° 14' 0.19" L.W. y 19° 00' 40.19" L.N. a una altitud de 329 msnm con un clima BS1, bajo condición de régimen de humedad de temporal, el manejo agronómico fue cultivo mecanizado, con siembra de semilla directa en forma manual depositando 2 semillas por "golpe", evaluándose 20

genotipos bajo un diseño experimental de bloque al azar con 4 repeticiones, la parcela experimental fue de 6 plantas por unidad experimental y 4 plantas centrales como parcela útil, el arreglo topológico empleado fue distancia de siembra: 3 m. entre hilera x 1.5 m. entre plantas (2,222 plantas/ha), los tratamientos evaluados fueron: T1: INIFAP-RIMOR 2 , T2: INIFAP-RIMOR 4 , T3: INIFAP-RIMOR 6, T4: INIFAP-RIMOR 7 , T5: INIFAP-RIMOR 8, T6: INIFAP-RIMOR 9, T7: INIFAP-RIMOR 10, T8: INIFAP-RIMOR 11 T9: INIFAP-RIMOR 12, T10 INIFAP-RIMOR 13 T11: INIFAP-RIMOR 14, T12: INIFAP-RIMOR 15, T13: INIFAP-RIMOR 16, T14: INIFAP-RIMOR 17, T15: INIFAP-RIMOR 19 , T16: INIFAP-RIMOR 20, T17: INIFAP-RIMOR 22, T18: INIFAP-RIMOR 23, T19: INIFAP-RIMOR 24, T20: INIFAP-RIMOR 25, las variables estudiadas fueron altura de planta, diámetro de tallo, número de ramas, número de vainas totales por planta, peso promedio de vaina, y rendimiento de grano, y fueron sometidas al análisis de varianza y comparación de medias.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los genotipos sembrados se establecieron en un suelo arcilloso (50.28% arcilla, 13.64 % limo y 36.08 % arena) un pH alcalino con valor de 7.76, con un contenido de materia orgánica bajo con 1.75 %, y una conductividad eléctrica de 0.56 dS m⁻¹ y un porcentaje de sodio intercambiable (PSI) de 0.7. La precipitación registrada durante el desarrollo del experimento en el periodo febrero de 2015 a abril de 2016 fue de 693.45 mm, Figura 1, la temperatura máxima fue de 39 °C en abril de 2016 y la mínima 18 °C en marzo del 2016 Figura 2,

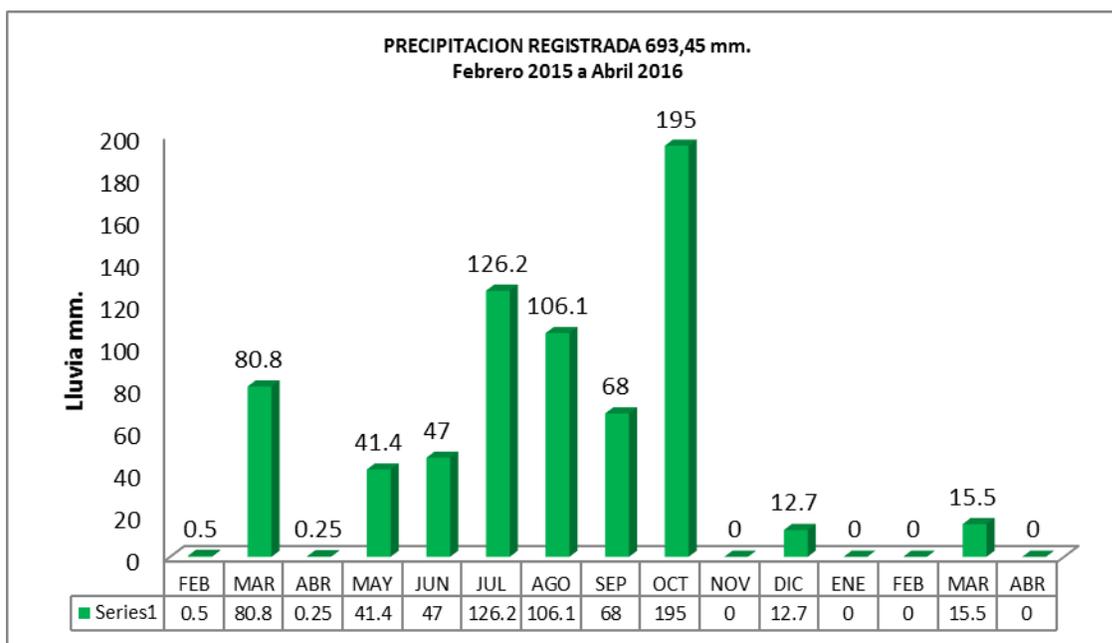


Figura. 1 Precipitación registrada durante el desarrollo del experimento genotipos de moringa. Campo Experimental Valle de Apatzingán. CIRPAC-INIFAP. 2015-2016

Los resultados muestran que los genotipos iniciaron la floración a los 76 días posteriores a su establecimiento, el análisis de varianza para altura de planta a los 92 días no fue significativo fluctuando de 2.26 m. para el T15 INIFAP-RIMOR 19 a 2.89 m para el T1 INIFAP-RIMOR 2, en relación al diámetro de tallo fluctuaron de 3.4 cm a 4.5 cm para los tratamientos T13 INIFAP-RIMOR 16 y T18 INIFAP-RIMOR 23 respectivamente, el análisis de varianza para los tratamiento no fue significativo, el menor número de ramas por planta fue de 11.3 para el tratamiento T1 INIFAP-RIMOR 2 y el de mayor número de ramas 15.4 correspondió al T4 INIFAP-RIMOR 7, para ésta variable el análisis estadístico fue significativo ($p < 0.05$)

El registro de las variables fenológicas de altura de planta, diámetro de tallo y número de ramas por planta a los 434 días de establecido el cultivo se observan el Cuadro 1 y el análisis de varianza para altura de planta no fue significativo fluctuando la altura de 5.5 m. para el T16 INIFAP-RIMOR 20 a 6.3 m para el T2 INIFAP-RIMOR 4, en relación al diámetro de tallo los valores fluctuaron de 8.0 cm a 9.8

cm para los tratamientos T13 INIFAP-RIMOR 16 y T T2 INIFAP-RIMOR 4 respectivamente, el análisis de varianza para los tratamiento no mostro significancia, el menor número de ramas por planta fue de 23.5 para el T14 INIFAP-RIMOR 17 y el de mayor número de ramas 29.1 correspondió al T6 INIFAP-RIMOR 9 sin embargo para ésta variable el análisis estadístico fue significativo para ésta variable con CV= 7.60 %.

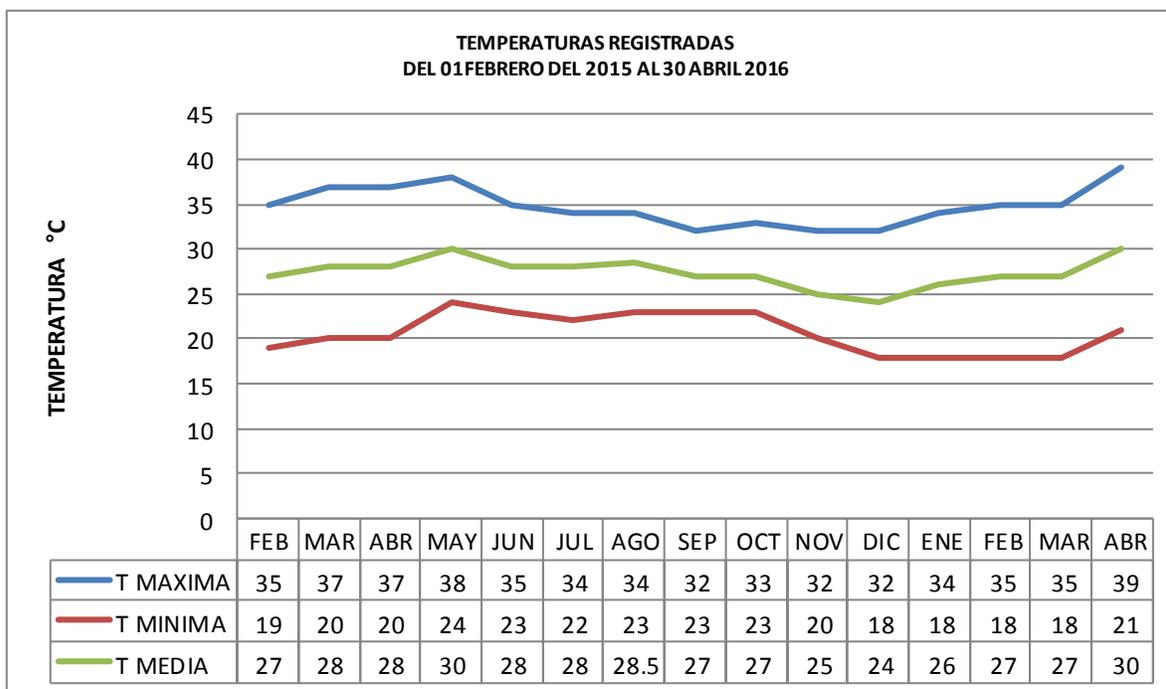


Fig. 2 Temperatura máxima, mínima y media mensual registrada durante el desarrollo del cultivo de moringa. Campo Experimental Valle de Apatzingán. INIFAP 2015-2016

La segunda cosecha de vainas se inició a los 552 días posteriores al establecimiento del cultivo y en relación al número total de vainas por planta logradas por los tratamientos fluctuó de 91.3 para el T1 INIFAP-RIMOR 2 a 173.4 para el T12 INIFAP-RIMOR 15 el análisis estadístico de varianza no fue significativo para ésta variable; el peso promedio de vainas fluctuó de 5.2 a 12.0 gr/vaina para los tratamientos T6 INIFAP-RIMOR 9 y T1 INIFAP-RIMOR 2 respectivamente, el análisis estadístico fue significativo para la variable con un CV= 23.42 %; finalmente el rendimiento de semilla por hectárea logrado fluctuó de 743.6 a 1297.2 kg/ha para los tratamientos T6 INIFAP-RIMOR 9 y T15 INIFAP-RIMOR 19 respectivamente, el análisis de varianza no fue significativo para la variable rendimiento de grano por ha.

En la Figura. 3 se observa el desarrollo vegetativo del experimento de genotipos al mes de diciembre de 2015 (905 días después de sembrado el cultivo).

El rendimiento de grano por hectárea en el tercer año fluctuó de 293.3 a 841.1 kg/ha para los tratamientos T13 INIFAP-RIMOR 16 y T11 INIFAP-RIMOR 14 respectivamente, el análisis de varianza no fue significativo para la variable, en el Cuadro 2 se muestran los resultados de rendimientos kg/ha de grano de moringa de los tres años. La media de rendimiento kg/ha de grano fluctuó de 511.2 a 838.4 kg/ha para los tratamientos T13 INIFAP-RIMOR 16 y T11 INIFAP-RIMOR 14.

La cosecha del experimento fue en forma manual Figura 4 para las vainas inferiores logradas, siendo necesario el uso de tijeras para la cosecha de las vainas superiores por la altura alcanzada por la planta, repercutiendo en un costo económico mayor para la recolección de vainas, las cuales posteriormente fueron desgranadas en forma manual para la obtención de la semilla y registro de peso.

Cuadro 1. Variables fenológicas registradas a los 454 días de establecido el cultivo Ciclo 2014. Valle de Apatzingán, INIFAP.

TRATAMIENTO	ALTURA DE PLANTA m.	DIÁMETRO DE TALLO cm.	No. DE RAMAS POR PLANTA
T1 INIFAP-RIMOR 2	6.2	9.3	24.5 DEF
T2 INIFAP-RIMOR 4	6.3	9.3	28.8 A
T3 INIFAP-RIMOR 6	6.0	9.5	27.8 ABC
T4 INIFAP-RIMOR 7	6.1	9.6	26.3 ABCDE
T5 INIFAP-RIMOR 8	5.8	9.0	28.0 AB
T6 INIFAP-RIMOR 9	5.8	8.8	29.1 A
T7 INIFAP-RIMOR 10	5.7	7.9	26.7 ABCD
T8 INIFAP-RIMOR 11	5.9	8.8	24.8 DEF
T9 INIFAP-RIMOR 12	6.1	9.0	25.8 BCDEF
T10 INIFAP-RIMOR 13	6.1	9.8	25.2 BCDEF
T11 INIFAP-RIMOR 14	5.8	8.7	25.1 BCDEF
T12 INIFAP-RIMOR 15	5.8	9.6	28.0 AB
T13 INIFAP-RIMOR 16	5.6	8.0	26.3 ABCDE
T14 INIFAP-RIMOR 17	5.6	8.7	23.5 F
T15 INIFAP-RIMOR 19	5.9	8.8	27.8 ABC
T16 INIFAP-RIMOR 20	5.5	8.3	25.1 CDEF
T17 INIFAP-RIMOR 22	5.9	8.5	23.6 EF
T18 INIFAP-RIMOR 23	6.0	9.4	24.9 DEF
T19 INIFAP-RIMOR 24	5.6	9.3	26.5 ABCDE
T20 INIFAP-RIMOR 25	5.7	9.7	25.1 BCDEF
	FC 1.70 p>F 0.0626 NS	FC 1.18 p>F 0.3024 NS	FC 2.76 p>F 0.0016 S
	CV= 5.44 %	CV= 9.53 %	CV= 7.60 %



Figura. 3 Panorámica del comportamiento fenológico de los árboles de moringa al mes de diciembre de 2015. Valle de Apatzingán. INIFAP.



Figura. 4 Cosecha manual de vainas de moringa 2015-2016. Valle de Apatzingán. INIFAP.

Cuadro 2. Rendimiento de grano kg/ha de moringa registrada en los tres años de evaluación. Ciclo 2014, 2015 y 2016. Valle de Apatzingán. INIFAP.

TRATAMIENTO	RENDIMIENTO DE GRANO kg/ha Año 1	RENDIMIENTO DE GRANO kg/ha Año 2	RENDIMIENTO DE GRANO kg/ha Año 3	MEDIA RENDIMIENTO DE GRANO kg/ha Tres años
T1 INIFAP-RIMOR 2	590.0	1037.7	679,3	769.0
T2 INIFAP-RIMOR 4	589.6	1119.9	571,0	760.1
T3 INIFAP-RIMOR 6	576.5	1154.0	564,8	765.1
T4 INIFAP-RIMOR 7	589.6	1246.0	543,9	793.1
T5 INIFAP-RIMOR 8	598.9	1181.3	529,1	769.7
T6 INIFAP-RIMOR 9	452.3	743.6	679,9	625.2
T7 INIFAP-RIMOR 10	472.4	1183.9	645,2	767.1
T8 INIFAP-RIMOR 11	622.2	1144.6	726.8	831.2
T9 INIFAP-RIMOR 12	501.5	1164.6	557,6	741.2
T10 INIFAP-RIMOR 13	546.6	1042.9	528,1	705.8
T11 INIFAP-RIMOR 14	566.7	1107.4	841,1	838.4
T12 INIFAP-RIMOR 15	553.7	1150.9	363,4	689.3
T13 INIFAP-RIMOR 16	316.4	923.9	293,3	511.2
T14 INIFAP-RIMOR 17	542.4	985.3	392,9	640.1
T15 INIFAP-RIMOR 19	603.1	1297.2	427,4	775.9
T16 INIFAP-RIMOR 20	419.6	1009.7	573,0	666.7
T17 INIFAP-RIMOR 22	456.4	1255.5	491,8	734.5
T18 INIFAP-RIMOR 23	555.2	1198.5	499,1	750.9
T19 INIFAP-RIMOR 24	392.7	1246.0	449,5	696.0
T20 INIFAP-RIMOR 25	657.6	1065.8	554,4	759.6
	p>F 0.865	FC 1.08 p>F 0.3981 NS	FC0.9699 p>F 0.507 NS	
	CV= 35.42 %	CV= 22.45 %	CV= 47.88 %	

CONCLUSIONES

Los mejores genotipos adaptados a las condiciones climáticas del Valle de Apatzingán para la producción de grano de moringa correspondieron a los genotipos INIFAP-RIMOR 14, INIFAP-RIMOR 11, INIFAP-RIMOR 7 con un promedio de rendimiento de grano en los tres ciclos de cosecha de 838.4, 831.2 y 793.1 kg/ha., respectivamente.

LITERATURA CITADA

Nautiyal, B.P.; Venhataraman, K.G. 1987. Moringa (drumstick)—an ideal tree for social forestry. 1: Growing conditions and uses. Myforest. 23(1): 53-58.

Zamarripa Colmenero A, 2011. Informe final de proyecto “Estudio de Insumos para la Obtención de Biocombustibles en México” Convenio de colaboración SAGARPA-INIFAP.Campo Experimental Rosario Izapa, Tuxtla Chico, Chiapas, México.129 p

DEMANDA ACUMULADA DE ENERGÍA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA UN PROCESO DE OBTENCIÓN DE ETANOL Y COGENERACIÓN, A PARTIR DE TALLOS DE SORGO DULCE

CUMULATIVE ENERGY DEMAND AND ENERGY EFFICIENCY TO ETHANOL AND COGENERATION PROCESS, FROM SWEET SORGUM

Aguilar Sánchez P, Ibarra Gómez AX

Centro de Investigación Regional Golfo Centro (CIRGOC) del INIFAP. Km 56.5 Carretera Federal México- Puebla, San Martinito, Tlahuapan, Puebla. C.P. 74100.

Autor para correspondencia: aguilar.patricia@inifap.gob.mx.

RESUMEN

Las energías renovables se encuentran en auge cada vez más en México, y en cuanto al uso de la biomasa existen investigaciones que han desarrollado diversas opciones como biocombustibles utilizando materiales lignocelulósicos, principalmente leña y caña de azúcar. El sorgo dulce es una materia prima similar a la caña, pero con un gran número de beneficios para su uso como materia prima en la generación de energía. El objetivo de este trabajo fue determinar la Demanda Acumulada de Energía y Eficiencia Energética de la producción de bioetanol y proceso de cogeneración a partir de tallos de sorgo dulce, cultivado en Yucatán, considerando dos escenarios de producción. Las etapas consideradas fueron: cultivo y cosecha, transporte de biomasa y la transformación de biomasa a etanol y cogeneración. Los escenarios analizados fueron: E1, producción de bioetanol a partir del jugo de los tallos y generación de energía y calor por medio de la combustión del bagazo en una planta de vapor simple; el E2, producción de bioetanol a partir del jugo de los tallos y generación de energía y calor por medio de la combustión del bagazo en una planta de ciclo de combinado. Los cálculos se realizaron en el programa SimaPro 8.0, mediante la metodología Cumulative Energy Demand. Los resultados indicaron que el uso de los tallos de sorgo dulce, según el Escenario 2, es mejor ya que presentó una buena eficiencia energética.

Palabras clave: *sorgo dulce, bioetanol, cogeneración, demanda acumulada de energía*

INTRODUCCIÓN

El tema de los biocombustibles se ha venido desarrollando cada vez en los últimos años y es vital que estén en función de un sistema sustentable. Diversos factores como los recursos naturales, energía, contaminación y desechos están involucrados en este triángulo de sustentabilidad y que nos lleva a analizar las consecuencias en la toma de decisiones. Muchas organizaciones están ocupadas en diseñar modelos de cadena de suministro sustentables de manera que minimicen los factores que contribuyan al calentamiento global (Ahmed and Sarkar, 2018).

El sistema energético en México esta basado en el uso de combustibles fósiles, suministrando el 91.5% de la energía primaria, tan solo el 8.4% corresponden al uso de energías renovables (4.7% biomasa y biogás, 2.3 geoenergía solar y eólica y 1.4% para hidroenergía). En cuanto a la biomasa utilizada, únicamente se reportan como materias primas la leña y el bagazo de caña con 69.5% y 30.5% respectivamente (SENER, 2017). El país cuenta con un gran potencial de biomasa que aún no se ha explorado, principalmente de cultivos que son aptos para crecer en cualquier tipo de suelo y que no afectarían los campos para cultivos alimenticios, además de contar con materiales lignocelulósicos como los residuos agrícolas y forestales (García *et al.*, 2015; (Prasad *et al.*, 2016).

El Sorgo dulce es una planta que se adapta bien al crecimiento en tierras áridas o semiáridas cálidas, es resistente al calor, la salinidad y las inundaciones. Es una planta de rápido crecimiento y representa una cosecha similar a la caña de azúcar, con una acumulación similar de sacarosa, pero con una mayor estabilidad agronómica (Dávila *et al.*, 2011). Se dice que, a diferencia de muchos otros cultivos utilizados para la producción de energía renovable, el sorgo dulce puede producir simultáneamente alimentos y productos energéticos (Biomass Producer, 2013; Science alert, 2013)

La producción de materia prima, el transporte, el procesamiento y la conversión de materiales lignocelulósicos no se han desarrollado en ningún grado real; por lo tanto, es necesario examinar una serie de cuestiones de sostenibilidad relacionadas con los insumos energéticos y la calidad ambiental para ver la viabilidad de los procesos que involucran la bioenergía (Korres, 2013).

Por esta razón, el objetivo de este trabajo fue determinar la Demanda Acumulada de Energía y Eficiencia Energética de la producción de bioetanol y proceso de cogeneración a partir de tallos de sorgo dulce, cultivado en Yucatán, considerando dos escenarios de producción.

MATERIALES Y MÉTODOS

La información necesaria para el inventario de este trabajo se obtuvo de los trabajos de tesis de Peniche (2012) y Equihua (2013), realizados en el Centro de Investigación Científica de Yucatán, A. C, en donde se cuantificaron todos los insumos y energía utilizada durante la fase agrícola y fase industrial.

Planteamiento de escenarios. Se estudiaron dos posibles escenarios para la producción de bioetanol y cogeneración. Los escenarios se muestran en la figura 1 y se detallan a continuación:

El primer escenario (E1) se planteó para la producción de bioetanol a partir del jugo de los tallos, además de la generación de energía por medio de la combustión del bagazo en una planta de vapor simple.

En el segundo escenario (E2) se consideró la producción de bioetanol a partir del jugo de los tallos, además de cogeneración por medio de la combustión del bagazo en una planta de ciclo de combinado.

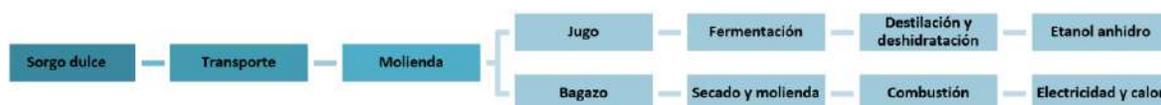


Figura 1. Diagrama del proceso para la producción de bioetanol y cogeneración.

Balance de materia y energía. Se llevó a cabo un balance de materia y energía, utilizando los programas de Excel y en el programa Aspen Plus 8.4v, con la ayuda de estos, obtener los requerimientos energéticos. Toda la información obtenida en los balances formó parte de un inventario, donde dicha información sirvió para calcular la Demanda Acumulada de Energía (DAE).

Demanda acumulada de energía. Por medio del programa Simapro se cuantificó la cantidad de energía total fósil consumida por los sistemas planteados. El método para calcular la DAE está basado en la base de datos de Ecoinvent, versión 2.0 y expandida por Pré Consultants de recursos energéticos disponibles en la base de datos de Simapro.

Eficiencia energética. Si bien es importante determinar la DAE, también es importante determinar la Razón de Energía Fósil (REF) para determinar el factor energético de lo que consumimos y producimos en un proceso bio. El desempeño energético del sistema se evaluó mediante la ecuación 1. La energía consumida por el sistema consideró los requerimientos de combustibles, calor y electricidad de la producción de etanol, así como la energía necesaria para la producción de las materias primas involucradas en el proceso. Y tomando en cuenta que, cuando un valor de REF es >1 indica que se produce más energía renovable que la fósil consumida y <1 se consume más energía fósil de la renovable que se produce, por lo que podría considerarse no factible.

$$REF = \frac{E_p}{E_c} \quad [1]$$

Dónde: REF, es la razón de energía fósil o eficiencia energética (MJ·MJ⁻¹); E_p, es la energía útil producida (MJ) y E_c, es la energía fósil consumida por el mismo (MJ).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Balance de materia y energía. El rendimiento calculado de bioetanol para ambos escenarios fue de 1,940 kg·ha⁻¹·año⁻¹. En cuanto a la generación de energía eléctrica del primer escenario (E1), esta fue de 222,164 MJ·año⁻¹ y para el segundo escenario (E2) fue de 263,124 MJ·año⁻¹, este último valor es mayor debido a la combustión del bagazo de sorgo dulce utilizando el sistema de ciclo de combinado. Esta energía abastece la energía eléctrica requerida en la etapa industrial, principalmente en el proceso de extracción de jugo (trapiche), contando además con un excedente de electricidad, la cual sustituirá el consumo de energía eléctrica proveniente de la Red Nacional. Cabe mencionar que, a pesar de contar con estos beneficios en el E2, la cogeneración, el sistema de la fase agrícola, transporte y el proceso de destilación, muestran una gran cantidad de requerimientos de energía fósil,

teniendo así una Demanda Acumulada de Energía alta, en comparación con los otros procesos (figura 2).

Eficiencia energética. Si bien se observó en la figura 2, la DAE es alta en algunos procesos, de acuerdo a los resultados que se muestran en la tabla 1, el escenario E2 es el más viable en cuestiones energéticas, con un valor REF más alto que el escenario E1. Estos resultados, demuestran que pueden deberse a que el escenario E2 contempla un aprovechamiento más completo, utilizándolo una planta de ciclo combinado para el proceso de cogeneración, y que abastece los requerimientos energéticos del proceso, contando con excedente como se mencionó anteriormente, y con esto lograr obtener un valor arriba de 1. Investigaciones como la de García *et al.*, (2010) y Cai *et al.*, (2013) suponen que la combustión del bagazo de sorgo dulce proporciona calor y energía suficiente para los requerimientos de la planta de producción de bioetanol, por lo que, al igual que este trabajo, para ambos escenarios, no se requiere energía externa.

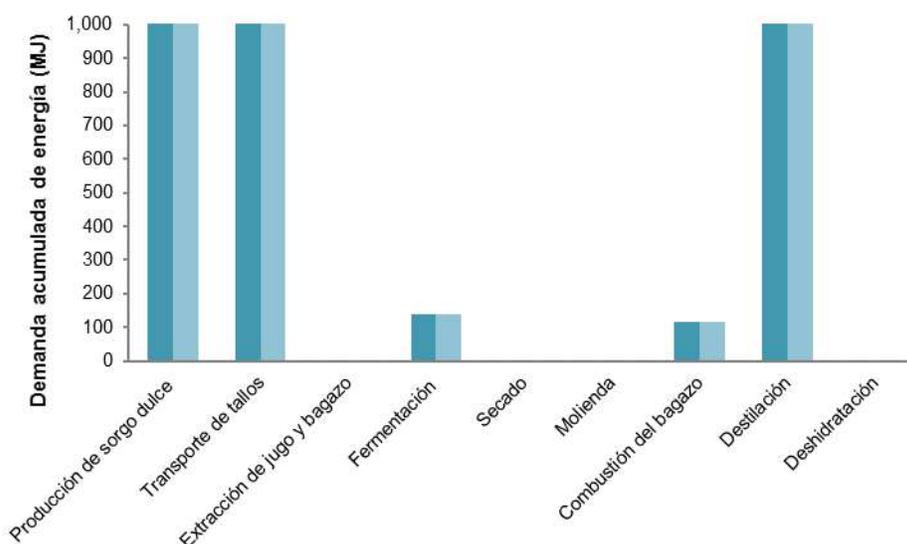


Figura 2. Demanda acumulada de energía para los escenarios propuestos.

Cuadro 2. Comparación de escenarios en cuanto a su eficiencia energética.

Escenario 1	MJ	MJbioetanol/MJfósil
Energía aportada por el bioetanol	52283	
Excedente de energía	1222,82	
Demanda acumulada de energía	49881,76	
REF (razón de energía fósil)		1,07
Escenario 2		
Energía aportada por el bioetanol	52283	
Excedente de energía	42182,9	
Demanda acumulada de energía	49881,76	
REF (razón de energía fósil)		1,89

CONCLUSIONES

Bajo los supuestos de este trabajo, el escenario E1 y E2 nos mostraron que, en cuanto a su Demanda acumulada de energía, algunos procesos continúan haciendo un uso extensivo de energía fósil; sin embargo, la Razón de energía fósil nos indicó que el E2 es la mejor alternativa en cuanto a la eficiencia energética, teniendo un excedente de 42,182 MJ-año⁻¹. Es importante considerar que los escenarios podrían verse beneficiados si se reutilizaran algunos residuos como la vinaza, ya que esta

representa hasta un 90% del mosto total en el destilador. Donde se puede producir otro tipo de energía, o su uso para irrigación y así contar con una mejor eficiencia energética y desempeño ambiental.

LITERATURA CITADA

- Ahmed, W., and Sarkar, B. (2018). Impact of carbon emissions in a sustainable supply chain management for a second generation biofuel. *Journal of Cleaner Production* 186, 807–820.
- Cai, H., Dunn, J. B., Wang, Z., Han, J., Wang, M. Q. (2013). Life-cycle energy use and greenhouse gas emissions of production of bioethanol from sorghum in the United States. *Biotechnology for Biofuels* 141 (6): 1-15.
- Dávila-Gómez, F.J., Chuck-Hernández, C., Pérez-Carrillo, E., Rooneyb, W.L. and Serna-Saldivar, S.O. 2011. Evaluation of bioethanol production from five different varieties of sweet and forage sorghums (*Sorghum bicolor* (L) Moench), *Industrial Crops and Products*. 33, 611-616.
- Equihua, S. M. (2013). Obtención de etanol por sacarificación y fermentación simultánea a partir de biomasa lignocelulósica de tallos de sorgo dulce. Centro de Investigación Científica de Yucatán A.C.
- García, C.A., Fuentes, A., Hennecke, A., Riegelhaupt, E., Manzini, F., and Masera, O. (2011). Life-cycle greenhouse gas emissions and energy balances of sugarcane ethanol production in Mexico. *Applied Energy* 88, 2088–2097.
- García, C.A., Riegelhaupt, E., Ghilardi, A., Skutsch, M., Islas, J., Manzini, F., and Masera, O. (2015). Sustainable bioenergy options for Mexico: GHG mitigation and costs. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 43, 545–552.
- Korres, N. E. (2013). *Life Cycle Assessment of Renewable Energy Sources*. Springer. Capítulo 3 The Application of Life Cycle Assessment on Agricultural Production Systems with Reference to Lignocellulosic Biogas and Bioethanol Production as Transport Fuels, pp. 37-45.
- Peniche, R. I.L. (2012). Evaluación de cuatro variedades de sorgo dulce para la producción de bioetanol en el oriente de Yucatán, México. Centro de Investigación Científica de Yucatán A.C.
- Prasad, A., Sotenko, M., Blenkinsopp, T., and Coles, S.R. (2016). Life cycle assessment of lignocellulosic biomass pretreatment methods in biofuel production. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 21, 44–50.
- SENER. (2017). Balance Nacional de Energía 2016, México.

REFERENCIAS INFORMÁTICAS

- Biomass Producer. 2013. Crops- Sweet sorghum. <http://biomassproducer.com.au/producing-biomass/biomass-types/crops/sweet-sorghum/#.WywEiORvSfA>. Consultado en junio del 2018.
- Science alert. 2013. Sweet sorghum may be the perfect crop. <https://www.sciencealert.com/sweet-sorghum-may-be-the-perfect-multi-crop>. Consultado en junio del 2018.

**VALORACION DE CUATRO ESPECIES DE LEGUMINOSAS SILVESTRES COMO
BIOINDICADORAS DE LA CONTAMINACIÓN DEL SUELO POR PETRÓLEO CRUDO**
ASSESSMENT OF FOUR WILDLIFE LEGUMINOUS SPECIES AS BIOINDICATORS
OF SOIL POLLUTION BY CRUDE OIL

¹Cázarez-Ruiz ED, ²Trujillo-Narcía A, ³Rivera-Cruz MC, ⁴Vega-López A

¹Ingeniería en Sistemas Ambientales. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN. Unidad Profesional Adolfo López Mateos. Wilfrido Massieu s/n, Delegación Gustavo A. Madero. Ciudad de México. CP 07738

²Cuerpo Académico Energía y Medioambiente. Programa Educativo QFB. Universidad Popular de la Chontalpa. Carretera Cárdenas-Huimanguillo km 2, Ra. Paso y Playa. Cárdenas, Tabasco, México CP 86500

³Laboratorio de Microbiología Agrícola y Ambiental. Colegio de Postgraduados *Campus* Tabasco. Periférico Carlos A. Molina km 2, H. Cárdenas, Tabasco, México CP 86570

⁴Laboratorio de Toxicología Ambiental. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN. Unidad Profesional Adolfo López Mateos. Wilfrido Massieu s/n, Delegación Gustavo A. Madero. Ciudad de México. CP 07738

Autor para correspondencia: daniel_9509_@hotmail.com

RESUMEN

Durante mayo y junio de 2018 se evaluó del efecto de la contaminación del suelo por petróleo crudo tipo Istmo a través de un modelo de suelo enriquecido, utilizando cuatro especies silvestres de la familia Fabaceae: *Clitoria ternatea*, *Clitoria* sp, *Crotalaria* sp y *Leucaena leucocephala* como bioindicadoras de tal contaminación. El protocolo OECD no. 208 se utilizó para la evaluación de las variables emergencia, altura y biomasa seca foliar y radical. El experimento se realizó en un micro-túnel durante 21 días bajo condiciones semi-controladas usando un diseño bifactorial (especie vegetal y concentración) y distribución en bloques aleatorios. Se probó con tres concentraciones distintas de petróleo crudo (15, 30 y 45 g kg⁻¹) más el testigo por cada especie, para dar un total de 16 tratamientos con 3 repeticiones cada uno. En general se observaron efectos fitotóxicos altamente significativos ($p < 0.01$) al aumentar la concentración de petróleo crudo. En las cuatro especies fueron los efectos registrados fue la disminución de emergencia, altura y biomasa seca foliar y radical. Bajas concentraciones de petróleo crudo estimularon (hormesis) la emergencia y la altura de la planta, en cambio inhibió la formación de biomasa foliar y radical. La especie más sensible a la contaminación por petróleo crudo fue *Clitoria* sp, y la menos sensible fue la leguminosa arbustiva y leñosa *L. leucocephala*. Por lo tanto, *Clitoria* sp es la mejor especie vegetal bioindicadora entre las cuatro evaluadas.

Palabras clave: bioindicador, fitotoxicidad, hormesis, leguminosa, petróleo crudo.

INTRODUCCIÓN

En México hay extensas áreas de suelos contaminados por hidrocarburos asociadas con las actividades de exploración, refinación, falta de mantenimiento y robo de combustible. Los suelos contaminados son alterados en sus características fisicoquímicas y biológicas (Cavazos-Arroyo, 2014). El daño causado por los hidrocarburos en el ecosistema es muy amplio, desde cambiar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo hasta ocasionar daños en flora, fauna y en la salud humana (González-Moscoso *et al.*, 2016). Además, también puede haber afectación en el ámbito social que incluye los sistemas de producción, la salud, la economía y las formas de vida de la población (Cavazos-Arroyo, 2014). Resultados de una investigación realizada por Ovando-Segovia (2018) indican que la contaminación de suelos por petróleo crudo inhibe el desarrollo de *Mimosa pigra*, una planta de la familia Fabaceae, ocasionando disminuciones de altura, diámetro de tallo, biomasa total, cantidad de nódulos y viabilidad de los mismos. Otro estudio sobre los efectos del petróleo crudo en el crecimiento de la leguminosa arbustiva *L. leucocephala* y en los macronutrientes en suelo y planta, realizado por Rivera-Cruz *et al.* (2012), reporta disminuciones de la altura y de la cantidad de biomasa seca foliar y radical, así como de la acumulación de macronutrientes en planta (nitrógeno, fósforo y potasio). Además la inhibición de la densidad de bacterias y hongos rizosféricos. Lo anterior demuestra la evidencia del efecto fitotóxico del petróleo

crudo. Estudios recientes demostraron que el petróleo origina disminución de la cantidad de raíz y también de los nódulos en la leguminosa *Crotalaria* (Trujillo-Narcía y Rivera-Cruz, 2017). La Norma Oficial Mexicana NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012, Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y lineamientos para el muestreo en la caracterización y especificaciones para la remediación (DOF, 2013), establece las concentraciones máximas de hidrocarburos específicos en suelos, y es de observancia obligatoria en todo el territorio nacional para quienes resulten responsables de la contaminación. No obstante que el marco legal ambiental establece, a través de las normas oficiales mexicanas, los límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y los lineamientos para la remediación, las características geoquímicas no garantizan la recuperación de las condiciones originales del suelo (Trujillo-Narcía *et al.*, 2012). El funcionamiento y la resiliencia de las propiedades alteradas del suelo contaminado por petróleo y restaurado, requieren la medición de la eficiencia de la restauración comercial a través de parámetros no incluidos en la NOM-138-SEMARNAT/SA1-2008. Datos obtenidos del estudio sobre el efecto de la restauración de un Fluvisol contaminado con petróleo crudo realizado por Trujillo-Narcía *et al.* (2012) indican que la calidad del suelo continúa alterada y degradada aún después de una restauración física y química, y sus propiedades físicas y químicas son de menor calidad, por lo que se requieren de nuevos procesos de restauración, de preferencia de naturaleza biológica. De acuerdo con los valores de la norma mexicana NOM-021-RECNAT-2000, la fertilidad del suelo restaurado disminuyó, igualmente los servicios ambientales de hábitat como refugio para la fauna y para la recarga y acumulación de agua. En el presente estudio se seleccionaron cuatro especies de leguminosas silvestres de la región de Tabasco, México: *Clitoria ternatea*, *Clitoria* sp, *Crotalaria* sp y *Leucaena leucocephala* para evaluar su calidad como bioindicadoras de la contaminación por petróleo crudo del tipo Istmo, valorando efectos fitotóxicos mediante un modelo de suelo enriquecido con petróleo crudo tipo Istmo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del sitio experimental

El estudio se realizó en un micro-túnel en las instalaciones del Colegio de Postgraduados *Campus* Tabasco, así como en el Laboratorio de Microbiología Agrícola y Ambiental del mismo, ubicados en el Periférico Carlos A. Molina s/n, km. 2, carretera Cárdenas a Huimanguillo, Tabasco. La localización del micro-túnel es UTM 15Q 0458977 y 1987639. El proceso de investigación tuvo cuatro etapas secuenciales: Etapa I. Trabajo en campo. Etapa II. Trabajo en micro-túnel. Etapa III. Trabajo en laboratorio. Etapa IV. Trabajo estadístico.

Diseño experimental

El experimento tuvo un diseño bifactorial 4x4 con tres repeticiones. La distribución de bloques y tratamientos fue aleatorizado. El factor 1 es la especie vegetal y el factor 2 es la concentración de petróleo. El petróleo crudo utilizado es tipo Istmo, la densidad es 0.842 g/mL y su gravedad API es 31.1 (Cuadros 1 y 2). Las plantas evaluadas son tres leguminosas herbáceas y una arbustiva: *Clitoria ternatea*, *Clitoria* sp, *Crotalaria* sp y *Leucaena leucocephala*. Las concentraciones de petróleo probadas fueron 0, 15, 30 y 45 g kg⁻¹ base seca.

Cuadro 1. Tratamientos que evaluados durante el experimento de fitotoxicidad inducida por petróleo crudo tipo Istmo.

Factor 2: Dosis petróleo (g/kg)	Factor 1: Especie vegetal			
	<i>Clitoria ternatea</i>	<i>Clitoria</i> sp	<i>Crotalaria</i> sp	<i>Leucaena leucocephala</i>
0	Tratamiento 1	Tratamiento 5	Tratamiento 9	Tratamiento 13
15	Tratamiento 2	Tratamiento 6	Tratamiento 10	Tratamiento 14
30	Tratamiento 3	Tratamiento 7	Tratamiento 11	Tratamiento 15
45	Tratamiento 4	Tratamiento 8	Tratamiento 12	Tratamiento 16

Etapas I. Materiales y metodología en trabajo de campo. Los materiales y metodología utilizados en campo fueron: una pala recta para la extracción de la capa superficial de un Gleysol, bolsas de plástico de 60x90 cm, calibre 600 para la colecta y transporte del suelo; etiquetas de papel adheribles con la nomenclatura escrita con marcador negro indeleble, secado del suelo bajo sombra de un techo, remoción constante del suelo con un rastrillo, embolsado y transporte del suelo. Los materiales para la colecta de semilla incluyeron pinza, plumón indeleble y bolsa de papel para la preservación de las

vainas de las cuatro leguminosas. La extracción del suelo se realizó con una pala recta, se extrajo de la capa superficial (0-30 cm de profundidad) de un Gleysol mólico localizado en el municipio de Cárdenas, Tabasco. Se extrajo un total de 150 kg. Las coordenadas UTM del sitio de colecta son 1986051 y 538239. El suelo se transportó a una galera, donde se extendió para su secado bajo sombra durante 10 días hasta alcanzar la humedad indicada en el protocolo no. 208 (OECD, 2003). Posteriormente el suelo seco se molió y tamizó con un mazo de madera y un tamiz de 0.5 cm de abertura (OECD, 2003). Se prepararon las unidades experimentales en charolas de vidrio de 30.8 x 20.6 x 6 cm de largo, ancho y profundidad, respectivamente.

Cuadro 2. Especificaciones de cada tratamiento evaluado durante el experimento de fitotoxicidad inducida por petróleo crudo tipo Istmo.

Trat.	Descripción	Concentración petróleo (mg/1.0 kg suelo)	Unidades experimentales
1	<i>Clitoria ternatea</i> + 0 g petróleo	0	1, 2, 3
2	<i>Clitoria ternatea</i> + 15 g petróleo	15000	4, 5, 6
3	<i>Clitoria ternatea</i> + 30 g petróleo	30000	7, 8, 9
4	<i>Clitoria ternatea</i> + 45 g petróleo	45000	10, 11, 12
5	<i>Clitoria</i> sp + 0 g petróleo	0	13, 14, 15
6	<i>Clitoria</i> sp + 15 g petróleo	15000	16, 17, 18
7	<i>Clitoria</i> sp + 30 g petróleo	30000	19, 20, 21
8	<i>Clitoria</i> sp + 45 g petróleo	45000	22, 23, 24
9	<i>Crotalaria</i> sp + 0 g petróleo	0	25, 26, 27
10	<i>Crotalaria</i> sp + 15 g petróleo	15000	28, 29, 30
11	<i>Crotalaria</i> sp + 30 g petróleo	30000	31, 32, 33
12	<i>Crotalaria</i> sp + 45 g petróleo	45000	34, 35, 36
13	<i>Leucaena leucocephala</i> + 0 mg petróleo	0	37, 38, 39
14	<i>L. leucocephala</i> + 15 g petróleo	15000	40, 41, 42
15	<i>L. leucocephala</i> + 30 g petróleo	30000	43, 44, 45
16	<i>L. leucocephala</i> + 45 g petróleo	45000	46, 47, 48

Etapas II. Materiales y metodología en micro-túnel. Se introdujo 1.0 kg de suelo tamizado en cada charola y por separado se pesó en balanza semi-analítica la cantidad de petróleo tipo Istmo para cada tratamiento (Cuadro 2). Se utilizaron vasos de precipitado de 100 mL para introducir el petróleo, después se mezclaron con una varilla de vidrio, dentro de cada charola.

La humedad del suelo se mantuvo al 28% durante todo el ciclo experimental. Posteriormente se sembraron las semillas seleccionadas en cada unidad experimental, a las cuales se les realizó prueba de flotabilidad y se introdujeron durante 5 minutos a ácido sulfúrico concentrado para acelerar la germinación. La profundidad de la siembra fue el equivalente al doble del grosor de la semilla. Las semillas de las cuatro leguminosas no están incluidas en la lista de especies cultivadas constituida por nueve monocotiledóneas y 19 dicotiledóneas; tampoco en la relación de 122 especies no cultivadas, reportadas en el protocolo 208 de la OECD (2003). Se evaluaron las cuatro leguminosas porque en estudios previos de los tres géneros bajo estudio (*Clitoria*, *Crotalaria* y *Leucaena*) expuestas a petróleo mediano y pesado, se encontró que cumplen los requisitos de la selección como especies indicadoras (Rivera-Cruz y Trujillo-Narcía, 2004; Rivera-Cruz *et al.*, 2005; Maldonado, 2006; Vázquez-Luna *et al.*, 2010; Rivera-Cruz *et al.*, 2012; Ramírez, 2013; Arias-Trinidad *et al.*, 2017; Trujillo-Narcía A. y Rivera-Cruz, 2017; Ovando, 2018) y también cumplen la validez de la prueba de estudio de fitotoxicidad indicada en el protocolo 208 de la OECD (2003). Se ha encontrado que existe reproducibilidad y uniformidad de resultados. Se realizaron observaciones diarias para la supervisión y control de posibles problemas fitosanitarios de plagas de las plántulas de las cuatro leguminosas evaluadas. La emergencia de plantas se cuantificó diariamente hasta el día 14 a partir que el tratamiento testigo alcanzó el 63% de emergencia (OECD, 2003). Las mediciones de altura de plántulas se realizaron el día 7, 14 y 21 después de la siembra, y la cosecha se realizó el día 21, para ello se utilizaron guantes desechables, espátulas y tamices para el lavado de la raíz. La raíz se separó de la planta mediante corte con un cuchillo, y se guardaron por separado en bolsas de papel. La separación de nódulos

radicales se realizó de forma manual, y se introdujeron en vasos de precipitado para su lavado con agua de llave y posteriormente con agua destilada. Se preservaron bajo condiciones térmicas de 4 °C. **Etapa III. Materiales y metodología en laboratorio.** Se secó la biomasa vegetal aérea y de raíz introduciéndolas a un horno a 72 °C durante 72 h hasta peso constante. El pesado de la biomasa vegetal se hizo en balanza analítica con precisión de 0.0001 g.

Etapa IV. Análisis estadístico. Se realizó la prueba de Shapiro-Wilk para determinar la normalidad de los datos, para aquellos que resultaron ser normales se realizó la prueba ANOVA y para aquellos datos no normales, la prueba Kruskal-wallis; posteriormente se realizó la comparación múltiple entre todos los tratamientos y testigos, a través de la prueba de Tukey y Dunnet para datos normales y no normales, respectivamente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los efectos fitotóxicos del petróleo crudo tipo Istmo sobre las cuatro especies fueron notables a través de disminuciones en la emergencia y altura de las plantas. En la figura 1 se muestra claramente la tendencia de crecimiento de las plantas en función de la concentración de petróleo crudo.

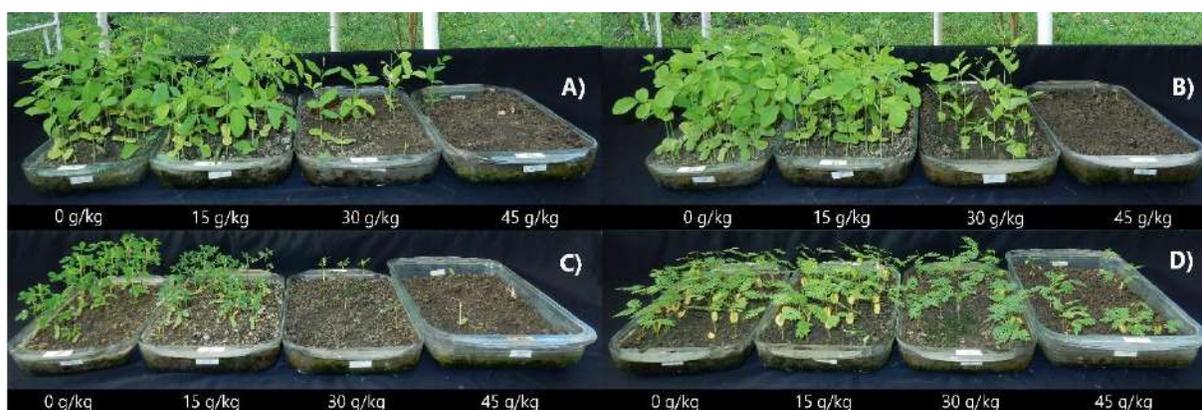


Figura 3. Efectos fitotóxicos observados después de 21 días de exposición a diferentes concentraciones de petróleo crudo Istmo en plantas de A) *Clitoria ternatea*, B) *Clitoria* sp, C) *Crotalaria* sp y D) *Leucaena leucocephala*.

Para las cuatro especies, la emergencia disminuyó al aumentar la concentración de petróleo crudo; sin embargo, en *Clitoria ternatea*, *Crotalaria* sp y *Leucaena leucocephala* ocurrió probablemente una estimulación (hormesis) de la emergencia durante todo el experimento inducida por la concentración de 15 g kg⁻¹, pero con 30 y 45 g kg⁻¹ la emergencia disminuyó significativamente (Figuras 2, 4 y 5). La especie más sensible a la exposición a petróleo fue *Clitoria* sp donde se obtuvo la mayor disminución de emergencia. En los tratamientos se identificó una tendencia negativa de esta variable (76.7% respecto al testigo) con una respuesta inversa con respecto a la concentración de petróleo (Figura 3). La especie menos sensible fue *Leucaena leucocephala* con mayor tolerancia al petróleo crudo, solo hubo una disminución máxima de emergencia del 18.7% con relación al control (Figura 5). *Clitoria ternatea* y *Crotalaria* sp presentaron disminuciones máximas de emergencia del 38.7% y 42.7%, respectivamente (Figuras 2 y 4).

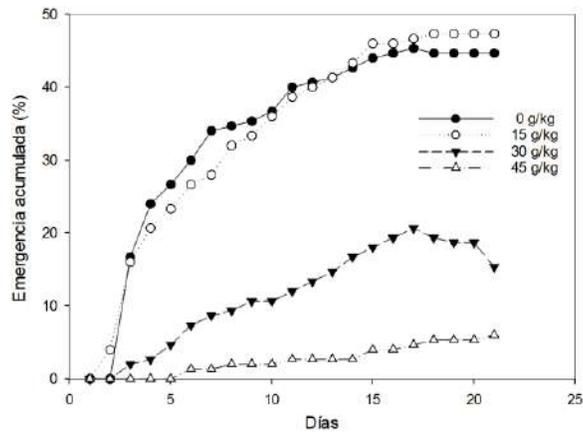


Figura 4. Emergencia días de exposición a sobre plantas de

acumulada durante 21 petróleo crudo Istmo *Clitoria ternatea* (n = 3).

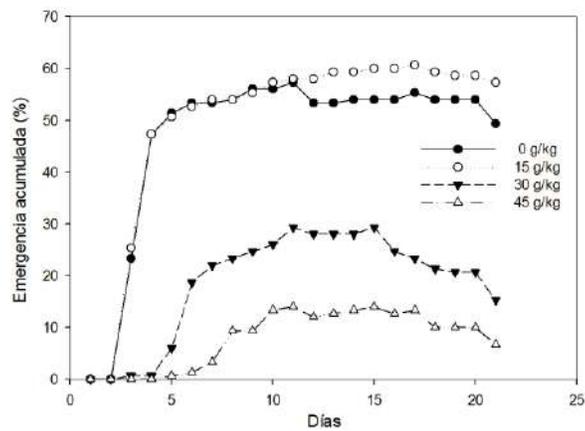


Figura 4. Emergencia acumulada durante 21 días de exposición a petróleo crudo Istmo sobre plantas de *Crotalaria* sp (n = 3).

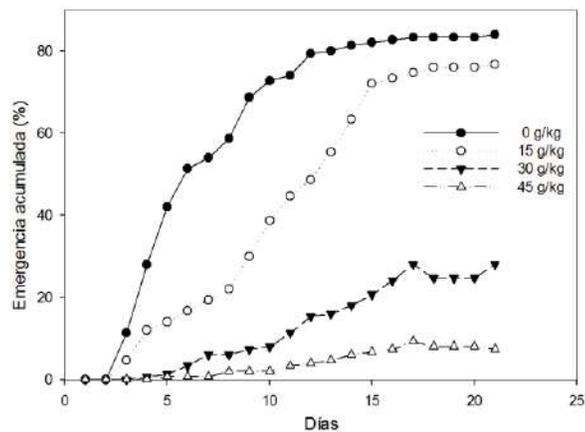


Figura 3. Emergencia acumulada durante 21 días de exposición a petróleo crudo Istmo sobre plantas de *Clitoria* sp (n = 3).

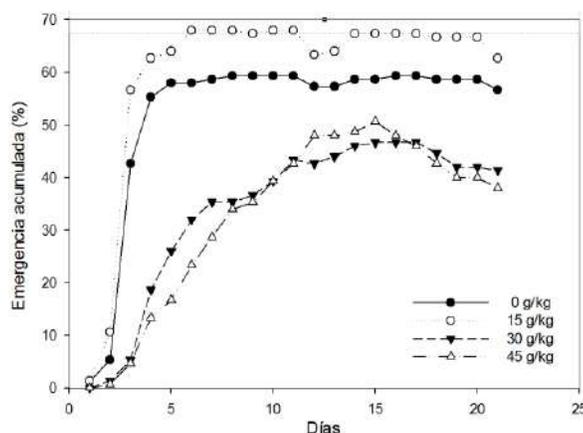


Figura 5. Emergencia acumulada durante 21 días de exposición a petróleo crudo Istmo sobre plantas de *Leucaena leucocephala* (n = 3).

La altura presentó una distribución no normal y tuvo diferencias altamente significativas ($p < 0.0001$) entre medias de tratamientos para las cuatro especies. El día 7 se observó hormesis para los tratamientos expuestos a 15 g kg^{-1} de petróleo crudo en *Clitoria* sp, *Crotalaria* sp y *L. leucocephala* donde las plantas registraron mayor altura; sin embargo, el comportamiento fue distinto entre especies. En los días 8 a 21 se detectaron diferencias más significativas entre el testigo y los tratamientos con petróleo, con una respuesta inversa de la altura de la planta respecto al incremento de la concentración de petróleo crudo. La diferencia de la altura fue mayor durante el paso del tiempo, sobre todo en los tratamientos de 45 g kg^{-1} , lo que indica que el efecto inhibitorio en la emergencia de las plantas que ocasiona el petróleo, es proporcional a la concentración. La altura de *C. ternatea* (Figura 6) no evidenció diferencias significativas a 15 g kg^{-1} en ningún día; sin embargo, hubo disminuciones significativas de altura con 30 g kg^{-1} y 45 g kg^{-1} y particularmente al día 21 ($p < 0.001$). Al día 7 *Clitoria* sp (Figura 7) mostró un aumento en el crecimiento ($p < 0.001$) y al día 14 una disminución ($p < 0.05$) con relación al testigo, pero al día 21 se perdieron las diferencias. A 30 y 45 g kg^{-1} sucedió lo contrario, las diferencias estadísticas se volvieron más significativas conforme transcurrió el tiempo ($p < 0.001$). Por otro lado, se encontró diferencia significativa entre los tres tratamientos con petróleo crudo. En *Crotalaria* sp (Figura 8) al día 7 no hubo diferencia significativa respecto al control; pero en el día 14 hubo disminuciones en la altura, especialmente en las dos concentraciones más altas ($p < 0.001$); Para el día 21 el testigo tuvo disminuciones significativas con el resto de los tratamientos y entre tratamientos ($p < 0.001$). Al día 7, *Leucaena leucocephala* (Figura 9) tratada con 15 g kg^{-1} mostró un aumento significativo en la altura ($p < 0.001$) respecto al control, no así en los días 14 y 21. Las diferencias más importantes entre el testigo y los tratamientos de 30 y 45 g kg^{-1} se registraron en los días 14 y 21 donde hubo disminuciones significativas ($p < 0.001$). Hubo diferencias entre el tratamiento con 15 g kg^{-1} y los tratamientos de 30 y 45 g kg^{-1} que fueron iguales en términos estadísticos. En el caso de *Clitoria* sp y *L. leucocephala*, que al día 7 presentaron un aumento de altura a la concentración de 15 g kg^{-1} con relación al testigo, tuvieron una posterior disminución conforme transcurrió el tiempo, hasta llegar a ser iguales en términos estadísticos; posiblemente se debió a una adaptación de esas especies a dicha concentración de petróleo, o tal vez al efecto de hormesis, que se observa claramente durante sus primeros días; sin embargo, parece que el efecto se pierde conforme avanza el tiempo; caso contrario con *Clitoria ternatea* y *Crotalaria* sp, donde las diferencias tendieron a incrementar. En general para todas las especies, las diferencias entre el testigo y la concentración de 30 y 45 g kg^{-1} fueron mayores conforme transcurrió el tiempo, evidenciando que el grado de inhibición de la altura es proporcional a la concentración de petróleo crudo.

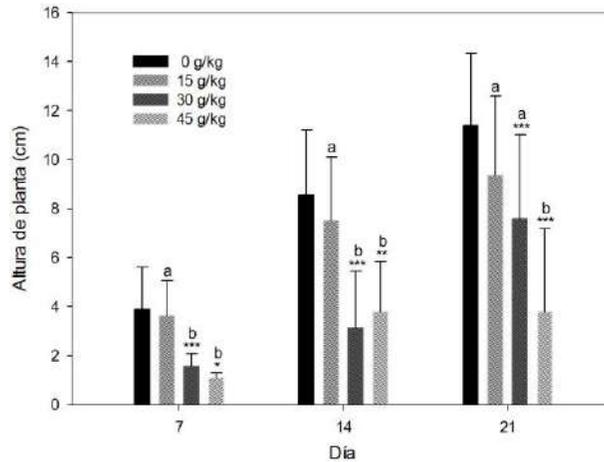


Figura 6. Altura de planta a los días 7, 14 y 21 de exposición a petróleo crudo Istmo en *Clitoria ternatea*. Los asteriscos indican medias con diferencias significativas respecto al testigo (0 g kg^{-1}) (* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$). Letras minúsculas diferentes indican diferencias estadísticas significativas entre medias de tratamientos ($n=3$, $a > b$).

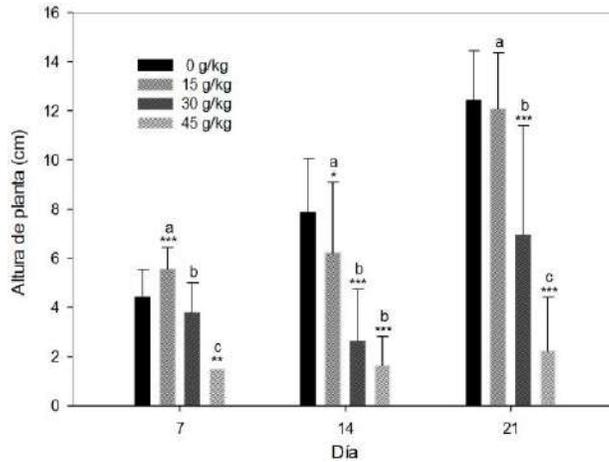


Figura 7. Altura de planta a los días 7, 14 y 21 de exposición a petróleo crudo Istmo en *Clitoria sp.* Los asteriscos indican medias con diferencias significativas respecto al testigo (0 g kg^{-1}) (* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$). Letras minúsculas diferentes indican diferencias estadísticas significativas entre medias de tratamientos ($n=3$, $a > b$).

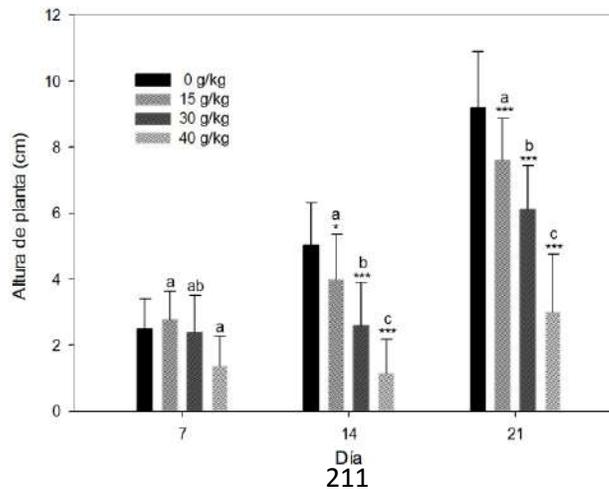


Figura 8. Altura de planta a los días 7, 14 y 21 de exposición a petróleo crudo Istmo en *Crotalaria* sp. Los asteriscos indican medias con diferencias significativas respecto al testigo (0 g kg⁻¹) (*p<0.05, **p<0.01, *p<0.001). Letras minúsculas diferentes indican diferencias estadísticas significativas entre medias de tratamientos (n=3, a>b).**

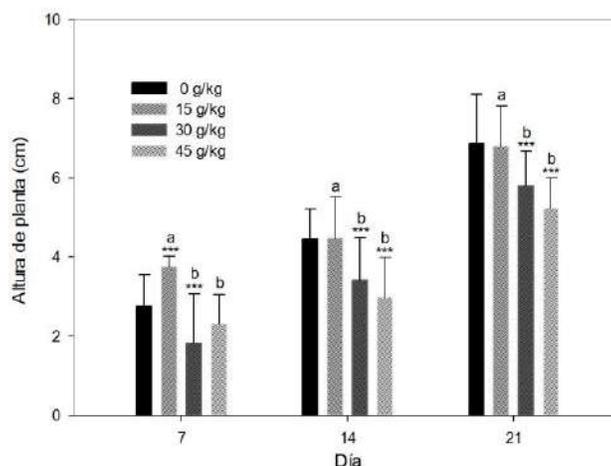


Figura 9. Altura de planta a los días 7, 14 y 21 de exposición a petróleo crudo Istmo en *L. leucocephala*. Los asteriscos indican medias con diferencias significativas respecto al testigo (0 g kg⁻¹) (*p<0.05, **p<0.01, *p<0.001). Letras minúsculas diferentes indican diferencias estadísticas significativas entre medias de tratamientos (n=3, a>b).**

La biomasa seca total tuvo una distribución normal, con diferencias significativas ($p < 0.01$). Para *Clitoria ternatea* (Figura 10) la biomasa foliar seca disminuyó, con respecto al testigo, particularmente en 30 y 45 g kg⁻¹ ($p < 0.001$). Además se estimó que la biomasa se reduce proporcionalmente con la concentración de petróleo crudo. Respecto a la biomasa radical seca, las disminuciones fueron menores con relación al control ($p < 0.05$) y entre tratamientos no hubo diferencia. La biomasa seca foliar de *Clitoria* sp expuesta a petróleo crudo (Figura 11) y de *Crotalaria* sp (Figura 12) en todos los tratamientos fue menor ($p < 0.001$) con relación al control, especialmente en las concentraciones más altas (30 y 45 g kg⁻¹). La biomasa radical seca también registró disminuciones significativas entre el testigo y los tratamientos con petróleo, de igual manera la diferencia fue mayor ($p < 0.001$) para la concentración de 30 y 45 g kg⁻¹. Sin embargo, en *Crotalaria* sp la biomasa seca radical solo fue diferente ($p < 0.001$) en 30 y 45 g kg⁻¹. En ambos casos la biomasa fue diferente en las plantas tratadas con 15 g kg⁻¹ comparativamente con 30 y 45 g kg⁻¹, que fueron estadísticamente iguales. La planta de *L. leucocephala* (Figura 13) mostró diferencias significativas menores respecto a las tres especies anteriores ($p < 0.05$). La biomasa foliar seca mostró solo una disminución significativa ($p < 0.05$) respecto con 45 g kg⁻¹; no obstante, la biomasa radical seca disminuyó ($p < 0.05$) en las plantas que crecieron en suelos contaminados con 30 y 45 g kg⁻¹. La especie *L. leucocephala* mostró la mayor tolerancia al petróleo crudo tipo Istmo de las cuatro especies evaluadas. En general, el mayor efecto fitotóxico se manifestó a partir de la exposición a 30 g kg⁻¹ pero a 15 g kg⁻¹ las especies probadas tienen cierta tolerancia al petróleo crudo. La especie donde hubo más diferencias significativas y se observó mayor efecto del petróleo crudo sobre la biomasa seca foliar y radical total fue *Clitoria* sp. También se detectó que el petróleo ocasiona más diferencias significativas en la biomasa foliar seca en comparación con la radical seca lo que sugiere que el petróleo tiene menor efecto sobre las raíces de las plantas y mayor daño en la parte aérea.

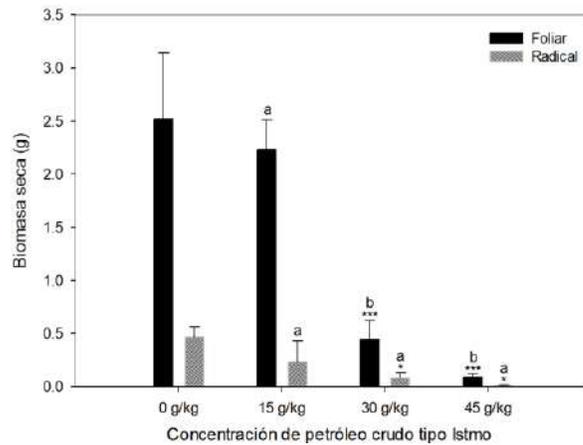


Figura 10. Biomasa seca foliar y radical al día 21 de exposición a petróleo crudo Istmo en *Clitoria ternatea* a concentraciones de 0, 15, 30 y 45 g kg⁻¹. Los asteriscos indican diferencias estadísticas significativas respecto al testigo (0 g kg⁻¹) (*p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001). Letras minúsculas diferentes indican diferencias estadísticas significativas por tipo de biomasa entre medias de tratamientos (n=3, a>b).

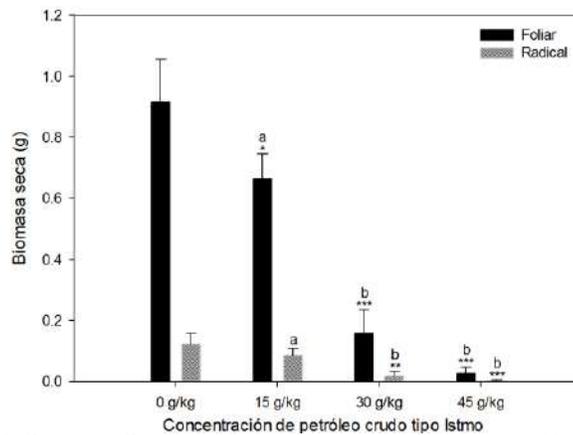


Figura 12. Biomasa seca foliar y radical al día 21 de exposición a petróleo crudo Istmo en *Crotalaria sp* a concentraciones de 0, 15, 30 y 45 g kg⁻¹. Los asteriscos indican diferencias estadísticas significativas respecto al testigo (0 g kg⁻¹) (*p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001). Letras minúsculas diferentes indican diferencias estadísticas significativas por tipo de biomasa entre medias de tratamientos (n=3, a>b).

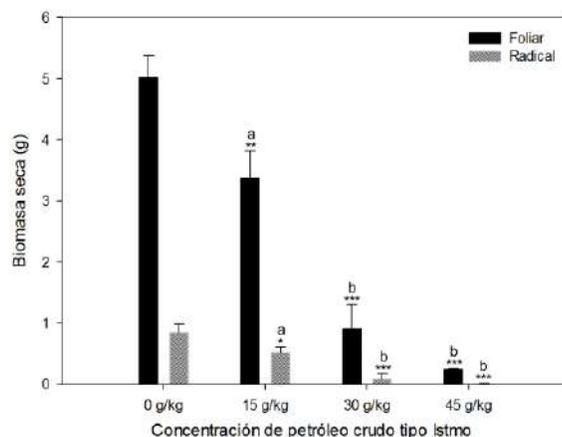


Figura 11. Biomasa seca foliar y radical al día 21 de exposición a petróleo crudo Istmo en *Clitoria sp* a concentraciones de 0, 15, 30 y 45 g kg⁻¹. Los asteriscos indican diferencias estadísticas significativas respecto al testigo (0 g kg⁻¹) (*p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001). Letras minúsculas diferentes indican diferencias estadísticas significativas por tipo de biomasa entre medias de tratamientos (n=3, a>b).

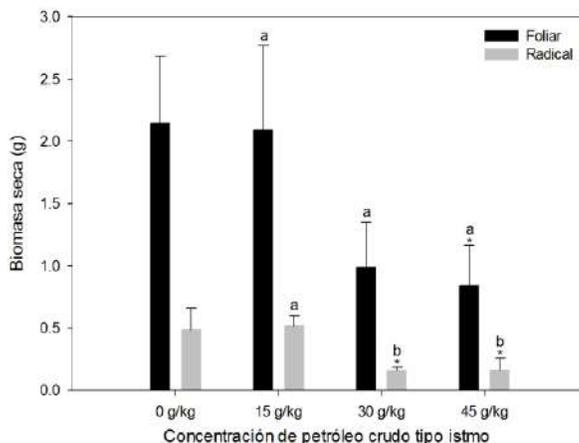


Figura 13. Biomasa seca foliar y radical al día 21 de exposición a petróleo crudo Istmo en *Leucaena leucocephala* a concentraciones de 0, 15, 30 y 45 g kg⁻¹. Los asteriscos indican diferencias estadísticas significativas respecto al testigo (0 g kg⁻¹) (*p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001). Letras minúsculas diferentes indican diferencias estadísticas significativas por tipo de biomasa entre medias de tratamientos (n=3, a>b).

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos se demuestra que el petróleo crudo tipo Istmo ejerce efectos fitotóxicos sobre *Clitoria ternatea*, *Clitoria sp.*, *Crotalaria sp.* y *Leucaena leucocephala*. Estos efectos son disminuciones en la emergencia, en la altura y en la biomasa seca foliar y radical de las plantas, cuyas diferencias se hacen más significativas conforme transcurre el tiempo. Sin embargo, bajas concentraciones de petróleo crudo pueden inducir estimulación en la emergencia y en la altura de la planta, lo que sugiere un fenómeno de hormesis, pero no en la biomasa seca foliar y radical. En la emergencia se presentó hormesis en tres de las cuatro especies durante todo el experimento; no obstante, para la altura solo se manifestó en dos de las cuatro especies durante los primeros días pero se perdió conforme avanzó el tiempo. Las especies más sensibles a la fitotoxicidad ejercida por petróleo crudo tipo Istmo fueron *Clitoria sp.* y *Crotalaria sp.* debido a que tuvieron mayores diferencias significativas para en las variables evaluadas; sin embargo *Crotalaria sp.* presentó una posible hormesis en la emergencia a concentraciones de 15 g kg⁻¹, lo que puede interferir en la bioindicación de petróleo crudo a concentraciones alrededor de dicho valor; por lo tanto, la mejor bioindicadora es *Clitoria sp.* La especie menos sensible fue *Leucaena leucocephala*, que presentó las menores

diferencias estadísticas, por lo que es más tolerante a la contaminación por petróleo crudo tipo Istmo. La emergencia, la altura y la producción de biomasa seca foliar y radical tienen respuestas estadísticas significativas frente a la contaminación por petróleo crudo tipo Istmo.

LITERATURA CITADA

- Arias-Trinidad A., Rivera-Cruz M.C. y Trujillo-Narcía A. 2017. Fitotoxicidad de un suelo contaminado con petróleo fresco sobre *Phaseolus vulgaris* L. (LEGUMINOSAE). *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 33: 411-419
- Cavazos-Arroyo J., Pérez-Armendáriz B. y Mauricio-Gutiérrez A. 2014. Afectaciones y consecuencias de los derrames de hidrocarburos en suelos agrícolas de Acatzingo, Puebla, México. *ASyD* 11: 539-550
- Cortés-Pérez S., Rodríguez-Zaragoza S., and Mendoza-López M.R. 2014. Trophic structure of *Ameoba communities* near roots of *Medicago sativa* after contamination with fuel oil No. 6. *Microbial Ecology* 67: 430-442
- DOF (Diario Oficial de la Federación). 2013. Norma Oficial Mexicana NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012. Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y lineamientos para el muestreo en la caracterización y especificaciones para la remediación. Martes 10 septiembre 2013.
- González-Moscoso M., Rivera-Cruz M.C. y Riojas-González H. 2016. Los surfactantes: una alternativa para la descontaminación de suelos con hidrocarburos. Una revisión. *Investigación y Posgrado* 6: 23-32
- Maldonado C.E. 2006. El uso del pasto egipcio *Brachiaria mutica* (Forsskal) Staff. y la leguminosa guaje *Leucaena leucocephala* Lam. en la toxicidad y biodegradación de petróleos nuevo e intemperizado en suelo. Tesis Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados Campus Tabasco. H. Cárdenas, Tab. 184 p.
- OECD. 2003. OECD Guideline for the testing of chemicals proposal for updating guideline 208. Terrestrial Plant Test: 208: Seedling emergence and seedling growth test. 19 p.
- Ovando S.S. 2018. Tratamiento de suelo contaminado por petróleo crudo mediante fitorremediación con la leguminosa zarza (*Mimosa pigra* L.). Tesis Maestría en Química Sustentable. Universidad Popular de la Chontalpa. H. Cárdenas, Tab. 68 p.
- Priyadharsini P., Rojama K., Ravi R.K., Muthuraja R., Nagaraj K., and Muthukumar T. 2016. Mycorrhizosphere: The Extended Rhizosphere and Its Significance. In: Choudhary D., Varma A., Tuteja N. (eds.) *Plant-Microbe Interaction: An Approach to Sustainable Agriculture*. Springer. Singapore. pp. 97-124
- Ramírez B.A. 2013. Estudio de la planta chipilín silvestre (*Crotalaria retusa*) y *Rhizobium* como indicadores de toxicidad de suelo contaminado con petróleo intemperizado. Tesis Licenciado Químico Fármaco Biólogo. Universidad Popular de la Chontalpa. H. Cárdenas, Tab. 70 p.
- Rivera-Cruz M.C. y Trujillo-Narcía A. 2004. Estudio de toxicidad vegetal en suelos con petróleos nuevo e intemperizado. *Interciencia* 29: 369-376
- Rivera-Cruz M.C., Trujillo-Narcía A., Miranda de la C.M.A. y Maldonado C.E. 2005. Evaluación toxicológica de suelos contaminados con petróleos nuevo e intemperizado mediante ensayos con leguminosas. *Interciencia* 30: 326-331
- Rivera-Cruz M.C., Maldonado-Chávez E., and Trujillo-Narcía A. 2012. Effects of crude oil on growth of *Brachiaria mutica* and *Leucaena leucocephala* and on soil and plant macronutrients. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 15 SUP 2: S30-S39
- Trujillo-Narcía A., Rivera-Cruz M.C., Lagunes-Espinoza L.C., Palma-López D.J., Soto-Sánchez S. y Ramírez-Valverde G. 2012. Efecto de la restauración de un Fluvisol contaminado con petróleo crudo. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 28: 361-374
- Trujillo-Narcía A. y Rivera-Cruz M.C. 2017. Estudio botánico y toxicológico de la leguminosa chipilín *Crotalaria* spp expuesta a petróleo crudo mediano. In: Seguridad Alimentaria: aportaciones científicas y agroalimentarias. INIFAP Tabasco. UJAT. Villahermosa, Tab. pp. 384-392
- Vázquez-Luna D., Castelán-Estrada M., Rivera-Cruz M.C., Ortiz-Ceballos A.I. e Izquierdo R.F. 2010. *Crotalaria incana* L. y *Leucaena leucocephala* Lam. (Leguminosae): especies indicadoras de toxicidad por hidrocarburos del petróleo en el suelo. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 26: 183-19

HONGOS ASOCIADOS AL PATOSISTEMA CACAO EN EL ESTADO DE TABASCO, MÉXICO FUNGUS ASSOCIATED TO CACAO PATHOSYSTEM IN THE STATE OF TABASCO, MEXICO

¹Torres-de-la-Cruz M, ¹Guillén González CA, ²Ortiz-García CF, ¹de-la-Cruz-Pérez A, ³Luna Rodríguez M, ¹Cappello García S.

¹Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica de Ciencias Biológicas. Carretera Villahermosa-Cárdenas Km. 0.5. C.P. 86039, Villahermosa, Tabasco, México.

²Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. Km. 3.5 Carretera Cárdenas-Huimanguillo, C.P. 86500, Cárdenas, Tabasco, México.

³ Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Agrícolas, Xalapa Veracruz, México
Autor para correspondencia: biomag75@hotmail.com

RESUMEN

El estado de Tabasco ha sido productor de cacao por más de 500 años y las plantaciones de cacao aportan beneficios a la sociedad y al ambiente; sin embargo, la sostenibilidad de este cultivo está bajo la amenaza constante de enfermedades fúngicas. En la entidad no existe un estudio fitopatológico que confirme la presencia de los patógenos fúngicos que afectan al cacao. Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue estudiar los hongos asociados al patosistema cacao en el estado de Tabasco. En 10 municipios que concentran la producción de cacao en la entidad, se realizaron muestreos de hojas, frutos, ramas y tallos con síntomas de enfermedades fúngicas. Los aislamientos encontrados fueron identificados morfológicamente. Se obtuvieron 57 aislamientos de los cuales, 14 presentaron afinidad morfológica con *Lasiodiplodia theobromae*, nueve con *Moniliophthora roreri*, siete con *Phytophthora capsici*, dos con *Ceratocystis fimbriata*, 21 con *Colletotrichum gloeosporioides* y cuatro con *Fusarium descemcellulare* (Cuadro 2). La especie más abundante fue *Colletotrichum gloeosporioides*, seguida de *Lasiodiplodia theobromae*, y *Moniliophthora roreri* (Figura 1). Este estudio reveló la presencia de seis especies morfológicas de hongos asociados al patosistema cacao en el estado de Tabasco y que han sido descritas como fitopatógenos de *T. cacao*. La confirmación molecular y patogénica de los aislamientos obtenidos; así como métodos de control, pueden evaluarse en futuras investigaciones.

Palabras clave: *Theobroma cacao*, hongos fitopatógenos, patosistema

INTRODUCCIÓN

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es un árbol tropical de la familia Sterculiaceae que forma parte de los recursos florísticos la cuenca amazónica (Whitlock *et al.*, 2001). *Theobroma cacao* se domesticó en Mesoamérica, donde fue cultivado por milenios (Schultes, 1984). Su historia se remonta a los tiempos anteriores al descubrimiento de América, en donde ya era cultivado por los Mayas en lo que hoy comprende el Sur de México y Centroamérica; donde, tanto los mayas como aztecas, lo utilizaron como alimento y moneda (Wood, 1975). En Mesoamérica, el cacao prosperó y formó la base de la industria moderna del chocolate (Evans, 2002). Actualmente el cacao es un producto altamente apreciado, y el chocolate es probablemente el más accesible de todos los lujos palatables del hombre. Además, cuando se cultiva de manera tradicional, el cacao ofrece beneficios sostenibles a los campesinos y al ambiente (Evans, 2002).

En México, la producción de cacao se concentra en cuatro estados: Tabasco (70%), Chiapas (29%), Oaxaca y Guerrero (1.0%). En Tabasco, el cacao constituye uno de los principales recursos agrícolas. Se cultiva en 41,086 ha distribuidas en diez municipios y 29,505 familias dependen económicamente de este cultivo (OEIDRUS, 2009). En la entidad, el cacao es catalogado como un cultivo tradicional, de subsistencia familiar y altamente diversificado (Scherr, 1983). A lo largo de su historia en la entidad, en donde diversos factores han propiciado su crisis, el cultivo del cacao ha permanecido como una opción económica regional y ha mantenido su importancia aun cuando se han introducido otros cultivos rentables (caña de azúcar, plátano); y actividades económicas sustantivas como la ganadería y explotación petrolera (Scherr, 1983; Ramírez, 1997).

No obstante, el cacao forma un ecosistema altamente favorable para el desarrollo de las enfermedades fungosas (Fulton, 1989). Así, la sustentabilidad de este cultivo está bajo amenazas constantes por enfermedades que han coevolucionado con el cultivo. Algunas de ellas constituidas por

enfermedades de nuevo encuentro, las cuales ahora constituyen la más seria restricción para la producción del cacao (Gotsch, 1997).

En el estado de Tabasco se ha reportado la presencia de enfermedades fúngicas, donde la más importante es la moniliasis del cacao; sin embargo, no existe un estudio fitopatológico que confirme la presencia de los patógenos que afectan al cacao en la entidad. Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue estudiar los hongos asociados al patosistema cacao en el estado de Tabasco. El conocimiento de las especies presentes en este patosistema representa un paso importante para nuevos estudios de patogenicidad y manejo de los hongos fitopatógenos de la entidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los sitios de muestreo se ubicaron en tres subregiones: Chontalpa (Huimanguillo, Cárdenas, Cunduacán, Comalcalco y Paraíso), Centro (Centro, Jalpa de Méndez y Nacajuca) y Sierra (Teapa y Tacotalpa). De esta manera se consideraron los 10 municipios que concentran el total de la producción de cacao en la entidad (Cuadro 1).

Cuadro 1. Localización de sitios de muestreo y aislamientos de hongos fitopatógenos asociados a *Theobroma cacao* en Tabasco, México, 2017.

Municipio	Localidad	Latitud Norte	Longitud Oeste	Aislamientos	Número de aislamientos
Cunduacán	R/a. La Piedra 1	18° 07' 45.2"	18° 07' 45.2"	TFC56, TFC57, TFC58, TFC59, TFC60, TFC66	6
Jalpa	Ranchería Hermenegildo Galeana 2	18° 10' 33.4"	93° 08' 48.5"	TFC6, TFC5, TFC7, TFC65, TFC68, TFC8, TFC10, TFC11, TFC12	9
Paraíso	Ranchería Oriente	18° 22' 19.3"	93° 13' 42.4"	TFC35, TFC36, TFC37, TFC38, TFC39, TFC41, TFC48, TFC34, TFC67	9
Tacotalpa	Ejido Zunuy y patastal	17° 28' 10.3"	92° 50' 56.7"	TFC47, TFC52, TFC53, TFC46, TFC49, TFC50, TFC51	7
Teapa	Ranchería Allende	18° 09' 38.1"	93° 02' 00.8"	TFC27, TFC28, TFC29, TFC30, TFC31, TFC32, TFC61	7
Cárdenas	Ranchería Ocampo	18° 01' 49.3"	93° 21' 29.7"	TFC01, TFC02, TFC03, TFC63, TFC13, TFC14, TFC15, TFC16,	4
Centro	Ranchería Plátano y cacao 4	17° 59' 04.2"	93° 10' 07.9"	TFC24, TFC17, TFC18,	5
Comalcalco	Finca Cholula	18° 17' 04.8"	93° 12' 39.7"	TFC64, TFC19, TFC20,	3
Nacajuca	R/a. Rivera Alta	18° 10' 51.0"	93° 02' 15.0"	TFC21, TFC62, TFC43, TFC44,	4
Huimanguillo	Ranchería Paredón 1	17° 44' 59.6"	93° 23' 57.8"	TFC45,	3

En cada municipio se seleccionó una plantación de cacao y en cada parcela se realizaron recorridos en zigzag, en busca de síntomas y signos de enfermedades. Se colectaron hojas, frutos, ramas y tallo con síntomas. Las muestras se colocaron en bolsas de plásticos y se transportaron en neveras al

Laboratorio de Entomopatógenos de la División Académica de Ciencias Biológicas, de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco para su procesamiento.

Aislamiento y purificación: El material enfermo se cortó en secciones pequeñas y se lavó con agua destilada estéril y se desinfectó con hipoclorito de sodio al 2% durante dos minutos. Las muestras se enjuagaron con agua destilada estéril (ADE) para eliminar el exceso de hipoclorito. Bajo condiciones asépticas, se colocó de cuatro a cinco secciones del tejido enfermo en cajas de Petri con medio de cultivo Papa Dextrosa Agar (PDA). Se incubaron de 5 a 7 días para que se desarrollara el micelio. Después se transfirió un fragmento del medio de cultivo con el micelio a otra caja de Petri con PDA.

Identificación morfológica: Los hongos se identificarán a nivel de especie con base en las estructuras reproductivas, según Humber (1997) y Leslie y Summerell (2006). Para ello, los aislamientos Crecieron en cajas de Petri con medio PDA durante 14 días, para determinar las características de la colonia: tamaño, forma y conidiación. Adicionalmente, una suspensión de esporas se inoculó sobre discos de PDA de 0.5 cm de diámetro, bajo un cubreobjetos con la finalidad de obtener estructuras microscópicas de cada aislamiento. Todos los discos inoculados se incubaron a 25°C en cámara húmeda durante 5 d. Las características microscópicas de conidióforos y conidios se observaron bajo el microscopio de campo claro y se fotodocumentaron mediante digitalización de imágenes. La morfometría se realizó con el software Image Tool® 3.00

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se obtuvieron 57 aislamientos de a partir de muestras de tejidos con síntomas y signos de enfermedades fúngicas del patosistema cacao del estado de Tabasco, México (Cuadro 1). De los aislamientos obtenidos, 14 presentaron afinidad morfológica con *Lasiodiplodia theobromae*, nueve con *Moniliophthora roreri*, siete con *Phytophthora capsici*, dos con *Ceratocystis fimbriata*, 21 con *Colletotrichum gloeosporioides* y cuatro con *Fusarium descemcellulare* (Cuadro 2). La especie más abundante fue *Colletotrichum gloeosporioides*, seguida de *Lasiodiplodia theobromae*, y *Moniliophthora roreri* (Figura 1). Así, un total de seis especies de hongos fueron identificadas.

Cuadro 2. Especies de hongos fitopatógenos asociados a síntomas de enfermedades de *Theobroma cacao*, identificados por morfología. Tabasco, México, 2017.

Aislamientos	Especie morfológica
TFC29, TFC32, TFC57, TFC58 ,TFC6, TFC36, TFC37, TFC38, TFC39, TFC41 ,TFC47, TFC52 ,TFC53, TFC61,	<i>Lasiodiplodia theobromae</i>
TFC3, TFC5, TFC13, TFC17, TFC19,TFC34, TFC43, TFC46, TFC56	<i>Moniliophthora roreri</i>
TFC62, TFC63, TFC64, TFC65, TFC66, TFC67, TFC68	<i>Phytophthora capsici</i>
TCF01, TCF48	<i>Ceratocystis fimbriata</i>
TCF2, TCF8, TCF10, TCF11, TCF12, TCF15, TCF16, TCF20, TCF21, TCF24, TCF28, TCF30, TCF31, TCF35, TCF49, TCF50, TCF51, TCF44, TCF45, TCF59, TCF60,	<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>
TCF07, TCF14, TCF18, TCF27	<i>Fusarium descemcellulare</i>

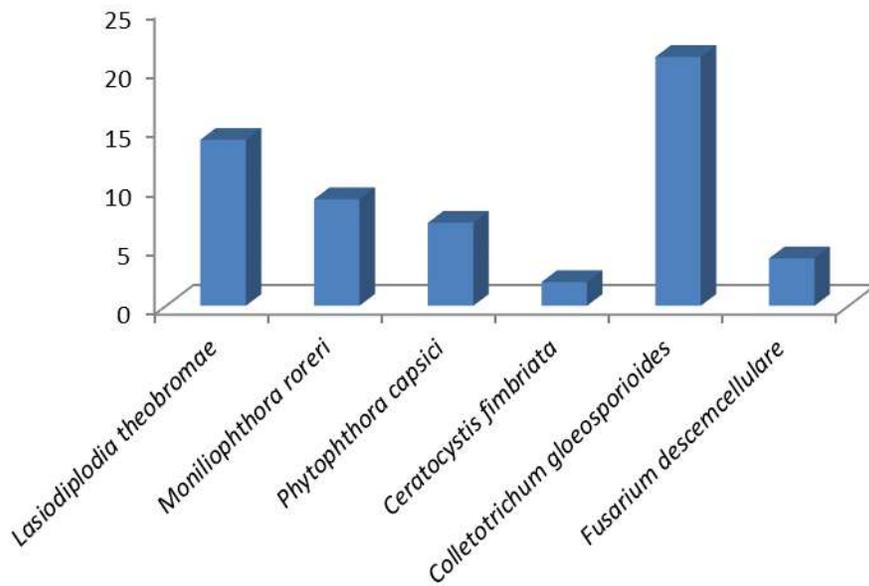


Figura 1. Abundancia de especies de hongos asociados al patosistema cacao en Tabasco, México, 2017.

De las especies asociadas al patosistema cacao en Tabasco, México, *M. roreri* es el agente causal de la moniliasis del cacao y es la enfermedad fúngica más limitante de la producción de cacao (*Theobroma cacao*) en el continente Americano (Phillips-Mora and Wilkinson 2007). Este patógeno ataca los frutos del cacao, ocasionando pérdidas en la producción de hasta el 75% (Torres de la Cruz, 2011). Por otra parte, en México, *Phytophthora capsici* ha sido reportada como el agente causal de la mancha negra del cacao (Ortiz, 1996) y actualmente es la segunda enfermedad más destructiva del cacao en el país. Se ha reportado que este hongo ataca varias partes de la planta de cacao, pero el daño más significativo lo ocasiona en los frutos (Mora y Cerda, 2009).

Fusarium descemcellulare ha sido reportado como agente causal de la formación de bubas o agallas en los cojinetes florales del árbol de cacao. Induce la formación de brotes muy pequeños que no llegan a desarrollarse, lo que afecta el crecimiento y la fructificación de la planta. (Mora y Cerda, 2009). Por su parte, *Ceratocystis fimbriata* ha sido reportado como el agente causal de la enfermedad llamada Mal del machete. Este hongo crece en los tejidos conductores internos del tronco y de las ramas, obstruyendo el paso del agua y de los nutrientes. Consecuentemente, el árbol se marchita y muere. La enfermedad se presenta en forma esporádica y dispersa en la plantación, pero puede convertirse en un problema muy serio cuando el material sembrado es uniforme genéticamente o no está injertado sobre patrones resistentes a enfermedades del suelo. (Mora y Cerda, 2009).

Lasiodiplodia theobromae es un hongo que ha sido asociado a necrosis de la madera y muerte regresiva de *T. cacao*. Así también ha sido reportado causando la enfermedad llamada mancha café del café en frutos de cacao (Picos-Muñoz et al., 2015). *Lasiodiplodia theobromae* posee una diversidad de hospederos vegetales; sin embargo, también se ha reportado como un patógeno oportunista de humanos causando infecciones subcutáneas, oculares y de órganos internos (Woo et al., 2008).

Por último, *Colletotrichum gloeosporioides* ha sido reportado como el agente causal de la antracnosis en frutos, hojas y brotes tiernos de *T. cacao*. El principal daño lo ocasiona cuando ataca las hojas, provocando defoliación. Esto estimula la emisión de nuevas ramas que también son infectadas, dando finalmente la apariencia de pequeñas escobas (Mora y Cerda, 2009)

CONCLUSIONES

Este estudio reveló la presencia de seis especies morfológicas de hongos asociados al patosistema cacao en el estado de Tabasco. Las seis especies de hongos presentadas en el presente trabajo han

sido descritas como fitopatógenos de *T. cacao*. La confirmación molecular y patogénica de los aislamientos obtenidos; así como métodos de control, pueden evaluarse en futuras investigaciones.

LITERATURA CITADA

- Evans, H.C. 2002. Invasive Neotropical Pathogens of Tree Crops. pp 83-112. In: Watling R., Frankland J.C., Ainsworth A.M., Isaac S., and C. Robinson (eds.) Tropical Mycology. Vol. 2. Micromycetes. CABI Publishing, Wallingford, UK.
- Fulton, R.H. 1989. The cacao disease trilogy: Black pod, Monilia pod rot, and Witches' Broom. Plant Disease 73: 601-603.
- Humber, R. 1997. Fungi: identification, 153-185. In Lacey, L. (ed.). Manual of techniques insect pathology. Academic press, New York, USA. 369 p.
- Gotsch, N. 1997. Cocoa crop protection: An expert forecast on future progress, research priorities and policy with the help of the Delphi survey. Crop Protection 16:227-233.
- Leslie, J.F. y Summerell, B.A. 2006. The *Fusarium* Laboratory Manual. Blackwell Publishing Profesional, USA. 388 p.
- Ortiz, G.C.F., 1996. Etude de la diversité génétique de populations de *Phytophthora* pathogène du cacaoyer (*Theobroma cacao* L.) et du cocotier (*Cocos nucifera* L.). Tesis Doctoral. Université Paul Sabatier-Centre de Fisiología Vegetal – CNRS. Toulouse, Francia. 85 p.
- Phillips-Mora W. y Cerda-Bustillo, R. 2009. Catálogo: enfermedades del cacao en Centroamérica. Serie Técnica. Manual Técnico. CATIE, Turrialba, Costa Rica. No. 93. 24 p.
- Picos Muñoz P.A., García Estrada R.S., León Felix J., Sañudo Barajas A. y Allende Molar R. 2015. *Lasiodiplodia theobromae* en cultivos agrícolas de México: Taxonomía, hospedantes, diversidad y control. Revista Mexicana de Fitopatología 33: 54-74.
- Ramírez, D.F.J. 1997. Sistema Agroindustrial Cacao en México y su Comportamiento en el Mercado. UACH, Chapingo, Mex. 161 p.
- Torres-de la Cruz M, Ortiz-García CF, Téliz-Ortiz D, Mora-Aguilera A, Nava-Díaz C (2011) Temporal progress and integrated management of frosty pod rot [*Moniliophthora roreri* (Cif y Par.) Evans et al.] of cocoa (*Theobroma cacao*) in Tabasco, Mexico. Journal of Plant Pathology 93:31-36.
- Scherr, S.J. 1983. Resolving the agriculture-petroleum conflict: The experiences of cocoa smallholders in Mexico. Department of agricultural Economics. Cornell University. Ithaca, New York. 233 p.
- Schultes, R.E. 1984. Amazonian cultigens and their northward and westward migration in pre-Colombian times. Ethnobotany 76:19-37.
- Wood, G.A.R. 1975. Cacao. Ed. C.E.C.S.A. México. 363 p.
- Whitlock, B., Bayer, C., y Baum, D. 2001. Phylogenetic relationships and floral evolution of the Byttnerioideae "*Sterculiaceae*" or *Malvaceae* s.l.) based on sequences of the chloroplast gene *ndhF*. Systematic Botany 26:240-437.
- Woo P.C., Lau S.K., Ngan A.H., Tse H., Tung E.T. y Yuen K.Y. 2008. *Lasiodiplodia theobromae* pneumonia in a liver transplant recipient. Journal of Clinical Microbiology 46:380-384.

REFERENCIAS INFORMATICAS

- OEIDRUS., 2009. Oficina estatal de información para el desarrollo rural sustentable en el Estado de Tabasco. www.oeidrustab.gob.mx. (Consultado el 9 de noviembre de 2009)

**VARIABILIDAD DE LA DENSIDAD BÁSICA DE LA MADERA DE DIEZ CLONES
SOBRESALIENTES DE CEDRO ROJO *Cedrela odorata* L.**
VARIABILITY OF WOOD BASIC DENSITY OF TEN OUTSTANDING RED CEDAR CLONES *Cedrela
odorata* L.

Honorato Salazar JA, Sánchez Monsalvo V

INIFAP. Centro de Investigación Regional Golfo Centro. Campo Experimental San Martinito, km 56.5
Carretera Federal México-Puebla, San Martinito, Tlahuapan, C.P. 74100, Puebla, México.
Autor para correspondencia: honorato.amador@inifap.gob.mx

RESUMEN

En este estudio se realizó la determinación de la densidad básica de la madera de ramas de 10 clones de cedro rojo un experimento clonal. Los clones elegidos presentaron el mayor crecimiento en diámetro normal (1.30 m) y altura, así como mayor volumen. El objetivo fue proporcionar índices de la calidad de la madera para mejorar la selección de clones sobresalientes que puedan ser utilizados en el establecimiento de plantaciones forestales de esta especie. Se colectaron muestras de la primera rama viva de tres árboles por clon, para después obtener 2 secciones de 5 cm de grosor por rama y cubos de 2 cm de lado de cada sección. La densidad básica se determinó por medio de la relación entre el peso seco en estufa (103 ± 2 °C) y el volumen saturado. Se realizó un análisis de varianza de los datos, seguido de una comparación de medias por el método de Tukey ($\alpha = 0.05$). Los resultados mostraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre clones para la densidad básica con un promedio general de 380.2 ± 48.08 kg/m³ y un rango de 326.3 a 432.8 kg/m³. La densidad básica de la madera fue mayor en los clones 72, 83, 27 y 61 y menor en los clones 23, 64, 95, 90 y 45. Los clones 72 y 83 destacan por sus valores altos y mayor uniformidad de la densidad básica. Debido a que la densidad básica de la madera se relaciona con otras propiedades que determinan la calidad de la madera para diversos usos y a que existen reportes de una alta correlación de esta propiedad entre la madera de las ramas y el fuste, los valores obtenidos se pueden utilizar para seleccionar clones que tengan alto crecimiento en diámetro normal, altura, mayor volumen y alta densidad básica.

Palabras clave: *cedro rojo, clones, densidad básica, madera*

INTRODUCCION

Cedrela odorata L. es una especie arbórea caducifolia de la familia *Meliaceae*, comúnmente conocida como cedro rojo en México o "spanish cedar" en el ámbito comercial en inglés, nativa de la región tropical de América, con distribución natural desde 26°N en México hasta 28°S en el Norte de Argentina. Alcanza alturas de 20 a 35 m, con diámetros normales de 0.60 m a 1.7 m, su mayor desarrollo es en zonas con una temperatura media anual de 22 a 32 °C, precipitaciones anuales de 2500 a 4000, con estación seca de 2 a 4 meses de duración y elevaciones desde el nivel del mar hasta 1200 m (Pennington y Sarukhán, 2005; Niembro, 2010). En México se encuentra en la vertiente del Golfo desde el sur de Tamaulipas y sureste de San Luis Potosí hasta la Península de Yucatán y en la vertiente del Pacífico desde Sinaloa hasta Guerrero, también se encuentra en la depresión central y la costa de Chiapas (Pennington y Sarukhán, 2005), principalmente en las selvas altas, selvas medianas y bosque mesófilo en una superficie de 41,011 a 48,237 km² (Estrada-Contreras *et al.*, 2016; Romo-Lozano *et al.*, 2017).

La madera de duramen de esta especie se considera como preciosa y de alto valor comercial debido a su color, aroma y alta resistencia al ataque de hongos e insectos, por lo cual es muy demandada para la obtención de chapa, fabricación de muebles finos, artículos torneados, esculturas, cajas y envolturas para puros, instrumentos musicales y construcción de embarcaciones (Chudnoff, 1984; Pennington y Sarukhán, 2005). Esto ha causado una explotación excesiva de cedro y ocasionando la disminución y fragmentación de las poblaciones naturales (Patiño, 1997; Hernández Ramos *et al.*, 2018). Por ello, se encuentra como especie "sujeta a protección especial" en Norma Oficial Mexicana 059 (NOM- 059) (SEMARNAT, 2010) y en el Apéndice III de la CITES (CITES, 2010).

Debido a la importancia de protección, conservación, producción, ecológica y económica de esta especie, desde 1994 se han establecido ensayos de procedencias de cedro en la Península de Yucatán y Veracruz, con la finalidad de determinar patrones de variación genética para la altura, diámetro normal, forma del fuste, número y grosor de ramas, volumen y ataque del barrenador del

tallo (Sánchez *et al.*, 2003; Ward *et al.*, 2008; Hernández-Máximo *et al.*, 2016), de manera que se puedan obtener líneas mejoradas de esta especie y establecer plantaciones forestales con genotipos superiores de crecimiento y tolerantes al ataque del barrenador.

Al igual que en otras especies forestales, la mayor parte de estudios de selección y mejoramiento genético de genotipos superiores, se han basado principalmente en el crecimiento, la forma del fuste, el volumen, la adaptación y los rasgos de supervivencia. Sin embargo, debido a que la producción de madera es el objetivo final, el conocimiento de la relación entre el crecimiento y las características de la madera es fundamental para la obtención de productos a base de madera (Nocetti *et al.*, 2012), por lo cual se debe también considerar la calidad de la madera combinado con la cantidad de madera, así como otras características adversas que afectan no solo la calidad de la madera, sino también el crecimiento (Verryn, 2008).

Una de las características de la madera que se ha considerado en el mejoramiento genético es su densidad básica y ha sido principalmente aplicado a madera de coníferas, existiendo estudios limitados relacionados con las maderas latifoliadas, especialmente de clima tropical (De Boever *et al.*, 2007). La densidad básica de la madera está relacionada con las condiciones de crecimiento y manejo de las plantaciones y generalmente se considera la característica más representativa de las propiedades de la madera, por lo que se utiliza para describir la calidad general de la madera, tanto en lo que respecta a las propiedades mecánicas de la madera, como a la trabajabilidad, contracción y estabilidad dimensional (Shmulsky y Jones, 2011).

La determinación de la densidad básica de la madera, en la mayoría de los estudios, es por medio de técnicas destructivas del fuste de los árboles o invasiva a través de la obtención de cilindros de madera con taladro, que en edades jóvenes de los experimentos clonales limita su estudio. No obstante, algunos enfoques se han desarrollado a través del estudio de la densidad básica de la madera de las primeras ramas, que aun cuando los valores de densidad son diferentes entre la madera de las ramas y el fuste principal, proporcionan una alta correlación (0.80 – 0.99) y un índice de esta característica de la madera (Okai *et al.*, 2003; Dadzie *et al.*, 2016; Keduolhouvono y Kumar, 2017) para la selección de materiales sobresalientes.

Como parte del proceso de selección de clones de cedro sobresalientes en crecimiento de altura y diámetro, así como de mayor volumen de madera, se llevó a cabo la determinación de la densidad básica de la madera de 10 clones con mayores valores de estas variables dasométricas en un experimento clonal, con el objetivo de proporcionar elementos de selección adicional, que permitan también considerar la calidad de la madera de los clones más promisorios para el establecimiento de plantaciones comerciales con materiales elite.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se realizó en una plantación experimental de 90 clones de cedro rojo establecida en agosto de 2012, con espaciamiento de 3m x 3 m en bloques completos al azar y seis repeticiones. La plantación se encuentra en Campeche dentro de la empresa “Agropecuaria Santa Genoveva” (19° 33' 26.53" N, 90° 01' 33.96" W), con una elevación de 832 metros sobre el nivel del mar, precipitación promedio anual de 1300 mm, temperatura media anual de 26 °C y suelo arcilloso de origen calcáreo.

Diez clones más sobresalientes (23, 27, 45, 61, 63, 64, 72, 83, 90 y 95) fueron seleccionados con base a un análisis de componentes principales de las variables medidas en octubre de 2017, las cuales fueron: diámetro normal (1.30 m), altura total, altura de fuste limpio y altura de fuste recto (altura del fuste sin ondulación o inclinación), considerándose también el volumen total. Se consideraron como clones sobresalientes, aquellos que presentaron un valor promedio más alto del primer componente principal. Para cada clon se seleccionaron 3 árboles con base a los valores mayores del primer componente principal en cada árbol.

De cada árbol se cortó la primera rama viva, desechándose los primeros 15 cm de la base de la rama para evitar la posible influencia marcada de la madera de reacción y obteniendo una sección de 50 cm de largo, etiquetando el número de árbol y el clon, para después ser transportadas al laboratorio. Posteriormente se cortó una sección transversal (rodaja) de 2 cm de grosor a 5 cm de cada extremo de las ramas. Cada una de las rodajas se marcaron para obtener cubos de 2 cm de lado por la parte central de cada central de cada rodaja en forma de cruz. Los cubos se etiquetaron por clon, rodaja y ubicación en la rodaja y después se introdujeron en un desecador con agua destilada, aplicándose vacío hasta que estuvieran completamente inmersos en agua. Los cubos saturados se les determinó el volumen por medio de desplazamiento de agua (ASTM, 2005) y a continuación se colocaron en una

estufa de secado a 103 ± 2 °C por 48 horas, para después colocarse en un desecador sobre silica gel por 15 minutos y determinar su peso en la balanza analítica.

La densidad básica de la madera se calculó como la relación entre el peso secado en estufa y el volumen saturado de cada cubo. Los datos obtenidos se sometieron a un análisis de varianza (ANDEVA), considerando como fuente de variación el clon, seguido de una comparación múltiple de medias con el método de Tukey ($\alpha = 0.05$), usando el programa de SAS (SAS, 2009).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El ANDEVA mostró diferencias altamente significativas entre clones ($p < .0001$) (Cuadro 1) para la densidad básica de la madera, con un promedio global de 380.2 ± 48.08 kg/m³, una variación de 12.6% y un rango de 326.3 a 432.8 kg/m³.

Cuadro 1. Resumen del Análisis Varianza

Fuente de variación	DF	Valor de F	Pr > F
Clon	9	19.89	<.0001

La comparación de medias entre clones (Figura 1) muestran que la densidad básica del clon 72, es la más alta en comparación del clon 45, que presenta la densidad básica más baja. Los clones 72, 83, 27 y 61 presentaron los valores más altos de densidad básica con diferencias significativas ($p \leq 0.05$) con respecto al resto de los clones. Los clones 23, 64, 95, 90 y 45 mostraron los valores más bajos de densidad básica y los valores intermedios fueron para el clon 63. Los valores con menor variación indican una mayor uniformidad clonal (Cown y Sorensson, 2008), por lo que los clones 45 (6.22%) y 72 (7.51%) presentan una mayor uniformidad en la densidad básica, mientras que el 90 (16.67%) tiene la menor uniformidad seguido del clon 27 (14.37%). La selección de clones sobresalientes implica que tengan uniformidades altas y altos valores de densidad básica, por lo que los clones 72 y 83 destacan en estas dos características.

En general, los valores de densidad básica obtenidos para la madera de las ramas de clones cedro rojo, están dentro de los valores de 340 ± 30 kg/m³ y 340 ± 60 kg/m³ obtenidos por Gutiérrez-Vázquez et al. (2012) y De Los Santos (2014), respectivamente, para el fuste de árboles de cedro rojo, así como de los valores (300 a 600 kg/m³) reportados por Chudnoff (1984).

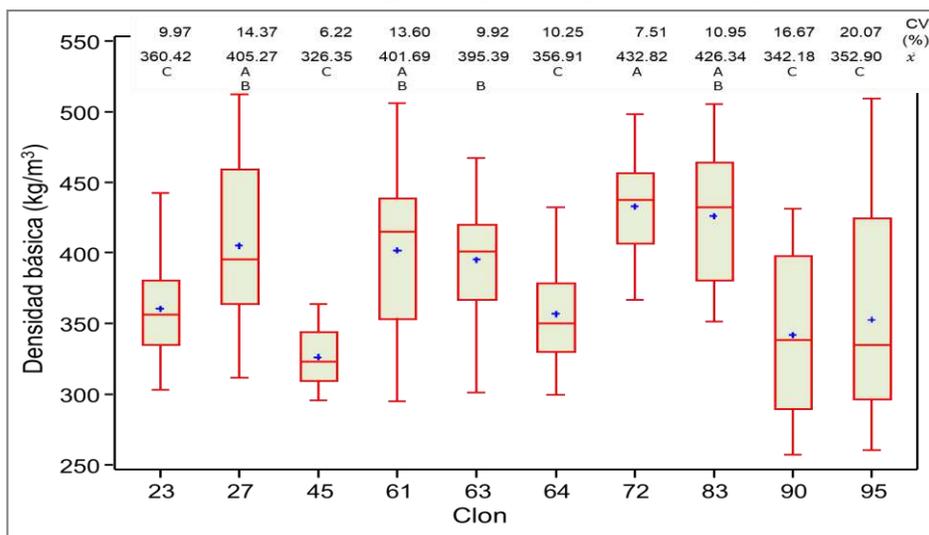


Figura 1. Comparación de medias entre clones y coeficiente de variación (CV) (Los valores con la misma letra no son significativamente diferentes).

CONCLUSIONES

La densidad básica de la madera de las ramas de los clones de cedro rojo es significativamente diferente e indicando que algunos clones presentan mayor uniformidad de esta propiedad, destacando los clones 72 y 83 por su mayor uniformidad y valores altos de densidad básica.

Los valores obtenidos están dentro del rango reportado para densidad básica de la madera del fuste y dado que la densidad se relaciona con otras propiedades que determinan la calidad de la madera para diversos usos y a que existen reportes de una alta correlación de esta propiedad entre la madera de las ramas y el fuste, los valores obtenidos se pueden utilizar para seleccionar clones que tengan alto crecimiento en diámetro normal, altura, mayor volumen y alta densidad básica, lo cual proporcionaría mejores materiales para establecer plantaciones forestales.

LITERATURA CITADA

- American Society for Testing and Materials (ASTM). 2005. Standard test methods for specific gravity of wood and wood-Based Materials. ASTM 2395, Annual Book of ASTM Standards, Vol. 4.10 Wood, pp 357-363.
- Chudnoff, M. 1984. Tropical timbers of the world. USDA Forest Service. Agr. Handbook No. 607. 464 pp.
- Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora (CITES). 2007. CoP15 Doc. 14, Fifteenth meeting of the Conference of the Parties, 13–25 March, 2010, Doha (Qatar), pp. 7.
- Cown, D. and Sorensson, C. 2008. Can use of clones improve wood quality? NZ Journal of Forestry 52(4): 14-19.
- Dadzie, P. K., Amoah, M., Frimpong-Mensah, K. and Shi, S. Q. 2016. Comparison of density and selected microscopic characteristics of stem and branch wood of two commercial trees in Ghana. Wood Sci. Technol. 50(1): 91-104.
- De Boever, L., Vansteenkiste, D., Van Acker, J. and Stevens, M. 2007. End-use related physical and mechanical properties of selected fast-growing poplar hybrids (*Populus trichocarpa* x *P. deltoides*) Ann. For. Sci. 64(6): 621-630.
- De Los Santos, X. M. Evaluación de las propiedades dendroenergéticas de dos especies forestales, "Tempequistle" (*Sideroxylon palmeri* (Rose) Pennington) y cedro rojo (*Cedrela odorata* L.). Tesis profesional. Instituto Tecnológico Superior de Zongolica. Zongolica, Ver., México. 128 p.
- Estrada-Contreras, I., Equihua, M., Laborde, J., Martínez, M. E. and Sánchez-Velásquez, L. R. 2016. Current and Future Distribution of the Tropical Tree *Cedrela odorata* L. in Mexico under Climate Change Scenarios Using MaxLike. PLoS ONE 11(10): e0164178. doi:10.1371/journal.pone.0164178.
- Gutiérrez-Vázquez, B. N., Cornejo-Oviedo, E. H., Gutiérrez-Vázquez, M. H. y Gómez-Cárdenas, M. 2012 Variación y predicción de la densidad básica de la madera de *Cedrela odorata* L. Revista Fitotecnia Mexicana 35(5): 87-90.
- Hernández Ramos, J., Reynoso Santos, R., Hernández Ramos, A., García Cuevas, X., Hernández-Máximo, E., Cob Uicab, J. V. y Sumano López, D. 2018. Distribución histórica, actual y futura de *Cedrela odorata* en México. Acta Botánica Mexicana 124. DOI: 10.21829/abm124.2018.1305.
- Hernández-Máximo E., López-Upton J., Sánchez Monsalvo, V., Vargas-Hernández, J. J. y Salazar-García, J. G. 2016. Early performance and genetic gain of *Cedrela odorata* families from wide-range sites in Mexico. Journal of Tropical Forest Science 28(4): 446-456.
- Keduolhouvonuo and Kumar, H. 2017. Variation in wood specific gravity of selected tree species of Kohima district of Nagaland North Eastern parts of India. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry 6(6): 70-74.
- Niembro, R. A. 2010. *Cedrela odorata* L. In: Vozzo, J. A. (Ed.). Manual de semillas de árboles tropicales. Departamento de Agricultura de Estados Unidos, Servicio Forestal. pp: 375-378.
- Nocetti, M., Brunetti, M., Ducci, F., Romagnoli, M., Rozenberg, P. and Santi, F. 2012. Phenotypic correlations among wood properties and growth in wild cherry plantations. BioResources 7(3): 3160-3174.
- Okai, R., Frimpong-Mensah, K. and Yeboah, D. 2003. Characterization of moisture content and specific gravity of branchwood and stemwood of *Aningeria robusta* and *Terminalia ivorensis*. Holz als Roh- und Werkstoff 61, 155–158.
- Pennington, T. D. y Sarukhán, J. 2005. Árboles Tropicales de México (3ª ed.). Ciudad de México, México: FCE, UNAM. 523 pp.

- Romo-Lozano, J. L., Vargas-Hernández, J. J., López-Upton, J. y Ávila Angulo, M. L. 2017. Estimación del valor financiero de las existencias maderables de cedro rojo (*Cedrela odorata* L.) en México. *Madera y Bosques* 23(1): 111-120.
- Sánchez, M. V., Salazar, G. J., Vargas, H. J. J., López, U. J. y Jasso, M. J. 2003). Parámetros genéticos y respuesta a la selección en características del crecimiento de *Cedrela odorata* L. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 26(1): 19-27.
- SAS Institute Inc. (SAS). 2009. SAS for windows (Version 9.2 for Windows). Cary, NC. USA.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres: Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. *Diario Oficial de la Federación (Segunda Sección)* 687(23): 1-77.
- Shmulsky, R. and Jones, P. D. 2011. *Forest Products and Wood Science*. John Wiley & Sons, USA. 477 p.
- Verryn, S. D. 2008. Breeding for wood quality - a perspective for the future. *New Zealand Journal of Forestry Science* 38(1): 5-13.
- Ward, S. E., Wightman, K. E and Santiago, B. R. 2008. Early results from genetic trials on the growth of Spanish cedar and its susceptibility to the shoot borer moth in the Yucatan Peninsula, Mexico. *Forest Ecology and Management* 255: 356–364.

CARACTERIZACIÓN DE SEMILLAS DE VEINTE GENOTIPOS SUPERIORES DE CEDRO *Cedrela odorata* L., CON FINES DE MEJORAMIENTO GENÉTICO EN YUCATÁN
CHARACTERIZATION OF SEEDS OF TWENTY SUPERIOR GENOTYPES OF CEDAR *Cedrela odorata* L., FOR THE PURPOSES OF GENETIC IMPROVEMENT IN YUCATAN

Rivera Leyva RR, García-Cuevas X, Cob Uicab JV

Centro de Investigación Regional Sureste (del INIFAP. Calle 6 Núm. 398 x 13, Avenida Correa Rachó. Col. Díaz Ordaz, C.P. 97130. Mérida Yucatán, México.

Autor para correspondencia: rivera.refugio@inifap.gob.mx

RESUMEN

El Cedro (*Cedrela odorata* L.), es una especie particularmente importante para la industria maderera, pero sobre todo como componente de la biodiversidad de las selvas tropicales donde sus poblaciones naturales han decrecido y actualmente se encuentra bajo protección especial. En México, el germoplasma utilizado para la producción de planta carece de buena calidad genética debido a una recolección inadecuada. Lo anterior, es debido a que los proveedores del germoplasma recolectan los frutos sin considerar la superioridad fenotípica del árbol. Además, la realizan de pocos árboles y cercanos entre sí, originando una baja diversidad genética, altos niveles de endogamia y una reducción en el vigor y calidad de planta. Se recolectó y se evaluó la semilla de veinte genotipos fenotípicamente superiores en la zona de distribución natural del estado de Yucatán con la finalidad de establecimiento y evaluación temprana de un ensayo de procedencias-progenies para la producción de germoplasma. Previo a la producción de planta, se realizaron análisis físicos y fisiológicos: bajo las normas ISTA. Se encontró que el número promedio de semillas/kilogramo fue de 63,000; el promedio de pureza fue 85.45% y el contenido de humedad fue de 10.43 en promedio de dos pruebas realizadas a cada genotipo. El promedio de germinación fue 84.55% y la media de viabilidad con la prueba de tetrazolio fue de 88%. Se concluye que la caracterización de las semillas es básica y estratégica para el almacenamiento y producción de planta, y que puede reducir costos y mano de obra en vivero.

Palabras clave: *Tetrazolio, germoplasma, procedencia, genotipo, viabilidad*

INTRODUCCION

En México, el germoplasma utilizado para la producción de planta carece de buena calidad genética debido a una recolección inadecuada y a un desconocimiento en el origen geográfico y procedencia. Lo anterior, es debido a que los proveedores del germoplasma recolectan los frutos sin considerar la superioridad fenotípica del árbol y sin un control en el origen y procedencia. Además, la recolección la realizan de pocos árboles y cercanos entre sí, originando una baja diversidad genética, altos niveles de endogamia y una reducción en el vigor y calidad de planta para el establecimiento de plantaciones. El Cedro (*Cedrela odorata* L.), es una especie particularmente importante para la industria maderera, pero, sobre todo, como componente de la biodiversidad de las selvas tropicales. Sus poblaciones naturales han decrecido considerablemente debido a la tala indiscriminada y a la falta de programas de restauración y plantaciones comerciales, por lo que actualmente se encuentra bajo protección especial. (Morán et al., 2009)

Por otro lado, el éxito de los programas de reforestación y restauración, pero, sobre todo, las plantaciones forestales comerciales dependen en gran medida de la adecuada selección y la calidad del germoplasma. Es decir, del conocimiento de los registros del pedigrí, desde la selección, recolección y del establecimiento, que son aspectos fundamentales que determinan el éxito de los programas de reforestación, restauración y plantaciones forestales comerciales y la determinación del origen y la procedencia geográfica de la especie, es de vital importancia para la adaptabilidad a las condiciones ambientales de crecimiento por "selección natural" (Flinta, 1960).

Sin embargo, existe una serie de problemas entorno a la recolección, manejo y evaluación del germoplasma forestal (CONAFOR, 2004), ya que se requieren sistemas de manejo adecuados para la manipulación y almacenamiento de semilla u otro tipo de material vegetativo, el cual varía de acuerdo al tipo de semilla y especie de interés, lo que dificulta contar con métodos uniformes y estandarizados de evaluación.

Además, el personal técnico y productores no se encuentran debidamente capacitados en el manejo, recolección y evaluación de germoplasma y las prácticas de recolección indiscriminada persisten por parte de los viveristas y programas de producción de planta de cedro en vivero. El presente proyecto tiene como objetivo la recolección y evaluación del germoplasma de 20 genotipos de cedro fenotípicamente superiores para el establecimiento y evaluación temprana de un ensayo de procedencias-progenies en el estado de Yucatán.

Pretende resolver problemas como el de contar con semilla de calidad genética, genotipos de cedro correctamente identificados y diferenciados, muestreos adecuados de la diversidad de cedro, capacitación a productores y técnicos en el proceso de selección, recolección, evaluación de germoplasma y difusión de los resultados obtenidos. Aquí se presentan los resultados de la evaluación física y fisiológica de la semilla de veinte genotipos seleccionados en el estado de Yucatán.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se desarrolló en el Campo Experimental Mococho del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Ubicado en el Km.25 Carretera antigua Mérida-Motul, C.P. 97454, Mococho, Yucatán y la caracterización del germoplasma se realizó en el laboratorio del Centro de Valoración de Germoplasma Forestal de la CONAFOR gerencia Yucatán, como parte del proyecto "Establecimiento de cuatro huertos semilleros asexuales regionales con el establecimiento y evaluación temprana de 12 ensayos de progenies (tres ensayos por cada huerto) de *Cedrela odorata* L." "apoyado por el Fondo Sectorial para la Investigación, el Desarrollo y la Innovación Tecnológica Forestal"

Los recorridos de campo se dividieron en dos fases: 1. Ubicación y selección de los 20 genotipos y 2. Recolección de germoplasma.

Ubicación y selección de genotipos fenotípicamente superiores

Se seleccionó la zona de distribución para la ubicación, selección y recolección en ocho municipios del estado de Yucatán (Mococho, Sucilá, Tizimín, Temozón, Valladolid, Cuncunul, Kaua y Tzucacab, tomando en cuenta las bases de datos de distribución natural y la consulta de colectas de herbarios de Yucatán y revisión bibliográfica de la flora de la península de Yucatán.

Posteriormente con un GPS Garmin modelo MAP 60 CSx se georreferenció cada árbol, registrando los datos en fichas técnicas de campo. Con esta información, se realizó la distribución de los individuos seleccionados en el estado de Yucatán.

En esta fase se realizó la evaluación de cada individuo considerando las características dasométricas, edáficas y sanitarias para determinar la categoría (clase), de acuerdo a la ficha de campo. En una placa de aluminio colocada en la base del fuste se registró la clave de identificación (Región-Especie-No. de genotipo), con azimut Este y se registró el material fotográfico correspondiente de cada árbol. (Figura 1)

Recolección de germoplasma (frutos)

Una vez ubicados y seleccionados los árboles se realizó la recolección de frutos, que al igual que en la primera fase se llenaron fichas técnicas con datos de asociación con otras especies y características edáficas, además de dasométricas y fenológicas.

De acuerdo a su fenología esta especie en la región se encuentra en floración en los meses de mayo, junio y julio, la formación de los frutos inicia en junio y julio, se desarrollan y llegan a su madurez hasta los primeros meses del siguiente año, Los frutos alcanzan su madurez fisiológica a finales del mes de enero, febrero, marzo y abril con frutos maduros listos para su recolección. En esta etapa los árboles de cedro al momento de que los frutos alcanzan la madurez se encuentran sin hojas, lo que facilita la estimación productiva y su recolección.

La muestra de recolección fue en promedio de 400 frutos por árbol, colectados en diferentes áreas de la copa y en la parte apical de las ramas cortadas con la tijera telescópica colocando una malla extendida bajo la copa del árbol para facilitar la recolección y envasado de los frutos cosechados.

Envasado y transporte de frutos

Los frutos se separaron de las ramas y se envasaron en bolsas de malla con una etiqueta dentro y rotulados con el código de colecta en la parte exterior de las bolsas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis físicos y fisiológicos en laboratorio para obtención de número de semilla por kilogramo, pureza, número y peso de semillas y porcentaje de viabilidad y germinación para cada árbol.

Los resultados de los análisis físicos en número de semillas por kilogramo de las muestras de *Cedrela odorta* resultaron estar en un rango elevado al promedio general en el que se encuentra la especie. Los resultados obtenidos del peso de las muestras determinan que mientras más pequeña es la semilla tiene un peso menor, por lo que se requiere de mayor cantidad de ellas por kilogramo; lo contrario sucede cuando la semilla es más grande se necesita de menos semillas para completar un kilogramo.

El rango de peso de las muestras fue de entre 8.34 a 19.90 gr, con un promedio general de 68,163 que representa la cantidad de semillas que conforman el número por kilogramo por muestra, se observan valores altos, pero en particular dos árboles el R1-CDRO-GN68 y R1-CDRO-GN69, fueron los únicos que presentaron frutos pequeños y por lo tanto semillas muy pequeñas, esto puede ser consecuencia de la calidad del sitio donde se ubica el árbol (Cuadro 1)

Cuadro1. Peso total de las muestras y número de semillas por kg

Codigo	Peso de la muestra (g)	Semillas por kg
R1-CDRO-GN 61	19.05	52,493
R1-CDRO-GN 62	18.16	55,058
R1-CDRO-GN 63	19.05	52,493
R1-CDRO-GN 64	16.31	61,303
R1-CDRO-GN 65	17.30	57,803
R1-CDRO-GN 66	14.70	68,143
R1-CDRO-GN 67	19.90	52,390
R1-CDRO-GN 68	8.68	115,274
R1-CDRO-GN 69	8.34	119,940
R1-CDRO-GN 70	10.84	92,592
R1-CDRO-GN 71	13.14	76,118
R1-CDRO-GN 72	16.70	59,880
R1-CDRO-GN 73	16.13	62,016
R1-CDRO-GN 74	16.11	62,064
R1-CDRO-GN 75	17.00	58,824
R1-CDRO-GN 76	16.44	60,837
R1-CDRO-GN 77	16.83	59,435
R1-CDRO-GN 78	16.18	61,824
R1-CDRO-GN 79	13.03	76,775
R1-CDRO-GN80	17.24	58,013

Los niveles de pureza de todos los lotes fueron altos, el menor rango fue del 73% que lo obtuvieron únicamente el árbol 68 y el 69, el resto obtuvo el promedio del 80 al 92%, esto quiere decir que la semilla presenta buena calidad, en la mayoría es semilla pura libre del exceso de basura (Figura 2).

El contenido de humedad es la cantidad de agua presente en la semilla, por lo cual se evaluaron dos submuestras para determinar el contenido de humedad, ambas muestras tenían el mismo peso fresco y se pesaron nuevamente después del secado, el contenido de humedad en las muestras varió significativa y no significativamente de acuerdo al contenido de humedad de cada muestra. Los lotes sombreados en la tabla 3, indican el rango óptimo para conservar adecuadamente las semillas es de 5-9%, estos seis lotes señalados cumplen con el nivel adecuado para ser almacenados con temperatura adecuada, los lotes restantes se encuentran con un valor alto de humedad y no es recomendable conservarlas así, por lo cual se recomienda un secado a media sombra unas horas sin dejar que se deshidraten al darles directamente la radiación solar, esto ayudara a bajar el contenido de humedad (Cuadro 2)

Los resultados de la prueba de germinación al igual que la de viabilidad por tinción de tetrazolio, van ligadas una a la otra ambas deben tener una relación simultanea ya que en la prueba de tinción se determina que tan buena es la semilla es decir como una predicción de su capacidad par germinar, en los análisis los resultados fueron relativas estas pruebas, son aceptables los análisis ya que están al

mismo nivel la relación de tinción con la germinación, las semillas presentan buena viabilidad (Figura 3)

Cuadro 2. Resultados promedios de contenido en de humedad en 20 genotipos

CONTENIDO DE HUMEDAD.				
CODIGO	CONTENIDO DE H. SUBMUESTRA 1	CONTENIDO DE H. SUBMUESTRA 2	DIFERENCIA ENTRE SUBMUESTRA 1 Y 2	PROMEDIO
R1-CDRO-GN61	10.27	10.27	0	10.27
R1-CDRO-GN62	9.60	9.60	0	9.60
R1-CDRO-GN63	10.91	10.47	0.45	10.69
R1-CDRO-GN64	10.47	10.69	0.22	10.58
R1-CDRO-GN65	10.71	10.93	0.22	10.83
R1-CDRO-GN66	9.15	9.59	0.04	9.38
R1-CDRO-GN67	9.82	10.04	0.22	9.93
R1-CDRO-GN68	2.67	20.04	17.37	11.36
R1-CDRO-GN69	12.95	13.17	0.22	13.06
R1-CDRO-GN70	9.35	9.35	0	9.35
R1-CDRO-GN71	10.91	11.13	0.22	11.02
R1-CDRO-GN72	9.79	9.13	0.66	9.47
R1-CDRO-GN73	10.04	10.04	0	10.04
R1-CDRO-GN74	10.26	10.04	0.22	10.16
R1-CDRO-GN75	10.26	9.82	0.44	10.04
R1-CDRO-GN76	10.04	10.49	0.44	10.27
R1-CDRO-GN77	9.82	10.26	0.44	10.04
R1-CDRO-GN78	10.69	9.13	1.59	9.91
R1-CDRO-GN79	10.91	11.13	0.22	11.02
R1-CDRO-GN80	11.61	11.83	0.22	11.72

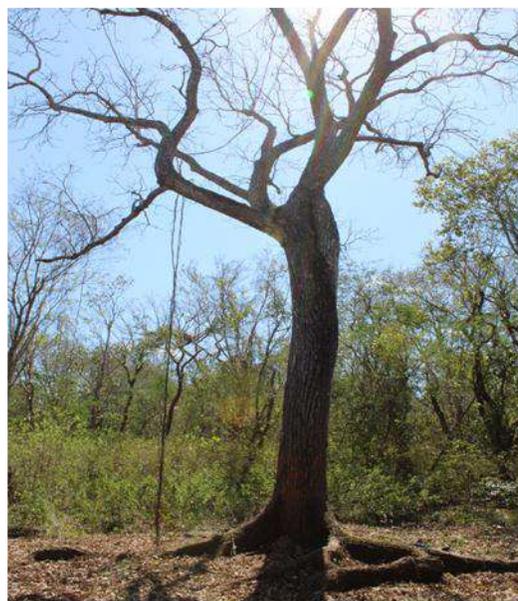


Fig. 1 Genotipo fenotípicamente superior seleccionado

CONCLUSIONES

La madurez de los frutos no fue homogénea y se atribuye a las condiciones climáticas (sequía prolongada y alta temperatura), como factores que influyeron en la producción o abundancia de frutos por árbol (fenología).

Los resultados de los análisis de semilla son de gran importancia para definir la cantidad de semilla necesaria para la producción de plantas en vivero, utilizada en programas de reforestación o plantación comercial, ya que es posible la reducción de costos y mano de obra.

En un banco de germoplasma de semillas son importantes los análisis fisiológicos de los lotes de

semilla para mantener un control de la vialidad de semilla para el abastecimiento y distribución a los programas de producción de plantas en vivero, pero sobre todo para establecer estrategias de conservación por tiempo prolongado.

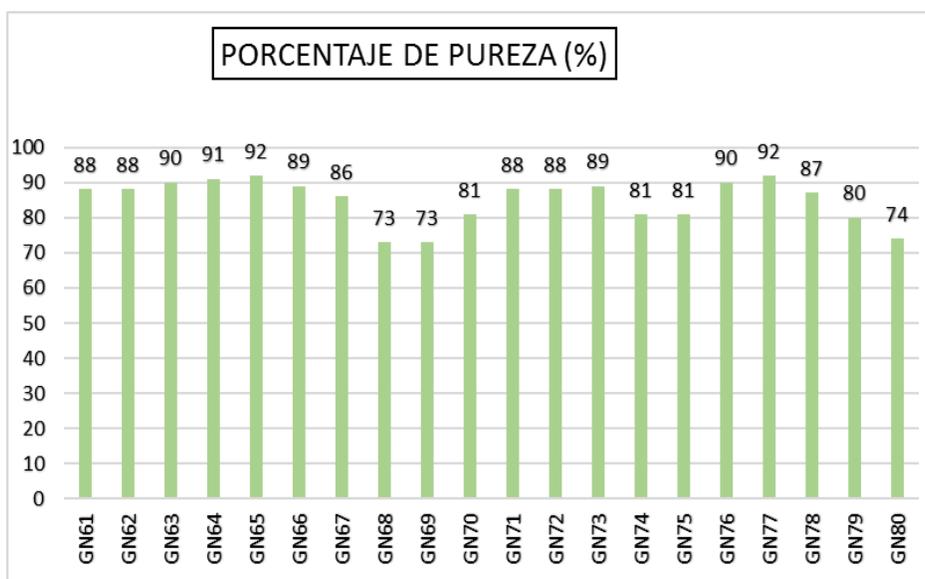


Figura 2. Porcentaje de pureza encontrada en 20 genotipos.

En el estado, se observó que existe una variabilidad de las características fenotípicas de los árboles en cuanto a estructura, fenología, número y tamaño de fruto, maduración, tamaño de las semillas y es posible que esta característica sea debido a factores genéticos y ambientales, así como calidad del sitio.

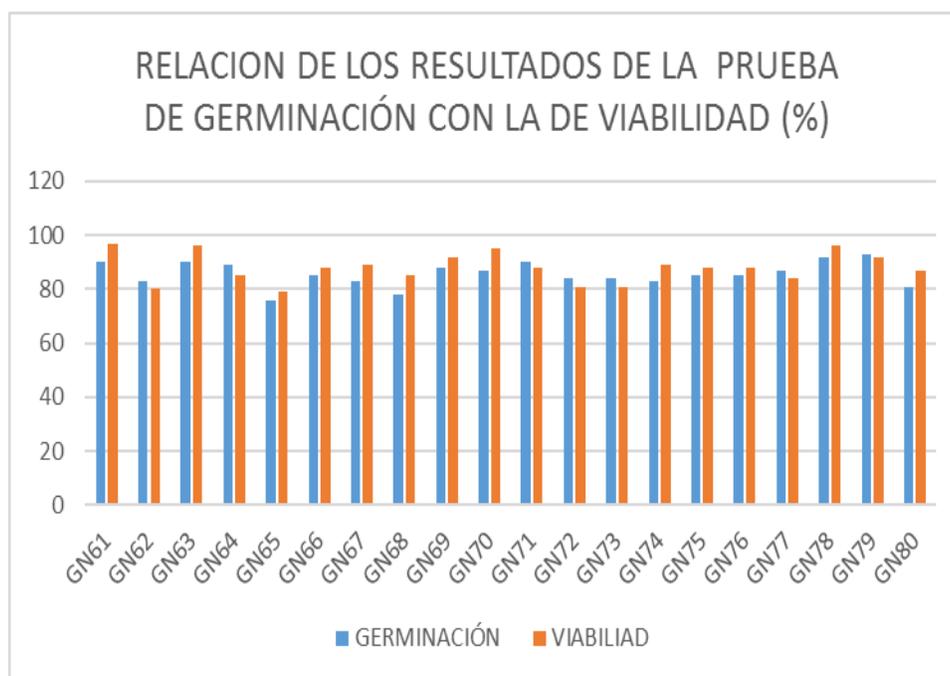


Figura 3. Resultados de la prueba de germinación y de tinción por tetrazolio en 20 genotipos

Es recomendable la capacitación de las brigadas recolectoras de germoplasma en el proceso de recolección, manejo y almacenamiento de germoplasma para homologar las técnicas de recolección y mejorar la calidad del germoplasma.

Considerando lo anterior es de gran importancia el rescate y la conservación del germoplasma de los individuos seleccionados con buenas características de *Cedrela odorata* en Yucatán dadas las condiciones de protección especial en la que se encuentra como especie prioritaria.

"Proyecto apoyado por el Fondo Sectorial para la Investigación, el Desarrollo y la Innovación Tecnológica Forestal" CONAFOR-CONACyT.

LITERATURA CITADA

- Bewley, J. D., K. J Bradford, H.W. Hhilrost and H. Nonogaki. 2013. Longevity, Storage, and deterioration. *Seeds: Physiology of Development, Germination and Dormancy*. Springer, New York, NY, USA. 392 p.
- Cintron, B.B. 1990. Cedro hembra, Spanish-Cedar, volume 2: Hardwoods. retrived from silvics of North America:
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2004. Programa Nacional para el manejo de los recursos Genéticos Forestales (PNMRGF). SEMARNAT. Zapopán, Jalisco.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2004. Programa Nacional para el Manejo de los Recursos Genéticos Forestales (PNMRGF). SEMARNAT. Zapopán, Jalisco. 35 p.
- Comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad (Conabio). 2013. Re: *cedrela odorata*.
- Duran, R., et al. 2000. Listado florístico de la península de Yucatán. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. Mérida, Yucatán.
- Duran, R. et al. 2000. Manual de Propagación de Plantas Nativas de la Península de Yucatán. Volumen 2. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. Mérida Yucatán.
- Gold K.; P. León-Lobos. Y M. Way. 2004. Manual de recolección de semillas de plantas silvestres para conservación a largo plazo y restauración ecológica. Instituto de Investigación intihuasi, La Serena, Chile. Boletín INIA N° 110.
- Niembro Rocas, A. 2003 *Cedrela odorata* L. Tropical tree seed manual. Part II Species descriptions. Agriculture Handbook. Vol. 721:386-389
- Pennington, T. D. y J Sarukhán. 2005. Árboles tropicales de México: Manual de identificación de las principales especies. 3era Ed. Fondo de cultura Económica. México, DF. 532 p.
- R.R. Rivera, O Gutierrez y E.R.A. Diaz, (2005) IN Memorias de la II Reunion Estatal de investigación agropecuaria, forestal y pesca, Merida Yucatán México p. 313-316.
- Rosero, P. 1976. Zonificación y silvicultura de meliáceas. Miscelaneus Vol III No. 101. IICA: Turrialba, Costa Rica. Pp. 125
- Semarnat 2010. Norma oficial mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de Mexico de flora y fauna silvestres-categoría de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-lista de especies en riesgo.
- Semarnat. 2011. Estrategia nacional de manejo sustentable de tierras. Mexico, D.F. 112p.
- Soihet, C. y J. Méndez. 1997. Nota técnica sobre el manejo de semillas forestales. No. 24. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 2p.
- White, T. L., T. W. Adams and D. B. Neale. 2007. *Forest Genetics*. CAB International, Oxford. 682 p.

***Colletotrichum* spp. PROCEDENTE DE FRUTOS DE PAPAYA DEL CENTRO DE VERACRUZ,
SU CONTROL CON FUNGICIDAS Y EFECTO DEL pH DEL AGUA**
Colletotrichum spp. FROM PAPAYA FRUITS, FROM THE VERACRUZ CENTER, ITS CONTROL
WITH FUNGICIDES AND EFFECT OF THE WATER pH

¹Rodríguez Falconi R, ¹Rodríguez Escobar JG, ²Rodríguez Quibrera CG

¹Campo Experimental Cotaxtla, INIFAP. Km. 34.5 Carr. Córdoba-Veracruz. Medellín de Bravo,
Veracruz, México. C.P. 94270.

²Campo Experimental Ixtacuaco Km 4.5 Carretera Martínez de la Torre-Tlapacoyan, Tlapacoyan,
Veracruz. México C.P. 93600.

Autor para correspondencia: rodriguez.gustavo@inifap.gob.mx

RESUMEN

En México *Colletotrichum* spp. es uno de los principales problemas del fruto de papaya, se aprecia en postcosecha. En Yucatán el hallazgo de una nueva especie del hongo permitió apreciar el efecto de los fungicidas sobre el patógeno, a *C. gloeosporioides* lo afectaron los fungicidas azoxystrobin y trifloxystrobin mientras que a *C. capsici* no le causaron problemas, pero fue sensible a prochloraz, ferbam y clorotalonil, se registró una susceptibilidad diferente a fungicidas. En Veracruz en el cultivo de mango dos aislamientos se comportaron en forma opuesta hacia fungicidas benzimidazoles, mientras que el aislamiento Ver-1 presento resistencia el Ver-2 se comportó como tolerante. En base a lo anterior y debido a que el cultivo de papaya en Veracruz está más tecnificado, se presentan nuevos problemas fitosanitarios como la tolerancia de *Colletotrichum* spp. de la fruta a los fungicidas, se planteó la presente investigación con el siguiente objetivo: evaluar el efecto de seis agroquímicos sintéticos comerciales contra la antracnosis de frutos de papaya y el efecto del pH del agua. La Investigación se realizó en el Campo Experimental Cotaxtla, en Veracruz. Fruta en etapa fisiológica de madurez, se procesó en el laboratorio para propiciar presencia de síntomas del hongo. Se realizaron pruebas de patogenicidad para escoger los aislamientos más agresivos. Esos hongos se sometieron a pruebas in vitro de control con seis fungicidas de seis grupos químicos diferentes, en cuatro concentraciones a dos pHs. Los datos se analizaron por un diseño estadístico factorial, los resultados biológicos fueron más evidentes por la inhibición del micelio del hongo por los fungicidas. Los fungicidas sintéticos comerciales presentaron efecto diferencial contra las dos especies nuevas reportadas de *Colletotrichum*, con pH del agua 6 cuatro fungicidas controlan a seis aislamientos y con pH del agua 5 se registró que cinco aislamientos presentaron sensibilidad a cinco fungicidas.

Palabras clave: *Colletotrichum* spp., fungicidas, potencial de hidrogeno (pH).

INTRODUCCION

El cultivo de papaya es una actividad rentable. En México se siembran 19,374.78 ha de papaya. Veracruz cultiva 3,576 ha (18.45 %); es el principal estado productor y abastecedor de fruta de papaya durante todo el año al mercado nacional. En los municipios de Cotaxtla, Tierra Blanca y Tlalixcoyan se siembran 740, 600 y 519 ha respectivamente, estos municipios presentan marginación muy alta, alta y media superior a un 85 % de su población (SIAP, 2016). En Veracruz los problemas ambientales y la tecnificación del cultivo han propiciado microclimas adecuados para los problemas fitosanitarios que reducen la producción e ingresos de los productores, de los cuales, se destinan \$ 24,579.00 por hectárea al manejo de problemas fitosanitarios, como son la virosis, la antracnosis y los ácaros.

Los principales problemas fitosanitarios que afectan al papaya en México son la virosis, la antracnosis y los ácaros. El grupo de virus que dañan el cultivo de papaya es constituido por las virosis: virus mancha anular del papaya (PRSV), mosaico del papaya (PapMV), meleira del papaya (PMeV), la necrosis apical del papaya (rahbdovirus), así como el bunchy top o arrepollamiento (fitoplasma). Se identificó al ácaro más agresivo del papaya como: *Tetranychus urticae*, (Otero, comunicación personal). Desde el 2000 se registra la antracnosis en papaya (*Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz y Sacc. (Santos *et al.*, 2000). El hongo del género *Colletotrichum* y su teleomorfo *Glomerella* es uno de los principales fitopatógenos en el mundo, dañan cultivos de climas tropicales, subtropicales y templado, destaca por su daño a frutales; se conocen casos donde una sola especie de *Colletotrichum* afecta múltiples hospederos y también hay casos donde varias especies o biotipos de este género están asociados a un solo hospedero. Para el control efectivo es importante validar que una especie

específica es el agente causal de una enfermedad, diferentes especies de *Colletotrichum* difieren en su sensibilidad a ciertos fungicidas como el benomil lo cual es crítico para el control químico debido a que puede resultar en un cambio en la población del hongo, cita el caso del limón, donde *C. acutatum* causa la caída de la flor y *C. gloeosporioides* que es un patógeno predominante en el cultivo solo actúa como saprofito (Freeman *et al.*, 1998).

En México *Colletotrichum* spp. destaca como uno de los principales problemas del papayo, su daño se aprecia en la postcosecha (Vázquez *et al.*, 2010). En frutos de plantaciones de papaya del estado de Yucatán se registró a dos especies diferentes de patógenos causando antracnosis: *C. gloeosporioides* y *C. dematium*, actualmente reclasificado como *C. capsici*. En Yucatán mientras que a *C. gloeosporioides* lo afectan los fungicidas azoxystrobin y trifloxystrobin a *C. capsici* no le causan problemas, pero es sensible a prochloraz, ferbam y clorotalonil, este hallazgo demostró que las especies presentan una susceptibilidad diferente a fungicidas (Tapia-Tussell *et al.*, 2008; Santamaría *et al.*, 2011).

Santamaría *et al.* (2011) en su trabajo de investigación con antracnosis que daña a frutos de papaya maradol usa una escala para determinar el área afectada (manchas), donde el grado 5 corresponde a diámetro mayor a 1.5 cm hasta 2 cm, el grado 6 a manchas con diámetro mayor de 2 cm hasta 2.5 y el grado 7 a manchas mayores de 2.5 hasta 3 cm. Además, sugieren para controlar *C. gloeosporioides* los agroquímicos azoxystrobin y trifloxystrobin y para *C. dematium* los siguientes: clorotalonil, ferbam y prochloraz, este último producto le permitió controlar las dos especies de *Colletotrichum*. Torres-Calzada *et al.* (2015) en sus investigaciones registran que el 80% de los aislamientos de *C. truncatum* de papaya presentaron un comportamiento resistente a los fungicidas thiabendazole y azoxystrobin;

en contraste obtienen un 90 % de susceptibilidad de *C. truncatum* a mancozeb y a la mezcla fludioxonil más cyprodinil, También investigaron que la resistencia de los hongos a fungicidas basada en benzimidazoles, al analizar el gen *TUB-2*, se debió a la sustitución en la secuencia de la proteína del aminoácido E198A. Gutierrez-Alonzo *et al.* (2003) evaluaron aislamientos de *Colletotrichum gloeosporioides* obtenidos de frutos de mango cv Haden obtenidos de las regiones de cinco estados productores de México, sus resultados para Veracruz muestran que el aislamiento Ver-1 presento una concentración letal media mayor a 20 ppm de benomil y tiabendazol (benzimidazoles), lo cual lo presenta como resistente, pero el aislamiento Ver-2 no rebasó el umbral de 20 ppm, lo cual lo presenta como susceptible a ambos fungicidas, además sugieren que existan individuos resistentes en las poblaciones originales. Los fungicidas Qol son fungicidas como el azoxystrobin de sitio específico que inhiben la respiración mitocondrial, al respecto los investigadores mencionan que una mutación puntual en el codón 143 en el gen *cyt b*, dio lugar a una sustitución de glicina por alanina (G143A), modificación que le confirió resistencia a varios hongos y a *C. truncatum* a los fungicidas Qol, se ha registrado que varios patógenos transportan la mutación (Heaney *et al.*, 2000)

Dentro de los factores del agua que afectan a los agroquímicos se citan: 1) el pH, 2) la hidrólisis alcalina, 3) la vida media, 4) la turbidez y 5) la dureza. Los agroquímicos conservan su efectividad en un rango de pH de 4 a 6. Respecto al pH (1), al reducir el pH del agua de 8 a 6 son menos las moléculas de oxidrilo que pudieran golpear, secuestrar o inactivar la molécula del agroquímico, (García y Sánchez, 2005). La hidrólisis alcalina y ácida (2) ocurren cuando el agroquímico se mezcla con agua alcalina (pH mayor a 7) y la hidrólisis ácida cuando el agroquímico se mezcla con agua ácida (pH menor a 5), La vida media de un agroquímico (3), es el tiempo que transcurre para que se hidrolice el 50 % del ingrediente activo. La turbidez del agua (4) comprende la materia orgánica y partículas de arcilla disueltas en agua, La dureza del agua (5), es la capacidad residual del agua para aumentar el pH. Se registró a benomil para un pH 7 con una hora de estabilidad, pH 6 con 7 horas de estabilidad y pH 5 con 80 horas; Mancozeb presentó estudios de hidrólisis a 25° C, con una vida media (DT50) de 34 horas (pH 9), DT50 de 17 horas (pH 7), DT50 de 20 días (pH 5), Prochloraz no se degrada durante 30 días (pH 5 a 7, a 22° C); para los agroquímicos sistémicos ciprodinil más fludioxonil se cita que es hidrolíticamente estable con una DT50 durante un año (pH 4 a 9); del boscalid mas pyraclostrobin, se sugiere un pH de 4 a 6 (ASP, 2013; IRET, 2018).

Tomando en cuenta lo citado, la aparición de aislamientos que son resistentes a los fungicidas más comúnmente empleados, cada vez es más frecuente debido al uso intensivo de abundantes plaguicidas Gutierrez-Alonzo *et al.* (2003); Torres-Calzada *et al.* (2015). En base a lo anterior y debido a la dinámica del cultivo de papaya, que ahora alcanza un nivel más tecnificado se presentan más problemas fitosanitarios entre los que destaca la antracnosis de la fruta, se planteó la presente

investigación con el siguiente objetivo: evaluar el efecto de seis agroquímicos sintéticos comerciales contra la antracnosis de frutos de papaya y el efecto del pH del agua.

MATERIALES Y MÉTODOS

La Investigación se realizó en el Campo Experimental Cotaxtla, en Veracruz, ubicado en el Km 34.5 carretera federal Veracruz-Córdoba, Municipio de Medellín de Bravo. Las muestras se obtuvieron de los principales municipios productores: Cotaxtla, Tierra Blanca y Tlalixcoyan, Ver. Se realizaron siete colectas de frutos: agosto, septiembre y octubre. En cada recorrido se tomaron frutos de plantaciones de productores, en cada uno de los tres municipios: seis frutos por plantación.

En campo se escogió la fruta en etapa fisiológica de madurez, con una o dos vetas amarillas. El fruto colectado se envolvió en papel de estraza blanco, se evitó el contacto con el suelo, golpes y raspaduras. Se etiquetó y transportaron en reja plástica o en caja de cartón, las cuales se taparon en su traslado al laboratorio.

En el laboratorio del Campo Experimental Cotaxtla los frutos traídos de huertos se lavaron con jabón, en especial la base de la papaya (pedúnculo), posteriormente se sumergieron en hipoclorito (cinco minutos). Se secaron sobre una superficie desinfectada. Después, se colocaron verticalmente en una reja estéril durante 8-9 días, hasta observar la presencia de síntomas, durante ese tiempo se tomaron observaciones y fotos (Figura 1). Progresivamente surgieron manchas representativas de antracnosis, del patógeno que sobrevivía debajo de la cutícula del fruto, de las manchas se obtuvieron fragmentos, del límite de la lesión, que contienen tejido afectado y sano, éstos fragmentos se desinfectaron y posteriormente, se sembraron sobre medios Agua-Agar, se realizó una identificación del género con la técnica del cintazo o montaje temporal de éstas. Posteriormente, se sembró en medio de cultivo PDA (papa dextrosa agar) y se incubaron en una cámara de crecimiento labconco e incrementaron las colonias obtenidas para obtener cultivos monospóricos y así inocular frutos de papaya.

Pruebas de patogenicidad. Se obtuvo fruta de papaya sana con una veta de maduración (amarilla), de los genotipos Maradol y Maribel; se lavaron y se mantuvieron en hipoclorito por 5 min, se secaron con papel estéril. Los aislamientos en PDA, se inocularon sobre los frutos de papaya en una cámara de flujo laminar VECO/ESCO. Se seleccionaron los aislamientos para inoculación en papaya, en base a tamaño de la colonia del hongo medida en el diámetro. Siguiendo los postulados de Koch, se comparó por fotos contra los síntomas originales; para esto se mantuvieron en cámara húmeda hasta tres días posteriores a la aparición de estructuras fúngicas, después de la comparación se evaluó el grado de daño por evaluación visual sobre el fruto y el diámetro del crecimiento micelial para determinar la virulencia de la cepa (Figura 1), de acuerdo a la escala propuesta por Santamaría *et al.* (2011); todos los aislamientos cuyas manchas de grado 5 o mayores (cuadro 1) se consideraron como agresivos, de este modo se aislaron los más agresivos nuevamente en medio de cultivo PDA. Posteriormente los aislamientos más agresivos fueron enviados para su identificación por técnicas moleculares en el Laboratorio del Campo Experimental Ixtacuaco.

Cuadro 1. Escala propuesta por Santamaría *et al.*, 2011, para determinar área afectada con antracnosis de frutos de papaya.

Grado	Rango de tamaño de mancha inducida por la enfermedad	Diámetro promedio (mm)	Área promedio (mm ²)
1	Un punto hasta 0.25 cm de diámetro (=Θ)	0.125	0.049
2	Manchas de 0.25 cm hasta 0.5 cm Θ	0.375	0.441
3	Manchas de 0.5 cm hasta 1 cm Θ	0.75	1.767
4	Mayores de 1 cm hasta 1.5 cm Θ	1.25	4.908
5	Mayores de 1.5 cm hasta 2 cm Θ	1.75	9.621
6	Mayores de 2 cm hasta 2.5 cm Θ	2.25	15.904
7	Mayores de 2.5 cm hasta 3 cm Θ	2.75	23.758

Control *in vitro*. En el laboratorio del Campo Experimental Cotaxtla, se realizaron los estudios de control *in vitro* con la metodología de difusión en disco de agar establecida por Davis y Scout (1971). Basados en el resultado de las pruebas de patogenicidad, se eligieron los aislamientos más agresivos, de estos se hicieron soluciones de 1×10^6 conidias por ml. Se tomaron 2ml, de cada solución por aislamiento, y se depositaron en placas con medio de cultivo PDA, esta se distribuyó de manera uniforme con un triángulo de vidrio esterilizado. Después, sobre el mismo medio inoculado se

colocaron cuatro discos de papel esterilizados; en tres discos se colocaron los tratamientos con diferentes concentraciones fúngicas sintéticas de última generación (alto medio y bajo), y el cuarto fue el testigo, como un antibiograma.

Se evaluó la inhibición del crecimiento del micelio del patógeno en cada placa Petri, documentado en milímetros con una regla o vernier y fotografía. Cada agroproducto (las tres contracciones más un testigo) tuvo 4 repeticiones (Figura 1).



Figura 1. Frutos expresando síntomas y estructuras de *Colletotrichum* spp. (izquierda). Pruebas de patogenicidad (centro). Pruebas de control in vitro (derecha).

Se usaron seis agroquímicos sintéticos comerciales, de uso común entre los agricultores, de seis grupos químicos diferentes: 1) benomil (benzimidazol), dosis diez veces mayor a la usada por el productor, dosis igual a la que usa el productor y dosis diez veces menor a la usada por el productor: 50 g L^{-1} , 5 g L^{-1} , 0.5 g L^{-1} , 2) prochloraz (imidazol), 12.5 ml L^{-1} , 1.25 ml L^{-1} , 0.125 ml L^{-1} , 3) azoxystrobin (metoxiacrilato), 12.5 g L^{-1} , 1.25 g L^{-1} , 0.125 g L^{-1} , 4) ciprodinil más fludioxonil (anilopirimidinas más fenilpirrol), 12.5 g L^{-1} , 1.25 g L^{-1} , 0.125 g L^{-1} , 5) boscalid más pyraclostrobin (el segundo metoxycarbamato), 12.5 g L^{-1} , 1.25 g L^{-1} , 0.125 g L^{-1} , 6) mancozeb (ditiocarbamato), 50 g L^{-1} , 5 g L^{-1} , 0.5 g L^{-1} , el testigo fue de agua destilada estéril. Se ajustó el agua con dos pH: 6 y 5. Los agroquímicos se pesaron en una balanza analítica MettlerH31AR, el agua usada fue destilada y se ajustó con un potenciómetro Corning pHmeter 220.

La variable de estudio fue la severidad o agresividad del hongo, o sea el crecimiento del hongo o falta del mismo alrededor de los tratamientos (discos de papel con productos fúngicos). Los datos se organizaron para ser analizados por un análisis factorial, el factor ph con dos niveles: 6 y 5, el factor concentración con cuatro niveles y el factor fungicidas con seis niveles, citados en el párrafo anterior.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se colectaron los frutos de las áreas de estudio, se procesaron para extraer los aislamientos y éstos se sometieron a estudios de control químico con fungicidas, los resultados se capturaron en una bitácora (Figura 2). En la medida que la especie del aislamiento fue identificada se especificará. Como actividad complementaria se evaluó el pH del agua de los pozos que se usan para actividades agrícolas, con un pHmeter portátil Combo de Hanna, el pH fluctuó de 6.3 hasta 7.3 con un pH atípico 8.4; con estas aguas se preparan los fungicidas por los agricultores

Estudios de control in vitro. Se usaron seis agroquímicos sintéticos comerciales de última generación comerciales, diluidos en agua destilada, en tres concentraciones, con dos pHs y aplicados sobre diferentes aislamientos. El interés de esta evaluación se centró en el efecto del fungicida con la dosis del productor.

Los datos de inhibición de crecimiento de micelio, producido por los fungicidas, en diferentes concentraciones, a diferentes pHs, se analizaron mediante un factorial: fungicidas, pH y concentración ($6 \times 2 \times 4$). Los resultados presentan una diferencia altamente significativa para la triple interacción (fungicidas, pH y concentración), para las dobles interacciones (fungicidas, pH; fungicidas, concentración), para los efectos de fungicida y los de concentración, También presentaron una diferencia significativa para el efecto del pH.

El análisis estadístico indicó que las triples interacciones son las más adecuadas, y de acuerdo a los resultados biológicos se destaca que la mayoría de los aislamientos son inhibidos en su crecimiento

por los fungicidas, a dos pHs y cuatro concentraciones diferentes, pero nos interesó principalmente la concentración que usa el agricultor y se describen los resultados a continuación.

Figura 1. Bitácora con resultados de estudios de control con fungicidas y pHs del agua.

Cuadro 2. Análisis de varianza para el factorial, del efecto de seis fungicidas, con cuatro concentraciones, en dos pHs de agua.

Fuente de Variación	G L	Suma de Cuadrados	Cuadrados medios	Valor F	Pr>F
Fung	5	8.4384	1.6876	36.25	<.0001
pH	1	0.2318	0.2318	4.98	0.0259
Fung x pH	5	1.9128	0.3825	8.22	<.0001
Conc	3	7.1412	2.3804	51.13	<.0001
Fung x Conc	15	4.2331	0.2822	6.06	<.0001
pH x Conc	3	0.1676	0.0592	1.27	0.2828
FungxpHxConc	15	1.7224	0.1148	2.47	0.0015

Fung= Fungicidas, Conc= Concentración, GL= Grados de Libertad

Ais= aislamiento del hongo *Colletotrichum* spp., +=dosis diez veces mayor a la usada por el productor, == dosis igual a la que usa el productor, -= dosis diez veces menor a la usada por el productor. Procho= Prochloraz, Azoxys= Azoxystrobin, Ciprodinil = Ciprodinil más fludioxonil, Buscalid= Buscalid más pyraclostrobin.

Los controles a pH 6 del agua (cuadro 3), inhibieron con cuatro fungicidas a seis aislamientos, con diferente efecto: T2, T12, T13, T14, T22 y T23. Destacan de mayor a menor eficiencia: ciprodinil mas fludioxonil , redujo a seis aislamientos, excepto al T33 que correspondió a *C. truncatum*, sin embargo, T2 también es la misma especie y si la controló, incluso controló al aislamiento T14 que es *C. capsici*; benomil con la dosis del productor redujo a tres aislamientos, que incluyen a T2 o *C. truncatum* y T14 o *C. capsici*; prochloraz controló dos aislamientos con la dosis del productor, incluye a T14 o *C. capsici* y el aislamiento T13 (especie aún no identificada) que se comportó como muy agresivo sobre fruto, y boscalid más pyraclostrobin también inhibió dos aislamientos con la dosis del productor estos son dos aislamientos muy agresivos.

Con pH 6, de los cuatro aislamientos más agresivos de *colletotrichum* sobre frutos: T2, T13, T19 y T32, se evaluaron dos aislamientos y éstos fueron sensibles a fungicidas: el T2 (*C. truncatum*) y el T13, ambos fueron sensibles con pH 6 del agua a tres fungicidas (dosis del productor): benomil (1), ciprodinil mas fludioxonil (4), y boscalid más pyraclostrobin (5), además el T13 a un cuarto fungicida el prochloraz (2), mientras que al aislamiento T33 o *C. truncatum*, no presentó sensibilidad a ningún fungicida en este ph del agua.

Cuadro 3. Efecto de fungicidas sintéticos con agua a pH 6

Ais	Clave	Benomil			Prochlo			Azoxy			Ciprodinil			Boscalid			Mancozeb		
		-	=	+	-	=	+	-	=	+	-	=	+	-	=	+	-	=	+
T2	FPP07P04	*	*	*						*	*		*	*					
T12	FPP10P01									*	*	*							
T13	FPP11P06A01	*	*	*	*	*	*			*	*	*	*	*	*				
T14	FPP10P04		*	*	*	*	*			*	*	*							
T22	FPP09P01			*						*	*	*							
T23	FPP01P06			*						*	*	*							
T33	FPP13P02A01																		

Los controles a pH 5 del agua (cuadro 4), inhibieron con cinco fungicidas a cinco aislamientos, con diferente efecto: T13, T14, T22, T23 y T33. El mancozeb (6) controló a los cinco aislamientos, pero con la dosis del productor a cuatro, que incluyen a T14 o *C. capsici* y a T33 que correspondió a *C. truncatum*, al aislamiento T23 y al agresivo T13, ciprodinil mas fludioxonil (4) redujo tres aislamientos entre ellos al T33 o *C. truncatum*, al aislamiento T23 y al agresivo T13, prochloraz afectó a dos aislamientos: T13 y T23, benomil y boscalid más pyraclostrobin con la dosis del productor controlaron al mismo aislamiento: T23.

Con pH 5, de los cuatro aislamientos más agresivos de *colletotrichum* sobre frutos: T2, T13, T19 y T32, solo se evaluó un aislamiento: el T13, éste fue sensible a tres fungicidas fungicidas. prochloraz, ciprodinil mas fludioxonil y mancozeb.

Es probable que el aislamiento T33 identificado como *C. truncatum*, sea un biotipo o raza diferente de esta especie, debido a que su colonia no se redujo a pH 6 (cuadro 3), de acuerdo al uso que Freeman *et al.* (1998), dan a la respuesta del agroquímico para identificar a una especie del hongo; lo controlan a pH 5 (cuadro 4), pero el mismo ciprodinil no lo controla a pH 6. Sin embargo, a este pH 6, el ciprodinil presentó su mejor efecto sobre seis aislamientos de *colletotrichum*.

Cuadro 4. Efecto de fungicidas sintéticos con agua a pH 5

		Benomil			Prochlo			Azoxy			Ciprodinil			Boscalid			Mancozeb		
Ais	Clave	-	=	+	-	=	+	-	=	+	-	=	+	-	=	+	-	=	+

Ais= aislamiento del hongo *Colletotrichum* spp., +=dosis diez veces mayor a la usada por el productor, == dosis igual a la que usa el productor, -= dosis diez veces menor a la usada por el productor. Procho= Prochloraz, Azoxy= Azoxystrobin, Ciprodinil = Ciprodinil más fludioxonil, Buscalid= Buscalid más pyraclostrobin.

El aislamiento T14, identificado como *C. capsici*, presentó sensibilidad en agua con pH 6 (cuadro 3) a ciprodinil mas fludioxonil, prochloraz y benomil, mientras que a pH 5 (cuadro 4) solo a mancozeb, con la dosis que usa el productor, al respecto Santamaría *et al.* (2011) indican que en Yucatán sus aislamientos de *C. capsici* fueron sensibles a prochloraz, ferban y clorotalonil, en esta investigación un aislamiento de la misma especie también fue sensible al mismo agroquímico con agua a pH 6 (prochloraz), al igual que otros dos fungicidas (citados líneas arriba) e incluso con pH 5 fue sensible a mancozeb en la dosis que usa el productor.

Los aislamientos de *C. truncatum* (T2 y T33) en esta investigación presentaron sensibilidad a cuatro fungicidas con las dosis del productor. Con pH 6 (cuadro 3), el aislamiento T2 fue sensible a benomil, ciprodinil mas fludioxonil y boscalid mas pyraclostrobin y con pH del agua 5 (cuadro 4), presentó sensibilidad a dos fungicidas: ciprodinil mas fludioxonil y mancozeb, para esta especie de *colletotrichum* Torres-Calzada *et al.* (2015) presentan resultados similares a los nuestros in vitro con los fungicidas: ciprodinil mas fludioxonil y mancozeb, pero no indican con que pH del agua fueron

sensibles, respecto al benzimidazol ellos registran resistencia en papaya; mientras que en esta investigación el aislamiento T2 (agresivo) se comportó como sensible, pero el T33 se comportó como tolerante al mismo fungicida, al respecto Gutierrez-Alonzo *et al.* (2003) registran resultados similares a los obtenidos para *C. gloeosporioides* de mango obtenido de cinco estados, para el estado de Veracruz ellos evalúan aislamientos virulentos resistentes (Ver1) a benomil y tiabendazol y aislamientos sensibles (Ver2), se considera que el uso constante de agroquímicos produce este tipo de comportamiento de resistencia, no obstante lo citado, el benomil tiene casi ocho años que no lo usan en papaya los agricultores del centro de Veracruz, y en este estudio se determinó el control del benzimidazol sobre tres aislamientos agresivos a pH 6 y uno a pH 5, perdieron su tolerancia a este agroquímico.

Para el fungicida axzoystrobin, Torres–Calzada *et al.* (2015) presentan resultados similares a los nuestros, de tolerancia in vitro; registrada por todos los aislamientos evaluados de *Colletotrichum*, no causó daño sobre alguno ni a pH 6 o 5, al respecto la elevada tolerancia a axzoystrobin podría explicarse por su uso frecuente tanto en papaya como en bastantes cultivos de la zona, Heaney *et al.* (2000) explican que la tolerancia al plaguicida se debe a una mutación puntual en el codón 143, a la sustitución de glicina por alanina (G143A)

El ciprodinil mas fludioxonil fue el fungicida que más aislamientos dañó, con siete: T2, T12, T13, T14, T22, T23 y T33. La sorpresa se dio con el mancozeb, este agroquímico no se usa sobre frutos próximos a madurez porque acelera ésta; al usarlo sobre aislamientos del fruto afectó a cuatro aislamientos de este hongo con pH 5, es probable que su reducción del hongo se deba a su efecto multisitio sobre el hongo.

Respecto al efecto que tuvo el pH en los resultados de los fungicidas es probable que éstos sean afectados por hidrólisis alcalina a pH 7 y superiores ó a pH inferior a 5 por hidrólisis ácida, por lo tanto; a pH 6 o pH 5 las moléculas de oxidrilo reducen su daño a los agroquímicos lo que propicia la mayor disponibilidad del agroquímico (García y Sánchez, 2005; ASP, 2013; IRET, 2018). La dureza y turbidez no presentaron efecto en esta evaluación debido a que el agua que se usó fue destilada). No obstante que para benomil la estabilidad con respecto al pH del ingrediente activo es de 80 h (pH 5), en esta investigación su mejor efecto se dio a pH 6; para mancozeb su mejor efecto si correspondió con lo citado a pH 5 por ASP (2013). Para procloraz se expresó el efecto del agroquímico, contra cuatro aislamientos, tanto a pH 6 como 5, resultado que se relaciona con lo indicado, para su estabilidad de pH 5 a 7, además para ciprodinil mas fludioxonil y boscalid más pyraclostrobin su efecto se presentó en ambos pHs 5 y 6, estos se mantienen dentro del rango sugerido para que su efecto se presente (pH 4 a 9) durante un año por IRET (2018).

CONCLUSIONES

Los fungicidas sintéticos comerciales presentaron efecto diferencial contra las dos especies nuevas reportadas de *Colletotrichum*, el pH del agua es importante en el efecto del agroquímico, con pH del agua 6 cuatro fungicidas controlan a seis aislamientos y con pH del agua 5 se registró que cinco aislamientos presentaron sensibilidad a cinco fungicidas.

El fungicida que funcionó en ambos pHs contras aislamientos de *Colletotrichum* spp. fue el ciprodinil mas fludioxonil.

El fungicida que solo funcionó a pH 5 contras aislamientos de *Colletotrichum* spp. fue el mancozeb.

El fungicida que no funcionó contras aislamientos de *Colletotrichum* spp. fue el azoxystrobin.

LITERATURA CITADA

- Freeman, S.; Katan, T. and Shabi, E. 1998. Characterization of *Colletotrichum* species responsible for anthracnose diseases of varios fruits. *Plant Disease*. 82(6): 596-605
- García R., I. y Sánchez O., M. 2005. Influencia del pH del agua sobre la efectividad de varios herbicidas utilizados en caña de azúcar. *Fitosanidad*. Cuba. 9(3):37-40
- Gutierrez-Alonzo, J. G.; Gutierrez-Alonzo, O.; Nieto-Angel, D.; Téliz-Ortiz, D.; Zavaleta-Mejia, E.; Delgadillo-Sánchez, F. y Vaquera-Huerta. 2003. Resistencia a benomil y tiabendazol en aislamientos de *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. y Sacc. obtenidos de mango (*Mangifera indica* L.) en cinco regiones de México. *Rev. Mex. De Fitopatología*. 21(3):260-266

- Heaney, S. P.; Hall, A. A.; Davies, S. A. and Olaya, G. 2000. Resistance to fungicides in the Qol-STAR cross-resistance group: current perspectives. in: Proc. British Crop Protection Council. Conference: Pest Dis. BCPC, Farnham, Surrey, UK. Pages 2:755-762
- Santamaría, B., F.; Díaz, P., R.; Gutiérrez, A., O.; Santamaría, F., J. y Larqué, S., A. 2011. Control de dos especies de *Colletotrichum* causantes de antracnosis en frutos de papaya maradol. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 2(5): 631-643
- Santos, de la R. de los., F.; Becerra, L., E., N.; Mosqueda, V., R.; Vásquez, H. A. y Vargas, G. A. B. 2000. Manual de Producción de Papaya en el estado de Veracruz. Folleto Técnico Núm. 17. INIFAP-CIRGOC-Campo Cotaxtla. Veracruz, México. 87 p.
- Tapia-Tussell, R.; Quijano-Ramayo, A.; Cortez-Velázquez, A.; Lappe, P.; Larque-Saavedra, A. y Pérez- Brito., D. 2008. PCR based detection and characterization of the fungal pathogens *Colletotrichum gloeosporioides* and *Colletotrichum capsici* causing anthracnose in papaya (*Carica papaya* L.) in the Yucatan Peninsula. *Mol. Biotechnol* 40:293-298
- Torres-Calzada., C.; Tapia-Tussell., R.; Higuera-Ciapara.I.; Martin-Mex., R.; Nexticapan-Garcez., A. and Perez-Brito., D. 2015. Sensitivity of *Colletotrichum truncatum* to four fungicides and characterization of thiabendazole-resistant isolates. *Plant Dis.* 99:1590-1595
- Vázquez, G., E.; Mata, V., H.; Ariza, F., R. y Santamaria, B., F. 2010. Producción y manejo postcosecha de papaya maradol en la planicie huasteca. Libro técnico No. 4. 155 p.

REFERENCIAS INFORMATICAS

- ASP. 2013. El impacto del ph del agua sobre la efectividad de un agroquímico. ASP. Chile. <http://www.loveland.cl/wp-content/uploads/2015/02/boletin14.pdf> (consultado 12 de mayo de 2018).
- IRET. 2018. Manual de plaguicidas de Centroamérica. Instituto Regional de Estudios de Substancias Toxicas (IRET). Universidad Nacional de Costa Rica. www.plaguicidasdecentroamerica.una.ac.cr/index.php/base-de-datos-menu/466-procloraz (consultado 12 de mayo de 2018).
- SIAP, 2013. <http://www.siap.gob.mx/> (consultado el 18 de marzo de 2018).

HIBRIDO DE COCOTERO CHACTEMAL Y SU PROGENIE, EN BASE A LOS COMPONENTES DEL FRUTO
THE HYBRID OF COCONUT CHACTEMAL AND ITS PROGENIE, BASED ON THE COMPONENTS OF THE FRUIT

¹Dominguez CE, ²Pablo PM, ³Alejo JA, ⁴Cortazar R, ²Montes RG, ²Sosa PE

¹Instituto Nacional de Investigación Agrícolas y Pecuarias, Huimanguillo. Tabasco, 86400.

²Instituto Tecnológico de Huimanguillo. Tabasco. México, 86400.

³Centro de Investigación Regional Sureste (CIRSE) del INIFAP.

⁴Centro de Investigación Regional Pacifico Sur (CIRPAS) del INIFAP.

Autor para correspondencia: dominguez.esteban@inifap.gob.mx

RESUMEN

Se comparó el híbrido de cocotero Chactemal y su F2, en base a los componentes de fruto. Se utilizó una plantación establecida de dos hectáreas de cada uno de los materiales. Se utilizaron como testigos la variedad Acapulco (progenitor femenino del híbrido), la variedad Felicitos. (Progenitor masculino) y el cocotero alto del Golfo de México. Se seleccionaron al azar 20 plantas y se tomó un fruto seco de cada una de ellas, a las cuales se le cuantificaron tres caracteres de la plantas y 12 caracteres del fruto. Se empleó un diseño completamente al azar. Los análisis de varianza indican que existen diferencias significativas entre tratamientos para todos los caracteres ($P \leq 0.05$); sin embargo, para el híbrido y la F2, los valores numéricos son pequeños y al conjugar los componentes de fruto con componentes de la planta; específicamente para producción de cocos por palma por año y producción de copra por hectárea por año, la F2 se manifiesta superior en cuanto a producción de copra y cocos por hectárea por año. Lo que indica que tienen un comportamiento semejante en los componentes de rendimiento. Por lo anterior, es posible utilizar la F2 del híbrido de cocotero Chactemal, como material de siembra, siempre y cuando, se produzca “exprofeso” bajo condiciones controladas. Se plantea la posibilidad de llevar la F2 a una F3 para la liberación de una variedad de coco de polinización libre.

Palabras clave: *cocotero, híbrido Chactemal, F2 Chactemal*

INTRODUCCION

El cocotero (*Cocos nucifera* L), han sido utilizado desde hace miles de años, en la alimentación humana y animal por ser una de las fuentes más ricas en contenido de grasa vegetal (Cortázar, 2000). El cocotero es un cultivo representativo de las zonas costeras Tropicales que puede ser encontrada a lo largo de la costa y en el interior de casi todos los países tropicales hasta los 600 metros de altitud a los 0° de latitud. Su amplia distribución ha sido favorecida por su utilidad, así como su adaptabilidad a diferentes condiciones ecológicas (Carrillo y Cortázar, 2008, Cortázar, 2011). México es considerado un sitio de alta diversidad de este género. Se introdujo de África al Caribe y Golfo de México; y de Filipinas a las costas del Pacífico mexicano (Domínguez et al ,1999; Cortázar, 2011), de aquí, se distribuyó en todo el país (Balderas y Gonzales, 2013), principalmente en las zonas costeras (Carrillo y Cortázar, 2000). En México, la producción cada vez es menor (SIAP, 2015), debido principalmente a la vejez de las plantaciones y al amarillamiento letal del cocotero (Córdova, 2000), que ha eliminado miles de palmas en los estados productores de nuestro país (Cortázar, 2011). Las semillas mejoradas de cocotero, representan una alternativa sustentable (Luna-Mena et al., 2016; Balderas y Gonzales, 2010), para utilizarlas en el cultivo de cocotero; por ello el INIFAP, ha generado materiales, precoces, productivos y resistentes al amarillamiento letal. Estos materiales son los híbridos, formados por la cruce del cocotero variedad Felicito con cocotereros variedad Acapulco (Cortázar, 2011; Domínguez, 2014). Actualmente el coco híbrido se considera la llave para reactivar la industria del cocotero en México y elevar el nivel de vida de los productores de coco. Sin embargo, la producción del cocotero híbrido, no es tarea fácil, se requiere establecer un campo productor de semilla, se tiene que esperar por lo menos cuatro años para producir las primeras plantas, se requiere inversiones elevadas para las actividades de emasculación y polinización, lo que hace una producción insuficiente (Balderas, 2010), por lo que se está complementando el mercado con materiales como los cocotereros alto de Colima y el cocotero enano verde de Brasil, el primero con escasa producción de copra por ha por

año, y el segundo no ha sido probado en las condiciones de las zonas copreras de México (Cortázar, 2011). Por ello, el objetivo del presente trabajo fue comparar el híbrido Chactemal, que es la cruce del cocotero enano malayo amarillo, registrado como variedad Acapulco, con el cocotero alto de Lázaro Cárdenas Michoacán, registrado como variedad Felicitos con la progenie del híbrido, conocida como F2, en base a los componentes de fruto; con la finalidad de utilizar la F2 del híbrido Chactemal como material para siembra. Además, establecer plantaciones con la F3 para declararla como variedad de polinización libre.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en la Ranchería Zaragoza Primera Sección de Comalcalco, Tabasco, en el área de influencia del Campo Experimental Huimanguillo del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Se utilizaron dos parcelas establecidas de dos hectáreas, una con el híbrido Chactemal, y otra con la progenie de este material (F2); además se integraron, como testigos, el cocotero enano malayo amarillo, registrado como variedad Acapulco, el cocotero alto de Lázaro Cárdenas Michoacán, registrado como Variedad Felicitos y el cocotero alto del Golfo de México. Cada material se consideró como un tratamiento, en cada uno se seleccionaron 20 plantas al azar, que se consideraron como repeticiones. De cada planta de cada tratamiento, se obtuvo al azar un coco a madurez completa (coco seco), al cual se le cuantificaron los componentes de fruto.

El experimento quedó de la siguiente manera: Tratamientos= 5; Repeticiones= 20.

T1= Cocotero alto del Pacífico ecotipo Lázaro Cárdenas Michoacán "Variedad Felicitos"

T2=Cruza de cocotero variedad Acapulco con variedad Felicitos "híbrido Chactemal"

T3= Progenie del híbrido Chactemal "F2" del híbrido Chactemal

T4=Cocotero alto del Golfo de México

T5=Cocotero enano malayo amarillo "variedad Acapulco"

Los caracteres estudiados se clasificaron en cinco grupos:

- a) Componentes externos del fruto: Peso de fruto (PF), perímetro vertical de los frutos (pVF), perímetro horizontal de los frutos (pHF) y peso de borra (PB).
- b) Componentes externos de la nuez: Peso de la nuez (PN), perímetro vertical de la nuez (pVN), perímetro horizontal de la nuez (pHN).
- c) Componentes internos de la nuez: Peso de hueso (PH) grosor del hueso (GH), peso de endospermo líquido (PEL), peso de endospermo sólido (PES), grosor de endospermo sólido (GES).
- d) Componentes de la planta: Número de racimos por palma por año (NRPA), número de cocos por racimo (NCR), producción de cocos por palma por año (PCPA).
- e) Componentes estimados: Producción de copra por hectáreas por año (PCHA), producción de cocos por hectárea por año (PCHA).

Los datos fueron sometidos a análisis de varianza bajo un diseño completamente al azar con 20 repeticiones, con el programa SAS® (SAS Institute, 2010). La comparación de medias entre tratamientos se hizo por Tukey ($P \leq 0.05$)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Para el híbrido Chactemal y su F2, en el componente, peso de fruto, el híbrido es superior en 258 gramos, sin embargo, es debido a un mayor contenido de borra en razón de 72 gramos con respecto a su F2, lo cual favorece a este último (Cuadro 1). Se pone de manifiesto de que ambos frutos son del mismo tamaño, ya que el perímetro vertical es semejante, con tendencia a que el híbrido es más ancho de su parte central, pero ambos tienen la tendencia a ser redondos.

Cuadro 1. Componentes externos del fruto de cinco genotipos de cocotero.

GENOTIPO DE COCOTERO	CARACTERES			
	PF	pVF	pHF	PB
Variedad Felicito	1727 a	68.86 a	66.27 a	551.3 a
Hibrido Chactemal	1216 b	58.98 c	53.74 b	325.0 c
F2 del hibrido Chactemal	958 c	58.24 c	51.74 c	253.4 d
Alto del Golfo de Mexico	1006 c	60.66 b	47.27 d	403.3 b
Variedad Acapulco	583 d	45.18 d	40.64 e	176.0 es

PF= Peso de fruto(gramos); pVF= Perímetro vertical del fruto(centímetros); pHF= Perímetro horizontal del fruto(centímetros); PB= Peso de borra(gramos).

En cuanto a los componentes externos de la nuez, existen diferencias significativas entre los diferentes tratamientos (Cuadro 2). Con respecto al hibrido Chactemal y su F2, existen diferencias para los tres componentes, siendo la nuez del hibrido chactemal 186 gramos más pesada que los de la F2, lo que la deja en desventaja. En cuanto a la nuez, no hay diferencias significativas en cuanto a tamaño y forma, por lo que en apariencia son iguales.

Cuadro 2. Componentes externos de la nuez de cinco genotipos de cocotero.

GENOTIPO DE COCOTERO	CARACTER		
	PN	pVN	pHN
Variedad Felicitos	1213.5 a	42.2 a	43.4 a
Hibrido Chactemal	887.1 b	38.8 b	38.1 b
F2 del hibrido Chactemal	701.7 c	38.0 b	37.7 b
Alto del Golfo de México	558.3 d	35.0 c	32.4 c
Variedad Acapulco	404.7 e	30.5 d	31.5 c

PN=Peso de la nuez(gramos); pVN=Perímetro vertical de la nuez(centímetros); pHN=Perímetro horizontal de la nue.(centímetros).

Con respecto a las características internas del fruto, el hibrido Chactemal tiene un mayor peso de hueso (PH) que su F2, lo cual puede ser desventaja con fines de producción de copra, ya que este carácter, reduce la cantidad de copra, en cuanto al peso endospermo líquido (PEL), el hibrido es superior en 48 gramos con respecto a la F2, lo que representa cierta ventaja con fines de producción de agua. En la producción de endospermo sólido (PES), no hay diferencias significativas, lo que los pone en iguales condiciones para la producción de copra por nuez. El grosor del endospermo solido (GES) es semejante para los dos materiales (Cuadro 3).

Cuadro 3. Componentes internos de la nuez de cinco genotipos de cocotero.

GENOTIPO DE COCOTERO	PH	CARACTER			
		GH	PEL	PES	GES
Variedad Felicitos	230.7 a	0.39 ba	419.2 a	468.5 a	1.12 b
Hibrido Chactemal	187.1 b	0.37 bc	239.2 b	374.1 b	1.2 a
F2 del hibrido Chactemal	158.9 c	0.33 dc	191.3 c	360.6 b	1.2 a
Alto del Golfo de México	172.7 cb	0.43 a	110.8 d	274.7 c	1.2 a

Variedad Acapulco 91.3 d 0.31 d 73.9 e 222.1 d 1.1 ba

PH=Peso de hueso (gramos); GH=Grosor del hueso (centímetros); PEL=Peso del endospermo liquido (gramos); PES=Peso del endospermo solido (gramos); GES=Grosor del endospermo salido (centímetros).

En los componentes de la palma, el híbrido Chactemal y su F2, en cuanto a número de racimos por palma por año (NRPA), la F2 es superior al Híbrido Chactemal, en casi un racimo por palma por año y aunque en la producción de cocos por racimo (NCR), no hay diferencias significativas ni en la producción de cocos por palma por año (PCPA), la F2 produce al menos siete cocos más por palma por año, aproximadamente 2,168 cocos, que el híbrido Chactemal (Cuadro 4).

Cuadro 4. Componentes de la palma de cinco genotipos de cocotero.

GENOTIPO DE COCOTERO	CARACTER NRPA	NCR	PCPA
Variedad Felicitos	11.95 c	6.65 d	79.5 c
Híbrido Chactemal	12.65 b	12.75 b	161.4 b
F2 del híbrido Chactemal	13.55 a	12.45 8 b	168.75 b
Variedad Acapulco	12.81 b	19.1 8 a	244.7 a
Alto del Golfo de México	11.45 d	7.6 c	86.95 c

NRA =Número de racimos por año. NCR=Número de cocos por racimo PCPA= Producción de cocos por palma por año

Al estimar la producción de copra por palma por año (PcPA), el híbrido Chactemal, produce casi la misma cantidad de copra, incluso, la F2, es un poco superior, lo que hace que al estimar la producción de copra por hectárea por año (PcPHA), la F2 sea un poco mayor. La misma situación se presenta cuando se estima la producción de cocos por hectárea por año (Cuadro 5).

Cuadro 5. Componentes de la planta y estimación de la producción

GENOTIPO	CARACTER			
	*PcN	PcPA	PcHA	PCHA
Variedad Acapulco	0.111	27.161	4345.872	39152
Híbrido Chactemal	0.187	30.181	4829.088	25824
F2 del H. Chactemal	0.181	30.543	4887.032	27000
Variedad Felicitos	0.234	18.603	2976.480	12720
Cocotero alto del Golfo	0.137	11.912	1905.944	13912

PcN= Peso de copra por nuez (gramos), PcPA= Peso de copra por palma por año (kilogramos), PcHA=Peso de copra por hectárea por año (kilogramos), PCHA= Producción de cocos por hectárea por año.

*Estimada en base al 50% del endospermo sólido.

En base a estos resultados, la F2 del cocotero híbrido Chactemal, produce más copra por palma por año, dada por la mayor producción de cocos por palma por año.

Como siguiente paso, se llevara a una F3 la progenie del híbrido Chactemal, para la liberación de una variedad de coco de polinización libre, de acuerdo a su comportamiento.

CONCLUSIONES

El híbrido Chactemal, cruza de la variedad Felicitos con variedad Acapulco y la F2 de este híbrido, en base a los componentes de la planta y del fruto, son semejantes en cuanto a la producción de racimos por palma por año, producción de cocos por hectárea por año y producción de copra por hectárea por año. Lo anterior sugiere que es posible utilizar la F2 como material de siembra, siempre y cuando esta se produzca “exprofeso” bajo las condiciones adecuadas para este fin, y que es posible generar una variedad de cocotero de polinización libre llevando mínimo a una F3 del híbrido Chactemal.

LITERATURA CITADA

- Balderas P., F. G. 2010. Paquete tecnológico para el cultivo de cocotero (*Cocos nucifera* L.) en el Estado de Nayarit. INIFAP. Centro de Investigación Pacífico Centro. Campo Experimental Santiago Ixcuintla, Nay. México. Folleto Técnico No. 16. pp. 9-10.
- Carrillo R., H., M. Cortazar, R. y J. Piña R. 2000. Manual para el establecimiento de plantaciones comerciales con híbridos de cocotero. INIFAP. Centro de Investigación Regional Sureste. Campo Experimental Chetumal, Q. Roo. México. Folleto Técnico No. 1. 226 p.
- Cortázar R., M. 2011. Paquete tecnológico palma de coco Alto Pacífico. Establecimiento y mantenimiento. Centro de Investigación Regional Sureste, CIR-Sureste-INIFAP. Campo Experimental
- Cortázar R., M. y H. J. Carrillo R. 2006. Manual para la producción de híbridos de cocotero por polinización libre controlada. INIFAP. Centro de Investigación Regional Sureste, CIR-Sureste-INIFAP. Campo Experimental Chetumal, Quintana Roo. México. 29 p.
- Domínguez C., E., J. López A., R. Castillo G. y P. Ruíz, B. 1999. El Cocotero (*Cocos nucifera* L.). Manual para la Producción en México. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Huimanguillo. Tabasco, México. Libro Técnico Num. 6. 132 p.
- Domínguez C.E., Domínguez O.S.E., Domínguez O.R.F. y Ramos R.J.D.A. 2016. Rentabilidad de la producción de plantas híbridas de cocotero en Tabasco. Memorias de la XXVIII Reunión Científica Tecnológica, Forestal y Agropecuarias Tabasco. V Simposio Internacional en Producción Agroalimentaria Tropical. Villahermosa, Tabasco. México. P. 277-281.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Estado de México, México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Pub. Esp. Núm. 15 30 de junio - 13 de agosto, 2016 p. 2995-3007.
- Luna-Mena, Bethel Marina; Altamirano-Cárdenas, J. Reyes; Santoyo-Cortés, Vinicio Horacio; Rendón-Medel, Roberto Factores e innovaciones para la adopción de semillas mejoradas de maíz en Oaxaca. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, núm. 15, junio- agosto, 2016, pp. 2995-3007.
- SAS Institute (2010) User's Guide: Statistics, version 9.3. SAS Inst. Inc., Cary, North Caroline, USA.
- SIAP. 2015. Anuario estadístico de la producción agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) de la SAGARPA. Consultado en línea el 5 de septiembre 2015; <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/>

**CARACTERIZACION MORFOLOGICA EN PLANTACIONES DE *Jatropha curcas* L. EN
TABASCO, MEXICO**
MORPHOLOGICAL CHARACTERIZATION IN PLANTATIONS OF *Jatropha curcas* L. IN TABASCO
STATE

¹ Rivera Hernández A, ² Martínez-Herrera J, ² López-López R, ¹ Vázquez Hernández L, ³ Argüello
García E

¹ Instituto Tecnológico de Huimanguillo, Carretera del Golfo Malpaso-El Bellote, Km. 98.1,
Huimanguillo, Tabasco.

² Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-Campo Experimental
Huimanguillo. Km 1 carretera Huimanguillo-Cárdenas, Huimanguillo, Tabasco, México. C.P. 86400.

³ Universidad Popular de la Chontalpa. Carretera Cárdenas-Huimanguillo Km. 2, Ranchería Paso y
Playa, Cárdenas, Tab. C.P. 86500

Autor para correspondencia: martinez.jorge@inifap.gob.mx

RESUMEN

El piñón mexicano es una planta con amplio potencial en el mercado como sustituto bioenergético. El objetivo del trabajo fue caracterizar las variables morfométricas de *J. curcas* en relación con la fertilidad del suelo y condiciones de precipitación. El estudio se realizó en el C.E. Huimanguillo del INIFAP. Dentro de las variables evaluadas, fue la determinación de perímetro foliar, La fertilidad en el suelo fue nula, el N total fue muy bajo, al igual que el contenido de materia orgánica, los Macro y micro elementos son moderados, por lo que se realizaron aplicaciones de fertilizaciones de Triple 17, con dosificación de 100 g por planta, también se aplicó el foliar EnergyPlant® durante la floración y llenado de frutos. La relación promedio Ápice/Peciolo fue de 18.52±1.37 cm y Margen/Margen de 19.13±1.41 cm, con una mínima de Ápice/Peciolo de 20.5 cm y Margen/Margen 15.5 cm, Media de Ápice/Peciolo 27.78 cm y Margen/Margen 28.7 cm. La altura de las plantas fue tomada después de realizar la poda de formación, el corte fue desde la base del suelo hasta los 1.20 m de la planta. De la materia vegetal obtenida (varetas) se determinó el contenido de materia seca (MS), el cual fue de MS de 51.53±11.01y la humedad de 48.47±11.01% y un promedio de, la semilla alcanzó un peso de 0.70-0.90 g, un total de 1,514 semillas secas por kg, con 18.47±0.65 mm de largo y 10.28± 1.57 mm de ancho; se obtuvo un promedio de cosecha de semilla total por planta de 326 g equivalente a 363 kg ha-1 con 1,111 plantas para el primer año de establecimiento de la plantación.

Palabras claves: *Jatropha*, bioenergético, propagación, variables morfológicas, fertilización

INTRODUCCIÓN

El cultivo de *Jatropha curcas* L. ha llamado nuevamente la atención de diversos países en el mundo, por su alto rendimiento de aceite en sus semillas, se estima en países en desarrollo como un recurso bioenergético sustentable y eficaz a nivel nacional e internacional, por tal motivo, en distintas partes del mundo se realizan actividades encaminadas al aprovechamiento del recurso con fines industriales. Las características y condiciones edafoclimáticas de esta plantación favorecen los rendimientos de las plantas, considerando que cada zona obtendrá resultados diferentes o se igualaran dependiendo de las condiciones climatológicas (González et al., 2014)

El cultivo de *J. curcas* no ha sido muy reconocido en el estado de Tabasco por el manejo e implementación requerida, considerada al igual por la poca disponibilidad de información que permita tener mayor confiabilidad en el rendimiento productivo y los beneficios que esta ofrece. Cabe señalar que es muy importante tomar en cuenta todos los factores que influyen y limiten el rendimiento productivo del piñón, partiendo de los elementos básicos, que van desde la selección de la semilla hasta el manejo requerido durante y después de la cosecha, no haciendo a un lado el comportamiento de la misma durante su periodo de trasplante; muchos de los elementos a considerar para implementación y manejo agronómico de cultivo, como es el caso del piñón, la relación e intercambio de conocimientos y experiencias, valida el resultado y garantiza la adopción de un nuevo paradigma competitivo en nuestra región (Argüello y Martínez, 2016).

Estudios realizados en el estado de Tabasco han considerado algunas características de las zonas edafoclimáticas aptas y pertinentes para el establecimiento del cultivo *J. curcas*, y de acuerdo con el potencial productivo, Tabasco cuenta con una superficie de 2,229,631 ha para cultivar *J. curcas*, lo

cual equivale a un 90.75 % de la superficie total del estado (González et al., 2014). El objetivo del trabajo fue caracterizar las variables morfométricas de *J. curcas* en relación con la fertilidad del suelo y condiciones de precipitación.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se desarrolló en una parcela con área de 30 x 6 m en el INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias) en el municipio de Huimanguillo, Tabasco, ubicado geográficamente en torno a los 17°50'52.5" de L.N. y 93°23'47.4".

El experimento fue establecido en el periodo comprendido de agosto 2016 a marzo de 2017, antes de realizar el trasplante de piñón, se realizó un análisis previo de los elementos nutrimentales disponibles.

Análisis químico de suelo

Los análisis de las variables físicas y químicas del suelo se realizaron de acuerdo a los métodos de referencias establecidos en la NOM-021-SEMARNAT-2000 (DOF, 2002), para la textura, potencial hidrógeno, conductividad eléctrica, materia orgánica, nitrógeno total, boro, CIC, macros y micros nutrientes. así como se realizaron medidas morfométricas de altura en relación a fertilizaciones y precipitaciones presentadas durante su periodo de fructificación. En el C.E. Huimanguillo (CEHUI) la densidad de plantación fue de 1.70 m entre hileras x 2 m entre plantas, con una población de 30 plantas. Las 30 plantas se ubicaron en tres líneas (L1, L2, L3) con 10 plantas cada una, identificándose con una etiqueta. La fertilización consistió en la aplicación de 100 g del fertilizante Triple 17 17 17 por planta, después del primer mes de trasplante, la segunda aplicación de fertilizante se llevó a cabo dos meses después al inicio de la floración, se realizó tres aplicaciones de fertilizante foliar durante los tres meses de floración y fructificación, el foliar empleado fue EnergyPlant®, con una dosis de 20 ml por L de agua.

Las estimaciones de estos parámetros son utilizadas con el propósito de identificar el manejo realizado durante su establecimiento, así como las respuestas satisfactorias del cultivo, de acuerdo con sus necesidades y características de la zona. El control de malezas se realizó de forma manual y los datos de precipitación se tomaron del sistema Ranch System® (<http://www.ranchsystems.com/home/web>).

Determinación del perímetro foliar

Se midieron la longitud máxima de la hoja, ancho de la hoja que pasa en el pedúnculo. Las mediciones se realizaron después de la poda realizada en marzo, iniciando la emergencia de nuevas ramas laterales el 20 de abril (un mes después), de la misma forma se realizó la determinación de materia seca (MS) en las varetas obtenidas de la poda y la toma de altura de la planta

Determinación de materia seca (MS)

Los cortes de varetas se realizaron a una distancia de 1.2 m de la base del suelo hasta la parte deseada de la planta, después de tener las varetas se cortaron en trozos pequeños con una medida longitudinal de 4-5 cm cada uno para hacer toma de datos precisos del peso inicial, se pusieron sobre hojas de papel para someterlas a secado previo en horno de laboratorio a una temperatura máxima de 70 °C durante 3 días (72 horas).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características morfométricas de hojas, ramas (varetas) y semillas de piñón

El tamaño de las hojas del piñón caracterizado en otros estados del país, como el caso del Norte-Centro de la República Mexicana tienen diferencias significativas en comparación al tamaño de las presentadas en el estado de Tabasco, comúnmente las medidas del peciolo están entre 10 a 15 cm y un ancho que oscila entre los 9 y 15 cm, sin embargo, en Tabasco, la media alcanzada fue de 18.52 cm en peciolo y 19.3 cm ancho de la hoja (Cuadro 1). De acuerdo con estudios realizados por Miller et al; (1962) las hojas alcanzan medidas de hasta 15-20 cm de largo y 14-18 de ancho, mientras que Zamarripa et al; (2011) reportan en Chiapas, que las hojas alcanzan una longitud de 6 a 15 cm (

Cuadro 1. Medición del perímetro foliar

Planta	Ápice/Peciolo (cm)			Margen/Margen (cm)		
Fila	1	2	3	1	2	3
1,1	20.5	20	19.5	22.5	20.5	20
1,4	18.5	18	19	20	20	19
1,6	18	18.5	17	17.5	18.5	18.5
1,8	20	19.5	18	19.5	20	17
2,1	19.5	18.5	18.5	18.5	18	19
2,2	17	16.5	15	16.5	16.5	17
2,4	16.5	19	16.5	18.5	20	15.5
2,5	19	19	16.5	20.5	19	17.5
2,8	18	21	19	20.5	20	20.5
2,9	19	19	20.5	19	20.5	21
3,1	19	19	18.5	19.5	20	19
3,2	20	19.5	15	20	20.5	17.5
3,3	18	17	20	19	18	20
3,6	20	19	19.5	20	21	19.5
3,7	19	17.5	18	19	18	19

	<i>Ápice/Peciolo</i>	<i>Margen/Margen</i>
*Media	18.52	19.13
*Varianza:	1.89	1.98
*Desviación estándar:	1.37	1.41

El área foliar ayuda a estimar las respuestas fisiológicas de las plantas a las condiciones de manejo y de clima e indica la capacidad de intercepción de luz y fotosintética (Awal et al., 2004).

El índice de área foliar (IAF) es una variable útil para caracterizar la dinámica y productividad de los cultivos, tiene una relación directa entre el área foliar y la capacidad de la planta para realizar la fotosíntesis. Se define como el área de las hojas por unidad de área de superficie del suelo y es uno de los parámetros útiles para caracterizar la vegetación, evaluar la densidad, biomasa de la cubierta vegetal y las necesidades de riego en cultivos.

Materia seca (MS) en varetas de piñón.

Se aprecia en la Figura 1, que durante el primer secado las varetas alcanzaron un promedio de humedad de 48.47 ± 11.01 y un contenido promedio de MS de 51.53 ± 11.01 .

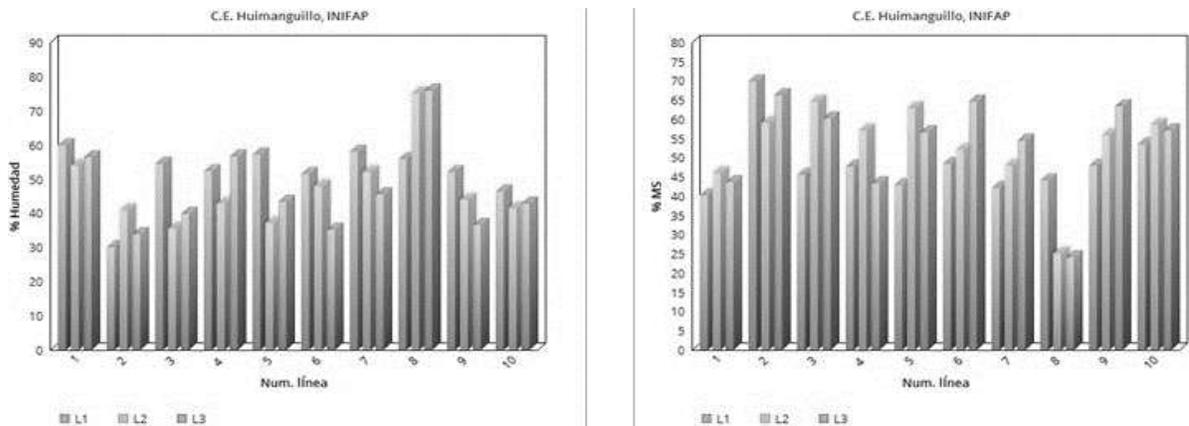


Figura 1. Porcentaje total de humedad y materia seca (MS) en varetas de piñón

Fertilidad del suelo respecto a la altura de plantas de *J. curcas*

Fue poca la diferencia presentada en ambos lotes parcelarios, tienen algunas similitudes químicas, de las tomas de medidas para la determinación de alturas respecto de la influencia de la fertilización en alturas por planta se observó que aumentaron su nivel de altura en un 50 %, a diferencia de la primera toma realizada.

Como podemos apreciar en la Figura 2, las alturas tomadas en 30 plantas después de realizar la primera poda de formación y producción, tuvieron un crecimiento aproximado de 50% a la primera toma realizada, es decir, incrementaron el doble su tamaño, esto quizás derivado a la aplicación de fertilizante (Triple 17 N P K).

En la segunda fase solo hubo un mínimo crecimiento de hasta 1.95 m de altura en plantas de menor tamaño, lo cual consistió en un máximo crecimiento semanal de 0.64 cm y un mínimo de 0.35 cm, alcanzando un promedio de 0.21 cm por planta.

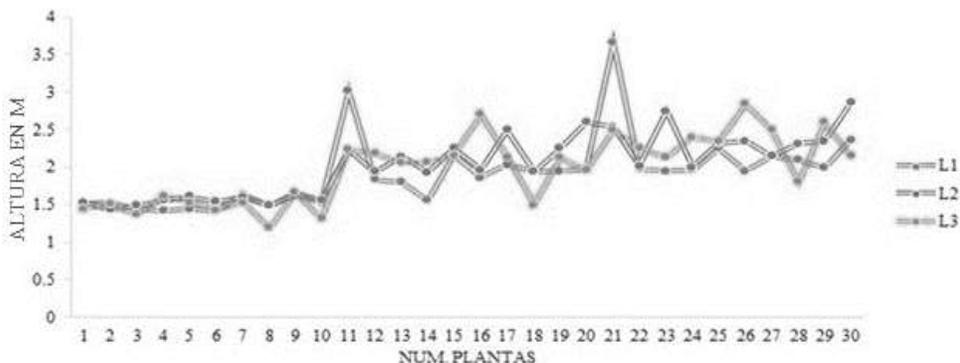


Figura 2. Altura de las plantas de piñón después de la poda de formación (L1 = Línea 1, L2 = Línea 2 y L3 = Línea 3)

Análisis de suelo

El análisis de suelo (Cuadro 2), mostró un pH indicado antes de la plantación entre los rangos de 7.1 a 7.44, después de la plantación se observa un incremento de la acides del suelo con un rango entre 5.9 a 6.2, , probablemente debido a la aplicación al suelo de triple 17. Algunas de las muestras presentaban un contenido de salinidad moderado, lo cual no representa un problema para el buen desarrollo del cultivo. El contenido de N, P y MO se encuentra en un nivel muy bajo, por lo cual se realizaron aplicaciones de fertilizantes foliares, tal caso de EnergyPlant®, 20 ml por L de agua, al igual que Triple 17, 100 g por planta, con la finalidad de disponer de estos elementos, sin embargo, después de la plantación se observa un incremento en la disponibilidad de N y P. Así como un incremento ligero de la MO (de 0 a 1.5 %) por los residuos vegetales que aporta al suelo. Es

importante que la plantación de piñón tenga los suficientes nutrientes para un óptimo desarrollo, dadas las características del suelo.

**Cuadro 2. Análisis de suelo en parcela experimental (profundidad de 15 a 30 cm)
Antes de plantación (marzo 2016) Después de plantación (noviembre 2016)**

Muestra	Antes de plantación (marzo 2016)		Después de plantación (noviembre 2016)	
	I	II	I	II
pH	7.44	7.1	5.9	6.2
CE ds m ⁻¹	0.149	0.07	0.044	0.051
K	0.38	0.25	0.31	0.31
Mg	1.93	2.52	3.23	4.58
Ca	27.97	11.49	12.58	13.03
Na	1.23	1.2	3.23	4.58
CIC	0	0	24.3	22.4
S	122.68	90.177	9.4	41.2
P	2.8	6.3	42.7	24.4
Fe	17.75	16.16	30.41	22.73
Zn	1.28	0.81	1.12	0.89
Mn	10.18	9.62	10.77	11.79
N Total	0.01	0.01	0.13	0.2
MO	0	0	1.5	1.5
Arena	56.56	68.2	66.71	73.12
Limo	29.8	20.4	18.79	14.38
Arcilla	13.64	11.44	14.50	12.5
Textura	Franco Arenoso	Franco- Arenoso	Franco Arenoso	Franco Arenoso

Macroelementos.

En general el abastecimiento de estos nutrimentos no es un factor que limite el rendimiento, ya que existe una buena disposición por parte del suelo. El contenido de materia orgánica, es bajo y bajo contenido de nitrógeno asimilable para la planta; por otro lado, la disponibilidad de, potasio, calcio y magnesio es suficiente antes de la plantación. No obstante, si el cultivo es utilizado con fines comerciales se necesita realizar aplicaciones frecuentes para maximizar el rendimiento productivo del cultivo. En los Estados como Veracruz y Chiapas realizan aplicaciones de fertilizantes orgánicos como el estiércol de bovino y micorrizas (Hernández et al 2011; Solís al 2011), pero en su mayoría utilizan el Triple 17 y urea, tal caso es el estado de Hidalgo (Gómez al 2013) y los mencionados anteriormente

Microelementos.

Por parte del suelo existe una oferta de Fe y Mn moderada de Cu y B. Por lo que, si existe alguna deficiencia de estos en las plantas, es conveniente realizar aplicaciones foliares que contengan los elementos faltantes. En este caso, la aplicación de EnergyPlant® cuando la planta de piñón se encuentra en floración y fructificación es importante, al menos una vez por semana para ayudar al amarre de frutos.

Rendimiento de cosecha de piñón en relación a los efectos de precipitación y fertilización

El número de cosecha obtenida durante el ciclo 2016 fue representativa en los meses agosto y septiembre (Figura 3 y 4). Los efectos de estas precipitaciones permitieron apreciar el aumento del volumen en frutos y semillas de cada cosecha, fue una de las características muy singulares durante el término de etapa fenológica.

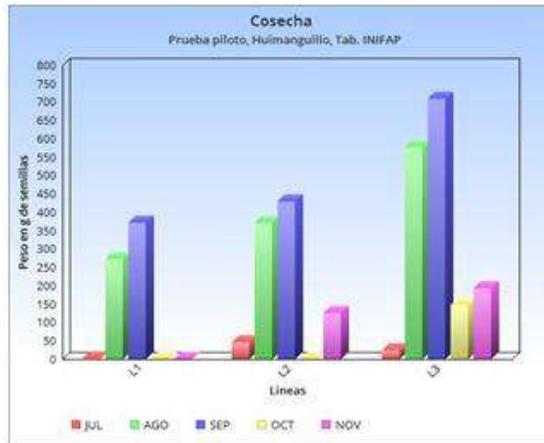


Figura 3. Periodo de cosecha de julio a noviembre

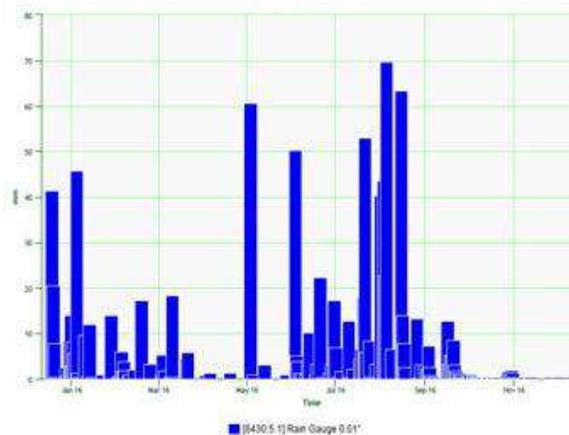


Figura 4. Precipitaciones en el periodo julio a noviembre

La cantidad de frutos obtenidos en la línea 3 (L3) son más representativos en la producción de agosto y septiembre, temporada de lluvias. Las máximas precipitaciones estuvieron presentes durante el mes julio a septiembre, de acuerdo con los datos del sistema “Ranch Systems, (<http://www.ranchsystems.com/home/web>). Estas precipitaciones tuvieron relación directa en el peso y volumen de las semillas de piñón. El tamaño de las semillas juega un papel importante para la selección de nuevas plántulas. De acuerdo con Alfonso (2008), en Honduras es preferible el uso de semillas que alcancen un tamaño > 17 mm, en Tabasco alcanza un promedio de 18.47±0.65 mm de largo y 10.28±1.57 mm de ancho, redituando entre el rango adecuado para selección germinativa.

Las máximas precipitaciones presentadas aumentaron el nivel de productividad de frutos durante los meses de agosto y septiembre, lo cual apunta hacia un mayor incremento de cosecha. A diferencia de las precipitaciones de lluvias promedio de Veracruz 900-2000 mm con rendimientos de 0.16-5.74 tha-1 (Hernández al; 2011), Sinaloa 300-1200 mm de lluvia con rendimientos de 25-122 kgha-1 en diferentes densidades de siembra (Angulo et. al; 2006), Chiapas 1200-4000 mm de lluvia con rendimientos de 300-1,979 kg (Solís et al., 2011), Morelos de 1.2-5 tha-1 (Martínez-Herrera, 2007) dependiendo de la edad de la plantación, en el Estado de Tabasco se presenta condiciones agroclimáticas óptimas para el manejo de piñón, alcanzando una precipitación promedio anual de 2200 mm (CONAGUA, 2016), con rendimientos de 363 kgha-1 desde el año cero de establecida la plantación.

En el municipio de Huimanguillo, Tabasco se presentan cosechas desde el mes de mayo y puede extenderse hasta el mes de noviembre, dado las precipitaciones que ocurren en el estado y que derivan en un agroambiente favorable para el piñón. Las altas precipitaciones pueden llegar a aumentar los rendimientos de las primeras cosechas de piñón

CONCLUSIONES

En el estado de Tabasco, el tamaño de la hoja fue mayor a los reportados para otros estados de México, esto posiblemente causado por las condiciones climáticas que se presentan en el desarrollo vegetativo de la planta. La vareta presenta 50% de materia seca, por lo que es interesante evaluar su utilización en otras áreas, como la obtención de bioaceite u otros productos. Además, que se tiene una gran producción de ramas y que la poda sin duda beneficia a que haya una mayor producción de fruto, pues de cada ramificación se llegan a presentar de uno hasta cuatro puntos de fructificación. De acuerdo con los datos obtenidos, las precipitaciones favorecen el periodo de fructificación, de manera en que estas disminuyen las plantas disminuyen su producción. También las precipitaciones, favorecen el incremento en el peso y tamaño de la semilla de acuerdo las mediciones realizadas. La fertilización, es importante para incrementar el rendimiento de semilla por planta, considerando que desde el año cero de establecida la plantación arroja rendimientos promedio de 330 g/planta, estos valores son reportados para plantaciones en su primer año de establecida. Al mismo tiempo, al final del primer año, hay una mejor calidad del suelo en cuanto a macro y microelementos residuales, estos derivados de la fertilización y residuos de cosecha, favoreciendo el crecimiento de las plantas para el próximo ciclo.

AGRADECIMIENTOS

A la Q.F.B. Alma Yesenia Torres Bolaina, del laboratorio de suelo-planta-agua del C.E. Huimanguillo, por su apoyo en los análisis de suelo.

LITERATURA CITADA

- Alfonso, B.J.A. 2008. Manual para el cultivo de piñón (*Jatropha curcas*) en Honduras, La Lima, Cortés, Honduras.
- Angulo, E.M.A. 2006 Paquete agronómico para el establecimiento de *Jatropha curcas* en la zona sur de Sinaloa.
- Argüello, G.E., Martínez-Herrera, J. 2016. El piñón mexicano: recurso biótico para la alimentación. *Revista AgroRegión*. Villahermosa, Tabasco. 79:26-28.
- Awal, M., Wan, I., Endan, J. y Haniff, M. 2004. Regression model for computing leaf area and assessment of total leaf area variation with fronda ages in oil palm. *Asian J. Plant. Sci.* 3:642-646.
- Gómez, M.R. 2013. Tecnología para la producción de *Jatropha* en el estado de Hidalgo. Folleto Técnico No.4, INIFAP Centro de Investigación Centro. 31 p.
- González, M.R., Juárez, L.J.F., Aceves, N.L.A., Rivera, H.B., Guerrero, P.A. 2014. Zonificación edafoclimática para el cultivo de *Jatropha curcas* L., en Tabasco, México, *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, pp. 25-37.
- Hernández, V.J.D. 2011. Evaluación de *Jatropha curcas* en sistemas Agroforestales para la producción de Biocombustible en el Norte de Veracruz. Chapingo, Veracruz. pp 81
- Martínez-Herrera, J. 2007. El Piñón Mexicano: Una Alternativa Bioenergética para México. Departamento de Biotecnología del Centro de Desarrollo de Productos Bióticos del Instituto Politécnico Nacional. *Revista digital universitaria*, 8:12.
- Miller, K., Grady, I. y Webster, L. 1962. Systematic position of *Cnidocolus* and *Jatropha*. *Britonia* 14:174-80.
- Solís, G. F.B. 2011. Integración de *Jatropha curcas* L. en Agroecosistemas como materia prima para biodiesel en la region Centro de Chiapas, Mexico, Campus Tabasco, p. 118.
- Zamarripa-Colmenero, A., Solís-Bonilla, J.L., González Ávila A., Teniente-Oviedo R., Martínez-Valencia B.B. y Hernández-Martínez M. 2011. Guía Técnica para la producción de piñón mexicano (*Jatropha curcas* L.) en Chiapas. Folleto Técnico No. 26. INIFAP. C.E. Rosario Izapa, Tuxtla Chico, Chiapas, México. 82 p.

REFERENCIAS INFORMATICAS

- CONAGUA (2016). Recuperado de <http://smn.cna.gob.mx/es/> 09 de Agosto de 2017
- RANCH SYSTEMS LLC. 2017. <https://augusta.ranchsystems.com/rsapp15/jsp/login.jsf>

MATERIA ORGÁNICA Y pH EN SUELOS CULTIVADOS CON CACAO *Theobroma cacao* L. EN TABASCO, MÉXICO
ORGANIC MATTER AND pH IN SOILS CULTIVATED WITH CACAO *Theobroma cacao* L. IN TABASCO, MEXICO

¹Ramírez-Guillermo MA, ²de los Santos-Ricardez BL

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-Campo Experimental Huimanguillo. Km 1 Carretera Huimanguillo-Cárdenas, Huimanguillo, Tabasco, México. C.P. 86400.

²Laboratorio de Fitopatología, INIFAP-Campo Experimental Huimanguillo, Tabasco.
Autor para correspondencia: ramirez.miguel@inifap.gob.mx

RESUMEN

El estudio se realizó en el estado de Tabasco en los municipios de la Región Chontalpa, Centro y Sierra. Se cuantificó el contenido de materia orgánica (MO) y pH en suelos cultivados con cacao (*Theobroma cacao* L.). El estudio permitió cuantificar los porcentajes de materia orgánica presentes en los cultivares de cacao, clasificándose dentro de los parámetros de muy alto (7.5-13.6%), alto (4.6-3.6%), medio (1.6-3.4%) y bajo (1.3-1.4%), identificándose en la Región de la Chontalpa, Tabasco el mayor nivel de MO. En relación al pH de los suelos cultivados con cacao en Tabasco se clasificó de la siguiente manera de acuerdo a su acidez; fuertemente ácido (4.7), moderadamente ácido (5.2-6.5), neutro (6.7-7.3) y moderadamente alcalino (7.5-8.4). El cacao requiere de un contenido mayor al 3% de MO y un pH de 6.5 a 6.8 (moderadamente ácido a neutro). En base a los parámetros estudiados, las áreas cultivadas actualmente son aptas para el desarrollo de la planta de cacao y en donde se puede extender el cultivo.

Palabras claves: *acumulación, propiedades, físicas, químicas.*

INTRODUCCIÓN

La parte orgánica del suelo representa un sistema complejo de diversas sustancias, su actividad se determina por la incorporación al suelo residuos de origen vegetal y animal (Ortiz y Ortiz 1984; Kononova 1998) incluye, además, una fracción viva o biota que participa en la descomposición y transformación de los residuos orgánicos (Aguilera, 2000).

Un nivel adecuado de materia orgánica beneficia al suelo de varias formas: mejoras las condiciones físicas, incrementa la infiltración de agua, facilita la labranza del suelo, reduce las pérdidas por erosión, almacena y suministra carbono y beneficia el hábitat donde se desarrollan los organismos responsables de mantener las funciones ecológicas del suelo (Beer et al. 1998; Schroth et al. 2001), además de proporcionar nutrientes a las plantas. En la materia orgánica también hay contenidos de elementos esenciales para las plantas. Los residuos vegetales y animales contienen cantidades variables de nutrientes como N, P, Mg, Ca, S y micronutrientes. A medida que la materia orgánica se descompone, estos nutrientes pasan a ser disponibles para las plantas en crecimiento (PPI, 1997) de esta forma contribuye al mantenimiento de la fertilidad del suelo y a la sostenibilidad de los sistemas productivos (Julca-Otiniano et al., 2006).

La condición umbrófila del cacao permite una acumulación significativa de materia orgánica que protege al suelo y proporciona así mismo nutrientes a las plantas (Rice y Greenberg, 2000; Rivas-Rojas, 2005), a causa de la diversidad florística asociada a ellos. Por las condiciones climáticas y por establecerse bajo un dosel, este cultivo tiene similitud a las selvas tropicales, éste contribuye considerablemente a conservar la biodiversidad, provee importantes servicios ambientales (Vandermeer, 2003) así como el desarrollo de diversos hongos benéficos en el control biológico (Rivas y Pavones 2010), además de la presencia de insectos que permite la polinización (Goitia et al., 1992; Martínez et al., 2000; Bravo et al., 2011).

El pH del suelo es una de las propiedades químicas más relevantes de la edafología, proporcionando información de suma importancia en diversos ámbitos: influye en el control de la movilidad de iones, la precipitación y disolución de minerales, las reacciones redox, el intercambio iónico, la actividad microbiana y la disponibilidad de nutrientes. La remoción de bases (calcio, magnesio, potasio) sin reposición de las mismas, conlleva a una disminución en la saturación del complejo de intercambio y acidificación de suelos (Vázquez, 2005).

El empleo continuo de materia orgánica durante el establecimiento y mantenimiento de las plantaciones de cacao, constituye la forma más eficiente para crear condiciones favorables en el desarrollo y multiplicación de los microorganismos, los cuales descomponen la materia orgánica fresca y el humus, liberando nutrientes elementales que mejoran la fertilidad del suelo, esto ayuda a que los minerales del suelo los absorban las plantas además mejoran las propiedades biológicas, físicas y químicas del suelo y elevan su potencial productivo (Mejía y Palencia, 2002; Maldonado et al., 2006). Las plantas de cacao al ser cultivadas bajo sombra asociadas a plantas maderables, frutales, plátano, maracuyá y otros, este cultivo tiende a mejorar la calidad del suelo (FHIA, 2004). Si bien la MO y el pH del suelo son indicadores de la capacidad productiva del mismo (Sainz et al., s. f.). El objetivo del presente estudio fue cuantificar el porcentaje de materia orgánica y el pH del suelo presente en plantaciones cultivadas con cacao (*Theobroma cacao* L.) en el estado de Tabasco, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del estado

El Estado de Tabasco cuenta con una temperatura media anual de 27°C, la temperatura máxima promedio es de 36°C presentándose en el mes de mayo, la temperatura mínima promedio de 18.5°C durante el mes de enero. La precipitación media anual de 2,550 mm. El 95.5% de la superficie del estado presenta clima cálido húmedo, el restante 4.5% es clima cálido subhúmedo hacia la parte este del estado (INEGI, 2018). La superficie estatal forma parte de las provincias: Llanura Costera del Golfo Sur y Sierras de Chiapas y Guatemala. El clima cálido húmedo favorece el cultivo de plátano, papaya, naranja, limón, coco, cacao, arroz, maíz y frijol, entre otros (INEGI, 2018).

Colecta de muestras

Las muestras de suelo colectadas se tomaron de áreas que cuenta con actividad cacaotera en las regiones de la Chontalpa, Centro y Sierra en el Estado de Tabasco, donde se visitaron un total de 36 plantaciones distribuidas en 10 municipios, colectando al final 41 muestras de suelo que se trasladaron al laboratorio suelo del CEHUI para el análisis. Los recorridos de campo se realizaron en el periodo 2016 y 2017.

El manejo cultural del cultivo de cacao está basado en el control de maleza, poda (formación y mantenimiento), control de plagas y enfermedades.

Variables en estudio

Se determinó el contenido de materia orgánica (MO) y la reacción del suelo (pH) (NOM-021-RECNAT-2000). La profundidad de muestreo fue de 0 a 30 cm.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Materia orgánica

Los resultados en porcentaje obtenidos de la materia orgánica se clasificaron de acuerdo a la clase establecida en la NOM-021-RECNAT-2000, donde las muestras se agruparon dentro de los niveles muy alto (>6.0%) a medio (1.6-3.5) (Cuadro 1; Figura 1), de acuerdo a López et al., (2011) el cultivo necesita un contenido de materia orgánica mayor al 3%, esto indica que existe una acumulación de compuestos orgánicos en descomposición en el suelo ya que se genera una gran cantidad de residuos vegetales que continuamente están presente debido a la diversidad arbórea que existente, esto a su vez contribuyen a mantener los niveles de materia orgánica, conservar la humedad además de reducir la erosión del suelo, Ogata (2007) explica que los árboles no sólo ofrecen protección del viento, sino también producen hojarasca, una de las mejores fuentes de materia orgánica, incrementan la aireación, la infiltración y el drenaje, y fomentan la liberación lenta de los minerales en el suelo, por otro lado McFarlane et al., (2009) y Cusack et al., (2009) indica que en los sistemas de cultivos perennes existe un incremento de residuos orgánicos que derivan de hojas, ramas, raíces de los árboles y malezas, se depositan en la superficie y posteriormente son incorporados al suelo.

En la Región de la Chontalpa fue donde se encontraron los niveles más altos de materia orgánica, en los municipios de Huimanguillo, Paraíso, Cunduacán, Jalpa de Méndez y Comalcalco, se atribuye a que estos son los suelos cacaoteros debido a que presenta las características físicas y química que el cultivo de cacao requiere, de manera general poseen una fertilidad natural, sin embargo el cultivo de cacao enriquece el suelo, Córdova-Avalos et al., (2010) indica que los suelos cacaoteros del estado pertenecen a los grupos mayores conocidos como Fluvisoles, Cambisoles y Vertisoles, que son

unidades que presentan buen drenaje, alta capacidad de intercambio catiónico y buen nivel de materia orgánica, así mismo indica que pertenecen a la Región de Chontalpa.

En las plantaciones visitadas se observó una gran diversidad de árboles asociados a las plantaciones de cacao los cuales fungen como árboles de sombra, proporcionando al agrosistema las condiciones necesarias para el desarrollo de dicho cultivo, Beer et al., (1998) atribuye que los árboles aumentan el contenido de materia orgánica del suelo a través de la caída de hojarasca y la renovación de raíces finas, recalca que algunos árboles también pueden ser fijadores de nitrógeno, así mismo refuerzan la función del ecosistema, contribuyen a formar ecosistemas equilibrados que sostienen la producción y fortalecen el sustento de los agricultores, además que contribuyen a mejorar la fertilidad del suelo. Ormeño y Ovalle (2007) muestra que si los suelos tienen contenidos bajos de materia orgánica (< 3%) se debe aplicar abonos sólidos de humus de lombriz o compost. Por otro lado Altieri y Nicholls (2007) indica que un sistema más diversificado, con un suelo rico en materia orgánica y biológicamente activo se considera un sistema no degradado, vigoroso y productivo.

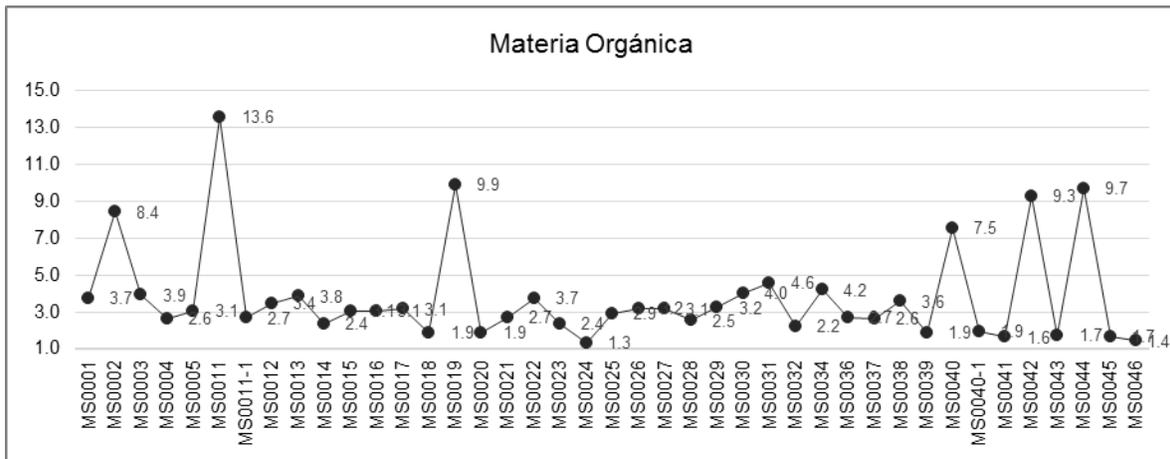


Figura 1. Porcentajes de Materia Orgánica en plantaciones de cacao

pH del suelo

Los niveles de pH en el suelo fluctuaron de fuertemente ácido a medianamente alcalino (4.7 a 8.4), donde los mayores valores se clasificaron dentro de las categorías moderadamente ácido (5.2-6.5) a neutro (6.7-7.3), esto de acuerdo a la clasificación de la NOM-021-RECNAT-2000 (Cuadro 1; Figura 2). De acuerdo a López et al., (2003), el pH recomendable para el cacao es de 6.5 a 6.8. Las zonas productoras de cacao en Tabasco presentan un pH ligeramente ácido a neutro, son suelos profundos de textura franca o arcillo-arenoso y de fertilidad media, los suelos analizados presentan un pH similar a lo indicado. Paredes (2003) señala que el cacao se desarrolla eficientemente cuando el pH se encuentra en el rango de 6.0 a 6.5, permitiendo obtener buenos rendimientos. Sin embargo, también se adapta a rangos extremos desde los muy ácidos hasta los muy alcalinos cuyos valores oscilan de pH 4.5 hasta el pH de 8.5, siendo la producción decadente o muy deficiente, son suelo que necesitan de correctivos, en los análisis realizados en esta investigación se encontraron valores extremos de 4.7 y 8.4. El pH del suelo tiene las características importantes de los suelos que es la de contribuir a regular la velocidad de descomposición de la materia orgánica, así como la disponibilidad de los elementos nutritivos. En el análisis se constató que en la Región de la Chontalpa se encontraron la mayoría de las muestras con los valores de pH requerido por el cultivo, de moderadamente ácido a neutro, recalando que la Región de la Chontalpa es donde se encuentran los suelos cacaoteros.

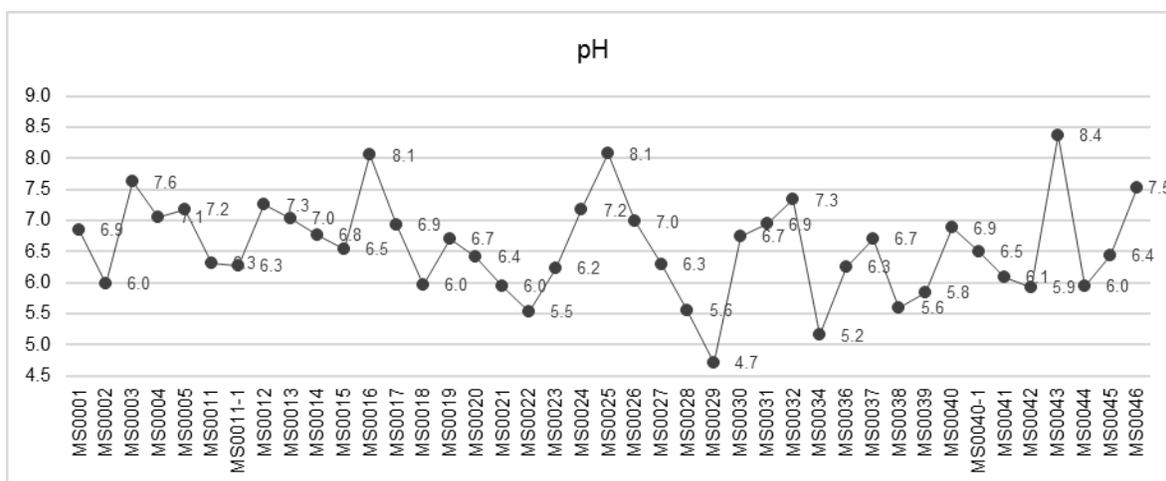


Figura 2. Niveles de pH en suelo cultivados con cacao

Cuadro 1. Porcentajes de Materia Orgánica (MO) y valor de pH en suelos cultivados con cacao (*Theobroma cacao* L.)

Clave de Identificación	pH	MO	Clave de Identificación	pH	MO
MS0001	6.9	3.7	MS0026	7.0	3.2
MS0002	6.0	8.4	MS0027	6.3	3.1
MS0003	7.6	3.9	MS0028	5.6	2.5
MS0004	7.1	2.6	MS0029	4.7	3.2
MS0005	7.2	3.1	MS0030	6.7	4.0
MS0011	6.3	13.6	MS0031	6.9	4.6
MS0011-1	6.3	2.7	MS0032	7.3	2.2
MS0012	7.3	3.4	MS0034	5.2	4.2
MS0013	7.0	3.8	MS0036	6.3	2.7
MS0014	6.8	2.4	MS0037	6.7	2.6
MS0015	6.5	3.1	MS0038	5.6	3.6
MS0016	8.1	3.1	MS0039	5.8	1.9
MS0017	6.9	3.1	MS0040	6.9	7.5
MS0018	6.0	1.9	MS0040-1	6.5	1.9
MS0019	6.7	9.9	MS0041	6.1	1.6
MS0020	6.4	1.9	MS0042	5.9	9.3
MS0021	6.0	2.7	MS0043	8.4	1.7
MS0022	5.5	3.7	MS0044	6.0	9.7
MS0023	6.2	2.4	MS0045	6.4	1.7
MS0024	7.2	1.3	MS0046	7.5	1.4
MS0025	8.1	2.9			

CONCLUSIÓN

Los mayores valores de MO se presentaron en la región de la Chontalpa, encontrándose dentro de la clasificación requerida para el cultivo. Si bien el contenido adecuado de materia orgánica se refleja en el potencial para la producción de los cultivos.

El pH de los suelos no es limitante para la producción de los cultivos en la mayor parte del área estudiada, pero se pueden presentar problemas de acidez en áreas donde los pH salen del rango establecido como el indicado para el cultivo.

Si bien estas dos variables son las indicadoras del nivel productivo del suelo.

AGRADECIMIENTOS

Al INIFAP-Recursos Fiscales por el financiamiento del proyecto “Exploraciones etnobotánicas para la identificación, colecta y conservación de genotipos nativos de cacao (*Theobroma cacao* L) en la región Golfo Centro”. Número de proyecto SIGI: 12303033827.

LITERATURA CITADA

- Aguilera, S.M. 2000. Importancia de la protección de la materia orgánica en suelos. Simposio Proyecto Ley Protección de Suelo. Boletín N° 14. Valdivia, Chile. Pp.77–85.
- Bravo, M. J. C., Somarriba, E. y Arteaga, G. 2011. Factores que afectan la abundancia de insectos polinizadores del cacao en sistemas agroforestales. *Revista de Ciencias Agrícolas XXVIII* (1): 119-131.
- Córdova-Avalos V., E. García-López y J.J. Obrador-Olán. Cultivo y transformación del cacao en Tabasco. (Eds). 2010 Publicación Especial del Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. H. Cárdenas, Tabasco, México. 94 p.
- Cusack, D.F., W.W. Chou, W.H. Yang, M.E. Harmon, W.I. Silver, and The Lidet Team. 2009. Controls on long-term root and leaf litter decomposition in neotropical forest. *Global Change Biol.* 15:1339-1355.
- FHIA (Fundación Hondureña de Investigación Agrícola) 2004. Guía técnica cultivo de cacao bajo sombra de maderables o frutales. San Pedro Sula, Cortés, Honduras, C.A. Pág. 17.
- Goitia, W., Bosque, C. y Jaffe, K. 1992. Interacción hormiga-polinizador en cacao. *Turrialba* 42(2):178-186.
- Julca-Otiniano, A., Meneses-Florian, L., Blas-Servillano, R. y Bello-Amez, S. 2006. La materia orgánica, importancia y experiencias de uso en la agricultura. *IDESIA* 24 (1):49-61
- Kononova, M.M. (1998). *Materia Orgánica del suelo. Su Naturaleza, Propiedades y Métodos de investigación.* Trad. Bardas de Muntan Enriqueta. 1a. Edic. Oikos-Tau. Ediciones. Barcelona España.
- López A. P.A., Delgado N.V.H., Azpeitia M. A., Lopez A. J.I., Jimenez C. J.A., Flores R.A., Fraire S. L. y Castañeda-Ceja R. 2003. El cacao en Tabasco, Manejo y Producción. INIFAP produce e ISPROTAB. Tabasco, México. 42 p.
- López, A. P., Ramírez, G. M. A. y Mendoza, L. A. 2011. Paquete Tecnológico Cacao (*Theobroma cacao* L.) Establecimiento y Mantenimiento. SAGARPA-INIFAP. Pág. 9.
- Maldonado, M. F., Jasso, M. J., Palma-López, D.J., Salgado, G. S. y González, H. V. A. 2006. Dinámica de materia orgánica, p y k en suelos de sistemas agroforestales ‘cedro-plátano’ en Tabasco, México. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 29 (3): 223 – 230
- Martinez, A., Narvaez, Z. y Spinelli, G. R. 2000. Mosquitas polinizadoras (Diptera: Ceratopogonidae) del cacao colectadas en comunidades Piaroa en Amazonas, Venezuela. *Bol. Entomol. Venez.* 15: 249-253.
- McFarlane, K.J., S.H. Schoenholtz, and R.F. Powers. 2009. Plantation on management intensity affects belowground carbon and nitrogen storage in Northern California. *Soil Sci. J.* 73:1020-1032.
- Mejía, F. L. A. y Palencia, C. G. E. 2002. Abono orgánico. Manejo y uso en el cultivo de cacao. CORPOICA. Bucaramanga. Pág. 24.
- Ogata, N. 2007. El cacao. *CONABIO. Biodiversitas* 72:1-5
- Ormeño, D. M. A. y Ovalle, A. 2007. Preparación y aplicación de abonos orgánicos. *Ciencia y producción vegetal. Divulga* 10:29-35.
- Ortiz, V. B. y Ortiz, S. C.A. 1984. *Edafología* 4ta edición. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de suelo. Chapingo, México.
- Paredes, A.M. 2003. Manual de cultivo del cacao. PROAMAZONIA. Perú. 100 p.
- PPI.1997. Manual internacional de fertilidad de suelos. POTASH & PHOSPHATE INSTITUTE. U.S.A.
- Rice, R. A. y Greenberg, R. (2000). Cacao cultivation and the conservation of biological diversity. *Ambio*, 3, 167–176.

- Rivas-Cordero, M. y Pavone-Maniscalco, D. (2010). Diversidad de *Trichoderma* spp. en plantaciones de *Theobroma cacao* L. del estado Carabobo, Venezuela, y su capacidad biocontroladora sobre *Crinipellis pernicioso* (Stahel) Singer. *Interciencia*, 35, 777–783.
- Rivas-Rojas, E. S. (2005). Diversity bats of dry forest and cocoa plantation. *Lyonia*, 8, 29–39.
- Sainz, R. H., Echeverría, H. y Angelini, H. s.f. Niveles de materia orgánica y pH en suelos agrícolas de La Región Pampeana y Extrapampeana Argentina. *Informaciones Agronómicas* 2:6-12. Balcarce, Argentina.
- Schroth, G., Lehman, J., Rodríguez, M., Barros, E. y Macedo, J. 2001. Plant-soil interactions in multiestrata agroforestry in the humid tropics. *Agroforestry Systems* 53:85-102.
- SEMARNAT 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudio, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación 31 de diciembre de 2002. México.
- Vandermeer, J. H. (2003). Agricultural scientists are wrong about agriculture and conservation scientists are wrong about conservation. *Endangered Species Update*, 20, 53–62.
- Vázquez, M.E. 2005. Calcio y Magnesio, acidez y alcalinidad del suelo. En: *Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos* (Ed HE Echeverría y FO García). Ediciones INTA, Buenos Aires.
- Citas electrónicas
- Altieri, M.A., y C.I. Nicholls. 2007. Conversión agroecológica de sistemas convencionales de producción: teorías, estrategias y evaluación (en línea). *Ecosistemas* 16(1). Consultado el 15 de junio de 2018. Disponible en <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/133>
- Beer, J., Muschler, R., Kass, D. y Somarriba, E. 1997. Shade management in coffee and cacao plantations. *Agroforestry Systems* 38: 139-164. <https://doi.org/10.1023/A:1005956528316>
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) 2017. Información por identidad. Consultado: 30 de junio 2018. <http://www.cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/tab/territorio/default.aspx?tema=m&e=27>

INCIDENCIA Y SEVERIDAD DE ROYA EN *Jatropha curcas* L., EN CHIAPAS, MÉXICO INCIDENCE AND SEVERITY OF ROYA IN *Jatropha curcas* L., IN CHIAPAS, MEXICO

¹Hernández-Gómez E, ¹Garrido-Ramírez ER, ²Solís-Bonilla JL, ¹Lopez-Martínez J, ³Ramírez-Guillermo MA, ²Martínez Valencia BB.

¹INIFAP Campo Experimental Centro de Chiapas, Km. 3 Carretera Ocozocoautla-Cintalapa, Ocozocoautla de Espinoza, Chiapas, México: 29140,

²INIFAP Campo Experimental Rosario Izapa, Km. 18 Carretera Tapachula-Cacahoatán, Tuxtla Chico, Chiapas, México: 30870.

³INIFAP Huimanguillo. Km 1 carretera Huimanguillo-Cárdenas, Tabasco, México. C.P. 86400.
Autor para correspondencia: fiteliza@hotmail.com

RESUMEN

El alza de los precios de los combustibles y el paulatino agotamiento de reservas de combustibles fósiles, lleva a la búsqueda de nuevas alternativas como los biocombustibles. El piñón mexicano o *Jatropha curcas* L. es una planta oleaginosa distribuida ampliamente en México, es una de las especies con potencial para la producción de aceite que no compite con la alimentación humana. Uno de los principales problemas de este cultivo es la “roya” causado por *Phakopsora jatrophiicola*, la cual puede afectar seriamente la producción pues disminuye la tasa fotosintética. El objetivo de este trabajo fue evaluar la incidencia y severidad de roya en plantaciones de piñón el estado de Chiapas. Para la estimación de la incidencia y severidad de roya se visitaron 75 sitios con *J. curcas* cultivados comercialmente y en cercas vivas, distribuidos en cuatro de las regiones económicas 1) Centro, 2) Frailesca, 3) Fronteriza, 4) Soconusco. Se identificó el patógeno causante de roya de forma morfológica. La incidencia se determinó contando el número de plantas enfermas de cada sitio y la severidad se estimó visualmente calculando el porcentaje de área afectada respecto al total. Los resultados de incidencia indicaron que la región Soconusco presentó mayor porcentaje de infección; en cuanto a severidad porcentajes de 0 a 10% fueron los más usuales; sin embargo, en las regiones Frailesca y Soconusco se presentaron porcentajes de severidad en la escala 4, aunque en menor frecuencia. Es necesario realizar más evaluaciones sobre el impacto de esta enfermedad y su relación con las diferentes regiones, así como investigación sobre métodos de control.

Palabras clave: piñón, roya, enfermedad

INTRODUCCIÓN

El alza de los precios de los combustibles se debe al paulatino agotamiento de reservas de combustibles fósiles, lo que conlleva a la búsqueda de nuevas alternativas como los biocombustibles que son renovables y reducen la emisión de sustancias nocivas. El piñón mexicano o *Jatropha curcas* L. es una planta oleaginosa distribuida ampliamente en México, actualmente se han realizado estudios acerca de las ventajas agronómicas y tecnológicas que presenta, pues es una de las especies con potencial para la producción de aceite que no compite con la alimentación humana, además es una planta rústica y tiene viabilidad para la producción de aceite que reúne propiedades fisicoquímicas que la posicionan como una opción en la producción de biocombustibles (Zamarripa *et al.*, 2009; Zamarripa *et al.*, 2013). Sin embargo, uno de los principales problemas de este cultivo es el ataque de la “roya” causado por *Phakopsora jatrophiicola*, la cual puede afectar seriamente la producción. La roya causa lesiones necróticas con halo clorótico en el haz, en el envés la coloración se vuelve rojiza, las erupciones que causa en la epidermis libera las uredosporas, las hojas que han sido infectadas se vuelven amarillas y ocasionan severas defoliaciones pues disminuye la tasa fotosintética (Quiroga *et al.*, 2012). El objetivo de este trabajo fue evaluar la incidencia y severidad de roya en el estado de Chiapas.

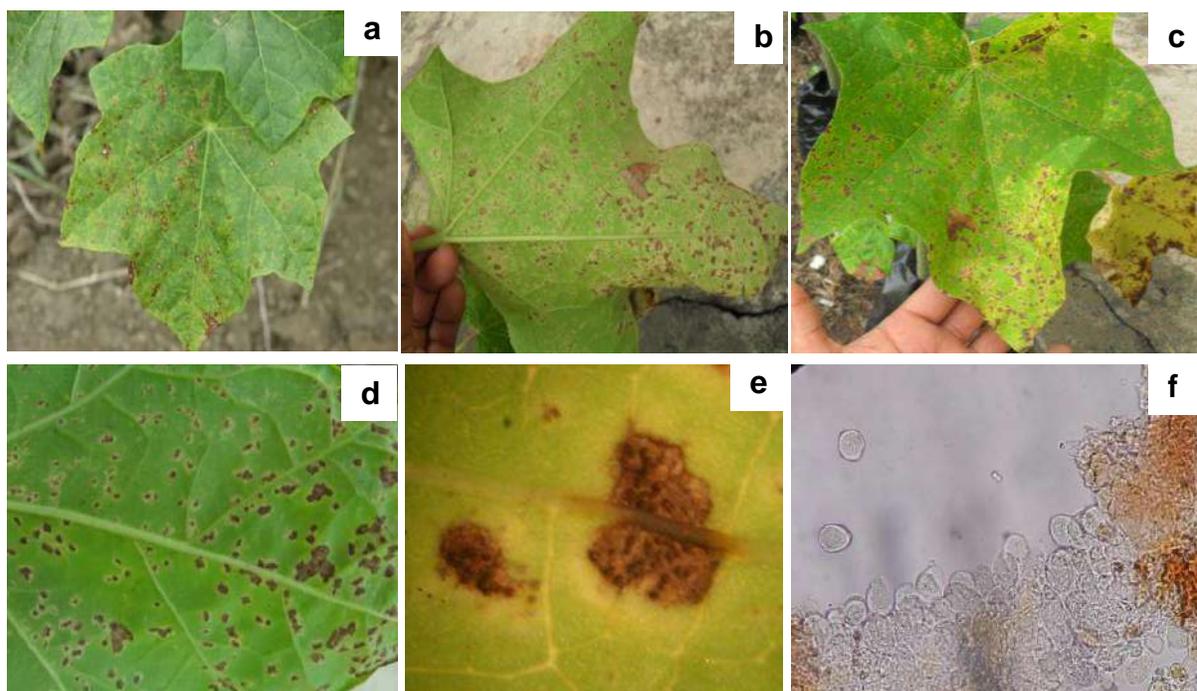
METODOLOGÍA

Para la estimación de la incidencia y severidad de roya se visitaron 75 sitios con *J. curcas* cultivados comercialmente y en cercas vivas, en el estado de Chiapas distribuidos en cuatro de las regiones económicas 1) Centro, 2) Frailesca, 3) Fronteriza, 4) Soconusco. Se identificó el patógeno causante de roya de forma morfológica por medio de claves taxonómicas y referencias bibliográficas. La incidencia se determinó contando el número de plantas enfermas de cada sitio y la severidad se

estimó visualmente calculando el porcentaje de área afectada respecto al total de acuerdo a la escala establecida que va de 0 a 5, daño nulo (0%), ligero ($0 < x \leq 10\%$), moderado ($10 < x \leq 30\%$), moderadamente severo ($30 < x \leq 60\%$), severo ($60 < x \leq 85\%$) y muy severo ($85 < x \leq 100\%$) (Barnett y Hunter, 1972; Campbell 1990).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se identificó a *Phakopsora jatrophiicola* como causante de la roya en *J. curcas* (Figura 1), los resultados de incidencia pueden observarse en el cuadro 1, la región Soconusco presentó mayor



porcentaje de infección.

Fig. 1. Síntomas de roya en hoja de *J. curca*. a) y c); síntomas en haz; b) y d) síntomas progresivos en envés, e) Pústulas en envés; f) Uredosporas.

Cuadro 1. Determinación de incidencia de roya en *Jatropha*.

Región	% Incidencia roya
Centro	14.8
Frailasca	26.1
Fronteriza	11.0
Soconusco	54.8

En cuanto a severidad porcentajes de 0 a 10% fueron los más usuales, sin embargo, en las regiones Frailasca y Soconusco se presentaron porcentajes de severidad de 60 a 85 % (escala 4), aunque en menor frecuencia (Cuadro 2). Cabe señalar que estas regiones presentan climas cálido subhúmedo y cálido húmedo, respetivamente, con mayor humedad relativa, condición que puede estar relacionada con la incidencia y severidad de la enfermedad.

CONCLUSIONES

Las regiones Frailasca y Soconusco presentan mayores índices de incidencia y severidad de roya, en comparación con las demás regiones estudiadas.

Cuadro 2. Determinación de severidad de roya en *Jatropha*.

Escala	Fraillesca	Centro	Frontera	Soconusco
1	52.19	31.63	80.00	58.70
2	16.19	13.16		27.72
3	1.19	10.53		13.59
4	18.19		20.00	
5	2.19			

Es necesario continuar con la investigación de *Jatropha*; incrementar las evaluaciones y medir el impacto de esta enfermedad en términos de producción y económicos, así como en métodos de control.

AGRADECIMIENTO

Al Consejo de Ciencia y Tecnología del estado de Chiapas por el financiamiento del proyecto CHIS 2010-C10-148724 “Desarrollo de tecnología y selección de variedades de cultivos bioenergéticos para la producción competitiva de insumos para biodiesel en Chiapas”.

LITERATURA CITADA

- Zamarripa A, Ruiz P, Solís J, Martínez H, Olivera A, Martínez V. 2009. Biocombustibles. INIFAP. Folleto técnico No. 12, 46 P.
- Zamarripa C. A. y Solís B. J. L. 2013b. *Jatropha curcas* L. Alternativa bioenergética en México. Libro Científico No.1. INIFAP. Campo experimental Rosario Izapa. 162 p.
- Quiroga R, Rosales A, Rincón M, Garrido E, Holguín F, González A, Salazar W, Sol G. 2012. Enfermedades de *J. curcas*. En: Alternativa bioenergética en México. pp. 83-102.
- Barnett, H. y Hunter, B. 1972. Illustrated genera of imperfect fungi. EE. UU. Burgess Publ. Co. 241 p.
- Campbell, C, and Madden L, 1990. Introduction to Plant Disease Epidemiology. John Wiley and Sons. New York. 532 p.

**EVALUACION DE DOS SISTEMAS DE BIOESPACIOS PARA LA PROPAGACION DE
PATRONES DE CACAO *Theobroma cacao* L.**
EVALUATION OF TWO SYSTEMS OF BIOSPACES FOR THE PROPAGATION OF COCOA
PATTERNS *Theobroma cacao* L.

¹ Hernández Díaz E, ² Azpeitia Morales A, ³ Ramírez Sandoval G, ² Mirafuentes Hernández F

¹ Estudiante del Instituto Tecnológico Superior de la región Sierra,

² Investigador del Instituto Nacional de Investigación Forestal, Agrícola y Pecuaria,

³ Docente del Instituto Tecnológico Superior de la región Sierra.

Autor de correspondencia: azpeitia.alfonso@inifap.gob.mx

RESUMEN

Con el objetivo de evaluar cuatro diferentes sustratos a base de suelo limoso, suelo franco, limoso + peat moss 1:1 y suelo franco + peat moss 1:1 bajo dos tipos de bioespacios, uno con cubierta plástica al 50% y malla sombra al 50% en el Campo Experimental Huimanguillo, perteneciente al Instituto Nacional de Investigación Agrícolas, forestal y Pecuarias. Los resultados obtenidos indicaron que su desarrollo es mejor bajo cubierta plástica. La germinación es favorecida en suelo limoso y suelo franco (100% de germinación en 6.30 días) y a partir de los 90 días alcanzaron un diametro apropiado para su injertación (5 mm). Este trabajo constituye el primer reporte del cultivo de patrones de cacao bajo cubierta plástica.

Palabras clave: *Cubierta plástica, Malla sombra, Bioespacios, Theobroma cacao L.*

INTRODUCCION

La palabra cacao proviene del maya “Kaj” y “kab”, las cuales quieren decir amargo y jugo respectivamente. Estas dos palabras, al pasar fonéticamente al castellano sufrieron una serie de transformaciones que terminaron en “cacaotal”, que luego pasó a cacao. La palabra chocolate también proviene del maya, de las palabras “chacau” que quiere decir caliente y de la palabra “kaa”, bebida. También estas palabras se unieron y sufrieron una serie de transformaciones en castellano hasta llegar a “chocolate” (Enríquez, 1985). El cultivo de cacao en México es una de las cadenas agrícolas más importantes del país. El estado de Tabasco cuenta con una superficie de 40,878 ha en donde se producen 18,393.45 toneladas de cacao (SIAP, 2017).

Actualmente, la agricultura, además de la producción a campo abierto, se practica en una amplia variedad de ambientes modificados, entre los que destacan los invernaderos con o sin control ambiental, sustratos inertes o en suelo, mismos que representan un ejemplo de ecosistemas artificiales para desarrollar la agricultura intensiva (Juárez, *et al.* 2007). En México, el uso de invernaderos ha adquirido auge en la producción de hortalizas en gran escala, específicamente de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) y chile (*Capsicum annum* L.) (Samaniego-Cruz., *et al.* (2002).

Desde hace unos años han comenzado a aparecer en el mercado diferentes tipos de plásticos para invernaderos desarrollados para acondicionar la radiación que incide sobre el material vegetal, unas veces filtrando y otras intensificando determinadas longitudes de onda. Las empresas que se dedican a la producción de nuevos materiales están trabajando con numerosos aditivos para cubiertas, muchos de los cuales se habían dejado de utilizar porque limitaban la vida útil de los plásticos y no se conocía su importancia agronómica sobre los cultivos. En la actualidad se están fabricando materiales fotoselectivos que modifican el espectro de luz que pasa a través del filme de forma de incrementar la actividad fotosintética del cultivo (Flores, 2003).

Corrales (2010), realizó estudios con cubierta plástica color verde (con complejo a base de níquel), cubierta plástica color blanco (Tinuvín 494) y cubierta plástica color amarillo (Smart Light RL 1000). Se encontró que el invernadero cubierto con plástico blanco produjo mayor cantidad de frutos (9,715 frutos), en comparación con los plásticos verde (7,792 frutos) y amarillo (8,589 frutos) además, los cultivos bajo cubierta de plástico blanco presentaron mayor materia seca.

Con respecto a mallas sombra, existen de color negro y aluminadas, estas son ampliamente utilizadas en el cultivo protegido de plantas hortícolas como técnica de control de la luz y la temperatura (Ayala-Tafoya *et al.* 2011). De acuerdo con resultados de Ayala-Tafoya *et al.* (2011), las mallas de color perla con 30 a 50% de sombra constituyen una alternativa para mejorar el cultivo de tomate de invernadero,

ya que incrementaron significativamente los rendimientos hasta un 28.1%.

En el caso de los viveros de cacao generalmente se utiliza malla sombra al 50%, sin embargo, tienen el inconveniente de no poder controlar el agua de lluvia en periodos de esta, lo que ocasiona el estrés hídrico con pérdida de muchas plantas.

Con base a lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue: evaluar el desarrollo de patrones de cacao en dos tipos de bioespacios, cubierta de plástico blanco al 50% y malla sombra al 50% bajo cuatro diferentes sustratos: a) suelo limoso, b) suelo franco, c) suelo limoso + peat moss 1:1 y d) suelo franco + peat moss 1:1.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló en el Campo Experimental Huimanguillo perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) localizado en el km 1 de la carretera Huimanguillo-Cárdenas, sus coordenadas son 17°51' 04.52"N 93° 23' 46.96" O, a una elevación de 20 msnm.

Se utilizaron semillas de cacao de la variedad ICS 95, los cuales fueron cultivados en dos tipos de bioespacios, cubierta de plástico blanco al 50% y malla sombra al 50% bajo cuatro diferentes sustratos: a) suelo limoso, b) suelo franco, c) suelo limoso + peat moss 1:1 y d) suelo franco + peat moss 1:1. De acuerdo a lo anterior se tuvieron cuatro tratamientos con veinte repeticiones (bolsa de plástico con una semilla) bajo un diseño estadístico completamente al azar.

Esta investigación se realizó a partir del mes de noviembre del 2017 a mayo del 2018. A los sustratos utilizados se les realizó un análisis para determinar el pH, conductividad eléctrica y materia orgánica, en el laboratorio de análisis de suelo de la división de agronomía del Instituto Tecnológico Superior de la Región Sierra (ITSS). Estos análisis se realizaron mediante el método electrométrico de AS-02 para la determinación de pH y Conductividad eléctrica y el método de AS-07, de Walkley y Black, para materia orgánica del suelo de acuerdo la norma oficial mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Se realizaron cinco repeticiones por cada uno de los tipos de sustratos analizados.

Durante el mes de noviembre del 2017 se estableció el trabajo experimental considerando dos bioespacios: a) Cubierta de plástico blanco al 50% y b) malla sombra al 50 %, con cuatro sustratos cada uno, con un total de ocho tratamientos. Las semillas fueron sembradas en bolsas de polietileno negro de 30 centímetros (cm) de largo x 12 cm de ancho. Las variables a medir fueron: 1) número de días a la germinación después de la siembra de la semilla de cacao, 2) altura de la planta cada 15 días. Una semana después de la emergencia de las plantas y posteriormente cada 15 días se registró su altura mediante un vernier estándar, considerando la longitud desde la base del tallo hasta el ápice de la plántula. 3) El diámetro como indicador de periodo de injertación. Para calcular el diámetro de la plántula se midió debajo de los cotiledones con un vernier automático y los datos se registraron en milímetros (mm). 4) número de hojas por planta dos semanas después de la germinación. 5) Altura del tallo. A los 60 días de la siembra de las semillas, se registró el número de hojas por planta, procedimiento que se continuó cada 15 días hasta que las plantas alcanzaron los tres meses y medio de edad, fecha en que se realizó la primera poda. Se cuantificaron solamente aquellas hojas completamente desarrolladas sin considerar hojas jóvenes en formación. 6) Longitud de la raíz y número de raíces secundarias de la planta. A los seis meses de sembrar la semilla se sacaron cinco plantas por tratamientos a las que se les eliminó el sustrato y se lavaron las raíces, posteriormente se midió la longitud de la raíz principal con un vernier estándar y se contó el número de raíces secundarias por planta. Los resultados se sometieron a análisis de varianza (ANOVA) a prueba de comparación de medias de Tukey (0.05) con el paquete estadístico STATGRAPHICS Centurión.

RESULTADOS

Los resultados de las evaluaciones de suelos fueron óptimos (Tabla 1) ya que los análisis de pH, conductividad eléctrica y materia orgánica fueron adecuados para el cultivo de semillas de cacao.

Tabla 1. Análisis de laboratorio de los diferentes sustratos utilizados para plantar semillas de cacao ICS 95.

Sustrato	pH	Conductividad eléctrica (µS)	Materia Orgánica %
Suelo limoso	7.85	955.33	1.79
Suelo franco (Testigo)	8.14	598	1.56
Suelo limoso y Peet moss 1:1	7.46	1392.67	17.38
Suelo franco y Peet moss 1:1	7.58	1488.33	11.14

Número de días a la germinación. En la Figura 1 se puede observar que las plantas que tardaron menor tiempo en germinar fueron las que se cultivaron en sustratos de suelo franco (Testigo) y bajo cubierta plástica al 50% con 6.35 días promedio y suelo limoso con 6.30 días un promedio. Estos tratamientos, fueron superiores estadísticamente a los demás tratamientos incluyendo los cultivados en malla sombra (M.s.).

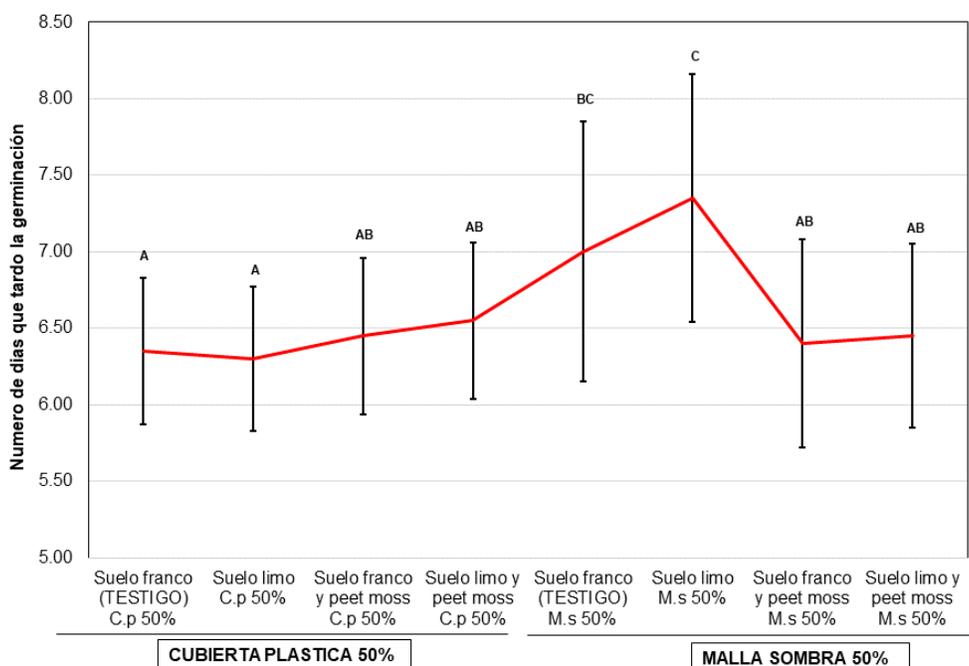


Figura 1. Días a la germinación de semillas de cacao de la variedad ICS 95 en los diferentes sustratos cultivados en cubierta plástica y malla sombra (n=20). Los valores con la misma letra son iguales estadísticamente (Tukey 0.05) C.p= cubierta plástica, M.s.=malla sombra.

Altura de la planta cada. En la Figura 2 se puede observar que las plantas presentaron alturas similares bajo cubierta plástica y malla sombra. Las plantas cultivadas en suelo limoso + Peet moss con un promedio de 30.3 cm de altura bajo cubierta plástica al 50% y 29.95 cm de altura bajo malla sombra al 50%.

Número de hojas hojas. En la Figura 3 se puede observar que las plantas cultivadas en suelo limoso (Testigo) bajo cubierta plástica al 50% fueron superiores estadísticamente a los demás tratamientos incluyendo los cultivados en malla sombra (M.S) con un promedio de 14.85 hojas durante cinco meses. Las plantas con menor número de hojas fueron los tratamientos de suelo franco + Peet moss, suelo limoso + Peet moss, suelo franco y suelo limoso bajo malla sombra al 50%. El tratamiento con suelo limoso + Peet moss que se cultivó en cubierta plástica al 50% fueron los que tuvieron menor número de hojas con un promedio de 10.25 a 11.45. y las plantas con tratamiento de suelo franco + Peet moss y suelo limoso bajo cubierta plástica al 50% fueron estadísticamente iguales.

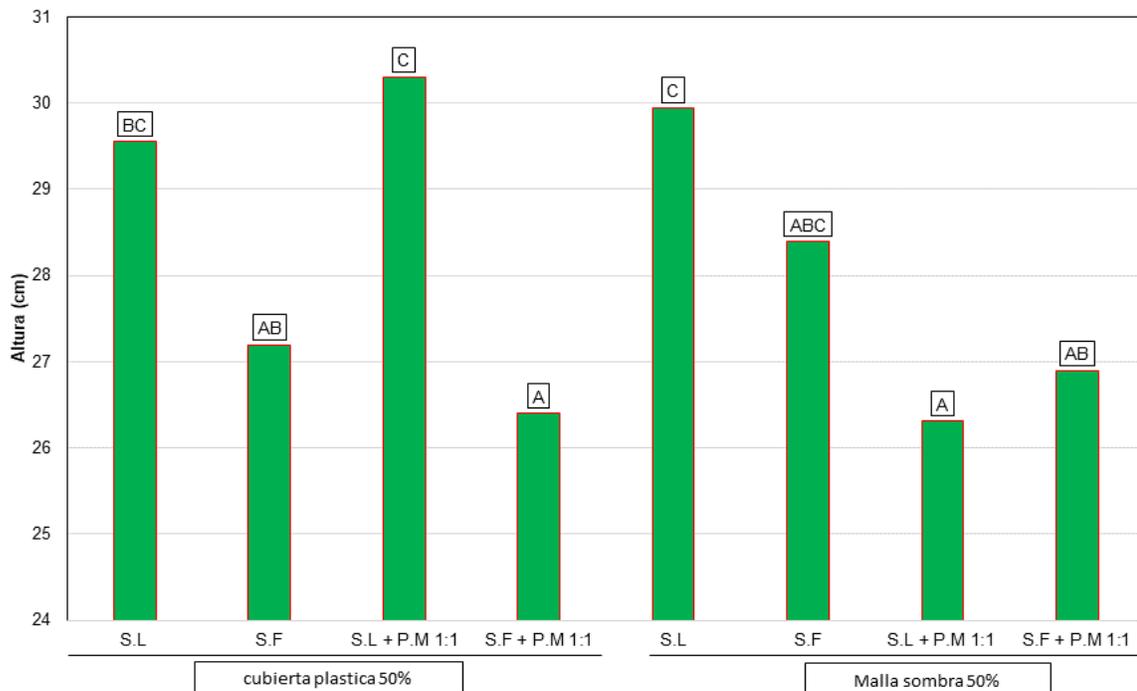


Figura 2. Altura de la planta de cacao de la variedad ICS 95 a los 180 días en los diferentes sustratos y cultivados en cubierta plástica y malla sombra al 50% (n=20). Los valores con la misma letra son iguales estadísticamente (Tukey 0.05). C.p= Cubierta plástica, M.s= Malla sombra.

Diámetro del tallo. En la Figura 4 podemos observar que los tratamientos en suelo limoso, suelo franco (Testigo) y suelo franco + Peet moss, fueron estadísticamente superiores a los demás tratamientos, incluyendo a los de malla sombra. Estos presentaron promedios de 5.21-5.38 mm de diámetro respectivamente por planta dentro de la cubierta plástica al 50%. Esto indica que desde los 90 días de evaluación ya se pueden injertar. Las plantas con el tratamiento a base de suelo franco (testigo) con un promedio de 4.25 cm de diámetro por planta bajo malla sombra al 50% tuvieron un menor diámetro y los tratamientos a base de suelo limoso + Peet moss, suelo franco + Peet moss, suelo limoso bajo malla sombra al 50% y el suelo limoso + Peet moss bajo cubierta plástica fueron iguales estadísticamente

Longitud de raíz principal. En la Figura 5 se presenta la evaluación de longitud de raíz con los diferentes sustratos que se encontraron en los bioespacios (cubierta plástica al 50% y malla sombra al 50%). No se encontraron diferencia estadísticas por lo que los sustratos y bioespacios no influyeron en la longitud de raíces.

Número de raíces secundarias. En la Figura 6 se presenta el número de raíces secundarias de cacao en los diferentes bioespacios y sustratos. Se observó que el sustrato a base de suelo limoso bajo cubierta plástica al 50% fue superior estadísticamente al resto de los tratamientos con un promedio de 94 raíces secundarias por planta, seguido por el tratamiento a base de suelo franco + Peet moss que tuvo un promedio de 86.2 raíces secundarias por planta. En malla sombra al 50% en el sustrato a base de Suelo franco + Peet moss con un promedio de 43.6 número de raíces por planta fue menor estadísticamente. Los demás sustratos a base de suelo limoso con un promedio de 53.4 raíces secundarias y suelo franco con un promedio de 52.6 raíces secundarias, bajo malla sombra al 50% fueron iguales estadísticamente. Por otra parte, los sustratos a base de suelo limoso + Peet moss con un promedio de 80 raíces secundarias, suelo franco con un promedio de 55.4 raíces secundarias bajo cubierta plástica al 50% y el sustrato a base de suelo limoso + Peet moss con un promedio de 68.2 raíces secundarias bajo malla sombra al 50% fueron esta dísticamente iguales.

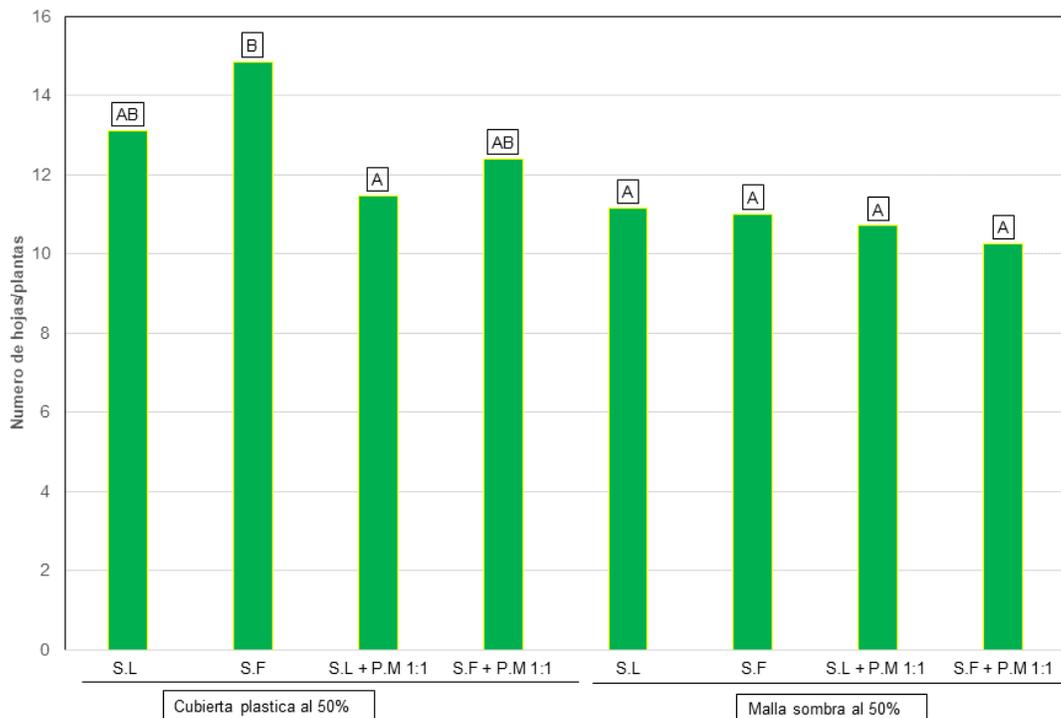


Figura 3. Número de hojas de la planta de cacao de la variedad ICS 95 a los 180 días en los diferentes sustratos y cultivados en cubierta plástica y malla sombra al 50% (n=20). Los valores con la misma letra son iguales estadísticamente (Tukey 0.05) C.p= Cubierta plástica, M.s= Malla sombra.

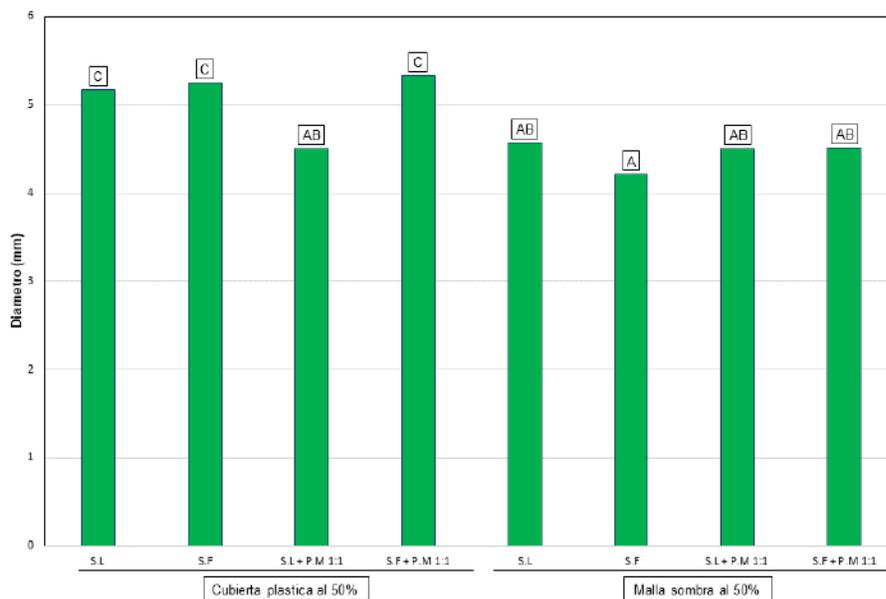


Figura 4. Diámetro de la planta de cacao de la variedad ICS 95 a los 90 días en los diferentes sustratos, cultivados en cubierta plástica y malla sombra al 50% (n=20). Los valores con la misma letra son iguales estadísticamente (Tukey 0.05).

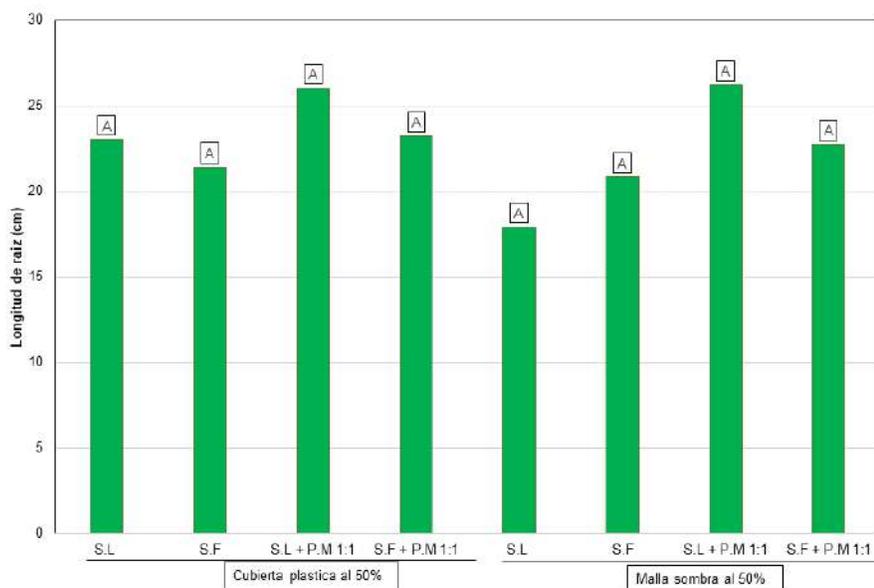


Figura 5. Longitud de la raíz de cacao de la variedad ICS 95 en los diferentes sustratos cultivados en cubierta plástica y malla sombra (n=20). Los valores con la misma letra son iguales estadísticamente (Tukey 0.05).

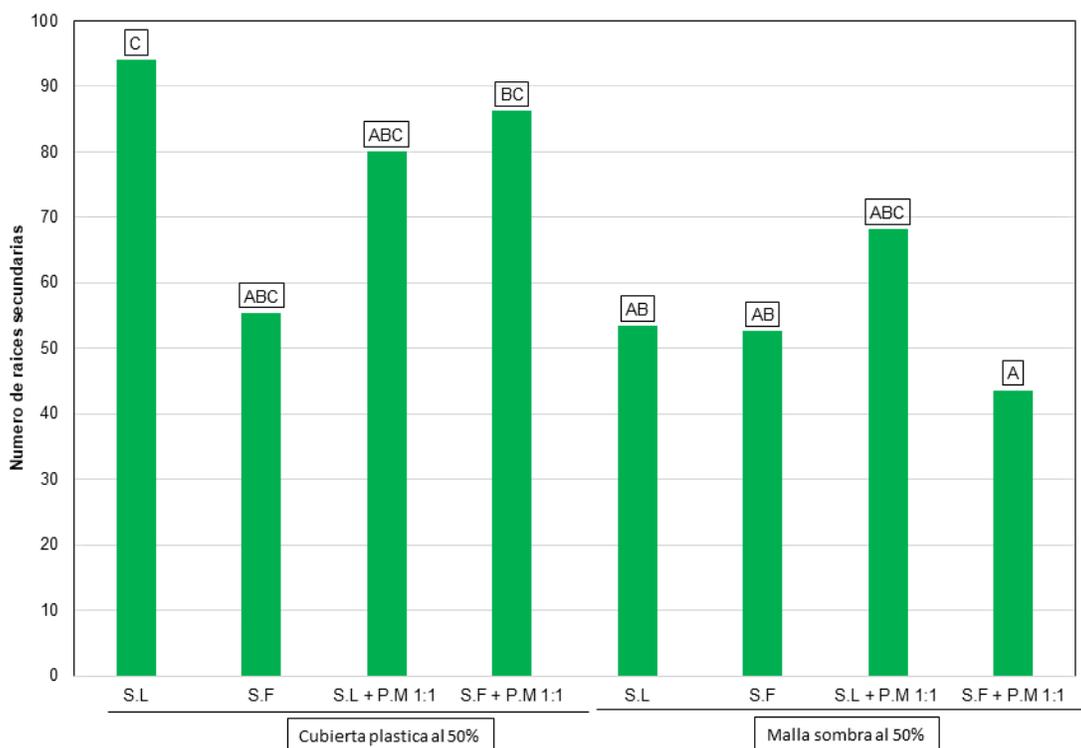


Figura 6. Número de raíces secundarias de cacao de la variedad ICS 95 en los diferentes sustratos cultivados en cubierta plástica y malla sombra (n=20). Los valores con la misma letra son iguales estadísticamente (Tukey 0.05)

DISCUSION

El cultivo de patrones de cacao generalmente es realizado en casas de malla 50 % de luminosidad, mientras que las cubiertas plásticas no se utilizan. En este trabajo, reportamos por primera vez el crecimiento óptimo de patrones de cacao bajo cubierta de plástico blanco donde se encontró que la germinación es más rápida en comparación a las cultivadas en malla sombra. El suelo franco propicio mejor germinación en 100%. Adicionalmente, el diámetro del tallo es mayor a los 90 días bajo cubierta plástica en comparación a malla sombra.

El diámetro es una variable muy importante ya que permite realizar la injertación a los 90 días mientras que este mismo diámetro se alcanzó a los 120 días en los patrones cultivados en malla sombra. En esta variable, nuevamente se observó que el suelo franco permitió mayor diámetro en comparación al resto de los tratamientos.

Las observaciones realizadas al número de hojas, permitieron determinar que el suelo franco (Testigo) alcanzó el mayor número de hojas (mayor a tres) en plantas de cacao bajo cubierta plástica en comparación a las cultivadas en malla sombra. Ha sido reportado previamente que en tomate cultivado bajo cubierta de plástico blanco permite mayor incremento de materia seca (Corrales, 2010), esto indica que estimula la producción de biomasa tal como se observó en las plantas de cacao cultivadas bajo cubierta de plástico blanco, donde se incrementó la producción de hojas.

La radiación solar influye sobre el crecimiento de las plantas principalmente a través de la fotosíntesis y la transpiración. La radiación solar influye sobre el crecimiento de las plantas principalmente a través de la fotosíntesis y la transpiración. La longitud de onda de 400 a 700 nm es básico en el proceso la productividad de un cultivo (Heuvelink *et al.*, 1995). Por lo tanto, en invernaderos, el crecimiento de los cultivos está fuertemente determinado por la cantidad de luz que reciben (Cockshull *et al.*, 1992). Esto indica que el cultivo de especies vegetales bajo cubierta de plástico es mejor que la malla sombra. Aunque no evaluamos la cantidad de flujo fotonico fotosintético en ambos bioespacios, permitió determinar que las plantas cultivadas de cacao bajo cubierta de plástico favorecen la germinación, diámetro de tallo y numero de hojas principalmente.

CONCLUSIONES

Con base a los resultados obtenidos, podemos concluir que el cultivo de patrones de cacao bajo cubierta plástica es posible ya que permite acortar el tiempo de crecimiento, debido a que el número de días a la germinación se reduce, el número de hojas de la planta fue superior a partir de los cuatro meses y el diámetro del tallo de la planta a los tres meses es óptimo para poder realizar la injertación.

AGRADECIMIENTOS

Al CONACYT, a través del proyecto de problemas nacionales con número 26913.

LITERATURA CITADA

- Avendaño, C. H., Villareal, J. M., Campos, E., Gallardo, R. A., Mendoza, A., Aguirre, J. F., Sandoval, A., & Espinoza, S. (2011). *Diagnóstico del cacao en México*. México: SAGARPA, SNICS, SINAREFI, Universidad Autónoma de Chapingo, INIFAP.
- Bradeau, J. (1978). El cacao. En: *Tecnología Agrícola y producción tropicales* (pp.89-108). España: Blume.
- Cheesman, E. E. (1932). The economic botany of cacao. A critical survey of the literature to the end of 1930. *Tropical Agriculture*, 2 1-16.
- Cheesman, E. E. (1944). Notes on the nomenclature, classification and the possible relationships of cacao populations. *Tropical Agriculture*, 21, 144-159.
- Cockshull, K.E.; C. J. Graves & C. R. J. Cave. 1992. The influence of shading on yield of glasshouse tomatoes. *J. Hortic. Sci.* 67: 11-24.
- De la Cruz M., Whitkus R., Gómez-Pompa A. & Mota-Bravo L. (1995). Origins of cacao cultivation. *Nature*, 375:542 – 543.
- Enríquez, G. A. & Paredes, L. A. (1989). *El cultivo de cacao*. Costa Rica: Universidad Estatal a larga Distancia.
- Enríquez, G. A. (1985). *Curso sobre el cultivo del cacao*. Costa Rica: CATIE.
- Hardy, F. (1961). *Cacao manual*. Costa Rica; Inter-American Institute of Agricultural Sciences.

- Hernández, J. A (1981). *Análisis de la Tecnología empleada en la producción de cacao (Theobroma cacao L.) en el municipio de san Juan Antonio Suchitepéquez, Suchitepéquez*. Tesis de licenciatura en Ingeniero Agrónomo. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Hernández, J. A. (1981). *Análisis de la Tecnología empleada en la producción de cacao (Theobroma cacao L.) en el municipio de San Antonio Suchitepéquez, Suchitepéquez*. Tesis de Licenciatura en Ingeniero Agrónomo. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Heuvelink, E.; I. G. G. Batta & T. H. J. Damen. 1995. Transmission of solar radiation by a multispan Venlo-type glasshouse: validation of a model. *Agric. For. Meteorol.* 74: 41-59.
- Londoño, J., Gil D. M., Aguilar S. B., Riveras F. A., & López G. A. 2011 Caracterización molecular de clones de *Theobroma cacao* L., por medio de marcadores moleculares microsatélites. *Revista Luna Azul*, 32 52-60.
- Martínez I. A. (2008). *Diagnostico sobre la situación actual del cacao (Theobroma cacao L) y perspectivas sobre la producción de cacao de fino aroma en Honduras*. Tesis de licenciatura en administración de Agronegocios. Escuela Agrícola Panamericana. Honduras.
- Motamayor J. C., Risterucci A. M., Lopez P. A., Ortiz C. F., Moreno A. & Lanaud C. (2002). Cacao domestication I: the origin of the cacao cultivated by the Mayas. *Heredity*, 89:380–386.
- Ogata, N. (2007). El cacao. *Biodiversitas*, 72, 1-5.
- Palencia, G. E., & Mejía, J. A. (2004). Injertación Temprana en la Producción Masiva de Clones de Cacao. Colombia: CORPOICA.
- Pesante, D. G. (2010). Cacao. En UPRM (Ed.), *Información sobre Polinización de algunos arbustos y arboles de importancia Agrícola y Apícola* (pp. 1, 11-14). Puerto Rico: Recinto Universitario de Mayagüez y Universidad de Puerto Rico.
- Somarriba, E. Cerda, R. Astorga C. Quesada, F. & Vásquez, N. (2010). *Reproducción sexual del cacao*. Costa Rica. CATIE.
- Stejskal, M. (1969). Nectar and aroma of the el cacao flower. *Oriente Agropecuario*, 1(2), 75-92.

REFERENCIAS INFORMATICAS

- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2017. <http://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>. Consultado 20 de marzo 2018.

**ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA DE LA PALMA DE ACEITE *Elaeis guineensis* Jacq. EN
EL ORIENTE DEL ESTADO DE CHIAPAS**
AGRO-ECOLOGICAL ZONING OF OIL PALM *Elaeis guineensis* Jacq. IN THE EAST OF STATE OF
CHIAPAS

Gómez-Valenzuela V

Unidad Regional Universitaria Sursureste, Universidad Autónoma Chapingo.
E-mail: vgomez62@hotmail.com

RESUMEN

En la porción oriente de Chiapas se desarrollan actividades productivas de gran importancia; se cultivan especies vegetales de importancia agroindustrial entre las que se encuentran hule (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) y palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.). Esta última, aunque muy polémica desde la óptica ambientalista, mantiene interés y expectativa en los productores; sin embargo se desconocen las áreas con mayor potencial productivo considerando las características naturales de la zona; por ello se planteó su estudio y análisis desde la perspectiva edafoclimática haciendo uso de la información existente y con el apoyo de la Metodología de Zonificación Agroecológica propuesta por la FAO, adaptada a México y en particular al oriente del estado, para conocer la vocación ambiental natural para cultivar palma de aceite. Entre los resultados de este estudio destaca la identificación de una superficie de 61,991.4 hectáreas, donde no existen restricciones de clima y suelo para el cultivo de palma y 235,021.7 hectáreas, con cierto nivel de restricción, manejando adecuadamente los componentes edafológicos, es posible incrementar los rendimientos y la calidad de la producción, por lo que podría ampliarse la superficie cultivada. Derivado de lo anterior, se concluye que existen condiciones agroecológicas adecuadas para continuar cultivando esta oleaginosa, aprovechando el potencial productivo existente y así contribuir a mejorar la planeación del desarrollo agrícola en la región.

Palabras clave: Zonificación agroecológica, Niveles de Aptitud, Oriente de Chiapas.

INTRODUCCIÓN

En México, Chiapas ocupa el primer lugar en superficie cultivada con palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.), 38,525 hectáreas establecidas que significa el 70% de la superficie total nacional. Según el INIFAP, Chiapas cuenta con las condiciones agroclimáticas apropiadas para el establecimiento de más de 400,000 hectáreas adicionales (Pérez y Platas, 2015).

El mejor desarrollo de la palma de aceite ocurre a bajas elevaciones, 0-500 msnm, aunque existe plantaciones hasta 1,500 msnm. La temperatura máxima óptima para el cultivo es de 28 a 34 °C y la mínima de 21 a 24 °C. Puede desarrollarse en un rango de precipitación de 650 a 5,000 mm anuales (suelos de buen drenaje), pero la cantidad ideal de lluvia es de 2000 a 2500 mm año⁻¹ distribuidos uniformemente y sin períodos de sequía. Ante un severo déficit de humedad (más de 200 mm al año) hay aborto de flores y predomina la floración masculina (Janick y Paull, 2008).

Al ser la palma de aceite una planta de origen tropical, las condiciones óptimas se encuentran cerca del ecuador (17° de latitud), sin embargo, existe plantaciones a los 18° de latitud norte y sur con rendimiento de 20 toneladas de fruta fresca por hectárea. Requiere de suelos profundos, planos o ligeramente ondulados; pendientes mayores a 12% lo exponen a erosión y los costos de producción se incrementan por requerir más caminos, terrazas o curvas de nivel y se dificulta el manejo (Sandoval, 2011).

De las 90,118 hectáreas sembradas en México hasta 2016, solo 33.76% de la superficie se encuentra mecanizada, 58.03% cuenta con tecnología aplicada a la sanidad vegetal, mientras que el 63.49% con este cultivo cuenta con asistencia técnica. Por otro lado, 95.92% de la producción es de temporal (SAGARPA, 2016), lo que explica porque hasta ahora se han utilizado tierras en donde los aportes de lluvia registran valores acordes al requerimiento hídrico del cultivo.

MATERIALES Y MÉTODO

La zona oriente de Chiapas comprende 15,556 Km², representa el 19% del territorio estatal y está conformada por los municipios de Marqués de Comillas, Benemérito de las Américas, Ocosingo, Palenque, La Libertad y Catazajá, Figura 1.

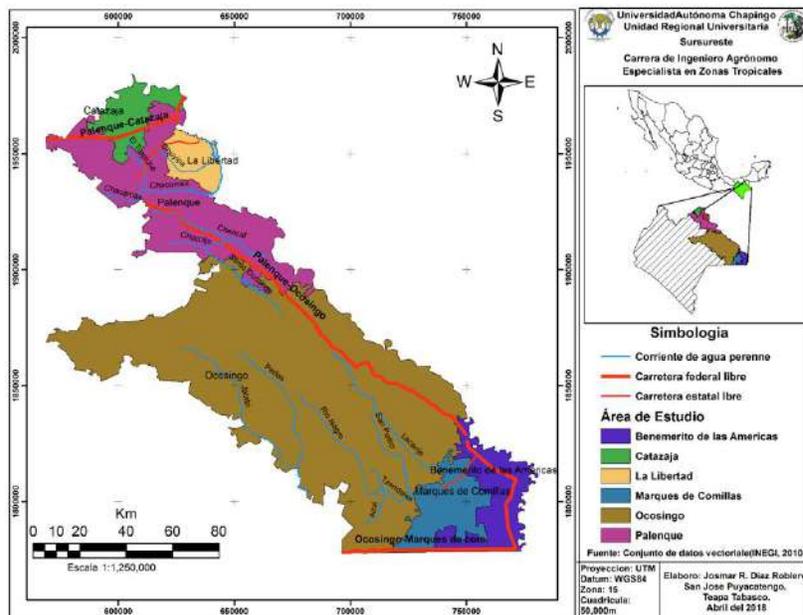


Figura 1. Ubicación del área de estudio en el oriente del estado de Chiapas.

En la zona de estudio predomina el clima cálido húmedo, 81.21%, y en pequeña porción el semicálido subhúmedo, 1.14% de la superficie, localizado en el municipio de Ocosingo. Los rangos de temperatura van de los 22 a los 24 °C como mínima y de 26 a 28 °C, en las máximas, observándose los valores más altos en el municipio de Benemérito de las Américas y Marqués de Comillas.

El Oriente de Chiapas, tiene rangos de precipitación de 1,500 hasta 3,000 mm anuales, predominando valores de 2,000 a 2,500, lo cual cumple con el requerimiento de lluvia para la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.), presentándose esta temporada de lluvias de mayo a noviembre.

La provincia fisiográfica predominante en el área de estudio es la sierra de Chiapas y Guatemala (80%), en menor proporción la llanura costera del Golfo sur que ocupa los municipios de Catazajá y La Libertad, cuyos suelos son planos y poca pendiente. Los tipos de suelo predominantes son Nitosol y Rendzinas; en menor proporción se encuentran Vertisoles y Regosoles.

Para la zonificación agroecológica se utilizó la “Metodología propuesta por la FAO (1997) adaptada a las condiciones de la República mexicana” (Pájaro y Ortiz, 1992) a la cual se le realizó modificaciones. Se utilizó cartografía de INEGI (2004), escala de 1:250,000 de los municipios mencionados, con la que se elaboró un mapa de ubicación. Se trabajó con el cultivo de palma de aceite con un nivel de inversión alto que supone un enfoque de una agricultura mecanizada o comercial y porque se trató de encontrar las mejores condiciones naturales para establecimiento del cultivo. Utilizando el mapa de clasificación agroclimática obtenido y por sobre posición de información se realizó el ajuste por unidad de suelos.

Para el factor pendiente se establecen las siguientes categorías, acordes al grado de pendiente propuesto por Sandoval (2011), Cuadro 1.

Cuadro 1. Categorías por pendiente del terreno (Sandoval, 2011).

Pendiente	Condición	Ejemplo
0-12%	Pendiente sin restricciones (S1, O), no se degrada	MA=MA
12-25%	Con limitaciones (S2, 1) se degrada una clase	MA=A
>30%	Pendiente no apta (NA)	NA

Como la metodología no considera el factor altitud se utilizó el mapa de alturas para descartar zonas que superaban dicho rango.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Clasificación agroecológica de la palma de aceite. Al aplicar el conjunto de criterios señalados en la metodología se degradan significativamente las categorías de Aptitud, manteniendo un mosaico

predominantemente No Apto en el área de estudio y conservando solamente a las porciones noroccidental y centro oriental con la mayor Aptitud para el cultivo de palma de aceite, denotándose la importancia del factor suelo en la definición de aptitud para este cultivo, Figura 2.

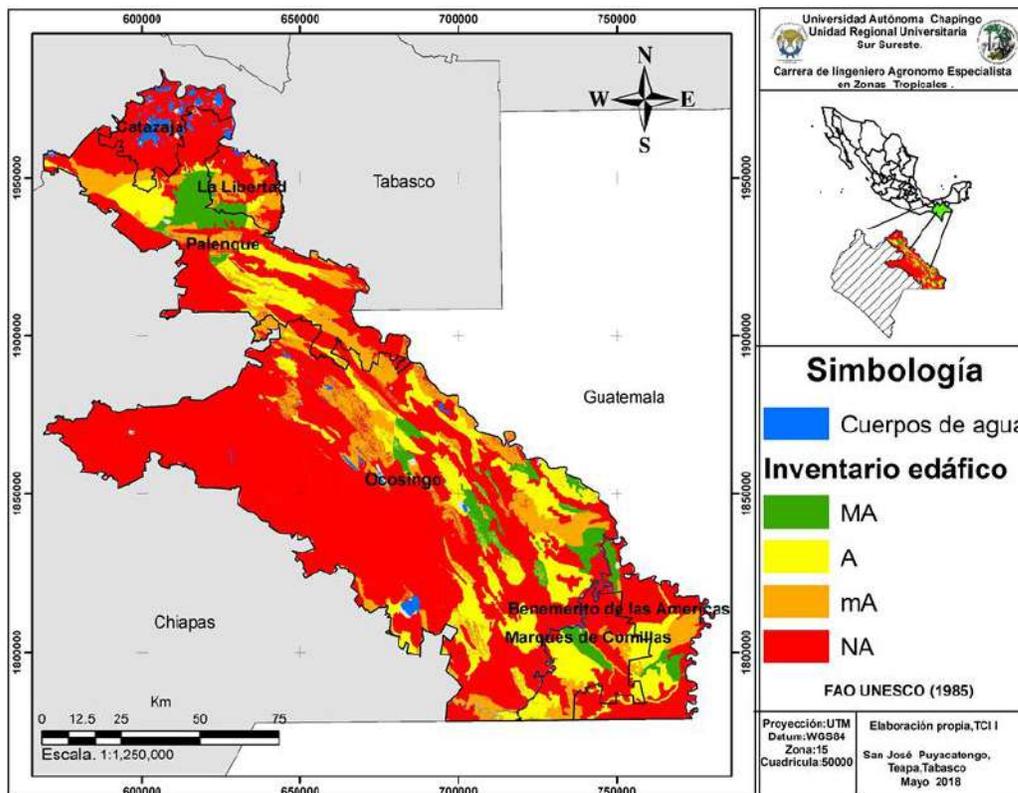


Figura 2. Clasificación agroecológica para cultivo de palma de aceite en el oriente del estado de Chiapas.

El estudio clasificó y cuantificó 61,991.4 ha como zonas Muy Aptas en donde se tienen las mejores condiciones climáticas y edáficas para el cultivo de referencia, estas áreas se ubican en su mayor parte en el municipio de Palenque, pero estas zonas solo representan el 4% de la superficie total del área de estudio. Aún así se tiene que el potencial adafoclimático para el cultivo de esta palma es de alrededor de 62,000 ha y que de acuerdo a la estimación que se tiene respecto a la superficie establecida, existe el doble de hectáreas susceptible de aprovechamiento para este cultivo. Se encontró que alrededor de 235,000 ha se clasifican como zonas Aptas, en estas áreas podría establecerse el cultivo de palma y no tendría muchas limitaciones, pero no cumple estrictamente con los requerimientos del cultivo, en este caso las zonas Aptas representan el 15.5% y eventualmente podrían acercarse en producción a las zonas Muy Aptas si se atiende las limitaciones edáficas que presentan. La clasificación marginalmente Apta representa un 14.6% (221,228 ha), en donde las condiciones edáficas presentan limitaciones que podrían mejorarse con manejo. De establecerse el cultivo en estas condiciones puede prosperar, pero difícilmente será productivamente similar a las clases Aptas y Muy Aptas, Cuadro 2.

Cuadro 2. Niveles de aptitud para el cultivo de palma de aceite en el oriente del estado de Chiapas.

Nivel de aptitud	Superficie		
	Km ²	Ha	%
MA	620	61,991.4	4.1
A	2350	235,021.7	15.5
mA	2212	221,228.7	14.6
NA	9990	999,004.5	65.8
Total	15172	1'517,246	100

CONCLUSIONES

Por condiciones agroclimáticas no se presentan limitaciones para el cultivo de palma de aceite en el oriente del estado de Chiapas ya que las temperaturas y la precipitación cumplen con las necesidades hídricas de este.

Las unidades de suelo, así como su textura, son la principal limitante para el cultivo de palma de aceite.

Se encontraron 61,000 ha (4%) Muy Aptas ubicadas en mayor proporción en el municipio de Palenque; 235,000 ha (15%) Aptas; 221,000 ha (15%) marginalmente Aptas y en mayor proporción zonas No Aptas cuya extensión es de 999,000 ha (66%), la mayor proporción del área de estudio tiene esta última condición.

AGRADECIMIENTOS

A los palmicultores que sin ningún interés proporcionaron experiencias e información acerca de sus plantaciones. Asociaciones de palmicultores, e instituciones educativas y oficiales por las facilidades para la realización del presente trabajo. En especial a: Sr. Erasmo Humberto Ramírez Figueroa productor y presidente de la Sociedad Cooperativa de Palmeros Unidos con el Valle de Tulijá, S. C. de R. L. de CV; Ing. Jorge Luís Reyna de la Secretaría del Campo Delegación VI Selva Palenque, Chiapas; Dra. Arely Bautista Gálvez, Profesora de La Escuela Maya de Estudios Agropecuarios de la Universidad Autónoma de Chiapas; MC. Héctor Cano Ascencio, técnico y asesor profesional del desarrollo agrícola en la zona de estudio; MC. Humberto Sánchez Bolón, gerente técnico de la empresa Oleopalma, agroindustrias de Palenque S.A de C.V.; Sra. Otilia Jiménez Silvano, Productora de palma de aceite y representante del grupo de palmeros del Ejido Nueva Esperanza, Palenque, Chiapas; Sr. Fausto Arcos Ruiz. Palmicultor y presidente de la sociedad de palmeros Chancalá, Río Seco Palenque, Chiapas.

LITERATURA CITADA

- FAO, 1997. Zonificación agro-ecológica. Guía general. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia.
- INEGI. 2004. Guía para la interpretación de cartografía edafología. Obtenido de <http://www.inegi.org.mx/inegi/SPC/doc/INTERNET/EdafIII.pdf>
- Janick, J. and R. E. Paull. 2008. The Encyclopedia of fruit and nuts. Obtenido de http://s3.amazonaws.com/zanran_storage/www.fitoica.com/ContentPages/2476053199.pdf
- Pájaro, H. D. y C. A. Ortiz S. 1992. Estimación del periodo de crecimiento por disponibilidad de agua y libre de heladas para la república mexicana. Centro de edafología, Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Pérez, H. F. S. y D. Platas, G. 2015. Palma de aceite en Chiapas. Ensayo.
- SAGARPA, 2017. Potencial Palma de Aceite. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Obtenido de Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257081/>.pdf
- Sandoval, E. A. 2011. Programa estratégico para el desarrollo rural sustentable de la región sur sureste de México: Trópico húmedo. Paquete tecnológico palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.). Establecimiento y mantenimiento. Centro Regional de Investigación Pacífico Sur. Campo Experimental Rosario Izapa, Tuxtla Chico, Chiapas, México.

Sección C: Ganadería

**PROPIEDADES QUÍMICAS Y ACTIVIDAD ANTIHELMINTICA *IN VITRO* DE EXTRACTOS DE
Musa balbisiana COLLA
CHEMICAL PROPERTIES AND *IN VITRO* ANTHELMINTIC ACTIVITY OF EXTRACTS OF *Musa
balbisiana* COLLA**

Rivera Torrez DL, Hernández-Villegas MM, Bolio-López GI, Almenares López D

Universidad Popular de la Chontalpa, División de Ingenierías y Ciencias Agropecuarias.
Carr. Cárdenas-Huimanguillo Km.2.0, C.P 86500, Cárdenas, Tabasco, México.
Autor para correspondencia: mahervi57@gmail.com

RESUMEN

La parasitosis gastrointestinal (PG) representa uno de los problemas más graves en la producción ovina extensiva, particularmente en los trópicos. La PG ocasiona un incremento en las tasas de mortalidad, baja reproducción, reducción del crecimiento animal y es responsable de pérdidas económicas al productor. El presente estudio fue realizado en laboratorio de Etnoveterinaria de la Universidad Popular de la Chontalpa. El objetivo fue evaluar la actividad antiparasitaria de *Musa balbisiana* Colla (plátano cuadrado) en la inhibición de la eclosión de huevos de *Haemonchus contortus* de ovinos. Dos extractos de *M. balbisiana*: acuoso de hojas, cáscara y raíz obtenidas por método de infusión, así como etanólico de hojas, obtenidas por maceración y concentración se ensayaron *in vitro* con una cepa de *H. contortus* resistente a los antihelmínticos comerciales (AHc). Los huevos fueron donados por un ovino infectado artificialmente, estos fueron expuestos a los extractos evaluados a concentraciones de: 4.8, 2.4, 1.2, 0.6 mg/ml, utilizándose además como control positivo tiabendazol 0.01 mg/ml y como control negativo agua. Se realizaron pruebas fitoquímicas, espectroscopia de Infrarrojo (FTIR), análisis químico y contenido de polifenoles extraíbles (PE) en todos los extractos. Los promedios de los porcentajes de inhibición de los grupos tratados y el control positivo fueron analizados mediante un análisis de varianza. Se encontró que el porcentaje de inhibición del extracto acuoso y el etanólico de hojas, a las concentraciones de 1.2, 2.4 y 4.8 mg/ml fueron similares al control positivo ($P \leq 0.05$). Los análisis químicos muestran diferencias significativas en cuanto al contenido de PE, correspondiendo a hojas y raíces los valores mayores. Se concluye que los extractos de *M. balbisiana* muestran eficacia contra huevos de *H. contortus* a las dosis evaluadas y esto podría deberse a la presencia de los compuestos fenólicos identificados.

Palabras claves: *Metabolitos secundarios, Resistencia antihelmíntica, Rumiantes, Nematodos*

INTRODUCCION

Los parásitos gastrointestinales que infectan al ganado ovino en particular los nematodos gastrointestinales (NGI), son responsables de pérdidas económicas a los productores por alrededor de un billón de dólares a nivel mundial (Roeber *et al.*, 2014) y representa uno de los problemas más graves en la producción ovina extensiva, particularmente en los trópicos. Tales parásitos afectan la salud y bienestar animal disminuyendo de manera alarmante su potencial productivo, ya que la infección por NGI resulta en un incremento en las tasas de mortalidad (Magdeleine *et al.*, 2014). *Haemonchus contortus* es una de las especies de nematodos más significativas debido a su alta prevalencia y patogenicidad (Roeber *et al.*, 2013). La forma tradicional de control de estos parásitos ha dependido del uso repetido de antihelmínticos comerciales (AHc). Sin embargo, el uso inapropiado de estos fármacos ha contribuido a la selección de aislados resistentes, lo que ha derivado en la ineficacia de los AHc generando el problema de resistencia antihelmíntica (RA) (Ferreira *et al.*, 2016).

La RA es un fenómeno que está presente en todo el mundo y es considerada el principal problema en el control de parásitos en ovinos (Leathwick, 2014). El desarrollo de la RA en nematodos, junto con la actual tendencia de producción de alimentos orgánicos con el fin de reducir o excluir químicos sintéticos para el control de parásitos, ha propiciado la investigación de métodos alternativos de control más sustentables (Saric *et al.*, 2015). La fitoterapia es una de esas alternativas actualmente exploradas, se basa principalmente en el uso de preparados de hojas, semillas, tallos, etc. y los efectos son atribuidos a los metabolitos secundarios de plantas.

Musa balbisiana Colla y *Musa acuminata* son progenitores de los cultivos de banano en el mundo, pertenecen a la familia Musaceae. *M. balbisiana*, es una especie silvestre que posee muchas características importantes tales como resistencia a enfermedades y tolerancia al estrés abiótico, y representa una fuente importante en los programas de mejoramiento genético del cultivo (Kundapura *et*

al., 2015). *M. balbisiana*, contiene el genoma B con 11 cromosomas, $2n=22$, el genoma B corresponde al estrés abiótico o tolerancia a la sequía.

El plátano (*Musa* spp) es el cuarto cultivo más importante en el mundo, y en muchas ciudades de Asia y África, es la principal fuente de alimentación. El plátano se cultiva en más de 130 países a lo largo de todas las regiones tropicales y subtropicales, sobre un área aproximada de 10 millones de hectáreas. La producción mundial anual se estima en 145 millones de toneladas (106 millones de plátano y 39 millones de banano), siendo India el principal productor (29 millones de toneladas), Ecuador el principal exportador y los Estados Unidos el principal importador de plátano (FAOSTAT, 2011). El plátano tiene un alto valor nutritivo, contribuyendo con una elevada cantidad de carbohidratos, vitaminas, minerales, y bajo contenido de grasa. Además, también es rico en metabolitos secundarios tales como ácidos grasos insaturados, esteroides, catecolaminas, compuestos fenólicos y carotenoides, con un reconocido rol en la dieta humana y la salud (Pereira y Maraschin 2015; Vilela *et al.*, 2014). Diversas partes de la planta de *Musa* como raíces, pseudotallo, tallo, hojas y flores han sido usados en la medicina tradicional en América, Asia, Oceanía, India y África (Tsamo *et al.*, 2015). En medicina etnoveterinaria *M. paradisiaca* L. es usada para tratar las lesiones de las pezuñas de los animales, mientras que el fruto verde es usado para el tratamiento de la diarrea. En Bangladesh, *M. seminífera* L. ha sido usada para tratar problemas de diarreas y disentería. Diversos estudios del género *Musa* contra nematodos NGI de ovinos y caprinos han sido reportados en la literatura. Sharma *et al.* (1971) evaluaron el extracto acuoso de la raíz de *M. paradisiaca* contra el parásito adulto *H. contortus*, y encontraron una actividad significativa. Batatinha *et al.* (2005) evaluaron *in vitro* el efecto del extracto acuoso de hojas de *M. Cavendish* sobre larvas del género *Strongyloidea* de cabras y encontraron una reducción de más del 95%. En otro estudio *Musa* spp fue evaluada contra huevos y larvas de NGI de ovinos infectados naturalmente, encontrando 100 % de inhibición de la eclosión a una concentración de 180 mg/ml y 0% de migración larval a la concentración de 800 mg/ml (Neuwirt *et al.*, 2015). Sin embargo, pocos estudios se han realizado con *M. balbisiana* contra NGI de ovinos, por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto antihelmíntico de los extractos acuoso y etanólico de hojas, cáscara y raíz contra huevos de *H. contortus*, así como realizar la caracterización fitoquímica para conocer los compuestos presentes en los órganos estudiados y su posible relación con la actividad antihelmíntica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La investigación fue realizada en el laboratorio de etnoveterinaria de la Universidad Popular de la Chontalpa (UPCH), ubicada en Cárdenas, Tabasco, México. El municipio de Cárdenas, se encuentra situado en la región de la Chontalpa, y se localiza entre las coordenadas 18° 0' de latitud norte y 93° 23' de longitud oeste, a una altitud de 10 msnm. Tiene un clima cálido húmedo con abundantes lluvias en verano y un rango de temperatura 26–28°C. El tipo de suelo predominante es vertisol (INEGI, 2011).

Colecta del Material Vegetal

El material vegetal de estudio fue colectado en la Ranchería Habanero 1ª sección municipio de Cárdenas, Tabasco, en el mes de mayo del 2017. El sitio se encuentra ubicado entre las coordenadas 17°9'08" latitud norte y 93°32'05" longitud oeste. El tipo de suelo donde se obtuvo el material vegetal está clasificado como fluvisol (INEGI, 2005). En total se colectaron 3 kg de material correspondiendo 1kg por cada órgano de la planta (hojas, raíz y cáscara).

Obtención del extracto

El material vegetal fue secado en un horno ECOSHEL® modelo HV-50 durante 15 hrs. Una vez seco el material se molió en un molino GRINDER® eléctrico modelo DF-15 hasta alcanzar un tamaño de partícula de 250 µm. El extracto acuoso fue obtenido por infusión durante 5 minutos a una temperatura de 100 °C. La solución resultante se filtró y luego se colocó en frascos para su ultracongelación a -18°C. Posteriormente, las muestras fueron llevadas a liofilización en un liofilizadora marca LABCONCO® modelo 117. Para la obtención del extracto etanólico, se utilizaron 50 g de la hoja molida que fueron llevados a maceración durante 24 horas; después la solución fue filtrada y concentrada en un rotavapor marca BUCHI®; este proceso fue repetido en tres ocasiones para extraer la mayor cantidad de compuestos.

Análisis fitoquímico y Químico

Para la identificación de los metabolitos secundarios (alcaloides, esteroides, flavonoides, saponinas, taninos) de *M. balbisiana*, se utilizaron las siguientes pruebas cualitativas: prueba de la espuma (saponinas), reacción de Stiasny (taninos), prueba de Liebermann-Burchard y Salkowski (esteroides),

prueba de Wagner (alcaloides) y reacción de hidroclicación (flavonoides). Estas pruebas están basadas en la observación visual de cambio de color y/o la formación de precipitados después de adicionar un reactivo específico. La composición química tales como contenido de humedad, proteína cruda y cenizas fueron determinados de acuerdo a los métodos estándar descritos por la A.O.A.C. (2000).

Determinación de Polifenoles Extraíbles (PE)

Para la extracción de los PE se pesaron 100 mg de cada muestra, desengrasada previamente con hexano; así mismo, se extrajeron por agitación (1 min en Vórtex) con 1 ml de metanol al 80%; seguidamente las muestras fueron colocados a baño María por 15 min a 50°C. La mezcla fue centrifugada a 10,000 rpm durante 15 min; posteriormente para la cuantificación se utilizaron 200 µl del extracto obtenido y se le adicionaron 1500µl de agua destilada. La reacción se llevó a cabo agregando 100 µl del reactivo Folin-Ciocalteu y 200 µl de carbonato de sodio al 5 % a cada una de las muestras, el ácido gálico fue utilizado como solución estándar. Las muestras y la solución estándar se mezclaron en un equipo Vórtex y se dejaron reposar por 30 min en la oscuridad. La absorbancia fue medida a 765 nm en un espectrómetro METASH®. Todas las muestras fueron realizadas por triplicado. Adicionalmente, se preparó una solución stock de 0.1 mg de ácido gálico ml⁻¹ para establecer la curva de calibración y determinar cómo equivalentes de ácido gálico (GAE) (mg /GAE g⁻¹ BS) (Makkar *et al.*, 1993).

Análisis de Infrarrojo

Para verificar la presencia de algunos grupos funcionales presentes en estos extractos, se realizó un análisis de infrarrojo con transformada de Fourier (FTIR) THERMO SCIENTIFIC®.

Prueba de eclosión de huevos de NGI

Para la prueba de la inhibición de la eclosión de huevos se utilizó un ovino infectado artificialmente con una cepa resistente de *H. contortus*. La recolección de huevos fue realizada de acuerdo al método descrito por Coles *et al.* (1992). Se utilizaron cuatro concentraciones de los extractos de *M. balbisiana* (4.8, 2.4, 1.2, 0.6, mg/ml), además un control positivo (Tiabendazol 10 µg/ml) y un control negativo (agua), los cuales fueron distribuidos en placas de 24 pocillos, se realizaron cuatro replicas por concentración y control; la placa fue incubada a 27 °C por 48 hrs. Posteriormente, se adicionó una gota de Lugol para detener la eclosión y proceder al conteo de huevos y larvas con ayuda de un microscopio marca VELAB®.

Análisis Estadísticos

Los promedios de los porcentajes de inhibición de los grupos tratados y el control positivo fueron analizados mediante un Análisis de Varianza y posteriormente se realizó una prueba de comparaciones múltiples de medias Tukey.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis fitoquímico y Químico

En el tamizaje fitoquímico se encontró presencia moderada de esteroides, flavonoides y taninos en hojas; sin embargo, en la cáscara hubo mayor abundancia de esteroides y presencia moderada para alcaloides y taninos. En las raíces el tamizaje reporta abundancia de saponinas y ausencia de taninos así como de flavonoides (Cuadro 1). Magdeleine *et al.* (2014) reportan la presencia de los mismos compuestos encontrados en este estudio con los observados en los extractos de hoja y tallo de *M. paradisiaca*. Otros estudios demuestran que tanto terpenoides y flavonoides poseen actividad antihelmíntica contra *H. contortus* (Camurça-Vasconcelos *et al.*, 2007; Maciel *et al.*, 2006).

Cuadro 1. Metabolitos secundarios detectados en los extractos de *M. balbisiana* Colla.

Extracto	Alcaloides	Esteroides	Flavonoides	Saponinas	Taninos
Hojas	-	++	++	-	++
Cáscara	++	+++	-	-	++
Raíz	+	++	-	+++	-

+ = Presencia débil; ++ = Moderada; +++ = Abundante; - = Ausencia

La composición química encontrada en los diferentes órganos de *M. balbisiana*, muestran que en cuanto al porcentaje de MS los valores más altos correspondieron a las hojas (31.87%) y el menor valor fue para la raíz (5.72%). En el contenido de cenizas el valor más alto fue para la raíz y el menor para la cáscara. El mayor contenido de proteína encontrado correspondió a la cáscara (2.35%) y el menor valor a la raíz (0.24%) (Cuadro 2). Aziz *et al.* (2011) reportaron para pseudotallo un contenido de proteína de 0.89%, valor similar al encontrado en las hojas en este trabajo. Nunes-Oliveira *et al.* (2014) reportan un 3.5%

para el pseudotallo, valor muy similar al encontrado en la cáscara en este estudio. En otro estudio Haslinda *et al.* (2009) encontraron un contenido de proteína en harina de banano con piel de 6.28%, valor superior al encontrado en este estudio. El contenido de la proteína puede variar dependiendo del órgano de la planta, tipo de genoma, variedad, altitud, clima y en el fruto puede incrementarse con el proceso de maduración (Mohapatra *et al.*, 2010). El contenido de polifenoles extraíbles encontrados en este trabajo coincide con lo señalado por Haslinda *et al.* (2009) quienes reportan valores de 0.11 a 0.9 mg de GAE en diferentes variedades de plátano.

Cuadro 2. Composición química proximal de *M. balbisiana* Colla y contenido de polifenoles extraíbles

<i>M. balbisiana</i>	MS (%)	C (%)	PC (%)	PE (mg GAE/g ⁻¹)
Hoja	31.87 ^c	10.86 ^b	.90 ^a	.0616 ^b
Cáscara	12.79 ^b	8.81 ^a	2.35 ^a	.0498 ^a
Raíz	5.72 ^a	12.45 ^c	0.24 ^a	.0685 ^b

MS: materia seca; C: cenizas; PC: proteína cruda; PE: Polifenoles extraíbles; GAE: equivalentes de ácido gálico. Letras diferentes en la misma columna difieren significativamente $P \leq 0.05$

Las propiedades antihelmínticas de los polifenoles de plantas y su modo de acción han sido reportados frecuentemente de forrajes de climas templados y tropicales. Dependiendo de la familia botánica de la planta, estado fenológico, origen, tipo y concentración de los polifenoles (Hoste *et al.*, 2015; Hoste *et al.*, 2012). Muchos fenoles son volátiles y existen en aceites esenciales de plantas con actividad antinematodal (Zhou *et al.*, 2012). En un estudio evaluando taninos condensados extraídos de *Lotus pedunculatus* (Leguminosae), *Lotus corniculatus* (Leguminosae), *Dorycnium pentaphyllum* (Leguminosae), *Dorycnium rectum* (Leguminosae) y *Rumex obtusifolius* (Polygonaceae), estos fueron capaces de interrumpir el ciclo de vida del nematodo *Teladorsagia circumcincta* afectando la eclosión de huevos y el desarrollo larvario (Zhou *et al.*, 2012).

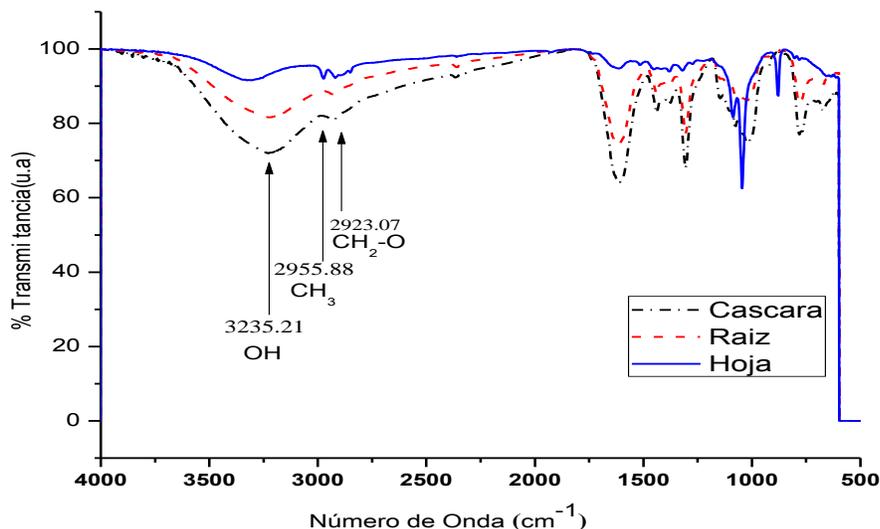


Figura 1. Espectro FT-IR de *M. balbisiana*

El análisis del espectro infrarrojo (Figura 1) de hojas, cáscara y raíz de *M. balbisiana*, muestran similitudes en cuanto a las bandas características de los grupos funcionales identificados en el análisis fitoquímico (Cuadro 1). La banda intensa observada a 3235 cm⁻¹, es característica de los grupos hidroxilo

(-OH) presentes comúnmente en compuestos fenólicos (taninos, alcaloides, flavonoides). Las bandas a 2955–2923 cm⁻¹ corresponden a estiramientos C-H (metilos y metilenos) de esteroides y saponinas

Prueba de eclosión de huevos

M. balbisiana, mostró una fuerte actividad antihelmíntica *in vitro* sobre la eclosión de huevos de *H. contortus*. Todos los órganos y las diferentes concentraciones probadas mostraron algún efecto, desde 32.6% para el extracto etanólico de hojas a la concentración de 1.2 mg/ml hasta el 100% de eficacia del mismo extracto a la concentración de 4.8 mg/ml (Cuadro 3).

Como se puede observar a la mayor concentración utilizada se obtuvo un 100% de eficacia, tanto del extracto acuoso como del extracto etanólico de hojas. Estos resultados son similares a los reportados por Nogueira *et al.* (2012), quienes evaluaron hojas, tallos y corazón de *Musa spp* y encontraron efectos de 100% utilizando una concentración de 5 mg ml⁻¹, similar a la utilizada en este trabajo. En otro estudio Magdeleine *et al.* (2014), evaluaron los extractos acuoso, metanólico y de diclorometano de hojas y tallo de *M. paradisiaca*, contra huevos de *H. contortus*, encontrando una media de inhibición de 48.5%. Neuwirt *et al.* (2015), reportan un porcentaje de inhibición de 100% en huevos de NGI, con el extracto alcohólico de *Musa spp*, solo que ellos utilizaron una concentración de 180 mg/ml. En este estudio la cantidad utilizada es sumamente menor a la reportada en el trabajo anterior.

De acuerdo a Olivo *et al.* (2007) la actividad antihelmíntica de las hojas de *M. balbisiana* puede deberse posiblemente a la presencia de polifenoles que se encuentran en diversas variedades del banano. Algunos polifenoles pueden interactuar con las proteínas (quitina) presentes en el cascarón de los huevos de nematodos. Otra hipótesis involucra la capacidad de algunos compuestos fenólicos para enlazarse con la proteína de los alimentos y protegerla de la degradación ruminal, incrementando la proteína de paso y la absorción de aminoácidos en el intestino delgado, favoreciendo la respuesta inmune contra los parásitos (Hoste, 2006).

Los compuestos fenólicos son antibacterianos, moléculas anticancerígenas y antifúngicas (Aharoni *et al.*, 2005). Estas complejidades podrían permitir a los compuestos interactuar con múltiples objetivos moleculares en las diversas etapas de desarrollo del parásito.

Cuadro 3. Medias± D.E. de inhibición de la eclosión de huevos de *M. balbisiana*
Letras distintas muestran diferencias estadísticas P≤0.05

Extracto	Concentración	Inhibición %
Etanólico de hojas	0.6 mg/ml	32.67±24.08 ^b
	1.2 mg/ml	87.21±16.25 ^a
	2.4 mg/ml	84.87±28.64 ^a
	4.8 mg/ml	100.0±0 ^a
Acuoso de hojas	0.6 mg/ml	8.57±3.77 ^c
	1.2 mg/ml	75.38±18.18 ^a
	2.4 mg/ml	95.80±7.16 ^a
	4.8 mg/ml	100.0±0 ^a
Acuoso de cáscara	0.6 mg/ml	2.84±2.57 ^c
	1.2 mg/ml	26.63±14.67 ^b
	2.4 mg/ml	70.29±33.48 ^a
	4.8 mg/ml	93.74±11.97 ^a
Acuoso de raíz	0.6 mg/ml	6.68±2.54 ^c
	1.2 mg/ml	9.50±4.46 ^c
	2.4 mg/ml	20.98±9.98 ^b
	4.8 mg/ml	62.00±43.83 ^a
Tiabendazol	10µg/ml	86.0±5.82 ^a
	10µg/ml	82.5±5.22 ^a
	10µg/ml	87.0±5.43 ^a
	10µg/ml	88.5±4.87 ^a

CONCLUSIONES

El extracto acuoso y etanólico de hojas de *M. balbisiana* mostraron una alta eficacia en la inhibición de la eclosión de huevos a las concentraciones mayores de 1.2 mg/ml.

Los análisis fitoquímico y químico revelaron la presencia de compuestos tales como taninos, alcaloides, flavonoides, previamente reportados por diversos autores.

El extracto acuoso y etanólico de las muestras evaluadas indicaron un porcentaje de inhibición similar, por lo que resulta más práctico la preparación acuosa, y la disminución del uso de sustancias químicas.

Los beneficios de usar extractos de plantas representan una amplia alternativa; disminuye el uso de fármacos sintéticos, la contaminación ambiental, reduce el riesgo de entrada a la cadena alimenticia, se utilizan los recursos disponibles en la región dada la alta diversidad de metabolitos secundarios, y representa un nuevo mecanismo de acción para la investigación farmacéutica.

LITERATURA CITADA

- A.O.A.C. 2007. Official Methods of Analysis of AOAC International. Gaithersburg, MD.
- Batatinha, M.J.M., Santos, M.M., Botura, M.B., Almeida, G.M., Dominguez, L.F., Almeida, M.A.O., 2005. Anthelmintic effect of aqueous extract of *Musa cavendishii* Linn. Leaves and *Carica papaya* Linn. Seeds on gastrointestinal nematodes of goats. Revista Brasileira de Plantas Mediciniais. 7, pp.11–15.
- Aziz, A.A.N., Ho, H.L., Azahari, B., Bhat, R., Cheng, H.L., Ibrahim, M.N.M., 2011. Chemical and functional properties of the native banana (*Musa acuminata* x *balbisiana* Colla cv. Awak) pseudo-stem and pseudo-stem tender core flours. Food Chemistry. 128, 748-753.
- Aharoni, A., Jongsma, M.A., Bouwmeester, H.J., 2005. Volatile Science, Metabolic engineering of terpenoids in plants. Trends in Plant Science. 10, 594–602.
- Camurça-Vasconcelos, A.L.F., Bevilaqua, C.M.L., Morais, S.M., Maciel, M.V., Costa, C.T.C., Macedo, I.T.F., Oliveira, L.M.B., Braga, R.R., Silva, R.A., Vieira, L.S., Navarro, A.M.C. 2007 Anthelmintic activity of *Croton zehntneri* and *Lippia sidoides* essential oils. Veterinary Parasitology 148, 288–294
- Coles, G.C., Bauer, C., Borgsteede, F.H., Geerts, S., Klei, T.R., Taylor, M.A., Waller, P.J., 1992. (W.A.A.V.P.) Methods for the detection of anthelmintic resistance in nematodes of veterinary importance. Veterinary Parasitology. 44, 35–44.
- Ferreira, E. L., Benincasa, I. B., Fachin, L. A., Franca, C. S., Contini, S. H., Chagas, C. A., & Beleboni, R. O. 2016. *Thymus vulgaris* L. essential oil and its main component thymol: Anthelmintic effects against *Haemonchus contortus* from sheep. Veterinary Parasitology. 228, 70-76.
- FAOSTAT (Food and Agriculture Organization of the United Nations).2011.URL [http:// faostat.fao.org/](http://faostat.fao.org/). (Consultado 26 de enero 2018).
- Haslinda, H.W., Cheng, L.H., Chong, L.C., Aziah, N.A.A., 2009. Chemical composition and physicochemical properties of green banana (*Musa acuminata* x *balbisiana* Colla cv. Awak) flour. International Journal of Food Sciences and Nutrition. 60, 232-239.
- Hoste, H., Torres-Acosta, J.F.J., Sandoval-Castro, C.A., Mueller-Harvey, I., Sotiraki, S., Louvandini, H., Thamsborg, S.M., Terrill, T.H., 2015. Tannin containing legumes as a model for nutraceuticals against digestive parasites in livestock. Vet. Parasitol. 212, 5-17.
- Hoste, H., De Montellano, C.M.-O., Manolaraki, F., Brunet, S., Ojeda-Robertos, N., Fourquaux, I., Torres-Acosta, J.F.J., Sandoval-Castro, C.A., 2012. Direct and indirect effects of bioactive tannin-rich tropical and temperate legumes against nematode infections. Vet. Parasitol. 186, 18-27.
- Hoste, H. 2006. The effects of tannin-rich plants on parasitic nematodes in ruminants. Trends Parasitology, 22:pp.253–261.
- Hernandez, G.R., 2002. Nutrición Mineral de las Plantas. Libro Botanica Online, Departamento de Botánica, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de Los Andes - Mérida Venezuela. <http://www.forest.ula.ve/~rubenhg>. (Consultado 2 febrero 2018).
- INEGI 2005. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Cárdenas, Tabasco. pp- 6 (consultado 27 de marzo 2018).
- INEGI. 2011. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Cárdenas, Tabasco. pp. 2-3. (consultado 27 de abril 2018).
- Kundapura, V.R., Sampangi-Ramaiah, M.H., Ajitha, R., Khadke, N.G., Chellam, V., 2015. Insights into *Musa balbisiana* and *Musa acuminata* species divergence and development of genic microsatellites by transcriptomics approach. Plant Genetic. 4, 78-82.

- Leathwick, D.M., 2014. Sustainable control of nematode parasites- A New Zealand perspective. *Small Ruminant Research*. 118, 31-34.
- Maciel, M.V., Morais, S.M., Bevilacqua, C.M.L., Camurça-Vasconcelos, A.L.F., Costa, C.T.C., Castro, C.M.S., 2006. Ovicidal and larvicidal activity of *Melia azedarach* extracts on *Haemonchus contortus*. *Veterinary Parasitology* 140, 98–104.
- Makkar, H.P.S., Bluemmel M., Borowy N. K., Becker K. 1993. Gravimetric determination of tannins and their correlation with Chemical and protein precipitation methods. *J. Science. Food Agriculture*. 61, 161-165.
- Marie-Magdeleine, C., L. Udino., L. Philibert., B. Bocage., H. Archimede., 2014. *In vitro* effects of *Musa x paradisiaca* extracts on four developmental stages of *Haemonchus contortus*. *Research in Veterinary Science* 96, pp. 127–132.
- Marie-Magdeleine, C., 2009. Etude des propriétés anthelminthiques de quelques ressources végétales tropicales en élevage de ruminants. PhD Antilles Guyane, Guadeloupe.
- Mohapatra, D., Mishra, C., Sutar, N., 2010. Banana and its by-product utilization: an overview. *Journal of Scientific & Industrial Research*. 69, 323-329.
- Neuwirt, N., Gregory, L., Yoshihara, E., Lima, G.S., 2015. Effect of *Musa* spp. extract on eggs and larvae of gastrointestinal nematodes from infected sheep. *Ciências Agrárias, Londrina*. 36, 3751-3756.
- Nogueira, A.F., Oliveira, N.L., Da Silva, B.R., Nery, S.P., Virginio Jr, F.G., Geraseev, C.L., Duarte, R.E., 2012. Anthelmintic efficacy of banana crop residues on gastrointestinal nematodes of sheep: *in vitro* and *in vivo* tests. *Parasitol Research*. 111, 317-323.
- Nunes-Oliveira, L., Cabral-Filho, S.L.S., Castro, G.L., Robson, D.E., Luiz, A.A., 2014. Chemical composition, degradability and methane emission potential of banana crop residues for ruminants. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 17, 197 – 206.
- Olivo, C. J., Pereira, L. E. T., Carvalho, N. M., Vogel, F. F., Heinzmann, B. M., Neves, A. P. 2007. Use of the banana plant (*Musa* spp.) for the control of parasites in domestic animals: from empiricism to science. *Livestock Research for Rural Development, Cali*. V. 19, n. 11.
- Pereira, A., Maraschin, M., 2015. Banana (*Musa* spp) from peel to pulp: ethnopharmacology, source of bioactive compounds and its relevance for human health. *Journal of Ethnopharmacology*. 160, 149-163.
- Roeber, F., Kahn, L., 2014. The specific diagnosis of gastrointestinal nematode infection in livestock: larval culture technique, its limitations and alternative DNA-based approaches. *Veterinary Parasitology*. 205, 619-628
- Roeber, F., Jex, A. R., & Gasser, R. B. 2013. Advances in the diagnosis of key gastrointestinal nematode infections of livestock, with an emphasis on small ruminants. *Biotechnology Advances*. 31, 1135-1152.
- Saric, T., Rogosic, J., Zupan, I., Beck, R., Bosnic, S., Zikic, Z., Skobic, D., Tkalcic, S., 2015. Anthelmintic effect of three tannin-rich Mediterranean shrubs in naturally infected sheep. *Small Ruminant Research*. 123, 179-182.
- Sharma, L.D., Bahga, H.S., Srivastava, P.S., 1971. *In vitro* anthelmintic screening of indigenous medicinal plants against *Haemonchus contortus* (Rudolphi, 1803) Cobbold, 1898 of sheep and goats. *Indian Journal of Animal Research* 5, 33–38.
- Tsamo, C. V. P., Herent, M., Tomekpe, K., Emaga, T. H., Quetin-Leclercq, J., Rogez, H., Larondelle, Y., Andre, C. 2015. Phenolic profiling in the pulp and peel of nine plantain cultivars (*Musa* sp.). *Food Chemistry*, 15, 197–204.
- Vilela, C., Santos, A.O.S., Villaverde, J.J., Oliveira, L., Nunes A., Cordeiro, N., Freire, S.R.C., Silvestre, J.D.A., 2014. Lipophilic phytochemicals from banana fruits of several *Musa* species. *Food Chemistry* 162, 47-55.
- Zhou, L., Wang, J., Wang, K., Xu, J., Zhao, J., Shan, T., Luo, C., 2012. Secondary Metabolites with Antinematodal Activity from Higher Plants. In: Atta-ur-Rahman (Ed.), *Studies in Natural Products Chemistry*. Elsevier B.V. 37, 67–114.

**CAMBIOS EN LOS ÍNDICES HEMATOLÓGICOS EN CORDEROS PELIBUEY POR LA
INFECCIÓN CON NEMATODOS GASTROINTESTINALES**
CHANGE IN HEMATOLOGICAL INDICES IN PELIBUEY LAMBS BY INFECTION WITH
GASTROINTESTINAL NEMATODES

¹González Garduño R, ²Cruz Tamayo AA, ³Zaragoza Vera CV, ⁴Aguilar Caballero A, ⁵Torres Hernández G

¹Unidad Regional Universitaria Sursureste. Universidad Autónoma Chapingo. Km 7.5 Carretera Teapa-Vicente Guerrero, Teapa, Tabasco, México.

²Escuela Superior de Ciencias Agropecuarias. Universidad Autónoma de Campeche. Calle 56 S/N, Col. UEyT No. 2, C.P. 24350, Escárcega, Campeche, México.

³División Académica de Ciencias Agropecuarias, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Carretera Villahermosa-Teapa Km 25, C.P. 86280. Villahermosa, Tabasco, México.

⁴Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, Yucatán, México.

⁵Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Montecillo, Estado de México C.P. 56230, México.
Autor para correspondencia: robgardu@hotmail.com

RESUMEN

El objetivo del estudio fue realizar la comparación de los principales índices hematológicos en ovinos Pelibuey infectados con nematodos gastrointestinales (NGI) contra los índices de animales sanos. La investigación se realizó en Chiapas, México. Se utilizaron dos grupos de corderos, 10 corderos machos recién destetados, sin infección y otro grupo de 30 corderos machos de cinco meses de edad infectados semanalmente con 100 Larvas por kg de peso vivo, durante cuatro semanas. Se utilizaron los datos de los animales clasificados como resistentes con base en el conteo fecal de huevos de nematodos (CFH) ($CFH < media - 3 \text{ error estándar}$) y como susceptibles ($CFH > media + 3 \text{ error estándar}$). En las muestras de sangre se determinaron los índices hematológicos con un analizador semiautomático (Medonic CA620, Boule Medical AB), y la proteína plasmática se determinó por refractometría. En la serie roja, se observaron diferencias entre los animales sin infección respecto a los infectados, principalmente en el hematocrito, número de glóbulos rojos y hemoglobina (31%, $8.66 \times 10^6 \text{ c/ } \mu\text{L}$ y 11.19 g/dL vs 25.1%, $6.9 \times 10^6 \text{ c/ } \mu\text{L}$ y 8.98 g/dL , respectivamente). En la serie blanca hubo más glóbulos blancos en los corderos sin infección que en los parasitados (11.13 vs 7.99×10^3 células/ μL) y se incrementó el número de linfocitos en los corderos infectados (de 51% a 59.3 %). Se concluye que en los corderos infectados se reducen los principales parámetros de la fórmula roja como son hematocrito, número de glóbulos rojos y hemoglobina. Por otra parte se incrementa el número de linfocitos y se reduce el número de granulocitos.

Palabras clave: corderos, hematología, glóbulos blancos, hematocrito, proteína plasmática

INTRODUCCION

Los nematodos gastrointestinales (NGI) son parásitos que afectan el comportamiento productivo y la salud de los ovinos en pastoreo. La especie más importante es *Haemonchus contortus* por su amplia distribución y por sus hábitos hematófagos (Vanimisetti et al., 2004). Los efectos de este nematodo pueden ser muy graves al provocar anemia en los animales más susceptibles, lo que puede llevarlos hasta la muerte en casos extremos.

El estudio de los índices hematológicos y de sus desviaciones, permite diagnosticar enfermedades que afectan a los animales, por lo que para una correcta detección de las enfermedades parasitarias es necesario conocer los valores representativos de cada especie, así como conocer la variación en ellos. Los valores hematológicos dependen de factores genéticos y ambientales y sus interacciones (McManus et al., 2009). De los factores genéticos, el estado fisiológico (gestación, lactancia, crecimiento, engorda) la edad y el sexo de los animales, son de los principales causantes de cambios importantes. Por esta razón, para una correcta interpretación del hemograma, es necesario tener en cuenta la influencia de dichos factores así como también se debe considerar las condiciones climáticas y ambientales, estado nutricional y manejo.

Para determinar los efectos de los NGI generalmente se utiliza el CFH como un indicador correlacionado con la cantidad de parásitos dentro del animal, y sobre todo cuando están involucradas

especies hematófagas se recurre a conocer los parámetros medidos en sangre (Andrónicos et al., 2015), los cuales reflejan los cambios en el estado de salud del animal y por ello facilitan el diagnóstico de la parasitosis. Los estudios muestran que los cambios en el recuento de células rojas y blancas y algunos de su índice confirma el estado de salud y la función inmune de los animales (Ndoutamia y Ganda, 2005; Soliman et al., 2012)

Debido a la alta variación en los índices y a la poca información referente a la hematología de las razas de ovinos adaptadas a las condiciones del trópico húmedo de México (Larios et al., 1976), se consideró como objetivo realizar la comparación de los principales índices hematológicos en ovinos infectados con nematodos gastrointestinales contra animales sanos.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en una unidad de producción de ovinos; ubicada en Pueblo Nuevo, Municipio de Salto de Agua, Chiapas (México), con latitud Norte 17° 34', longitud Oeste 92° 20' y una altura de 10 msnm. El clima predominante es Af (m) w' (i) g; siendo un clima cálido húmedo con lluvias todo el año. Con la precipitación del mes más seco superior a 60 mm y un porcentaje de lluvia invernal entre 10.2 y 18, con régimen de lluvias en verano y presencia de canícula; la temperatura promedio anual es de 26.6°C y la precipitación de 3,289.1 mm (García, 1988).

Se utilizaron dos grupos de corderos, 10 corderos machos Pelibuey sin infección recién destetados y desparasitados con levamisol a la dosis comercial (7.5 mg/Kg de peso vivo) y otro grupo de 30 corderos machos de la raza Pelibuey, de cinco meses de edad, los cuales se mantuvieron en estabulación con alimento comercial con 14 % de proteína cruda. Todos los animales del segundo grupo se infectaron con 100 Larvas en tercer estadio por kg de peso vivo por semana, durante cuatro semanas. Las principales especies del cultivo larvario fueron *Haemonchus contortus* (90%) y *Trichostrongylus colubriformis* (10%). Con los corderos se hicieron tres grupos de acuerdo a la eliminación de huevos de nematodos por gramo de heces (HPG) y solamente se utilizaron los datos de los animales clasificados como resistentes (HPG – 3 error estándar) y como susceptibles (HPG + 3 error estándar).

De los corderos del primer grupo se tomaron muestras de sangre sólo una vez y del grupo de corderos infectados a los 14 después de la infección y posteriormente a los 42 y 70 días. La sangre se obtuvo mediante punción de la vena yugular en tubos vacutainer con EDTA. Los recuentos de glóbulos rojos (RBC), volumen celular medio (VCM), concentración de hemoglobina (HGB), concentración de hemoglobina celular media (MCHC), número de glóbulos blancos (WBC), número de linfocitos (LINF), número de granulocitos (GRAN) y células de tamaño medio (MID) se obtuvieron con un analizador hematológico semiautomático (Medonic CA620, Boule Medical AB) y el cálculo de la proteína plasmática total se realizó por refractometría.

Los datos se analizaron usando el procedimiento GLM del paquete estadístico, para cada una de las variables, atendiendo a su escala de medición, se calculó el promedio, desviación estándar y medias. Todos los parámetros fueron analizados mediante el siguiente modelo:

$$Y_{ij} = \mu + \zeta_i + \gamma_j + \zeta\gamma_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

donde: Y_{ijk} = variable respuesta (HPG, índices hematológicos). μ = Media poblacional. ζ_i = Efecto fijo del i-ésimo tipo de animal (i=resistente, susceptible). γ_j = Efecto fijo del j-ésimo día de muestreo. $\zeta\gamma_{ij}$ = Efecto conjunto del tipo de animal con el tiempo. ε_{ijk} = Error aleatorio \sim NI (0, σ^2_e).

Para la comparación de los valores de las variables analizadas, se realizó la separación de medias mediante la prueba de Tukey.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los corderos sin infección mostraron mayor cantidad de glóbulos rojos, una mayor concentración de hemoglobina y mayor hematocrito que los corderos infectados con NGI (*H. contortus* en 90 % y *T. colubriformis* 10%). Aunque el nivel de infección no fue tan alto al recibir solamente 100 larvas por kg, los animales susceptibles tuvieron una reducción del hematocrito de 19% a los 42 días post-infección y de 15 % a los 70 días. La reducción también se observó en el número de glóbulos rojos como en la cantidad de hemoglobina. Sin embargo el VCM se incrementó ligeramente pero la concentración de hemoglobina se mantuvo constante (Cuadro 1).

En la serie blanca se observó que los conteos de glóbulos blancos fueron mayores en los corderos sin infección respecto a la de los corderos infectados. Y de los corderos infectados los susceptibles tuvieron menor número de glóbulos blancos. Mientras que en el conteo diferencial se pudo notar que

el porcentaje de linfocitos se incrementó a consecuencia de la infección, mientras que el número de granulocitos se mantuvo menor en corderos infectados tanto resistentes como en susceptibles (Tabla 1).

Cuadro 1: Media de cuadrados mínimos \pm desviación estándar de los valores hematológicos por tratamiento (Macho, Hembra) en corderos Pelibuey

Días	Sin parásitos (n=30)	Resistentes (n=9)			Susceptibles (n=6)			DE	P
		1	42	70	1	42	70		
Hematocrito (%)	31.18 \pm 1.18a	26.7b	25.8b	27.1b	29.2b	23.7c	24.9c	3.2	
Glóbulos rojos ($10^6 \mu\text{L}$)	8.66 \pm 2.41a	7.6b	6.8b	7.6b	8.1b	6.0b	6.7b	0.9	
Volumen celular medio (μm^3)	29.52 \pm 1.51a	34.9b	37.9b	35.8b	36.0b	40.2b	37.1b	2.2	
Hemoglobina (g dL^{-1})	11.19 \pm 0.63a	10.0b	9.0b	9.7b	10.1b	8.2b	8.5b	1.3	
Concentración de hemoglobina celular media (%)	35.88 \pm 5.22	37.3	35.0	35.6	34.4	34.4	34.2	2.5	
Glóbulos blancos ($10^3 \mu\text{L}$)	11.30 \pm 1.91a	8.4b	9.4b	7.9b	7.3b	8.9b	6.8b	2.0	
Linfocitos (%)	51.1a	61.2b	56.5b	61.2b	63.2b	57.3b	63.7b	8.5	
Medianos (%)	20.59a	27.2b	31.9b	29.0b	24.7b	31.6b	28.0b	6.6	
Granulocitos (%)	28.3a	11.6b	11.5b	9.8b	12.1b	11.1b	8.4b	3.0	
Proteína plasmática (g dL^{-1})	5.88 \pm 0.44b	6.04b	6.18a	6.31a	6.07b	6.13b	6.10b	0.42	

DE = Desviación estándar

Los valores observados en el número de glóbulos rojos y la hemoglobina celular media fueron similar a lo indicado en ovinos de distintas razas (Borjesson et al., 2000; Sousa et al., 2013). En los corderos sin infección la serie roja estuvo en los niveles normales, lo cual obedece a que los animales estuvieron libres de parásitos. Sin embargo, se observaron cambios asociados a lo largo del tiempo cuando los animales se infectaron y se observó una reducción muy marcada en el hematocrito, sobre todo en los animales susceptibles conforme transcurrió el tiempo. El cambio fue de 29.2% al inicio del estudio hasta 24.9 % a los 70 días. También los valores de hemoglobina se redujeron en el tiempo también en los animales susceptibles (Figura 1).

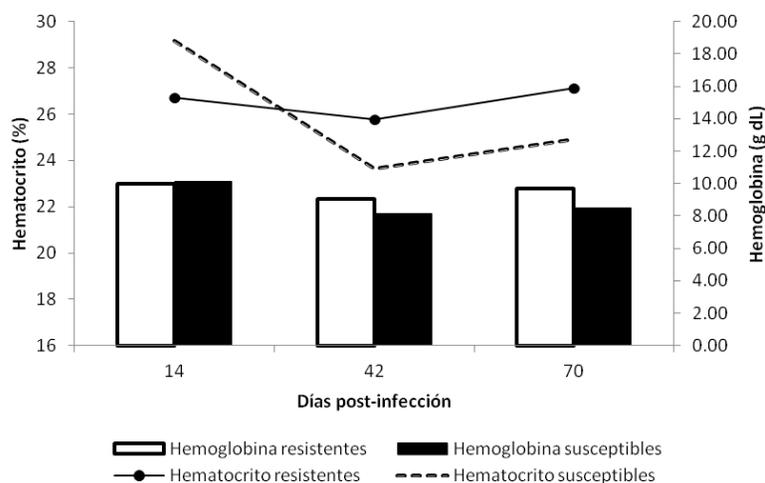


Figura 1. Nivel de hematocrito (%) y concentración de hemoglobina (g dL^{-1}) en corderos infectados experimentalmente con nematodos gastrointestinales hasta los 70 días de infección.

El número total de leucocitos fue ligeramente mayor que el indicado en ovinos Pelibuey (Larios et al., 1976) pero menor que el de los ovinos Bighorn (Borjesson et al., 2000), seguramente debido a las diferencias genéticas raciales.

CONCLUSIONES

Se concluye que los valores hematológicos en corderos desparasitados y libres de nematodos gastrointestinales se encuentran en el rango normal, mientras que en los animales infectados se reducen los principales parámetros como son hematocrito, número de glóbulos rojos y hemoglobina. Por otra parte se incrementa el número de linfocitos y se reduce el número de granulocitos como parte de la preparación del sistema inmune contra los nematodos gastrointestinales.

LITERATURA CITADA

- Andronicos, N.M., Henshall, J.M., Le Jambre, L.F., Hunt, P.W. and Ingham, A.B. 2014. A one shot blood phenotype can identify sheep that resist *Haemonchus contortus* challenge. *Veterinary parasitology*. 205(3-4): 595-605.
- Borjesson, D.L., Christopher, M.M. and Boyce, W. M. 2000. Biochemical and hematologic reference intervals for free-ranging desert bighorn sheep. *Journal of Wildlife Diseases*. 36(2): 294-300.
- García, E. 1988. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Cuarta edición. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 217 pp.
- Larios, F., Méndez, P.P.L., Tavera, F.T. y del Rosal, E.R. 1976. Fisiología del ovino tabasco o pelibuey en clima subtropical A (f) c; I. Hematología y niveles séricos de calcio, fósforo y magnesio. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. (30): 84-90.
- McManus, C., Paludo, G.R., Louvandini, H., Gugel, R., Sasaki, L.C.B. and Paiva, S.R. 2009. Heat tolerance in Brazilian sheep: physiological and blood parameters. *Tropical Animal Health and Production*. 41(1): 95-101.
- Ndoutamia, G. y Ganda, K. 2005. Determination des paramètres hematologiques et biochemiques des petits ruminants du Tchad. *Brasil. Revista Medicina Veterinaria*. 156(4): 202 - 206.
- Soliman, E.B., AKI, A.E.M. and Kassab, A.Y. 2012. Combined effect of vitamin E and selenium on some productive and physiological characteristics of ewes and their lambs during suckling period. *Egypt J Sheep Goat Sci*. 7(2): 31-42.
- Sousa, R.S., Barrêto-Júnior, R.A., Sousa, I.K., Chaves, D.F., Soares, H.S., Barros, I.O. and Ortolani, E.L. 2013. Evaluation of hematologic, blood gas, and select biochemical variables in ovine whole blood stored in CPDA-1 bags. *Veterinary clinical pathology*. 42(1): 27-30.
- Vanimisetti, H.B., Greiner, S.P., Zajac, A.M. and Notter, D.R. 2004. Performance of hair sheep composite breeds: Resistance of lambs to *Haemonchus contortus* 1. *Journal of animal science*. 82(2): 595-604.

EVALUACIÓN DE ALGUNOS PARÁMETROS RELACIONADOS CON LA PRODUCTIVIDAD DE LAS RAZAS OVINAS PELIBUEY Y BLACKBELLY
EVALUATION OF SOME PARAMETERS RELATED TO PRODUCTIVITY OF SHEEP BREEDS PELIBUEY AND BLACKBELLY

¹Rojas RO, ¹Murguía OM, ²Nah CHE

Campo Experimental Mocochoá, km 25 antigua carretera Mérida- Motul, Mocochoá, Yucatán, México, C.P. 97454. Tel: (55) 38718700 ext. 88203. INIFAP.

²Instituto Tecnológico de Conkal.

Autor para correspondencia: rojas.octavio@inifap.gob.mx

RESUMEN

El gran interés por los ovinos en los últimos tiempos, ha generado una demanda cada vez mayor de corderos, generándose rebaños en su mayoría de razas indefinidas, mismas que a la vez son apareadas con sementales de distintas razas y de orígenes desconocidos (no evaluados) desde el punto de vista genético y reproductivo. El trabajo se realizó en las instalaciones del Campo Experimental Mocochoá dependiente del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en el municipio de Mocochoá, Yucatán El experimento consistió en realización de un empadre semi-controlado con razas puras (Pelibuey y Blackbelly). Toda la información fue capturada y analizada en el programa SAS (ver 9.0). La variable fija fue: raza. Las Variables dependientes fueron: peso al nacer de corderos, kilogramos totales nacidos, peso al destete, kilogramos totales destetados y sobrevivencia de los corderos. También se estimaron algunas correlaciones entre variables importantes. Los resultados fueron: Para los pesos corporales de los corderos al nacer, pesos al destete, kilogramos totales al nacer y al destete se encontró mucha similitud entre las dos razas estudiadas siendo estadísticamente iguales entre sí ($P>0.05$). Los coeficientes de correlación entre tipo de parto y peso al nacer y peso al destete, fueron negativos y altamente significativo ($P>0.0001$), para el tipo de parto y Kilogramos totales al nacer y Kilogramos totales al destete de los corderos fueron estadísticamente altamente significativos ($P>0.0001$). La correlación entre el peso al nacer y peso al destete fue también altamente significativo ($P>0.0001$). Las conclusiones fueron que los pesos al nacer de los corderos, kilogramos totales (nacer y destete) de pesos corporales de corderos y la sobrevivencia de los corderos fueron altos y similares para las dos razas.

Palabras clave: *parámetros, productividad, ovinos, Pelibuey, Blackbelly.*

INTRODUCCIÓN

Perón *et al.*, (1988) mencionan que el peso al nacer constituye un aspecto importante en la viabilidad de los corderos durante los primeros días de nacidos. Por lo general, el peso al nacer de los corderos Pelibuey se encuentra comprendido entre 2,1 y 3,4 kg dependiendo del tipo de parto, aunque el sexo de la cría y el número de partos de la madre influyen significativamente. Los resultados alcanzados en Cuba en la Estación Experimental Ovino-Caprina son superiores a los encontrados por varios autores en México. Es probable que estas diferencias sean la consecuencia de los diferentes regímenes alimentarios empleados en una y otra región. En un análisis realizado en la Estación Experimental Ovino-Caprina se encontró que los corderos de partos simples fueron aproximadamente 22 por ciento más pesados que los de partos dobles y 40 por ciento en relación a los de partos triples. El número de partos de las ovejas también influyó en el peso al nacer de los corderos (Figura 2). El peso fue más elevado en las ovejas de segundo parto, descendiendo en los partos siguientes. El peso más bajo se manifiesta en las ovejas de primer parto, que representó 15 por ciento menos que las de segundo parto, Perón *et al.*,(1988). El objetivo del trabajo fue evaluar la información de algunos parámetros relacionados con la productividad de las razas ovinas Pelibuey y Blackbelly.

MATERIAL Y METODOS

Este trabajo se realizó en las instalaciones del Campo Experimental Mocochoá dependiente del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en el municipio de Mocochoá, Yucatán ubicado en la región centro norte del estado de Yucatán. El clima predominante en la región es cálido sub-húmedo (A_w0) con lluvias en verano, con una precipitación pluvial de 997 a

1132 mm y temperatura media anual de 26.5°C. Todas las borregas que participaron en el empadre fueron pesadas, marcados con cinta de colores en el cuello para poderlos separar al regreso del pastoreo y alimentados en pastoreo en praderas de pasto Tanzania, Mombasa y fueron suplementados con 250 g de un alimento comercial con 16% de PC; el suplemento fue aumentando conforme a la etapa reproductiva de las borregas. Se utilizó empadre semicontrolado con duración de 45 días con un total 122 borregas: 52 borregas de la raza Pelibuey y 70 borregas Blackbelly, entre los meses mayo – junio. Una vez terminado el empadre, a los 45 días se realizó el diagnóstico de gestación utilizando el Doppler. Los datos de registros se analizaron en el programa SAS (ver 9.0), a través de un modelo lineal, tomando en cuenta las siguientes variables: **Variable fija:** raza. **Variables dependientes:** peso al nacer de corderos, kilogramos totales nacidos, peso al destete, kilogramos totales destetados, y sobrevivencia de los corderos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el cuadro 1, podemos observar los pesos corporales de los corderos al nacer en las dos razas estudiadas, se ve mucha similitud entre los pesos de los corderos (Pb 2.8 kg vs Bb 2.9 kg) siendo estadísticamente iguales entre sí ($P>0.05$). En lo que se refiere al peso al destete también se observó bastante similitud en los pesos de los corderos al destete (Pb 14.2 kg vs Bb 15.8 kg), siendo estadísticamente iguales entre sí ($P>0.05$). Al analizar los kilogramos totales al nacer por borrega parida se encontró de igual forma bastante homogénea la información (Pb 3.78 kg vs Bb 3.75 kg), siendo estadísticamente iguales ($P>0.05$). Para los kilogramos totales destetados se encontró (18.44 kg vs 18.78kg), siendo estadísticamente iguales entre sí ($P>0.05$).

Cuadro 1.- Peso corporal en kg al nacer, al destete y kg totales de corderos al nacer y al destete de dos razas tropicales.

Variable	Razas		Promedio general de pesos
	Pelibuey	Blackbelly	
Peso al nacer	2.85 ± 0.53 _a	2.95 ± 0.73 _a	2.93 ± 0.66 _a
Peso al destete	14.28 ± 3.65 _a	15.80 ± 2.91 _a	15.15 ± 3.40 _a
Kilogramos totales Nacidos	3.78 ± 0.99 _a	3.75 ± 1.21 _a	3.76 ± 1.12 _a
Kilogramos totales Destetados	18.44 ± 0.98 _a	18.78 ± 6.12 _a	18.64 ± 6.02 _a

Macedo y Arredondo, (2007) encontraron peso al nacer de 2.6 a 2.8 kg en peso de corderos de la raza Pelibuey, siendo casi igual para la raza Pelibuey e inferior que lo encontrado en este trabajo. Kirenía *et al.*, (2011) encontraron en corderos de la raza Pelibuey los pesos al nacer de 2.95 a 3.0 kg siendo igual al peso al nacer en corderos de la raza Blackbelly e inferior a la raza Pelibuey. En otras razas cárnicas lanares, como son la Corriedale o Romney Marsh, los pesos al nacer son mayores con 3.4 a 4.0 kg, respectivamente siendo superiores a los encontrados en este trabajo con razas nativas, Revidatti *et al.*, (2004). Macías, (2010) evaluó ovinos de las razas katadhin, Dorper y Pelibuey encontraron los pesos al nacer de en promedio de 3.04 kg, 2.81 kg y de 2.96 kg, respectivamente siendo similar a los encontrado en este trabajo para las razas Pelibuey y Blackbelly. El único peso superior en promedio fue el de los corderos de la raza Katadhin. En lo que se refiere al peso al nacer, González *et al.*, (2010) encontraron en corderos de la raza Pelibuey de 1.63 kg, los más bajos, hasta de 2.0 kg, mientras que en este trabajo los peso al nacer en la raza Pelibuey fueron de 2.85 kg y para la raza Blackbelly de 2.95 kg, siendo superiores en 40% hasta un 70%.

En lo que se refiere al promedio de peso de la camada al destete, González *et al.*, (2010) encontraron pesos de 10.5 kg hasta de 13.3 kg, siendo inferiores a los presentados en este trabajo que fueron de 18.4 kg para la raza Pelibuey y de 18.7 kg para la raza Blackbelly. Ayudo mucho la buena condición corporal al momento de parir las borregas y la producción de leche que se mantuvo al continuar la suplementación de concentrado aunado a sus horas de pastoreo.

Macedo y Arredondo, (2007) trabajando con ovinos de la raza Pelibuey, comentan para sistemas de producción ovina extensivos, se ha identificado al sexo y al número de corderos nacidos por parto como dos de los factores que ejercen una mayor influencia sobre el crecimiento de los ovinos, por un lado los machos son más pesados y tienen mayor tasa de crecimiento que las hembras y por el otro los corderos provenientes de parto simple son más pesados que los corderos de parto múltiple, siendo lo que encontramos en el presente trabajo y contrastando con lo encontrado en trabajo de Macedo y

Arredondo,(2007) donde ellos trabajaron bajo condiciones de producción intensiva, encontrando que bajo de el tipo de nacimiento del cual provino la oveja no afectó el tamaño y el peso al nacimiento de la camada. El tipo de nacimiento del cordero afectó su peso y crecimiento del nacimiento al destete, mientras que el sexo afectó su desarrollo desde el nacimiento hasta los 180 días de edad.

Diferencias estadísticas entre filas (P>0.05).

En el Cuadro 2, el porcentaje de sobrevivencia para la raza Pelibuey fue de 96.29% y para la raza Blackbelly fue de 97.36%. Entre razas no se encontró diferencia estadística significativa para dicha variable evaluada (P>0.05).

La Importancia del incremento del peso al nacer de los corderos, repercute en la tasa de sobrevivencia, que se hace mayor y la tasa de mortalidad que se hace menor. González *et al.*, (2010) trabajaron con borregas de la raza Pelibuey en tres empadres bajo el esquema de empadres acelerados, cada 8 meses encontraron una mortalidad superior a lo encontrada en este trabajo del 5.2% hasta el 11.7%. Para este trabajo la mortalidad fue en la raza Pelibuey de 3.71 % (sobrevivencia de 96.29%) y para la raza Blackbelly fue de 2.64 % (sobrevivencia 97.36%), bajas ambas. El manejo favoreció para tener una baja mortalidad y con un empadre anual, vigilando condición y peso corporal de las borregas.

Cuadro 2. Efecto de la raza con respecto a la sobrevivencia de los corderos en razas tropicales

Raza	Porcentaje de sobrevivencia de los corderos
Pelibuey	96.29 ± 19.2 _a
Blackbelly	97.36 ± 16.2 _a

Diferencias estadísticas entre columnas (P>0.05).

En el cuadro 3 se muestran las correlaciones entre las variables de tipo de parto, peso al nacer, peso al destete, kilogramos totales nacidos (KTN) y kilogramos totales destetados (KTD). Resaltan los coeficientes de correlación entre tipo de parto y peso al nacer y peso al destete, siendo negativos y altamente significativo (P>0.0001), con -0.47 y -0.44 (P>0.05), respectivamente. Tipo de parto y KTN y KTD fueron de 0.76 y 0.70, siendo también altamente significativos (P>0.0001). El peso al nacer y peso al destete fue de 0.50, altamente significativo (P>0.0001).

Cruz *et al.*, (1998) encontraron que la correlación entre el peso y condición corporal fue de 0.47 y también encontraron que cada unidad de condición corporal tiene una equivalencia en el peso corporal de 2.41 kg, en la raza Pelibuey. Dicha correlación fue superior a la obtenida en este trabajo. Lo interesante también del trabajo de Cruz *et al.*, (1998) fue que también analizaron algunas constantes de sangre en las cuales de cuantificar a las borregas en tres condiciones corporales estas constantes sanguíneas (proteínas totales, albumina, urea y glucosa) al mejorar la condición corporal mejoran estas constantes también, lo que repercute en mejor alimentación y salud para las madres y en el futuro para los corderos. En otro trabajo, Molina *et al.*, (1991), encontraron que los valores de correlación fueron similares a los obtenidos en este trabajo en borregas de la raza Manchega en las correlaciones de peso corporal y tipo de parto 0.50 a 0.60. El porcentaje diferencial tuvo un rango del 40 a más del 70%. Carrera *et al.*, (2015) trabajaron con borregas y corderos de la raza Hampshire encontrando correlaciones genéticas del -0.48 entre el tipo de parto y peso al destete de los corderos, ligeramente superior al encontrado para el presente de trabajo de -0.44.

Cuadro 3. Correlaciones de las variables en los corderos.

Variables	Peso nacer corderos	Peso destete corderos	Kilogramos totales nacidos	Kilogramos totales destetados
Tipo de parto	-0.47 **	-0.44 *	0.76 **	0.70 **
Peso nacer corderos		0.50 **	0.13 ns	-0.17 ns

*Diferencias estadísticas entre columnas (P>0.05). ** Diferencias estadísticas entre columnas (P>0.0001). ns= no significativa.

CONCLUSIONES:

No se encontraron diferencias estadísticas en los parámetros de productividad evaluados en las razas Pelibuey y Blackbelly.

Las correlaciones genéticas evaluadas fueron estadísticamente significativas entre el tipo de parto y peso al nacer (negativa), peso al destete (negativa), kilogramos totales al nacer y al destete. El peso al nacer se correlacionó con el peso al destete.

LITERATURA CITADA:

- Carrera I., Chávez J., Meza E. 2015. Parámetros Genéticos e Índices de Selección para Corderos y Borregas Hampshire bajo Crianza Intensiva en un Rebaño de la Costa Central del Perú. *Rev. Inv. Vet. Perú*; 26(1): 66-76.
- Cruz M., E., García M. G., Miranda M. G., León Á. E. y Fonseca J. Y. 1998. Relación entre peso vivo, condición corporal e indicadores bioquímicos de la nutrición en ovejas vacías y secas de la raza Pelibuey. Nota breve. Universidad de Granma. Cuba. *Archivos de zootecnia* vol. 48, núm. 182, p. 224.
- González G. R, Torres H. G y Javier Arece G. J. 2010. Comportamiento productivo y reproductivo de ovinos Pelibuey en un sistema de pariciones aceleradas con tres épocas de empadre al año. *Zootecnia Trop.*, 28(1): 51-56. Universidad Autónoma Chapingo.
- Kirenia P.C., Norge F.F., Jaime V.A., Niurky R.G., Aroldo B.L. 2014. Utilización de la Leucaena leucocephala como alimento local para la oveja Pelibuey durante la gestación. *Revista Granma Ciencia*. Vol. 18, no. 1 enero - abril 2014. ISSN 1027-975X. http://www.grciencia.granma.inf.cu/vol%2018/1/2014_18_n1_a5.pdf
- Macedo, R. y Arredondo V. 2007. Efecto del sexo, tipo de nacimiento y lactancia sobre el crecimiento de ovinos Pelibuey en manejo intensivo. *Archivos de zootecnia* vol. 57, núm. 218, p. 220.
- Macías C.U. 2010. Eficiencia productiva de ovinos de pelo y el uso de subproductos agroindustriales en la alimentación de corderos en el norte de México. Tesis para obtener el grado de Doctor en Ciencias Agropecuarias. Universidad Autónoma de Baja California. Instituto de Ciencias Agrícolas.
- Molina A., Gallego L. y Sotillo J.L. 1991. Evolución anual del peso vivo y de la nota de condición corporal de ovejas de raza Manchega en diferentes estados productivos. Universidad de Murcia, España. *Archivos de zootecnia* vol. 40, pp. 237-249.
- Perón N., T. Limas y J.L. Fuentes. 1988. Estación Experimental Ovino-Caprino. Centro de Investigación para el Mejoramiento Animal, Carretera Central, km 21,5, Cotorro, La Habana, Cuba. <http://www.fao.org/docrep/t8600t/t8600T0g.htm>
- Revidatti, M. A., Capellari, A., Rebak, G.I. , Domínguez I., Felipe H. 2004. Crecimiento de corderos hasta el destete de razas doble propósito y triple cruce en la provincia de Corrientes. Cátedra de Introducción a la Producción Animal. Departamento de Producción Animal. Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad Nacional del Nordeste (UNNE). Corrientes, Argentina. *Estación Experimental Agropecuaria-INTA-Mercedes. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. <http://www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/com2004/4-Veterinaria/V-057.pdf>.

PRODUCCIÓN DE VACUNA CONTRA LA BABESIOSIS BOVINA EN UN BIORREACTOR DE PERFUSIÓN

PRODUCTION OF A BOVINE BABESIOSIS VACCINE BY USING A PERFUSION BIOREACTOR

Álvarez Martínez JA, Rojas-Martínez C, Figueroa Millán JV

CENID-Parasitología Veterinaria INIFAP. Carr. Fed. Cuernavaca-Cuautla No. 8534, Col. Progreso, Jiutepec, Morelos, México. C.P. 62550.

Autor para correspondencia: alvarez.jesus@inifap.gob.mx

RESUMEN

La babesiosis bovina es la enfermedad de mayor importancia transmitida por vectores que afecta al ganado bovino en el trópico; no obstante en México no existe ninguna vacuna. Lo cual, exige la producción de inmunógenos y antígenos para la prevención de esa enfermedad. El objetivo fue mejorar la eficiencia del cultivo *in vitro* de *Babesia bovis* y *B. bigemina* mediante un incremento en la densidad de eritrocitos y la incorporación de un bioreactor de perfusión. El cultivo se restableció a partir material criopreservado en nitrógeno líquido (-196°C) en placas de cultivo de 24 pozos se agregó una suspensión de 10% de eritrocitos, se colocó medio comercial M-199 suplementado con 40% de suero de bovino adulto (v/v). El cultivo se mantuvo en incubación a 37°C, en una atmósfera a 5% O₂, 5% CO₂, 90% N₂. El cambio de medio fue cada 24 h con subcultivo cada 72 h. La expansión se hizo en botellas de 25 y de 225 cm². Simultáneamente se usó un bioreactor. Al comparar en la cosecha el porcentaje de eritrocitos parasitados (PEP) con el bioreactor se obtuvo el mayor valor. Con *B. bovis* hubo diferencia significativa ($p < .05$) 29.9% vs 8.2% en botellas. Similarmente con *B. bigemina* con bioreactor se alcanzó 28.5% vs 6.5% en botellas. Es primer reporte de cultivo *in vitro* de *B. bovis* y *B. bigemina* con alta densidad de eritrocitos y del uso de un bioreactor. Se concluye que el uso de un bioreactor para el cultivo *in vitro* de *Babesia bovis* y *B. bigemina* representa un desarrollo tecnológico del escalamiento que permite producir material vacunal y de antígenos para la prevención y control de la babesiosis bovina que afecta al ganado bovino en las regiones tropicales y subtropicales.

Palabras clave: babesiosis; vacuna atenuada; reactor de perfusión; *Babesia bovis*; *Babesia bigemina*

INTRODUCCION

La babesiosis bovina es una enfermedad causada por parásitos del género *Babesia* spp., en México se reconocen las especies *Babesia bovis* y *B. bigemina*, ambas son transmitidas por la garrapata *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* y *R. annulatus* (Purnell, 1981; Bock *et al.*, 2004). Se considera que es la enfermedad más importante del ganado bovino transmitida por vectores. Su distribución es muy amplia en las regiones tropicales y subtropicales. Clínicamente se manifiesta por fiebre, anemia, hemoglobinuria y la muerte de los animales (Mc Cosker, 1981; Vega *et al.*, 1986).

Así mismo, es uno de los mayores obstáculos para el mejoramiento de la ganadería tropical debido a que bovinos especializados en producción de leche y/o carne son altamente susceptibles, y generalmente son movilizados a explotaciones en donde existen altas prevalencias de *Babesia* spp. y la presencia de poblaciones de garrapatas resistentes a los ixodicidas (Rodríguez *et al.*, 2006). En esas condiciones regularmente se presentan brotes con altas tasas de morbilidad y mortalidad en ocasiones superiores al 50% (Álvarez y Cantó, 1985). Para establecer un programa de control integral se debe incluir: el uso de garrapaticidas, quimioterapia, quimioprofilaxis, ganado resistente a garrapatas, y la inmunización para prevenir la presentación clínica de la babesiosis en ganado susceptible (Rodríguez-Vivas *et al.*, 2017).

El control de la enfermedad, anteriormente se hacía por subinoculación de sangre de un bovino portador a bovinos susceptibles; este procedimiento conllevaba serios inconvenientes como la transmisión de otras enfermedades tales como brucelosis, tuberculosis, etc., y causaba brotes agudos de babesiosis con alta mortalidad (Álvarez, 1991; Pipano, 1969). La subinoculación o premunición es el antecedente al desarrollo de diferentes tipos de inmunógenos; de donde derivaron las vacunas vivas atenuadas, que hasta ahora son las únicas que han mostrado efectividad en términos de protección (Bock, 1995; Shkap *et al.*, 2007). En estas se han incluido las especies *Babesia bovis* y *B. bigemina*, que son las especies más importantes no solo en México sino en el mundo desde el punto de vista económico, por las pérdidas que causan en la ganadería tropical. En México, la babesiosis

asociada a la infestación por garrapatas se ha estimado que causa pérdidas por 573.61 millones de dólares por año (Rodríguez-Vivas *et al.*, 2017). En la generación de vacunas vivas se han usado las atenuadas por pases múltiples en becerros esplenectomizados; las que existen en Australia, Argentina, Brasil, Uruguay e Israel (Callow & Mellors, 1966; Bock & De Vos, 2001; De Castro, 1997). Con ese tipo de vacunas se ha observado regresión a virulencia, y variabilidad en el grado de protección, además un complicado manejo (Rogers *et al.*, 1988). Por otra parte, surgió el cultivo *in vitro* de *Babesia* a través del que se ha demostrado la atenuación de diferentes especies de *Babesia* (Erp *et al.*, 1978). El cultivo *in vitro* de *B. bovis* consiste en una suspensión de eritrocitos al 10% y un medio de cultivo suplementado con suero bovino al 40%, que se mantiene a 37°C en una atmósfera de 5 % CO₂ en aire (Erp *et al.* 1980). Similarmente el de *B. bigemina* se ha descrito por Vega (1985b). Esta metodología se ha utilizado para la crío-preservación en nitrógeno (-196°C), la clonación, estudios de comportamiento metabólico, reproductivo, evaluaciones de drogas; pero de manera primordial se han generado cepas atenuadas que han tenido resultados muy favorables para su uso como inmunógenos (Rodríguez *et al.*, 1983; Vega *et al.*, 1986; Rodríguez *et al.*, 1994; Rudzinska *et al.*, 1981).

En México contra la babesiosis bovina, no existe ninguna vacuna, el CENID Parasitología Veterinaria del INIFAP posee diferentes clones de *Babesia*. También tiene instrumentado el proceso del cultivo *in vitro*. Con lo cual, se ha producido material biológico que ha sido evaluado como inmunógeno en condiciones controladas y de campo, con el que se ha demostrado protección del 80% de animales susceptibles vacunados (Cantó *et al.*, 1996; Figueroa *et al.*, 1998; Cantó *et al.*, 2003a; 2003b; Álvarez *et al.*, 2004). Inclusive el mismo inmunógeno en ganado nativo de áreas endémicas ha inducido protección en el 90% animales vacunados (Ojeda *et al.*, 2010).

Es trascendental señalar que el proceso del cultivo *in vitro* se ha ejecutado prácticamente de la misma manera desde hace más de 30 años. Lo que ha hecho notar su baja eficiencia, se limita a usar una proporción de eritrocitos de apenas 5-10% (Rojas *et al.*, 2006). La cosecha de material alcanza un bajo porcentaje de eritrocitos parasitados (3-7%) (Rojas *et al.*, 2006). Con esos parámetros es difícil producir inmunógeno para uso masivo de ganado en el trópico, particularmente si se considera que una dosis debe contener 1x10⁷ o 1x10⁸ eritrocitos infectados como material fresco o congelado, respectivamente. Además se incluyen *B. bovis* y *B. bigemina* cada especie con diferentes características en su mantenimiento y proliferación *in vitro*. Por lo que el objetivo de este desarrollo tecnológico fue mejorar la eficiencia del cultivo *in vitro* de *B. bovis* y *B. bigemina* mediante un incremento en la densidad de eritrocitos y la incorporación de un bioreactor de perfusión.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización. El proyecto se realizó en la Unidad de Babesiosis del CENID-PAVET en Jiutepec, Morelos.

Animales Experimentales. Como donador se utilizó un bovino *Bos taurus* libre de brucelosis, tuberculosis, anaplasmosis y babesiosis. El sustrato (suero-eritrocitos) se obtuvo a partir de recolección de sangre completa de la vena yugular, mediante procedimiento previamente descrito por Vega (1985b). Posterior a la separación del suero y eritrocitos, se mantuvieron a -70° C y 8°C, respectivamente hasta su uso.

Parásitos experimentales. Se utilizaron dos clones, una de *B. bovis* y una de *B. bigemina* previamente atenuadas y mantenidas en propagación continua en cultivo *in vitro*, alternada con criopreservación en nitrógeno líquido.

Cultivo *in vitro* de *Babesia bovis* y *B. bigemina*. La metodología se realizó conforme a lo previamente reportado por nuestro grupo. Se utilizó el medio 199 (M199), amortiguado con TES y suplementado con suero de bovino 40% (v/v), adicionado con bicarbonato de sodio y antibiótico (penicilina/estreptomycin) ajustando el pH a 7.2. El medio se esterilizó usando filtros de 0.22 micrómetros de diámetro. El restablecimiento del cultivo *in vitro* se hizo a partir del descongelamiento de material críoestabilizado, que se lavó y fue adicionado con una suspensión de eritrocitos al 10% con medio completo. El material se colocó en placas de cultivo de 24 pozos, y se mantuvieron a 37°C en una atmósfera de 5% O₂, 5% CO₂ y 90% N₂. El medio de cultivo fue retirado cada 24 h y los subcultivos se realizaron cada 72 h. Para la expansión de los pozos se cambió a botellas de 25, 75 y 225 cm² manteniendo las mismas condiciones de incubación. La proporción de eritrocitos se evaluó al 15 y 50% en las botellas de 225 cm². El monitoreo del crecimiento y proliferación de *B. bovis* y *B. bigemina* se hizo diariamente mediante la observación de frotis teñidos con Giemsa.

Escalamiento del cultivo en un biorreactor. El biorreactor de perfusión (FiberCell® System, MD, USA) es un cartucho de fibras permeables con una superficie de 2100 cm² y un sistema de tubos que se conecta del cartucho a un frasco que contiene el medio de cultivo, y se complementa el equipo con una bomba peristáltica. El inóculo del biorreactor fue un paquete de 5 ml con un porcentaje de eritrocitos parasitados (PEP) de 7%. En el espacio interior del cartucho se incluyeron 100% de eritrocitos no infectados para los subcultivos en un volumen de 50 ml vs. el 5% antes descrito en pozos y botellas. Se usaron 250 ml de medio de cultivo completo cada 24 h, que se mantenían en continua circulación por la bomba peristáltica. Además se mantuvieron las mismas condiciones 37°C y una atmósfera de 5% O₂, 5% CO₂ and 90% N₂. El PEP se determinaba cada 24 h por la observación microscópica de frotis teñidos con Giemsa. La metodología descrita fue similar para cada especie de *Babesia*.

Evaluación de la proliferación de *Babesia bovis*. Diariamente se determinaba el porcentaje de eritrocitos parasitados (PEP), para de acuerdo al nivel observado se realizan el subcultivos-expansión, o en su caso subcultivo-cosecha. La eficiencia del nuevo procedimiento se estimó determinando el total de biomasa por cosecha de material recuperado expresado en número de eritrocitos parasitados por día.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Babesia bovis. En el cultivo de *B. bovis* al pasar de botellas de 25 cm² al biorreactor, el PEP alcanzó 29.9% usando 100% de paquete de eritrocitos en 48 h, en contraste los valores de PEP fueron 8.2% y 8.0 usando 15 y 50% de paquete de eritrocitos en botellas de cultivo de 225 cm² (Cuadro 1). En el biorreactor se cosechó cada 24 h; en las botellas la cosecha fue cada 48 h debido al menor PEP observado. La cosecha expresada en número de dosis vacunales (1x10⁸ eritrocitos infectados/dosis) resultó 17.3 y 5.2 veces mejor el biorreactor que las botellas con 15% y 50% de eritrocitos, respectivamente.

Cuadro 1: *Babesia bovis*: Cultivo *in vitro* en botellas y en biorreactor con diferentes proporciones de eritrocitos como sustrato.

Tratamiento	Contenedor	^a Eritrocitos (%)	Volumen (ml)	PEP	^b Número dosis
I	Botella	15	120	8.2 ^a	432
II	Botella	50	120	8.0 ^a	1440
III	Biorreactor	100	50	29.9 ^b	7475

^a Proporción o densidad de eritrocitos. PEP: porcentaje de eritrocitos parasitados (promedio) durante tres ciclos, considerando subcultivo cada 48 h en las botellas y cada 48 h en el biorreactor. Los tres tratamientos se realizaron simultáneamente, literales diferentes indican significancia estadística (P<.05). ^b Dosis vacunal (1x10⁸ eritrocitos infectados) producidas en un periodo de seis días, en botellas con tres subcultivos / cosechas, en el biorreactor con cinco subcultivos/ cosechas.

Babesia bigemina. Con esta especie al cambiar al biorreactor el PEP incrementó de 7% a 28.5% con un paquete 100% de eritrocitos. En las botellas los valores de PEP fueron inferiores 6.5% y 5.8% con 15 y 50% de eritrocitos, respectivamente (Cuadro 2). En el biorreactor el alto valor de PEP permitió hacer la cosecha cada 24 h. En contraste, en las botellas por los bajos PEP se hizo cada 48 h. Con base en el número de dosis vacunales el biorreactor fue 20.3 y 6.8 veces mejor que las botellas.

Es primer reporte de cultivo *in vitro* de *B. bovis* y *B. bigemina* con alta densidad de eritrocitos y del uso de un biorreactor de perfusión. Se demostró un notable incremento en el porcentaje de eritrocitos parasitados para ambas especies de *Babesia*. El uso de biorreactores se ha aumentado en la última década para el cultivo de bacterias, protozoarios, células animales y de plantas (Dalton *et al.*, 2012; Srivastava *et al.*, 2016). La efectividad del biorreactor en la proliferación de *Babesia*, eventualmente fue debida al movimiento continuo del medio, por ende al flujo homogéneo de nutrientes y de gas. Además la velocidad controlada sin causar la lisis de los eritrocitos. Adicionalmente el diseño del biorreactor facilitó la alta densidad de eritrocitos en el interior del cartucho, lo que al mismo tiempo permite la eliminación de metabolitos tóxico para los parásitos. Este desarrollo demostró la obtención continua de altos niveles de parásitos en menor tiempo para la producción de inmunógenos y antígenos para la prevención y diagnóstico de la babesiosis bovina. Previamente se había sido documentado el cultivo de *Plasmodium falciparum*, con lo que se demostró que el uso de un biorreactor tenía una equivalencia a 25 botellas de cultivo de 223 cm² (Preechapornkul *et al.*, 2010). En la operación del cultivo se debe hacer notar la reducción en el riesgo de contaminación asociada a menos manipulación del material durante el proceso. La innovación que se propone, produce altos

niveles de parásitos que hacen posible la disponibilidad de inmunógenos y antígenos para la prevención y diagnóstico de la babesiosis bovina.

Cuadro 2. *B. bigemina*: Cultivo *in vitro* en botellas de cultivo y en biorreactor.

Tratamiento	Contenedor	Eritrocitos (%)	PEP	^b Número dosis
I	Botella	15	6.5 ^a	351
II	Botella	50	5.8 ^a	1044
III	Biorreactor	100	28.5 ^b	7125

^a Proporción o densidad de eritrocitos. PEP: Porcentaje de eritrocitos parasitados durante tres ciclos. Literales diferentes indican significancia estadística (P<.05). ^b Dosis vacunales producidas en un periodo de seis días.

CONCLUSIONES

La incorporación del biorreactor de perfusión en el cultivo *in vitro* de *Babesia bovis* y *Babesia bigemina* permite el uso de altas densidades de eritrocitos de hasta 100%. El porcentaje de eritrocitos parasitados se incrementa notablemente (30%) por ser un sistema dinámico, y facilita la cosecha continua de material biológico. Se acorta el tiempo requerido para la producción de material inmunogénico. Además se incrementa marcadamente el número de dosis vacunales con biorreactor en relación con el sistema estacionario en botellas de cultivo. Por lo que se debe considerar que este desarrollo tecnológico puede facilitar el escalamiento mayor para la producción y uso masivo de inmunógenos contra la babesiosis bovina en las regiones tropicales del País.

LITERATURA CITADA

- Álvarez MJA., Cantó A.G. 1985. Epidemiología de la babesiosis. En: Parasitología. Vol. Conmemorativo de la Sociedad Mexicana de Parasitología. S.C. México, D.F. 55-72.
- Álvarez M.J.A. 1991. Métodos más comunes para la prevención de la babesiosis. Segundo Seminario Internacional de Parasitología Veterinaria Animal: Garrapatas y enfermedades que transmiten. Oaxtepec, Mor. México. Octubre 9-11, pp 200-208.
- Álvarez J.A., Ramos A.J., Rojas E., Mosqueda J.J., Vega M.C.A., Olvera A., Figueroa M.J., Cantó A.G. 2004. Field challenge of cattle vaccinated with a combined *Babesia bovis* and *Babesia bigemina* frozen immunogen. Anns. of the NY Acad. of Scie. 10262: 77-283.
- Bock, R.E., de Vos, A.J., Lew, A., Kingston, T.G., Fraser, I.R., 1995. Studies on failure of T strain live *Babesia bovis* vaccine. Aust. Vet. J. 72, 296-300.
- Bock RE & De Vos AJ. 2001. Immunity following use of Australian tick fever vaccine: a review of the evidence. Aust.Vet J. 79(12):832-839.
- Bock RE, Jackson L, De Vos AJ, Jorgensen W. 2004. Babesiosis of cattle. Parasitology. 129: 247-249.
- Callow L.L. & Mellors L.T. 1966. A new vaccine for *Babesia argentina* infection prepared in splenectomised calves. Aust. Vet. J. 42: 464-467.
- Cantó A.G., Figueroa M.J.V., Álvarez M.J.A., Ramos A.J.A., Vega M.C.A. 1996. Capacidad inmunoprotectora de una clona irradiada de *Babesia bovis* derivada del cultivo *in vitro*. Tec.Pec.Mex. 34(3): 127-135.
- Cantó, G.J., Álvarez M.J., Rojas, E.E., Ramos, J.A., Mosqueda, J.J., Vega, C.A., Figueroa, M.J., 2003^a. Protección contra babesiosis bovina con una vacuna mixta de *Babesia bovis* y *Babesia bigemina* derivada de cultivo *in vitro* bajo en una confrontación de campo. Inmunización en un área libre de la enfermedad. Vet Mex 34(04): 323-332.
- Cantó, A., Rojas, R., Álvarez, M., Ramos, A., Mosqueda, G., Vega, M., Figueroa, M., 2003^b. Protección contra babesiosis con una vacuna mixta de *Babesia bovis* y *Babesia bigemina* derivada de cultivo *in vitro* bajo una confrontación de campo. II. Inmunización en un área endémica. Téc. Pec. Méx.: 41: 307-315.
- Dalton, J.P., Demanga, C.G., Reiling, S.J., Wunderlich, J., Eng, J.W.L., Rohrbach, P. 2012. Large-scale growth of the *Plasmodium falciparum* malaria parasite in a wave bioreactor. Int. J.Parasitol. 42:215-220.
- De Castro JJ. 1997. Sustainable tick and tick borne disease control in livestock improvement in developing counties. Vet. Parasitol. 71: 77-97.

- Erp, E.E., Gravely, S. M., Smith, R.D., Ristic, M., Osorno, M. and Carson, C.A. 1978. Growth of *Babesia bovis* in bovine erythrocyte cultures. *Am.j.Trop.Med.Hyg.* 27: 1061.
- Erp, E.E., Smith, R.D., Ristic, M. and Osorno, B.M. 1980. Continuous cultivation *in vitro* of *Babesia bovis*. *Am.J.Vet.Res.* 41:1141-1142.
- Figueroa JV, Cantó AG, Juárez FJ y Ruiz LF, 1984. *Babesia bovis*: Establecimiento y condiciones óptimas de multiplicación. *Téc. Pec. Méx.*, 46: 46.
- Figueroa V.J., Cantó A.G., Álvarez M.J.A., Lona R., Ramos J.A., Vega M.C.A. 1998. Capacidad protectora en bovinos de una cepa de *Babesia bigemina* derivada del cultivo *in vitro*. *Tec.Pec.Mex.* 36(2) 95-107.
- Figueroa J.V, Álvarez M.A. 2007. Vacunas contra la babesiosis bovina: Actualidad y perspectiva. Simposio Internacional: Garrapatas, Babesiosis y Anaplasmosis. FMVZ-UAT. Cd. Victoria Tamaulipas. 82-96.
- Gray JS, Dautel H, Estrada PA, Kahl O, Lindgren E. 2008. Effects of climate on ticks and tick-borne diseases in Europe. *Intediscip Perpectives on Infectious Diseases*. doi: 10.1155/2009/593232
- Levy, M. and Ristic, M.: *Babesia bovis*: Continuous cultivation in a microaerophilus stationary phase culture. *Science* 207: 1218-1220. 1980.
- Mahoney D.F. & Ross D.R. 1972. Epizootiological factors in the control of bovine babesiosis. *Aust. Vet. J.* 48: 292-298.
- Mc Cosker P.J. 1981. The global importance of Babesiosis. In *Babesiosis*. Ristic, M & Kreir, J. P. Ed. Miograd. New York U.S.A. Academic. Press. 1-19 pp.
- Ojeda JJ, Orozco VL, Flores R, Rojas MC, Figueroa MJV, Álvarez MJA. 2010. Validation of an attenuated live vaccine against babesiosis in native cattle in an endemic area. *Transboundary and Emerging Diseases* (57): 84-86.
- Palmer DA, Buening GM, Carson CA. 1982. Cryopreservation of *Babesia bovis* for *in vitro* cultivation. *Parasitol.* 84(3):567-572.
- Pipano E. 1969. Immunization of cattle against *Babesiella berbera* infection. I. Infection of cattle with blood form patent and latent carriers. *Refuah Veterinarith.* 26: 11-18.
- Preechapornkul, P., Chotivanich, K., Imwong, M., Dondorp, A.M., Lee, S.J, Day, N.P., White, N.J., Pukrittayakamee, S., 2010. Optimizing the culture of *Plasmodium falciparum* in hollow fiber bioreactors. *Southeast Asian J. Trop. Med. Public Health.* 41(4):761-769.
- Purnell, R. E. 1981. Babesiosis in various hosts. In: *Babesiosis*. Ristic, M and Kreir, J. P. Ed. Miograd. New York U.S.A. Academic Press. 25-32. pp.
- Ristic, M., 1980. Protozoal diseases, Ed. By Amstutz, H.E., American Veterinary Publications Inc., Santa Barbara, California, USA. 355-357 pp.
- Rodriguez, S.D., Buening, G.M., Green, T.J. and Carson, C.A. 1983. Cloning of *Babesia bovis* by *in vitro* cultivation. *Imm.* 42: 15-18. 1983.
- Rodríguez-Vivas, R.I., Trees, J.A., 1994. Utilización del cultivo *in vitro* de *Babesia bovis* para evaluar la efectividad de babesicidas. *Rev. Biomed.* 5, 133-139.
- Rodríguez-Vivas, R.I. Grisi, L., Pérez de León A.A., Silva, V.H., Torres-Acosta J.F.J. Frago, S.H., Romero, S.D., Rosario, C.R., Saldierna, F., García, C.D. 2017. Potential economic impact assessment for cattle parasites in Mexico. *Review. Rev. Mex. Cienc. Pecu.* 8, 61-74.
- Rodriguez VR, Díza AM, Arevalo R, Frago SH, Santamaria H, Cruz RR. 2006, Prevalence and potential risk factors for organophosphate and pyrethroid resistance in *Boophilus microplus* ticks on cattle ranches from the State of Yucatan, Mexico. *Vet Parasitol* 136: 335-342.
- Rogers RJ, Dimmocki CK, de Vos AJ, Rodwell BJ. 1988. Bovine leucosis virus contamination of a vaccine produced *in vivo* against bovine babesiosis and anaplasmosis. *Aust. Vet. Journal.* 65(9):285-287.
- Rojas, M.C., Figueroa, M.J.V., Alvarado, A., Mejía, P., Mosqueda, J.J., Falcón, A., Vega, M.C.A., Álvarez, J., 2006. Bovine babesiosis live vaccine production: Use of gamma irradiation on the substrate. *Ann. New York Acad. Sci.* 1081, 405-416.
- Rudzinska. A.: Morphologic aspects of Host- Cell-Parasite Relationships in Babesiosis. Ed. Miodrag Ristic and Julius P. Kreier, 87-141. Academic Press Inc. New York, U.S.A., 1981.
- Shkap, V., de Vos, A.J., Zwegarth, E., Jongejan, F., 2007. Attenuated vaccines for tropical theileriosis, babesiosis and heartwater: the continuing necessity. *Trends Parasitol.* 23, 420-426.
- Srivastava, S., Pasipanodya, J.G., Ramachandran, G., Deshpande, D., Shuford, S., Crosswell, H.E., Cirrincione, K.N., Sherman, C.M., Swaminathan, S., Gumbo, T., 2016. A long-term co-perfused

- disseminated tuberculosis-3D liver hollow fiber model for both drug efficacy and hepatotoxicity in babies. *E. BioMed.* 6:126-138.
- Timms, P. 1980. Short term cultivation of *Babesia* species. *Res.Vet.Sci.* 29: 102-104.
- Vega, C., Buening, G., Green, T., Carson, A. 1985a. *In vitro* cultivation of *Babesia bigemina*. *Am. J. Vet. Res.* 46: 416-420.
- Vega, C.A., Buening, G.M., Rodriguez, S.D., Carson, C.A., McLaughlin, K. 1985b. Cryopreservation of *Babesia bigemina* for *in vitro* cultivation *Am. J. Vet. Res.* 46: 421-423.
- Vega, C.A., Buening, G.M., Rodriguez, S.D., and Carson, C.A. 1986. Cloning of *in vitro* propagated *Babesia bigemina*. *Vet. Parasitol.* 22(3-4): 223-233.

***Babesia bovis*: CULTIVO IN VITRO EN MEDIO LIBRE DE SUERO BOVINO**
Babesia bovis: IN VITRO CULTIVATION IN BOVINE SERUM FREE MEDIUM

¹Rojas-Martínez C, ¹Álvarez Martínez JA, ²Rodríguez-Vivas RI, ¹Figuerola Millán JV

¹CENID-Parasitología Veterinaria INIFAP. Carr. Fed. Cuernavaca-Cuatla, No. 8534, Col. Progreso, Jiutepec, Morelos, C.P. 62550, México.

² Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. FMVZ, Universidad Autónoma de Yucatán, km. 15.5 Carretera Mérida-Xmatkuil, Mérida, Yucatán, México
Autor por correspondencia: rojas.carmen@inifap.gob.mx

RESUMEN

Para el cultivo *in vitro* de *Babesia bovis* el suero es indispensable para su óptima proliferación, el medio tradicionalmente utilizado es el M-199 con sales de Earle's (M-199) y es suplementado con 20-40-% (v/v) de suero bovino (SB). Es necesario disponer de un medio de cultivo que permita la eliminación del SB por lo que los objetivos de este trabajo fueron seleccionar un medio de cultivo alternativo, eliminación del SB el efecto de la adición de la mezcla de insulina (ins), transferrina (trans) y selenito (sel) como sustitutos del SB en la proliferación *in vitro* de *Babesia bovis*. El tratamiento con el medio de cultivo Advanced DMEM/F12 (A-DMEM/F12) fue con el que se alcanzó el máximo porcentaje de eritrocitos parasitados (PEP) de 9.59%. Con el uso de este medio se logró eliminar el SB y alcanzar un PEP del 7.08% al día cuatro post-inicio del cultivo. Con el medio A-DMEM/F12 suplementado con la concentración de la mezcla de ins-trans-sel (2000 mg/L, 1100 mg/L, 1.34 mg/L) respectivamente, demostró un incremento constante alcanzando un máximo PEP del 9.7%. Se concluye que el medio de cultivo A-DMEM/F12 suplementado con una concentración definida de ins-trans-sel mejora la proliferación de *B. bovis* sin el uso de suero bovino. Esto podría ser de gran utilidad para producción de vacuna contra *B. bovis* derivada del cultivo.

Palabras clave: *Babesia bovis*, cultivo *in vitro*, insulina-transferrina-selenito, medio libre de suero

INTRODUCCION

La babesiosis bovina es una enfermedad causada por parásitos protozoarios intraeritrocíticos del género *Babesia* que son transmitidos por la garrapatas *Rhipicephalus microplus* (Bock *et al.*, 2004). En México las especies que afectan al ganado son *Babesia bovis* y *B. bigemina* (Álvarez y Cantó, 1985; Solís, 1991); *B. bovis* es considerada la especie más virulenta (Vial y Gorenflot, 2006). El cultivo *in vitro* de este parásito consiste básicamente en la suspensión de eritrocitos de un bovino donador en un medio de cultivo comercial (M-199 con sales de Earle's) (M-199) suplementado con de suero de bovino adulto (Bautista-Garfias *et al.*, 2015). Esa metodología ha facilitado la producción de antígeno para diagnóstico y material biológico con el que se han realizado estudios sobre la patogenicidad e inmunogenicidad (Hernández *et al.*, 1990; Rodríguez-Vivas *et al.*, 2007), y la secuenciación de su genoma entre muchos otros usos (Brayton *et al.*, 2007). No obstante que el cultivo *in vitro* de *Babesia* está establecido, posee una baja eficiencia, debido a que requiere el uso de una proporción muy elevada de suero bovino (SB) al 40%. La metodología tradicional (M-199 + 40% SB) no ha permitido eliminar el SB, lo cual, es una seria desventaja debido a que en el suero existen más de 1000 elementos, que comprenden proteínas, lípidos, carbohidratos, hormonas, electrolitos, enzimas y otros factores no definidos (van der Valk *et al.*, 2010). Lo cual, genera variaciones en su composición química entre lotes. Además de ser un riesgo potencial de contaminación por agentes bacterianos, virales, parasitarios o micóticos (Unger *et al.*, 2010).

Colateralmente implica el mantenimiento permanente de bovinos donadores, que conllevan altos costos por instalaciones específicas, alimentación, manejo. A pesar de la importancia que representa el cultivo *in vitro* de *Babesia*, en pocos laboratorios en el mundo se ha podido establecer, y son escasos los reportes sobre el desarrollo de medios químicamente definidos para protozoarios. Por lo que se toman como referencia los medios utilizados en el cultivo de líneas celulares de origen animal, en donde se ha logrado sustituir el suero por suplementos nutricionales como la insulina, transferrina y selenito (ins-trans-sel) que se consideran vitales en un medio libre de suero bovino (Kayahan, 1999). Sin embargo, para cada línea celular se debe determinar la concentración (Barnes y Sato, 1980). Para el cultivo *in vitro* *B. bovis* no se han evaluado estos suplementos por lo que el objetivo de esta investigación fue seleccionar un medio de cultivo alternativo para eliminar el suero bovino, y determinar el

efecto de la mezcla a diferentes concentraciones de ins-trans-sel sobre la proliferación de *B. bovis in vitro*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar de la investigación. El restablecimiento y mantenimiento del cultivo *in vitro* de *B. bovis* fueron realizados en el laboratorio de la Unidad de Babesiosis del CENID-PAVET INIFAP en Jiutepec, Morelos. La radiación del sustrato (suero y eritrocitos) se realizó en el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) en Salazar, Edo. de México.

Animales experimentales. Dos bovinos *Bos taurus* raza Holstein Friesian mayores de un año de edad fueron utilizados como donadores de sustrato y suero para el cultivo *in vitro* de *Babesia* spp. Se corroboró que estuvieran libres de *Babesia* spp., *Anaplasma marginale*, y de las enfermedades como la diarrea viral, rinotraqueitis infecciosa, leucosis y brucelosis. Se mantuvieron en unidades de aislamiento, y fueron manejados conforme a la norma: NOM-051-ZOO-1995, Trato humanitario en la movilización de animales. Disponible: (http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4870842&fecha=23/03/1998), así como la Ley Federal de Sanidad Animal (<http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LFSA.pdf>).

Eritrocitos y suero. Se obtuvieron a partir de la recolección de sangre completa de la vena yugular. La sangre se centrifugó a 450g por 30 min a 4 °C. El suero retirado fue almacenado a -20 °C hasta su uso. Se retiró la capa flogística, y el paquete eritrocítico fue resuspendido con la solución de VYM (Vega *et al.*, 1985) modificada, agregando una mezcla de antioxidantes (VYM-A) (Sigma-Aldrich St. Louis, MO. USA), se almacenaron a 4 °C hasta su uso. El suero y eritrocitos fueron irradiados con una fuente de Cobalto⁶⁰ a una dosis de 35 KGy y 70 Gy, para eliminar agentes adventicios de tipo viral y bacteriano (Rojas *et al.*, 2006).

Medio de cultivo y suplementos. Los medios de cultivo basales utilizados fueron; Advanced DMEM (A-DMEM), Advanced MEM (A-MEM), Advanced RPMI-1640 (A-RPMI), Advanced DMEM/F12 (A-DMEM/F12) y M-199 con sales de Earle's (M-199) (GIBCO®). Todos los medios fueron tamponados con 25 mM 2-[(2-hydroxy-1, 1-bis (hydroxymethyl) ethyl) amino] ethanosulfonic, N- [Tris (hydroxymethyl)methyl] -2-aminoethanosulphonic (TES) (Sigma-Aldrich St. Louis, MO. USA), de L-glutamina a una concentración de 2 mM (GIBCO®). Todos los medios de cultivo fueron suplementados con 40% (v/v) de suero bovino (SB). El pH se ajustó a 7.2 y fueron esterilizados por filtración con una membrana de 0.2 µm. Los suplementos fueron insulina, transferrina y selenito (GIBCO®).

Parásitos y cultivo *in vitro*. Se utilizó una clona de *Babesia bovis* previamente adaptada a proliferar *in vitro* (Rodríguez *et al.*, 1983). El cultivo se realizó de acuerdo a la metodología descrita por Figueroa *et al.* (1984). El crioestabilizado de *B. bovis* fue descongelado a 37 °C y resuspendido en solución de VyM-A, se centrifugó a 450g x 30 min a 25 °C. Al paquete de *B. bovis* se le agregó 1.0 ml de suspensión de eritrocitos al 10% en M-199 + 40% (v/v) de SB (Rojas *et al.*, 2006). La mezcla se transfirió a placas de cultivo de 24 pozos y se incubó a 37 °C en una atmósfera de 90% de N₂, 5% de O₂ y 5% de CO₂. Los medios de cultivo fueron suplementados con 40% de SB y reemplazados por medio fresco cada 24 h, los subcultivos se realizaron cuando el porcentaje de eritrocitos parasitados (PEP) fue igual o mayor al 4% y se ajustó el PEP al 1% con suspensión de eritrocitos al 10% (v/v) en medio de cultivo. Para monitorear la proliferación de los parásitos se hicieron frotis de cada uno de los tratamientos y fueron teñidos con colorante Giemsa se determinó el PEP contando 5000 eritrocitos. Todos los tratamientos tuvieron tres repeticiones y tres replicas.

Adaptación secuencial de *Babesia bovis* a un medio libre de suero bovino. De los medios basales probados para cultivo, el medio A-DMEM/F12 alcanzó el mayor PEP. La proporción de SB en el medio se redujo secuencialmente de la siguiente manera: 40, 30, 20, 10, 5, 1, 0.5 y 0% (v/v).

Efecto de la concentración de la mezcla de insulina, transferrina y selenito en la proliferación de *Babesia bovis in vitro*. Se evaluaron cuatro concentraciones de ins-trans-sel, como control se utilizó medio A-DMEM/F12 (cuadro 1).

Cuadro 1. Adición de la mezcla de insulina, transferrina y selenito al medio basal A-DMEM/F12 la concentración esta expresada en mg/L.

A-DMEM/F12				
Mezcla	I	II	III	IV
ins	500	1000	2000	4000
trans	250	550	1100	2200
sel	0.335	0.67	1.34	2.68

Análisis estadístico. Para el análisis de datos sobre el efecto de la sustitución del suero bovino en el medio de cultivo, los valores de eritrocitos parasitados fueron analizados por ANOVA y prueba de Tukey.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación de los medios de cultivo basales. El medio de cultivo más efectivo fue A-DMEM/F12 con el que se observó el máximo valor de PEP significativamente mayor ($P < 0.05$) a los obtenidos con A-DMEM, A-MEM, A-RPMI y M-199 (9.59% vs. 1.93%, 4.54%, 3.66% y 2.49%) (Fig. 1). Durante el ensayo los parásitos no tuvieron cambios en su morfología que fueran detectados por microscopía óptica. Bork *et al.* (2005) reportaron resultados similares al utilizar el medio GIT sin suero bovino para el cultivo de *B. bovis*.

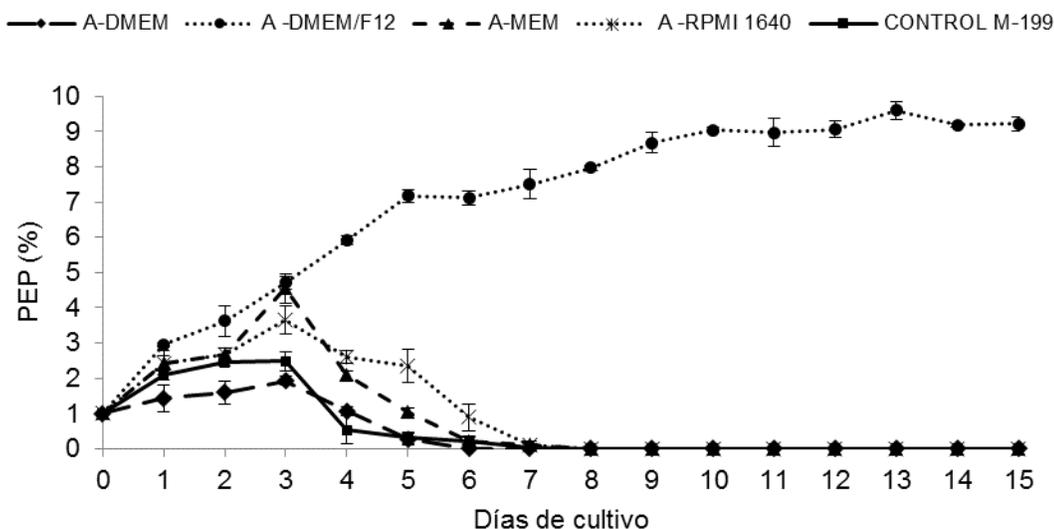


Figura 1. Evaluación de medios de cultivo suplementados con suero bovino al 40% para el cultivo *in vitro* de *B. bovis*. Cada valor representa la media y la desviación estándar de tres repeticiones y tres replicas. El subcultivo se llevó a cabo cuando el PEP alcanzó el 4% y luego se ajustó al 1%. Si el PEP era igual o inferior al 1%, se realizaba una dilución de subcultivo 1:2. Los subcultivos no se muestran en el gráfico.

Este es el primer estudio en el que se utilizó el medio A-DMEM/F12 para el cultivo *in vitro* de parásitos Apicomplexa. Se demostró que A-DMEM/F12 es un medio alternativo para *B. bovis*, con el que los parásitos no requieren de período de adaptación para su proliferación *in vitro*. A las 72 h se observó un PEP superior al 4%, por lo que se acortó el subcultivo a 24 h, en lugar del período regular cada 48-72 h previamente reportado por Jackson *et al.* (2001). La proliferación de *B. bovis* no fue exitosa cuando se usó M-199 + 40% de SB, probablemente debido a la frecuencia de los subcultivos, que resultó en la pérdida de parásitos.

Efecto de la reducción del suero bovino en el cultivo *in vitro* *B. bovis*. Se logró la adaptación de una cepa de *B. bovis* (Bbovis-SF) al crecimiento *in vitro* libre de suero, reportado por primera vez en este estudio. La eliminación del SB se logró mediante una reducción secuencial de 40% a 0%. Los valores de PEP se mantuvieron por encima del 4% sin diferencia significativa ($P > 0.05$) entre tratamientos y los subcultivos se realizaron cada 24 h.

Cuando el SB se eliminó del medio de cultivo, no se observaron alteraciones morfológicas de los parásitos. En el tratamiento control con M-199 suplementado con 40% y 30% de SB los valores máximos de PEP fueron 3.3% y 3.8%, respectivamente. Con el mismo medio (M-199) con 20% de SB, después de tres días de cultivo ya no se observaron parásitos. La Fig. 2 representa la proliferación de Bbovis-SF en el medio A-DMEM/F12 libre de suero bovino. El PEP al 4.3% fue similar a valores obtenidos en los tratamientos que contienen suero en concentraciones que van del 40 al 0%, y al tratamiento control M-199 + 40% de BS. Un estudio previo reportó la eliminación de suero para el cultivo *in vitro* de aislados de *B. bovis* de ganado bovino utilizando medio RPMI-1640 con 1% Albumax II (Jackson *et al.*, 2001). Sin embargo, otro estudio confirmó la imposibilidad de crecer *B.*

bovis usando Albumax II sin suero bovino; en ese estudio, la suplementación con suero al 10% se consideró una mejora (Sánchez *et al.*, 2009). La mezcla de RPMI-1640 y Albumax II disminuyó el nivel de suero al 5% en el cultivo durante un corto período de tiempo (Neves *et al.*, 2001).

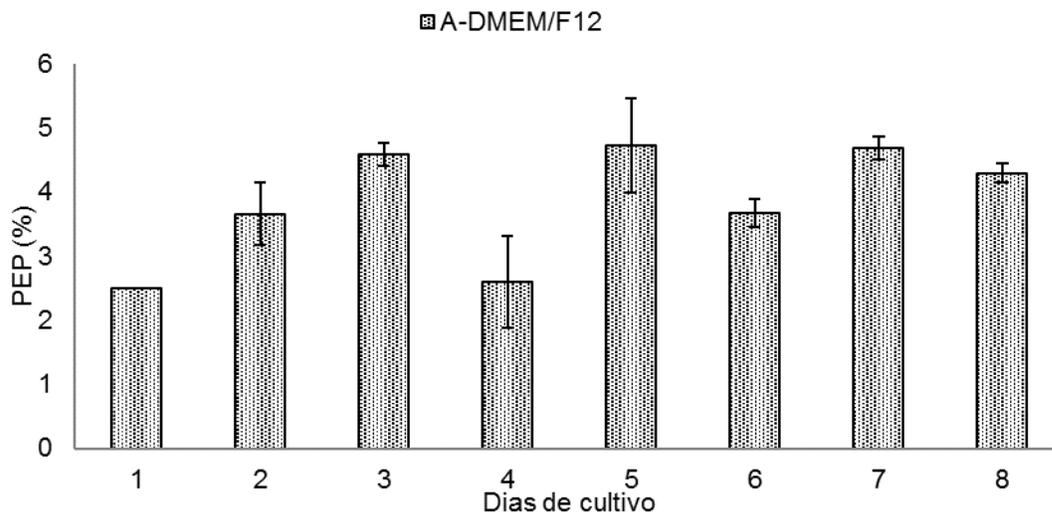


Figura 2. Proliferación de *B. bovis* en medio de cultivo A-DMEM/F12 sin suero bovino. Cada valor representa la media y la desviación estándar de tres repeticiones y tres replicas. El subcultivo se llevó a cabo cuando el PEP alcanzó el 4% y luego se ajustó al 1%. Si el PEP era igual o inferior al 1%, se realizaba una dilución de subcultivo 1:2. Los subcultivos no se muestran.

Efecto de la inclusión de ins-trans-sel en la proliferación *in vitro* de *B. bovis*. El tratamiento óptimo fue A-DMEM/F12 suplementado con una mezcla de ins (2000 mg / L), trans (1100 mg / L) y sel (1,34 mg / L). Con esta mezcla se logró un aumento constante de PEP, alcanzando un valor máximo de 9.7% cada 24 h durante seis ciclos de cultivo. En el ciclo número cuatro, se observó una diferencia significativa ($P < 0.05$) con los otros tratamientos. El tratamiento control con el mismo medio sin suplemento mostró una reducción de PEP, con valor de 0.5% al el día cinco; después no se observaron parásitos (Fig. 3).

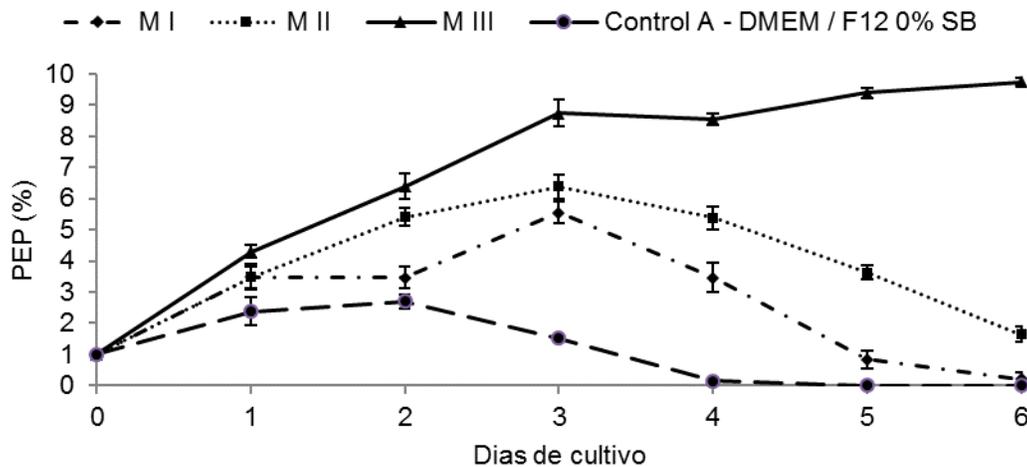


Figura 3. Cultivo *in vitro* de *B. bovis* en medio A-DMEM / F12 sin suero bovino suplementado con una mezcla de insulina, transferrina y selenito (ins-trans-sel). Mezclas: M I 500-250-0.335; M II 1000-550-0,67; M III 2000-1100-1.34; M IV 4000-2200-2.68; Control 10-7.5-1.005 mg/L. La parasitemia se ajustó a 1% cuando el porcentaje de parasitados los eritrocitos (PPE) alcanzaron 4. Si el PEP era ≤ 1 , entonces se llevó a cabo un subcultivo 1: 2. Los subcultivos no se muestran.

Cada elemento contenido en el medio de cultivo tiene una función en la reproducción de las células. La insulina favorece la entrada de glucosa en la célula; esto ha sido demostrado con *Plasmodium* infectado eritrocitos, que tienen requerimientos de glucosa que son 26 veces más altos que los de los eritrocitos no infectados (Jensen *et al.*, 1983). La transferrina es esencial para el transporte de hierro a las células (Anderson y Vulpe, 2009). El selenito potencia la actividad de la glutatión-peroxidasa en las células como una protección contra el estrés oxidativo (Bowles y Lishman, 1998; Natsuyama *et al.*, 1993). Holman *et al.* (1994) demostraron que *B. equi* se puede cultivar con HL-1 medio, que contiene insulina y transferrina humana, y 20% suero bovino fetal. *B. gibsoni* se cultivó en medio HL-1 suplementado con 7.5% de suero de perro (Sunaga *et al.*, 2002). Otro protozoario, *Plasmodium falciparum* se cultivó satisfactoriamente en RPMI-1640 suplementado con insulina, transferrina y selenito, glucosa, albúmina sérica bovina, ácidos grasos bovinos e hipoxantina (Ofulla *et al.*, 1993). El cultivo continuo de *Plasmodium* también se logró utilizando medio GIT libre de suero, probablemente porque contiene, entre otros elementos, insulina, transferrina, selenito y etanolamina (Asahi y Kanazawa, 1994)

CONCLUSIONES

El Medio A-DMEM / F12 libre de suero bovino, suplementado con Ins-Trans-Sel permite la proliferación *in vitro* continua de *B. bovis*. La eliminación del suero de bovino permitirá disponer de un medio de cultivo químicamente definido, eliminar los posibles factores inhibidores del crecimiento de *Babesia* spp. y minimizar el riesgo contaminación por agentes adventicios. Esta mejora en la eficacia del proceso constituye un gran avance en términos científicos, técnicos y económicos.

LITERATURA CITADA

- Asahi, H., Kanazawa, T., 1994. Continuous cultivation of intraerythrocytic *Plasmodium falciparum* in a serum-free medium with the use of a growth-promoting factor. *Parasitology* 109, 397-401.
- Barnes, D., Sato, G., 1980. Methods for growth of cultured cells in serum-free medium. *Anal. Biochem.* 102: 255–270.
- Bautista-Garfias, C.R., Lozano, A.R., .Rojas-Martínez, C., Álvarez, J.A., Figueroa, J.V., García, G.R., Castañeda-Arriola, R., Aguilar-Figueroa, B.R., 2015. Co-immunization of cattle with a vaccine against babesiosis and *Lactobacillus casei* increases specific IgG1 levels to *Babesia bovis* and *B. bigemina*. *Parasitol Int.* 64:319-323.
- Bock, R., Jackson, L., De Vos, A., and Jorgensen, W., 2004. Bovine babesiosis. *Parasitol.* 129:247-269.
- Bork, S., Okamura, M., Matsuo, T., Kumar, S., Yokoyama, N., Igarashi, I., 2005. Host serum modifies the drug susceptibility of *Babesia bovis in vitro*. *Parasitology* 130, 489-492.
- Bowles, C.M., Lishman, A.W., 1998. Attempts to improve the yield of bovine blastocysts by incorporating insulin, selenium and transferrin in the *in vitro* system. *S. Afr. J. Anim. Sci.* 28, 30-37.
- Brayton, K.A., Lau, A. O., Herndon, D.R., Hannick, L., Kappmeyer, L.S., Berens, S.J., Bidwell, S.L., Brown, W.C., Crabtree, J., Fadrosch, D., Feldblum, T., Forberger H.A., Haas, B., Howell, J.M., Khouri, H., Koo, H., Mann, D.J., Norimine, J., Paulsen, I.T., Radune, D., Ren, Q., Smith, R.K., Suarez, C.E, White, O., Wortman, J.R., Knowles, D., McElwain, T., and Nene, V.M., 2007. Genome sequence of *Babesia bovis* and comparative analysis of apicomplexan hemoprotozoa. *PLoS Path.* 3:1401-1413.
- Hernández, O.R., Álvarez, J.A., Buening, G.M., Cantó, G.J., Monroy, B.M., Ramos, J.A., and Vega, C.A., 1990. Diferencias en la virulencia y en la inducción de protección de aislamientos de *Babesia bigemina* derivados de cultivo *in vitro*. *Téc. Pecu. Méx.* 28:51- 61.
- Holman, P.J., Chieves, L., Frerichs, W.M., Olson, D., Wagner, G.G., 1994. *Babesia equi* erythrocytic stage continuously cultured in an enriched medium. *J. Parasitol.* 80: 232-236.
- Jackson, L.A., Waldron, S.J., Weier, H.M., Nicoll, C.L., Cooke, B.M., 2001. *Babesia bovis*: Culture of laboratory-adapted parasite lines and clinical isolates in a chemically defined medium. *Exp. Parasitol.* 99:168-174.
- Natsuyama, S., Noda, Y., Narimoto, K., Mori, T., 1993. Role of protein supplements in the culture of mouse embryos. *Theriogenology* 40:149-157.

- Neves, L., Cross, H.F., Loureiro, L., Akça, A., Hommel, M., Trees, A.J., 2001. Addition of hypoxanthine to culture media allows *in vitro* cultivation of *Babesia bovis* and *B. bigemina* at reduced serum concentrations. *Parasitology* 123: 357-363.
- Ofulla, A., Okoye, V., Khan, B., Githure, J., Roberts, C., Johnson, A., Martin, S., 1993. Cultivation of *Plasmodium falciparum* parasites in a serum-free medium. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 49, 335-340.
- Rodríguez-Vivas, R., Quiñones-A, F. J., Ramírez-Cruz, D., and Wagner G., 2007. Aislamiento de una cepa de campo de *Babesia bigemina* (Piroplasma: Babesiidae) y establecimiento del cultivo *in vitro* para la producción de antígenos. *Rev. Biol. Trop.* 55: 127-133.
- Rojas, C., Figueroa, J.V., Alvarado, A., Mejía, P., Mosqueda, J.J., Falcón, A., Vega, C.A., Álvarez, A., 2006. Bovine Babesiosis live vaccine production: Use of gamma irradiation on the substrate. *Ann. NY Acad. Sci.* 1081:405-416.
- Sánchez, C., Campos, E., and Oliva, A.G., 2009. *Babesia bovis*: Effect of Albumax II and orotic acid in a low-serum *in vitro* culture. *Exp. Parasitol.* 121: 274-278.
- Schuster, F.L., 2002. Cultivation of *Babesia* and *Babesia*-like blood parasites: agents of an emerging zoonotic disease. *Clin. Microbiol. Rev.* 15: 365-73.
- Sunaga, F., Namikawa, K., Kanno, Y., 2002. Continuous *in vitro* culture of erythrocytic stages of *Babesia gibsoni* and virulence of the cultivated parasite. *J. Vet. Med. Sci.* 64: 571-575.
- Unger, C., Skottman, H., Blomberg, P., Dilber, M.S., and Hovatta, O., 2008. Good manufacturing practice and clinical-grade human embryonic stem cell lines. *Hum Mol Genet.* 1717(R1):R48-53. doi: 10.1093/hmg/ddn079.
- van der Valk, J., Brunner, D., De Smet, K., Fex Svenningsen, A., Honegger, P., Knudsen, L.E., Lindl, T., Norberg, J., Price, A., Scarino, M.L., and Gstraunthaler G., 2010. Optimization of chemically defined cell culture media--replacing fetal bovine serum in mammalian *in vitro* methods. *Toxicol In vitro.* 24:1053-1063.
- Rodríguez, S.D., Buening, G.M., Green, T.J., Carson, C.A., 1983. Cloning of *Babesia bovis* by *in vitro* cultivation. *Infect. Immun.* 42:15-18.
- Jensen, M.D., Conley, M., Helstowski, L.D., 1983. Culture of *Plasmodium falciparum*. The role of pH, glucose, and lactate. *J. Parasitol.* 69, 1060-1067.
- Figueroa, M.J.V., Canto, A.G.J., Juarez, F.J., Ruiz, L.F., 1984. Cultivo *in vitro* de *Babesia bovis*: establecimiento y condiciones óptimas de multiplicación. *Tec. Pecu. Mex.* 46, 46-52.
- Vega, C.A., Buening, G.M., Green, T.J., Carson, C.A., 1985 a. *In vitro* cultivation of *Babesia bigemina*. *Am. J. Vet. Res.* 46: 416-420.
- Álvarez, J.A., and Cantó, G.J., 1985. Epidemiología de la babesiosis. En: *Parasitología. Vol. Conmemorativo de la Sociedad Mexicana de Parasitología. S.C. México, D.F.* pp. 55-72.
- Solís, S., 1991. Garrapatas y Enfermedades que transmiten. *Memorias: Segundo Seminario Internacional de Parasitología Animal. Oaxtepec, Morelos.* pp. 19-25.
- Kayahan, F., 2000. The effects of sodium selenite on the antioxidative defence mechanism of human hepatoma G2 cells. *Turk. J. Med. Sci.* 30, 203-207.
- Vial, H.J., and Gorenflot, A., 2006. Chemotherapy against babesiosis. *Vet. Parasitol.* 138, 147-160.
- Anderson, G.J., Vulpe, C.D., 2009. Mammalian iron transport. *Cell. Mol. Life. Sci.* 66, 3241-3261.

CINETICA DE DEGRADACION IN VITRO DE LAS LEGUMINOSAS *Clitoria ternatea* Y *Pueraria phaseloides*
IN VITRO DEGRADATION KINETICS OF THE *Clitoria ternatea* AND *Pueraria phaseloides* LEGUMES

¹López-Jiménez CE, ¹Hernández-Villegas MM, ²Aranda-Ibáñez ME, ³Barrientos-Ramírez L,
⁴Bolaños-Aguilar ED, ¹Bolio-López GI

¹Universidad Popular de la Chontalpa. km 2 Carretera Cárdenas-Huimanguillo, Ria. Paso y Playa, C.P. 86500 H. Cárdenas, Tabasco.

²Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. Periférico Carlos A. Molina s/n C.P. 86500, H. Cárdenas, Tab.

³Departamento de Madera, Celulosa y Papel, CUCEI. Universidad de Guadalajara, México

⁴Programa de Forrajes. Campo Experimental Huimanguillo. INIFAP-Tabasco. 86600 Huimanguillo, Tab.

Autor para correspondencia: cindy2102lopez@hotmail.com

RESUMEN

Dos leguminosas forrajeras *Clitoria ternatea* (Conchita azul) y *Pueraria phaseloides* (Kudzu) y un pasto de la región *Cynodon plectostachyus* (Estrella de África), fueron evaluados mediante la técnica de producción de gas *in vitro*, con el fin de establecer los parámetros de fermentación ruminal (volumen total de gas producido, tasa de degradación de carbohidratos solubles e insolubles y tiempo de fermentación). Dos tratamientos y un testigo con tres repeticiones cada uno fueron evaluados. Las muestras (0.5 g de cada tratamiento) y 90 mL de líquido ruminal fueron vertidas en frascos de 100 mL y colocadas a baño maría a 39° C para medir la presión de gas a 0, 2, 4, 6, 8, 12, 16, 20, 24, 30, 36, 42, 48, 60, 72 h de incubación, mediante un manómetro (escala de 0 a 1 kg cm⁻²). Las lecturas de presión (kg cm⁻²) se transformaron a volumen de gas usando la ecuación $V = \text{presión}/0.019$. Los datos de volumen de gas y tiempo de incubación se usaron para obtener el volumen fraccional (Vf). Las variables de la cinética de producción de gas, volumen máximo de gas producido (V max), fase de retardo (L) y tasa de producción de gas (S), se obtuvieron por medio de la ecuación: $V_0 = v / (1 + \exp(2 - 4 * s * (T - L)))$. Los tratamientos *C. ternatea* y *P. phaseloides* mostraron los menores volúmenes de gas producido (226.77 y 261.67 mLg⁻¹ respectivamente). La mayor producción de gas correspondió a *C. plectostachyus* (336.37 mLg⁻¹). Los picos de producción de gas fraccional se presentaron de 0 a 13, 18 a 25 y de 26 a 60 h de incubación. Respecto a las fracciones fermentables, el volumen fraccional (FR) de los tratamientos no mostró diferencias significativas ($P > 0.05$). En cuanto a la fracción media de fermentación (FM) *C. ternatea* mostró diferencias significativas ($P < 0.05$) comparado con *P. phaseloides* y *C. plectostachyus*.

Palabras clave: Leguminosas, Gas *in vitro*, fermentación ruminal.

INTRODUCCION

Los forrajes tropicales poseen comúnmente altos contenidos de pared celular y bajos contenidos de carbohidratos solubles, estos factores están relacionados directamente con la producción de carne y leche bovina, así como, con el crecimiento de los rumiantes. Por lo tanto, se hace necesario la utilización de métodos exactos para evaluar el valor nutricional de los forrajes y proporcionar a los nutricionistas información que permita formular dietas desde el punto de vista fisiológico y económico, que optimicen la productividad animal (Gaviria *et al.*, 2015; Barahona y Sánchez, 2005). Dada las características nutricionales de estos forrajes, es necesario buscar alternativas que proporcionen los nutrientes necesarios a los rumiantes. Una de esas alternativas puede ser el uso de leguminosas forrajeras las cuales su contenido de proteína (>15%) las hace bastante atractivas. En el trópico seco de México existe una gran diversidad de leguminosas forrajeras de tipo herbáceo, arbustivo y arbóreo, que son fuente importante de materia seca en la alimentación de rumiantes. En México, se han identificado 134 géneros y 1724 especies entre las que destacan: Guaje (*Leucaena leucocephala*), Cocoite (*Gliricidia sepium*), Cacahuatillo (*Arachis pintoi*), Stylo (*Stylosantes guianensis*), Kudzu (*Pueraria phaseloides*) y Conchita azul (*Clitoria ternatea*). Estas leguminosas destacan por su mayor persistencia en condiciones ambientales del trópico de México (García, 2014). Las posibilidades de utilizar leguminosas en la alimentación de rumiantes están dadas esencialmente, porque aportan

nitrógeno soluble a los microorganismos del rumen y contribuyen a la proteína no degradable además de aportar fibra fácilmente degradable en el rumen (La O 2006).

C. ternatea, pertenece a la familia de las leguminosas, es originaria de América. El género *Clitoria* comprende 60 especies distribuidas ampliamente en las regiones tropicales. Es una planta trepadora ornamental, de 2 a 3 metros de altura, crece en forma silvestre y también en jardines, produce flores blancas y azules. Se trata de una planta vigorosa muy persistente de tipo herbáceo, perenne, de tallos bien volubles. Es una leguminosa forrajera altamente palatable por el ganado. Muestra una excelente capacidad de rebrote después del corte o del pastoreo de los animales, en periodos cortos produce grandes rendimientos de biomasa (Mukherjee *et al.*, 2008). El contenido de proteína según los reportes en la literatura oscila entre 14 a 22% (García *et al.*, 2015; Juma *et al.*, 2006).

P. phaseloides (Kudzu), es una leguminosa que se encuentra ampliamente distribuida y ha sido introducida en los sistemas de producción del mundo. Se le considera originaria del sur de China, en México tiene más de 50 años de emplearse principalmente en las regiones que presentan un clima Tropical húmedo como es Veracruz, Tabasco, Oaxaca y Chiapas. *P. phaseloides* se ha convertido en una importante fuente de pastura en algunos países tropicales por su capacidad para mejorar la fertilidad de los suelos y la calidad nutricional de las pasturas por su potencial en la fijación de nitrógeno. La alta concentración de proteína hace del Kudzu un excelente suplemento alimenticio, incrementando la producción de carne y leche del ganado (Xu *et al.*, 2010).

Diversos estudios se han realizado con estas dos leguminosas, pero no se ha evaluado la cinética de degradación y el volumen de producción de gas, por lo que el objetivo del presente trabajo fue determinar la cinética de degradación y producción de gas de las leguminosas *C. ternatea* y *P. phaseloides*, en condiciones *in vitro*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Elaboración de extractos:

Los materiales vegetales fueron secado en una estufa ECOSHEL® modelo 9023^a durante 72 hrs a una temperatura de 60°C, se removieron dos veces al día para lograr un secado uniforme. Una vez seco los materiales, se procedió a molerlo y tamizarlo hasta que se obtuvo un tamaño de partícula de 1 mm. Posteriormente fueron pesados cada uno de los extractos y guardados hasta su uso.

Producción de gas y digestibilidad *in vitro*:

Se usó la técnica de producción de gas *in vitro* (Bocanegra, *et al.*; 2012) para evaluar la fermentación. Las muestras de *C. ternatea*, *P. phaseloides* y *C. plectostachyus*; se colocaron en frascos de vidrio ámbar con capacidad de 100 mL: 0.5 g y 95 mL de líquido ruminal estandarizado con un flujo continuo de CO₂ y se cerraron herméticamente. Además, se incluyeron dos frascos como blancos, que solo contenían inoculo ruminal. Los frascos se colocaron en un baño maría a 39° C y se midió la presión de gas a 0, 2, 4, 6, 8, 12, 16, 20, 24, 30, 36, 42, 48, 60, 72 h de incubación, mediante un manómetro manual (escala de 0 a 1 kg cm⁻²). Las lecturas de presión (kg cm⁻²) fueron transformadas a volumen de gas usando la ecuación $V = \text{presión} / 0.019$. Los datos de volumen de gas y tiempo de incubación se usaron para obtener el volumen fraccional (Vf). Las variables de la cinética de producción de gas, volumen máximo de gas producido (V max), fase de retardo (L) y tasa de producción de gas (S), se obtuvieron con la ecuación: $V_0 = v / (1 + \exp(2 - 4 * s * (T - L)))$. El líquido ruminal se obtuvo de un ovino Black belly alimentado con heno y alimento comercial (70:30). El líquido ruminal fue filtrado por medio de tela de gasa y posteriormente mezclado con la solución mineral reducida. La solución mineral reducida provee minerales y nutrientes al medio acuoso *in vitro* para el proceso fermentativo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores de los parámetros Vm, L y S se muestran en el cuadro 1. *C. plectostachyus* la fermentación que se lleva es lenta con una mayor producción de gas (L= 3.592 h), *C. ternatea* mostro un potencial rápido de fermentación y menos producción de gas (S= 0.0381 h). La eficiencia de producción de gas fue mayor en *C. plectostachyus* (Vm= 336.37 mLg⁻¹) respecto a *C. ternatea* siendo más bajo la producción de gas (Vm= 226.77 mLg⁻¹). El resultado en *C. plectostachyus* en la producción de gas fue menor que al mencionado por Sandoval, *et al.*, 2016 que fue de (L= 5.63 h); en cuanto a la tasa de velocidad de fermentación en *C. plectostachyus* fue menor referente al de Sandoval, *et al.*, 2016. (S= 0.026 h⁻¹). De acuerdo a Sandoval, *et al.*, 2016 *C. ternatea* y *Leucaena leucocephala*

mostraron valores similares en cuanto a menor producción de gas y rápida fermentación ($S=0.0381 \text{ h}^{-1}$) ($S=0.039 \text{ h}^{-1}$).

Cuadro 1. Cinética de producción de gas y velocidad de fermentación de *C. ternatea*, *P. phaseloides* y *C. plectostachyus*

	$S \text{ (h}^{-1}\text{)}$	L (h)	$V_m \text{ (mLg}^{-1}\text{)}$
<i>C. ternatea</i>	0.0381 ^a	2.870 ^{ab}	226.77 ^b
<i>P. phaseloides</i>	0.0289 ^b	1.942 ^b	261.67 ^b
<i>C. plectostachyus</i>	0.0243 ^b	3.592 ^a	336.37 ^a

Medias con literal distinta en la misma columna son diferentes ($P<0.05$). V_m : Volumen máximo de gas; S : Tasa o Velocidad de fermentación; L: Fase Lag

La figura 1, muestra los patrones de fermentación de las especies de estudio, se puede observar que la fermentación de *C. ternatea* se lleva a cabo a las 30 h, mientras que para *C. plectostachyus* el tiempo de fermentación es mucho mayor que *C. ternatea*. En la tasa de (S) *P. phaseloides* y *C. plectostachyus* no se encontraron diferencias significativas ($P>0.05$), pero en cambio, comparado con *C. ternatea* si hubo diferencias significativas ($P<0.05$).

Sandoval *et al.* (2016) mencionan que *L. leucocephala* tiene mayor fermentación ya que alcanza su punto máximo 20 h antes que *C. ternatea* y *P. phaseloides*; aun cuando en *C. plectostachyus* nos reporta que el tiempo máximo para llevar a cabo la fermentación fue de 51 h antes de las 70 h, resultados similares a los encontrados en este estudio.

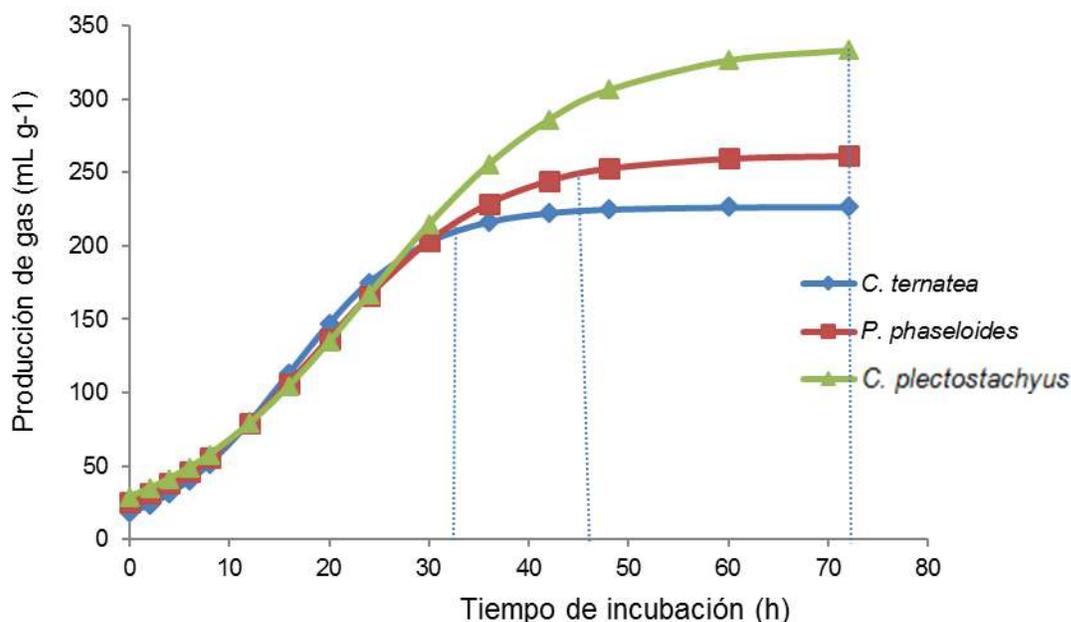


Figura 1. Producción de gas durante la fermentación *in vitro* de *C. ternatea*, *P. phaseloides* y *C. plectostachyus*

En el cuadro 2 se presentan las fracciones fermentables; FR, FM, FL y FT; a 72 h de incubación. Regularmente los forrajes presentan tres fracciones de fermentación: rápida, media y lenta fermentación, atribuidas a azúcares y oligosacáridos solubles, polisacáridos de reserva como almidón, dextrinas, pectina y polisacáridos de pared celular (celulosa y hemicelulosa ligadas a lignina). *C. ternatea* mostró dos picos de alta producción fraccional de gas durante el periodo de 0 a 8 h donde se encuentran azúcares de rápida fermentación, y de 9 a 24 h que se atribuye a pectina y polisacáridos de reserva (Figura 2). En tanto que *C. plectostachyus* mostró tres picos de mayor producción fraccional de gas: 0 a 13, 18 a 25 h y de 26 a 60 h de incubación (cuadro 2). El volumen fraccional en las tres especies fueron iguales estadísticamente ($P>0.05$). *C. ternatea* mostró diferencias en la FM de

carbohidratos de reserva ($P \leq 0.05$). Para la variable FL de carbohidratos estructurales de 26 a 60 h *C. plectostachyus* se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Fracciones fermentables a 72 h de incubación

Tratamiento	Fracciones Fermentables (g/kg^{-1})			
	FR	FM	FL	FT
<i>C. ternatea</i>	141.35 ^a	191.229 ^a	170.65 ^c	503.23 ^c
<i>P. phaseloides</i>	155.70 ^a	165.031 ^b	305.68 ^b	626.41 ^b
<i>C. plectostachyus</i>	164.66 ^a	174.115 ^b	490.87 ^a	829.65 ^a

Medias con literal distinta en la misma columna son diferentes ($P < 0.05$). FR: Fracción de Rápida fermentación de azúcares; FM: Fracción de Media fermentación de carbohidratos de reserva; FL: Fracción de Lenta fermentación de carbohidratos estructurales; FT: Fracción Total.

La figura 2 muestra los picos de producción fraccional de gas, se puede observar que *C. ternatea* presenta dos picos de 0-8 y de 8-24 h, estos resultados están de acuerdo a los valores obtenidos por Sandoval *et al.* (2016) con *L. leucocephala*, quienes reportan un solo un pico de alta producción fraccional de gas durante el periodo de 0 a 12 h. En cuanto a la curva encontrada en *C. plectostachyus*, es muy similar a la reportada por Sandoval *et al.* (2016), quienes evaluaron este mismo pasto encontrando tres picos de producción de gas. En virtud que la muestra *C. ternatea* fue menos fibrosa y tiene una composición rica en componentes químicos su fermentación y degradación fue mayor que *C. plectostachyus* debido a que este presenta una mayor fracción fibrosa (carbohidratos estructurales), produce más gas y fermenta menos que *C. ternatea* y *P. phaseloides*.

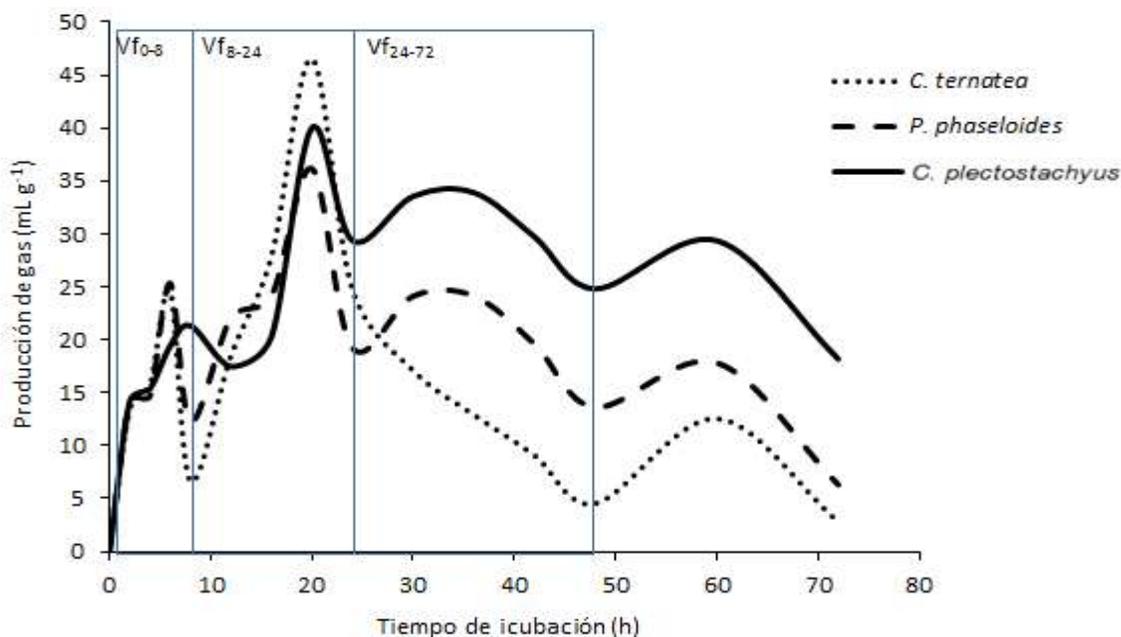


Figura 2. Producción fraccional de gas de fermentación *in vitro*.

CONCLUSIONES

La fermentación y degradabilidad *in vitro* por consorcios microbianos presentes en el líquido ruminal en *C. ternatea* y *P. phaseloides*, presentaron el menor tiempo comparado con *C. plectostachyus*, que presentó el mayor tiempo de fermentación y degradabilidad.

LITERATURA CITADA

Barahona, R. y Sánchez, S. (2005). Limitaciones físicas y químicas de la digestibilidad de pastos tropicales y estrategias para aumentarla. Revista Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuarias. 6, 69-82.

- Bocanegra, D. Rochinotti, D. (2012). Estimación de la digestibilidad *in vitro* mediante la técnica propuesta por Theodorou. RIA. 2, 150-152.
- Gaviria, X., Naranjo, J.F., Barahona, R., 2015. Cinética de fermentación *in vitro* de *Leucaena leucocephala* y *Megathyrsus maximus* y sus mezclas, con o sin suplementación energética. Pastos y Forrajes. 38, 55-63.
- García, F.L., Bolaños, A.E., Ramos, J.J., Osorio, A.M., Lagunes, E.L., (2015). Rendimiento y valor nutritivo de leguminosas forrajeras en dos épocas del año y cuatro edades de rebrote. Revista Mexicana Ciencias Pecuarias. 6: 453-468.
- García, F.L., (2014). Evaluación del rendimiento de materia seca, valor nutritivo y concentración de taninos condensados en cuatro leguminosas tropicales en dos épocas del año. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. PROPAT. 88 p.
- Juárez, F.I. y Pell, A.N. (1999). Evaluation of tropical grasses for milk production by dual-purpose cows in tropical México. J. Dairy Sci. 82:2136-2145.
- Juma, K.H., Abdulrazak, A.S., Muinga, W.R., Ambula, K.M., (2006). Evaluation of *Clitoria*, *Gliricidia* and *Mucuna* as nitrogen supplements to Napier grass basal diet in relation to the performance of lactating Jersey cows. Livestock Science. 103, 23-29
- La O, O., Delgado, D., Chongo, B., Castellanos, E.L., (2006). Degradabilidad ruminal de la materia seca y nitrógeno total en vacas, en un sistema de pastoreo de gramíneas y leguminosas. Revista Cubana de Ciencia Agrícola. 40, 65-70
- Mukherjee, K.P., Kumar, V., Kumar, S.N., Heinrich, M., (2008). The Ayurvedic medicine *Clitoria ternatea*—from traditional use to scientific assessment. Journal of Ethnopharmacology. 120, 291-301.
- Sandoval, G.L. Miranda, R.M. Lara, B.A. Huerta, B.M. Uribe, G.M. Martinez. M.M. (2016). Fermentación *in vitro* y la correlación del contenido nutrimental de *Leucaena* asociada con pasto estrella. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 16, 3185-3196.
- Xu, F., Zhu, J., Cheng, S., Zhang, W., Wang, Y., (2010). Effect of 5-aminolevulinic acid on photosynthesis, yield, nutrition and medicinal values of kudzu (*Pueraria phaseoloides*). Tropical Grasslands. 44, 260-265.

**PARÁMETROS HEMATOLÓGICOS (ERITROGRAMA), EN GANADO BOVINO DE DOBLE
PROPÓSITO EN HUIMANGUILLO, TABASCO, MEXICO**
HEMATOLOGICAL PARAMETERS (ERITROGRAM), IN BOVINE CATTLE OF DOUBLE PURPOSE
IN HUIMANGUILLO, TABASCO MEXICO

López Hernández KG, Báez Ruiz UA

Universidad Popular de la Chontalpa, Km 2 Carr. Cárdenas-Huimanguillo, R/a Paso y Playa s/n, H.
Cárdenas, Tabasco, México.

Autor para correspondencia: urielbaez@hotmail.com

RESUMEN

El empleo de los laboratorios de diagnóstico en los sistemas de producción bovina de doble propósito es limitado y se concentra principalmente en las pruebas requeridas por las Normas de Campañas Zoonosológicas, no así para identificar y corregir problemas de salud que se puedan presentar en el hato. Por lo anterior y para determinar los valores hematológicos, en animales aparentemente sanos, se llevó a cabo un estudio donde se muestrearon 100 bovinos hembras destinadas a la producción de leche en sistemas de doble propósito, localizadas en 10 ranchos de la zona del Mezcalapa en Huimanguillo, Tabasco. Los animales fueron seleccionados de manera aleatoria y de cada uno se obtuvo una muestra de 5cc de sangre, se empleó EDTA como anticoagulante, la muestra fue trasladada en refrigeración al laboratorio de QFB donde se efectuó la biometría hemática correspondiente. Los resultados demuestran que los datos registrados se encuentran, en lo general, dentro de los valores de referencia para esta especie, los datos fueron sometidos a ANOVA y se determinó diferencia significativa para las variables rancho y condición corporal se pudo apreciar que los valores más bajos correspondían, aun dentro de los límites de referencia internacional, a los animales de menor condición corporal. Se concluye que los valores encontrados están dentro de los parámetros normales, pero son afectados por la condición física de los animales, es recomendable promover el uso de los servicios de laboratorios en las empresas ganaderas de la región.

Palabras clave: *hematología, biometría hemática, condición corporal, rejeguería.*

INTRODUCCION

Los aspectos clínicos en los sistemas tradicionales de producción bovina de doble propósito se restringen en varios sentidos a solo la observación de los animales y los comentarios del productor, con poco empleo de la propeuéutica y menos aún de uso de laboratorio de diagnóstico, en este último punto el uso de pruebas de diagnóstico se restringe a las obligatorias por estar dentro de Normas de Campaña y no así para la búsqueda de respuestas ante problemas cotidianos de salud. En la práctica médica en seres humanos, ante cualquier sospecha de enfermedad el primer estudio y básico es el relacionado con la determinación de biometrías hemáticas, prueba que en caso de medicina en producción animal es muy poco usada, no obstante que puede generar información valiosa ante problemas infecciosos (Ugarte 2010), parasitarios (Pulido et al 2010), metabólicos (Amorims et al, 2003) etc. En las actividades de Medicina Veterinaria y Zootecnia, los parámetros de Hematología son una ayuda diagnóstica fundamental en el análisis y orientación del estado clínico de un paciente y desde el punto de vista epidemiológico en el seguimiento de la salud en el hato (Moreno et al, 2008). Existen valores de referencia que se emplean para cualquier sitio y tipo de ganado, por lo que se llevó a cabo el presente estudio con el objetivo de determinar si los parámetros hematológicos en ganado de doble propósito, aparentemente sano, en la zona del Mezcalapa se encontraban dentro de los rangos considerados como normales.

En la producción pecuaria, respecto al factor salud, los valores de referencia son necesarios y de gran utilidad para la interpretación de los resultados de laboratorio (Lab 9 de julio 2016, Merck, 2007). Los análisis hematológicos, como los realizados en el presente estudio, son una herramienta de gran utilidad para poder contar con un panorama del estado metabólico y de salud de los animales de la explotación (Klinkon M., y Jezek J. 2012). Si no se contara con apropiados valores de referencia, la sensibilidad y la especificidad de las pruebas serían muy pobres lo que podría derivar en errores de diagnóstico y los protocolos de tratamiento podrían llegar a causar daño o muerte a los animales, o será poco probable lograr que el tratamiento, control, pronóstico y bienestar de los animales fuera el óptimo (Klaassen K.J,

1999, Jackson y Cockcroft, 2017). La mayoría de los laboratorios de referencia emplean valores históricos (Klaassen K.J, 1999).

MATERIALES Y MÉTODOS

En el presente estudio las unidades productivas seleccionadas para participar se localizan en las rancherías Caobanal 1ª y 2ª sección y Amacohite 1a, ubicadas al margen del río Mezcalapa en el municipio de Huimanguillo, Tabasco. El clima de la región es cálido húmedo con temperatura media anual de 25°C y lluvias que abarcan los meses de junio a octubre; solo la primavera es relativamente seca; su precipitación media anual alcanza los 2570 mm. Se presentan vientos dominantes del norte en primavera y del este el resto del año, con tres épocas perfectamente definidas: secas, lluvias y nortes. (García, 1998). Los ranchos incluidos en el estudio basan la alimentación en el pastoreo de gramíneas naturales e introducidas, prevaleciendo las del género *Brachiaria sp*, el esquema de pastoreo primordial es rotacional y en algunos de los ranchos se complementa la alimentación con silo de sorgo o de maíz, se proporcionan, aunque no en forma constante sales minerales, el número de vacas en promedio por rancho se encuentra entre 20 y 40. Se aplica de manera general un programa sanitario, donde predominan acciones de desparasitación contra vermes gastroentéricos y vacunaciones contra las enfermedades más comunes en la zona (clostridiasis, neumonías, leptospira), el empleo del laboratorio de diagnóstico en salud animal es casi nulo, es mínima la realización de biometrías hemáticas.

Se llevo a cabo un estudio para identificar los parámetros hematológicos (eritrograma), en bovinos manejados en un sistema de doble propósito, se seleccionaron 100 animales en forma aleatoria en diez ranchos ubicados en la cuenca del Mezcalapa, los ranchos pertenecen a productores afiliados a la sociedad Derivados de Leche Natural, de cada rancho se seleccionaron un máximo de 10 animales, el criterio de inclusión fue que se tratara de animales clínicamente sanos en apariencia, a los que se estimó la condición corporal bajo los criterios establecidos para ganado productor de leche, con una escala de 1 a 5, donde 1 corresponde a animales flacos y 5 a animales obesos, la calificación deseable es 3 . Para la toma de muestra se emplearon tubos Vacutainer nuevos conteniendo EDTA K2, de cada animal se obtuvieron 5 ml de sangre completa, por punción de la vena coccígea, una vez obtenida la sangre fue colocada en refrigeración (7º) y se te transporto al laboratorio de Químico Fármaco Biólogo de la Universidad Popular de la Chontalpa, donde se llevó a cabo el análisis para determinar la Biometría Hemática de cada muestra, determinando los niveles de : Glóbulos Rojos, Hematocrito, Hemoglobina, Volumen Corpuscular Medio, Concentración Media de Hemoglobina Corpuscular y Concentración Media de Hemoglobina. Para esto se empleó el analizador automatizado Wiener lab Counter 19.

Los datos obtenidos fueron colocados en una hoja de Excel (Microsoft Office 365), para su análisis correspondiente por medio de ANOVA y pruebas de comparación de medias, para lo que se empleó el programa SAS.

RESULTADOS Y DISCUSION

Assis et al, 2006, han reportado, en Israel, que los datos existentes no siempre son aplicables a todos los sistemas productivos y que puede haber variación, en animales de alta producción de leche, manejados en un sistema intensivo carente de pastoreo. Es importante, por lo tanto, considerar que se pueden dar variaciones por sistema de producción, raza, ubicación geográfica, etc.), tal como sucede en las rejeguerías de Tabasco. Por esto es importante identificar en animales aparentemente sanos, en producción, cuáles son los parámetros que puedan considerarse como normales, en este caso respecto a la parte hematológica, en el cuadro 1 se presentan los intervalos determinados para cada rancho respecto a las variables consideradas. Con el presente estudio se aportan datos relacionados con los patrones fisiológicos de variables hematológicas en ganado bovino de doble propósito en producción, en una zona tropical, estudios que son de importancia para la toma de decisiones de manejo pecuario. Una vez efectuados los análisis de Varianza para cada parámetro, se procedió a realizar las pruebas correspondientes para comparar medias entre las diferentes variables analizadas.

En el cuadro 2 se exponen los resultados obtenidos por Rancho en los animales muestreados para determinar en base a los parámetros hematológicos y el ANOVA correspondiente, si de acuerdo al manejo en cada rancho se presentan diferencias, se trabajó con muestras de ganado bovino productor de leche en sistema de doble propósito.

Cuadro 1. Valores mínimos y máximos de los parámetros hematológicos estudiados en Ganado bovino de doble propósito en la zona del Mezcalapa, Huimanguillo, Tabasco

RANCHO	Hg		GR		Hto		VCM		CMH		CMHC	
	Min	Max	Min	Max								
1	7.5	11	4.27	6.31	20.8	28.8	42.7	52.3	17	19.9	37	40.1
2	7.5	10.7	3.99	5.92	15.6	28.7	40.9	50	17.8	18.7	37.5	43.5
3	8.9	11.3	4.57	6.11	22.2	29.6	43.4	50.8	17.1	19.5	37.6	45.7
4	7.1	9.5	3.87	5.46	16.4	22.8	41.7	49.3	17.2	19.1	37.8	42.1
5	8.4	10.3	4.62	6.11	21.4	28.7	42.2	51.2	16.4	18.8	37.6	39.7
6	7.4	9.1	4.08	5.48	16.6	24.3	40.9	45.1	16.4	18.2	37.8	41
7	10.2	13.6	4	7	29	40.4	43.5	67	18.3	26	25.9	41
8	12.4	13.6	6.1	6.9	30.3	34	45.5	53.4	19	21.37	40	40
9	8.5	10.8	3.9	5.6	31.4	39.9	65	86.5	19	22.5	26	28
10	10.1	13.9	6.8	9.7	31.3	45	43	48	14	15	31	32

Hg: Hemoglobina; GR: Glóbulos Rojos; Hto: Hematocrito; VCM: Volumen Corpuscular Medio; CMH: Concentración Media de Hemoglobina; CMCH: Concentración Media de Hemoglobina Corpuscular.

En el cuadro mencionado se aprecia que existen rangos variados en los diferentes parámetros, que evidencian diferencias estadísticas, para glóbulos rojos, estos rangos van desde 4.3 hasta 8.5 millones mientras que para hemoglobina estos rangos varían desde 8.8 hasta 12.4 fl, el rango para el hematocrito es desde 23 hasta 40 % estas variaciones tan amplias se considera están influidas por el manejo que se da en cada rancho así como por la aplicación de tecnología para la producción, ejemplo de esto es que el rancho con los parámetros más bajos es el típico tradicional, con nulo empleo de tecnología, sin suplementación en época de escases, mal manejo sanitario y sin aplicación de manejo de pastoreo o fertilización, por otra parte el rancho con los mejores parámetros fue el que proporciona sales minerales, da manejo a los potreros con fertilización orgánica y hace programas de rotación de potreros, cuenta además con calendarios de manejo sanitario y reproductivo así como con animales en buena condición corporal.

Cuadro 2. Valores hematológicos en ganado bovino de doble propósito en la zona del Mezcalapa, Huimanguillo, Tabasco

RANCHO	Hemoglobina -gr/dl	Eritocitos mill/mm ³	Hematocrito %	VCM fl	CCMH %
	$\bar{X} \pm DS$	$\bar{X} \pm DS$	$\bar{X} \pm DS$	$\bar{X} \pm DS$	$\bar{X} \pm DS$
1	9.21±1.42c	5.157±0.91cd	24.18±3.89c	47.41±4.77c	38.11±1.73ab
2	9.1±1.75c	4.966±0.91cd	22.86±5.84c	45.63±4.25c	40.53±3.53a
3	10.45±1.60bc	5.68±0.85bc	25.89±5.31c	45.41±4.11c	40.87±4.59a
4	9.031±3.14c	4.38±0.93d	19.27±4.25d	44±3.39c	41.11±3.22a
5	9.26±0.93c	5.29±0.64bcd	24.25±3.16c	45.92±2.61c	38.27±1.54b
6	8.55±0.78c	4.96±0.57cd	22.74±3.32c	41.32±8.62c	37.92±7.47a
7	11.74±1.78ab	5.48±1.29bc	35.96±4.56b	58.78±11.20b	32.31±6.55c
8	12.68±1.86b	6.51±0.55b	31.71±4.66b	48.76±6.22b	40±4ab
9	9.77±0.88cd	4.71±0.66cd	36.12±3.64b	75.6±8.19a	26.93±0.92d
10	12.51±1.75a	8.6±1.15a	40.14±5.63a	45.09±3.42c	30.79±1.97cd
General	10.14±2.14	5.55±1.46	28.45±8.18	50.31±12.03	36.29±6.117
Valores de referencia	8 a 15	5 a 10	24 a 46	40 a 60	30 a 36

*Volumen corpuscular medio; *Concentración media de hemoglobina corpuscular; Diferentes literales en la misma columna indican diferencia significativa P>0.05

Los datos reportados en el presente estudio concuerdan con lo reportado en Israel en animales de alta producción de leche, (Assis et al, 2002), quienes también ubican sus datos dentro de los valores de

referencia internacional, pero con rangos más ajustados, tal como se aprecia en el presente estudio para animales en un sistema de rejeueria, bajo condiciones de pastoreo y a una altura baja sobre el nivel del mar baja. De igual manera se ubican dentro de los rangos establecidos para estos parámetros a nivel internacional (Javic y Conroy, 2003).

La condición corporal, que es la otra variable donde el ANOVA mostro diferencias estadísticamente significativas ($P>0.05$), es reflejo en cierta medida de la condición de riesgo de salud de los animales, en este sentido se analizaron los parámetros hematológicos en función de la condición corporal (Cuadro 3), que mostraban los bovinos, se emplearon los criterios determinados por el programa lechero FARM de Estados Unidos de Norteamérica (FARM,2013) con cinco medidas de evaluación, en este caso particular no se apreciaron animales con condición corporal 4 y 5, se presentan los resultados para las tres restantes, en el estudio desarrollado se aprecia que los animales que se encuentran dentro de la condición corporal 3 (la más deseable) son los que presentaron los mejores parámetros hematológicos, mientras que los parámetros más bajos se observaron en los que fueron evaluados dentro de la condición corporal 1, que considera a los animales en más mala condición física. Las razones probables de estas diferencias se pueden enfocar a la capacidad y manejo tecnológico en cada rancho, en los de condición 1, es típica la falta de manejo suplementario nutricional además del mal manejo en los potreros, y la mala calidad de los pastos, por el contrario, en los ranchos dentro del rango de condición corporal 3, los animales reciben suplementación mineral, energético-proteica y suplemento de forrajes en tiempo de escasez.

Cuadro 3. Valores hematológicos en ganado bovino de doble propósito en la zona de Mezcalapa, Huimanguillo, Tabasco, por condición corporal.

Condición Corporal	Hemoglobina gr/dl	Eritrocitos mill/mm ³	Hematocrito %	VCM fl	CCMH %
1	9.57±2.34b	5.15±0.98b	23.69±5.49c	44.58±6.00b	39.25±4.41a
2	10.59±1.65a	5.23±1.03b	33.09±6.45b	61.45±15.02a	32.70±7.26c
3	10.35±2.28a	6.31±1.98a	30.34±8.60a	46.01±4.14b	36.29±4.91b
Valores de referencia	8 a 15	5 a 10	24 a 46	40 a 60	30 a 36

CONCLUSIONES

Los valores hematológicos determinados se ubican dentro de los normal para los valores de referencia, pero en su mayoría cerca de los límites inferiores.

Los ranchos donde los animales seleccionados cuentan con mejor condición corporal son los que presentan mejores valores en las determinaciones hematológicas realizadas.

Es importante promover el uso de los laboratorios entre los ganaderos para identificar a tiempo situaciones que limiten lograr el máximo potencial productivo en las empresas pecuarias.

LITERATURA CITADA

- Amorims M.R., Borges S.A., Kuchembuck G.M.R., Takahira K.R. y Alencar N.X. 2003. Bioquímica sérica e hemograma de bovinos antes e após a técnica de biopsia hepática. *Ciencia Rural*, vol.33, num3, pp 519-523. Brasil.
- FARM. 2013. Cuidado Animal. Manual de Referencia. National Dairy Farm Program. USA. Pp 49-56
- García P.O. 1998. Historia y geografía de Tabasco. Secretaria de Educación. Tabasco, México. pp 13-14.
- Klaassen K. J., 1999. Reference values in veterinary medicine. Vol. 30. Number 3. *Laboratory Medicine*. <https://academic.oup.com/labmed/article-abstract/30/3/194/2504134>. Consultado: 25 enero 2018.
- Klinkon M., and Jezek J. (2012). Values of Blood Variables in Calves, A Bird's-Eye View of Veterinary Medicine, Dr. Carlos C. Perez-Marin (Ed.), ISBN: 978-953-51-0031-7, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/a-bird-s-eye-view-of-veterinary-medicine/values-of-blood-variables-in-calves>
- Merck. 2007. Hematología en: Manual Merck de Medicina Veterinaria. Ed. Oceano-Centrum. Merial. Sexta edición en español.

- Moreno E.F. 2008. Evaluación de 30 Parámetros hemáticos en bovinos *bos indicus* en los municipios de San Juan de Urabá y Arboletes del Urabá Antioqueño. Tesis licenciatura Médico Veterinario Zootecnista. Universidad C.E.S. Medellín Colombia pp 5-51
- Ugarte O.M.A. 2012. Reporte de un caso clínico de Leucosis Enzootica Bovina. Informe de servicio social. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. UNAM. México. Pp 5-27

REFERENCIAS INFORMÁTICAS

- Assis I., Galon N., Adler H., Ravel M y Vaanstraten M. 2006. Assessing Normal Hematological parameters of high producing Dairy Cows in Israel. Israeli Dairy Board. http://www.israeldairy.com/cgi-webaxy/item?info_research_health_668-0042-04.htm . Consultado 15 de enero de 2018
- Jackson G. G.P., and Cockcroft D. P. 2017. Appendix 2: Laboratory Reference Values: Haematology. In: Clinical Examinations on Farm Animals. Blackwell Science Ltd. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9780470752425> Consultado 13 diciembre 2017
- Javic K., Conroy N. 2003. Clinical Pathology, Normal Values for Cattle. New Bolton Center Clinical Chemistry Normal Values for Cattle. Penn Veterinary Medicine. Computer Aided Learning. Field Service. In <http://cal.vet.upenn.edu/projects/fieldservice/Dairy/dclinpth.htm>. https://www.google.com/search?ei=zfMnW_mpM5CYsQXKro1Q&q=penn+veterinary+medicine+computer+aided+learning&oq=penn+veterinary+medicine+computer
- Laboratorio 9 de julio Diagnóstico Veterinario. Parámetros hematológicos y bioquímicos séricos de distintas especies. http://lab9dejulio.com.ar/informacion-tecnica/parametros-hematologicos-y-bioquimicos-sericos-de-distintas-especies_a289. Consultada noviembre 2016
- Pulido V.A.P., Castañeda S.R y Arbelaez G. 2010. Fasciola hepática: Pedagogía de diagnóstico por laboratorio y su situación en Colombia. REDVET. Revista Electronica de Veterinaria 1695-7504. Vol. 12 Num. 5B. <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n0505411B.html>. Consultada 12 diciembre 2016

**VAINAS DE *Caesalpinia coriaria* EXHIBEN ACTIVIDAD NEMATICIDA IN VITRO CONTRA
LARVAS INFECTANTES DE *Haemonchus contortus***
Caesalpinia coriaria PODS EXHIBIT NEMATOCIDAL ACTIVITY IN VITRO AGAINST INFECTIVE
LARVAE OF *Haemonchus contortus*

¹García Hernández C, ²Olmedo Juárez A, ¹Rojo Rubio R, ²Mendoza de Gives P, ¹Mondragón
Ancelmo J, ¹Zarza Albarrán MA

¹Centro Universitario UAEM Temascaltepec, Universidad Autónoma del Estado de México. Km 67.5
Carr. Fed. Toluca-Tejupilco, Temascaltepec, México, México.

²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro Nacional de
Investigación Disciplinaria en Parasitología Veterinaria, Carr. Fed. Cuernavaca-Cuautla No. 8534,
Jiutepec, Morelos, México.

Autor por correspondencia: aolmedoj@gmail.com

RESUMEN

Se evaluó el efecto del extracto hidroalcohólico (EHA) de vainas de *Caesalpinia coriaria* sobre la mortalidad de larvas L₃ de *Haemonchus contortus*. El EHA fue sometido a una bipartición líquida-líquida con acetato de etilo para obtener una fracción acuosa (F-Aq) y una fracción orgánica (F-AcOEt). Se evaluó el EHA a 25, 50 y 100 mg/ml y las dos fracciones se evaluaron a 12.5, 25 y 50 mg/ml. Se utilizó ivermectina 0.5% como control positivo y como control negativo se usó metanol 4% y agua destilada. Los datos fueron analizados usando un diseño completamente al azar través de un ANOVA usando el modelo lineal general del paquete SAS V 9.0. Para la comparación de medias se utilizó la prueba de Tukey. Asimismo, se calcularon las concentraciones letales media (CL₅₀) y máxima (CL₉₀) con el procedimiento Probit del SAS. En los resultados se observa que el EHA y la F-AcOEt tienen actividad larvicida, que es directamente proporcional a la concentración de prueba, mientras que la F-Aq no presenta actividad biológica contra las larvas L₃ de *H. contortus*. La mayor actividad se obtuvo con la F-AcOEt en la concentración más alta, que fue mayor al 98% a las 72 horas, (P<0.05); resultado que no tuvo diferencias estadísticas respecto a la ivermectina. Las concentraciones letales medias (CL₅₀) a 48 y 72 horas fueron de 8.75 y 5.06 mg/ml (F-AcOEt vs L3 *H. contortus*) y las concentraciones letales máximas (CL₉₀) fueron de 99.10 y 19.39 mg/ml (para 48 y 72 horas, respectivamente). Los resultados muestran una actividad biológica importante contra *H. contortus* que puede ser aprovechada para generar una alternativa al uso de los antihelmínticos químicos que se utilizan tradicionalmente para el control de la parasitosis gastrointestinal en pequeños rumiantes. Se sugiere identificar los compuestos de la F-AcOEt del EHA de vainas de *C. coriaria* en posteriores bioensayos *in vitro* e *in vivo* para confirmar su eficacia.

Palabras clave: *Caesalpinia coriaria*, *Haemonchus contortus*, extracto hidroalcohólico.

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, las enfermedades parasitarias en rumiantes provocadas por los nematodos gastrointestinales (NGI) son un problema de gran impacto económico y ecológico, su control se hace cada vez más complicado debido a la resistencia generada de algunos NGI hacia diferentes familias de antiparasitarios químicos. Este problema obliga a buscar alternativas para tratar estos parásitos. Actualmente se ha utilizado el material de algunas leguminosas arbóreas que contienen metabolitos secundarios con propiedades antihelmínticas (AH) (von Son-de Fernex et al., 2012; Olmedo-Juárez et al., 2014, García-Hernández et al., 2017), las cuales pueden ser una opción sustentable. Dentro de los compuestos secundarios, se tienen a los taninos condensados, terpenos, saponinas y flavonoides (Williams et al., 2014). Olmedo-Juárez et al. (2017) reportaron que los flavonoides tienen actividad antihelmíntica y que, en conjunto con otros compuestos (taninos), presentan sinergismo, ya que potencializa su efecto contra NGI. *Caesalpinia coriaria* es una leguminosa que, al igual que otros géneros de la familia *Caesalpinaceae*, se le han atribuido diferentes propiedades medicinales como analgésica, antibacteriana, antifúngica y antihelmíntica (Baldim et al., 2012). Jeeva et al. (2014) han reportado que *C. coriaria* presenta actividad antimicrobiana contra las bacterias patógenas de importancia en la salud pública *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus*. El objetivo de este trabajo fue evaluar la actividad larvicida *in vitro* del extracto hidroalcohólico de las vainas de *C. coriaria* sobre larvas infectantes L₃ de *H. contortus*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Colección del material vegetal

Se colectaron frutos secos de *C. coriaria* en la localidad de Palmar Grande, Municipio de Tlatlaya (longitud norte: 18°43'28.4" y latitud este: 100°17'03.5" O), Estado de México, México con una altitud de 800 metros sobre el nivel del mar. Las muestras fueron tomadas de siete sitios diferentes, colectando una muestra compuesta (siete árboles) de frutos en cada sitio. Las muestras inmediatamente después de ser colectadas fueron trasladadas al laboratorio de nutrición animal del Centro Universitario UAEM Temascaltepec para someterse a un proceso de secado bajo sombra hasta alcanzar peso constante, para posteriormente molerse a un tamaño de partícula de 2 mm, con la ayuda de un molino Wiley (Wiley mill model 4; Thomas Scientific, Swedesboro, NY).

Obtención del extracto hidro-alcohólico (HA)

Se utilizaron 200 g de materia seca de frutos de *C. coriaria*; los cuales fueron macerados en una solución hidro-alcohólica (agua y metanol; 70:30 v/v) durante 24 horas, posteriormente la solución fue pasada a través de algodón, cuatro capas de manta cielo y papel filtro (Whatman 541) con la finalidad de obtener un extracto libre de material vegetal. Después el extracto se concentró en un roto-evaporador (50°C, R-3 Heidolph Laborota 4000, Alemania) y finalmente se sometió a sequedad total por liofilización (Labconco 4.5 ®). Una parte del extracto HA liofilizado (500 mg) fue re-suspendido en 500 mL de agua y en 500 mL de acetato etilo mediante un embudo de separación, con la finalidad de obtener una fracción acuosa (F-Aq) y una orgánica (F-AcOEt). Finalmente ambas fracciones se concentraron en un roto-evaporador a presión reducida y fueron llevadas a sequedad total a través por procesos de liofilización. Tanto el extracto como las fracciones se almacenaron a -40 °C hasta su posterior evaluación biológica.

Material biológico

Obtención de larvas infectantes L₃ de *Haemonchus contortus*

Se usaron larvas infectantes L₃ de *H. contortus* (cepa INIFAP) que fueron obtenidas a partir de un ovino donador infectado de manera experimental a razón de 350 larvas L₃ por Kg de PV. Se realizaron coprocultivos fecales en tinas de plástico, mezclando las heces con trozos de poliestireno con una pala de madera para airear apropiadamente y propiciar una adecuada eclosión. Los cultivos fecales fueron incubados a temperatura ambiente (25-30°C) durante siete días. Las larvas L₃ se colectaron utilizando la técnica del embudo de Baermann (Liebano-Hernández, 2004) y se limpiaron por gradiente de densidad usando una solución de NaCl (42%) sobresaturada. Previo al montaje del bioensayo, las L₃ fueron desvainadas artificialmente con una solución de hipoclorito de sodio (0.187%). Finalmente, las larvas desvainadas fueron utilizadas para el bioensayo.

Procedimiento experimental

Se utilizaron placas de microtitulación de 96 pozos, con tres repeticiones (n=3) y todo el bioensayo por duplicado para realizar conteo de larvas a las 48 y 72 horas. Los tratamientos fueron las concentraciones del extracto y sus fracciones del fruto de *C. coriaria* (100, 50 y 25 mg/ml para EHA y 50.00, 25.00, 12.50, mg/ml para las fracciones), adicionalmente se utilizó agua destilada y metanol al 4% como control negativo (C) e ivermectina (0.5 mg/ml) como control positivo (C⁺). A cada pozo se le depositaron 150 ± 10 Larvas L₃/50 µl y 50 µl de los tratamientos, para hacer un volumen total de 100 µl. Posteriormente, las placas fueron incubadas a 28 °C durante 48 y 72 horas. En cada tiempo de incubación se procedió a realizar el conteo de larvas muertas y vivas tomando alícuotas de 10 µl y ser vistas en un microscopio óptico (Motic B3®), se realizaron 10 observaciones dentro de cada pozo. El porcentaje de mortalidad de larvas L₃ fue calculado mediante la siguiente fórmula: ((número de larvas muertas) / (número de larvas vivas + número de larvas muertas))*100.

Análisis estadístico

Los datos fueron sujetos a un análisis de varianza utilizando el Proc GLM del SAS (SAS Versión 9.0) bajo un diseño completamente al azar (Steel et al., 1997). Posteriormente se determinó la comparación de medias con el procedimiento Tukey, considerando efectos significativos si $P \leq 0.05$. Al final se realizó el cálculo de las concentraciones letales media (CL₅₀) y máxima (CL₉₀), que fueron estimadas con el Probit del SAS (SAS Versión 9.0).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el cuadro 1, se presenta el porcentaje de mortalidad de larvas L₃ de *H. contortus*. Se observó un efecto ($p < 0.05$) directamente proporcional a la concentración del extracto y de la F-AcOEt sobre las

larvas del nematodo, con la dosis de 50.00 mg/ml de la F-AcOEt se obtuvo el 98.36% de mortalidad de larvas L₃ que, estadísticamente, es igual al efecto del control positivo.

Cuadro 1. Porcentaje de mortalidad de larvas L₃ de *H. contortus* expuestas a un extracto hidroalcohólico de frutos maduros de *Caesalpinia coriaria* y sus fracciones acuosa y orgánica

Tratamiento	% de mortalidad de larvas L ₃	
	48 horas	72 horas
Agua destilada	1.40 ^f	2.68 ^f
Metanol 4%	2.66 ^f	4.63 ^f
Ivermectina (5mg/ml)	99.93 ^a	100.00 ^a
Extractos de <i>Caesalpinia coriaria</i> (mg/ml)		
Extracto hidroalcohólico (EHA)		
100	49.23 ^{dc}	45.72 ^c
50	36.31 ^d	37.87 ^{cd}
25	21.05 ^e	27.72 ^{de}
Fracción acuosa (F-Aq)		
50	15.88 ^e	23.48 ^e
25	13.06 ^{ef}	25.02 ^e
12.5	11.71 ^{ef}	26.37 ^{de}
Fracción orgánica (F-AcOEt)		
50	78.01 ^b	98.36 ^a
25	73.47 ^b	93.01 ^{ab}
12.5	55.95 ^c	81.42 ^b
CV	23.108	14.039
r ²	0.928	0.968

Medias con diferente literal dentro de la misma columna representan diferencias significativas (prueba de Tukey, P>0.05)

Adicionalmente, fueron calculadas la concentración letal media (CL₅₀) y máxima (CL₉₀) de la fracción orgánica (f-AcOEt) para las 48 y 72 horas, derivado de éstas tenemos que a las 48 horas fueron de 8.75 y 99.10 mg/ml para CL₅₀ y CL₉₀ respectivamente (Figura 1).

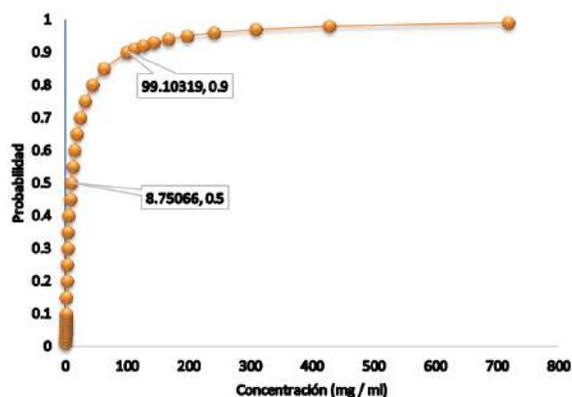


Figura 1. Concentraciones letales media (CL₅₀) y máxima (CL₉₀) a las 48 horas post exposición de la F-AcOEt del fruto de *Caesalpinia coriaria* sobre la mortalidad de larvas infectantes L₃ de *Haemonchus contortus*.

En la figura 2 se observa que a las 72 horas se obtuvieron 5.06 y 19.39 mg/ml para la CL₅₀ y CL₉₀. En conjunto, las figuras 1 y 2 nos muestran la fuerte actividad larvicida que presenta *C. coriaria*, pues Olmedo Juárez et al. (2017) encontraron 129.39 y 177.88 mg/ml en un estudio similar con un extracto hidroalcohólico de hojas de *Acacia cochliacantha*.

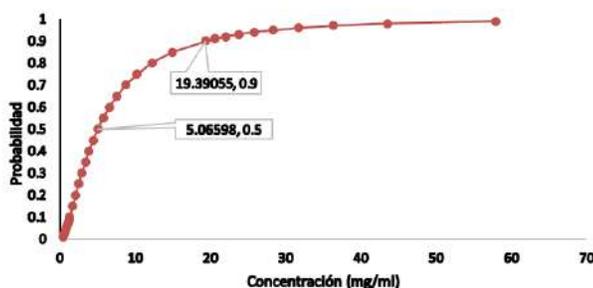


Figura 2. Concentraciones letales media (CL₅₀) y máxima (CL₉₀) a las 72 horas post exposición de la F-AcOEt del fruto de *Caesalpinia coriaria* sobre la mortalidad de larvas infectantes L₃ de *Haemonchus contortus*.

El uso de plantas con propiedades medicinales representa una alternativa sustentable para el control de las enfermedades con importantes repercusiones en la salud del ganado, como las enfermedades parasitarias gastrointestinales. Las hojas de algunas leguminosas arbóreas como *Lysiloma acapulscensis* y *Leucaena leucocephala* han evidenciado actividad antihelmíntica sobre nematodos parásitos de rumiantes en varios estudios *in vitro* e *in vivo* (Mejía-Hernández et al. 2014; Olmedo-Juárez et al. 2014; von Son-de Fernex et al. 2015; García-Hernández et al. 2017). En este ensayo se demostró que el extracto hidroalcohólico de las vainas de *C. coriaria* y la fracción orgánica del mismo (f-AcOEt) tienen un marcado efecto larvicida sobre las larvas infectantes L₃ de *H. contortus*. Algunos estudios han atribuido este efecto a los taninos condensados (Brunet y Hoste 2006; MartínezOrtiz-de-Montellano et al. 2013; Williams et al. 2014). Investigaciones más recientes han demostrado que no sólo los taninos condensados presentan actividad biológica contra los nematodos gastrointestinales de los rumiantes, Klongsiriwet et al. (2015) reportaron que los taninos condensados presentan sinergismo con otros metabolitos secundarios como los flavonoides, que incrementan la actividad nematocida. Se muestra claramente en los resultados que los compuestos activos presentes en el extracto HA de *C. coriaria* se encuentran en la fracción orgánica, por lo que es necesario identificar su naturaleza fitoquímica.

CONCLUSION

Los resultados de este estudio muestran que el EHA de las vainas de *C. coriaria* presenta propiedades larvicidas sobre las larvas infectantes L₃ de *H. contortus*. Luego entonces, esta leguminosa se puede considerar como una opción para el control biológico de nematodiasis en pequeños rumiantes. Sin embargo, hace falta evaluar el efecto en estudios *in vivo* para constatar la actividad biológica.

AGRADECIMIENTOS

Parte de este trabajo fue financiada por el proyecto fiscal “Desarrollo de un producto nutracéutico a partir de frutos secos de *Caesalpinia coriaria* adicionados a una dieta basal en cabritos Boer infectados con nematodos gastrointestinales”. Proyecto fiscal No. 8215734475.

LITERATURA CITADA

Baldim, S.J.L., de Carvalho, B.A., Salles, M.P., Henrique, S.M., Henrique G.L.J., Sartorelli, P., Viegas, C., Soares, G.M. 2012. The Genus *Caesalpinia* L. (Caesalpinaceae): Phytochemical and Pharmacological Characteristics. *Molecules*, 17, 7887-7902.

- Brunet S, Hoste H. 2006. Monomers of condensed tannins affect the larval exsheathment of parasitic nematodes of ruminants. *J Agric Food Chem*, 54:7481–7487
- García-Hernández C, Arece-García J, Rojo-Rubio R, Mendoza-Martínez GD, Albarrán-Portillo B, Vázquez-Armijo JF, Avendaño-Reyes L, Olmedo-Juárez A, Marie-Magdeleine C, López-Leyva Y. 2017. Nutraceutical effect of free condensed tannins of *Lysiloma acapulcensis* (Kunth) Benth on parasite infection and performance of Pelibuey sheep. *Trop Anim Health Prod* 49:55–61
- Jeeva K, Thiyagarajan M, Elangovan V, Geetha N, Venkatachalam P. 2014. *Caesalpinia coriaria* leaf extracts mediated biosynthesis of metallic silver nanoparticles and their antibacterial activity against clinically isolated pathogens. *Ind. Crop. Prod*, 52:714-720
- Klongsiriwet C, Quijada J, Williams AR, Mueller-Harvey I, Williamson EM, Hoste H. 2015. Synergistic inhibition of *Haemonchus contortus* exsheathment by flavonoid monomers and condensed tannins. *Int J Parasitol: Drugs Drug Resist*, 5:127–134
- Liebano-Hernández E. 2004. Identificación morfológica de larvas infectantes de nematodos gastrointestinales y pulmonares en animales domésticos de México. In Diagnóstico y control de los nematodos gastrointestinales de los rumiantes en México, Prats, M.V., Ed., 2nd edition, pp. 27-34.
- Martínez-Ortiz-de-Montellano C, Arroyo-López C, Fourquaux I, TorresAcosta JFJ, Sandoval-Castro CA, Hoste H. 2013. Scanning electron microscopy of *Haemonchus contortus* exposed to tannin-rich plants under *in vivo* and *in vitro* conditions. *Exp Parasitol*, 133(3):281–286
- Mejía-Hernández PM, Salem AZM, Elghandour MMY, Cipriano-Zalazar M, Cruz-Lagunas B, Camacho LM. 2014. Anthelmintic effects of *Salix babylonica* L. and *Leucaena leucocephala* Lam. extracts in lambs. *Trop Anim Health Prod*, 46:173–178
- Olmedo-Juárez A, Rojo-Rubio R, Arece-García J, Mohamed AZS, Kholif EA, Morales-Almaraz E. 2014. *In vitro* of *Pithecellobium dulce* and *Lysiloma acapulcensis* on the exogenous development of gastrointestinal strongyles in sheep. *Ital J Anim Sci*, 13:303–307
- Olmedo-Juárez A, Rojo-Rubio R, Zamilpa A, Mendoza-de Gives P, Arece-García J, López-Arellano ME, von Son-de Fernex E. 2017. *In vitro* larvicidal effect of a hydroalcoholic extract from *Acacia cochliacantha* leaf against ruminant parasitic nematodes, *Vet. Res. Commun*, 41:227-232
- von Son-de Fernex E, Alonso-Díaz MA, Valles-de la Mora B, Capetillo-Leal CM. 2012. *In vitro* anthelmintic activity of five tropical legumes on the exsheathment and motility of *Haemonchus contortus* infective larvae, *Exp Parasitol*, 131(4):413-418
- von Son-de Fernex E, Alonso-Díaz MA, Mendoza-de-Gives P, Valles-de la Mora B, González-Cortázar M, Zamilpa A, Castillo-Gallegos E. 2015. Elucidation of *Leucaena leucocephala* anthelmintic-like phytochemicals and the ultrastructural damage generated to eggs of *Cooperia* spp. *Vet Parasitol*, 214:89–95
- Williams AR, Ropiak HM, Fryganas C, Desrues O, Mueller-Harvey I, Thamsborg SM. 2014. Assessment of the anthelmintic activity of medicinal plant extracts and purified condensed tannins against free-living and parasitic stages of *Oesophagostomum dentatum*. *Parasit Vectors*, 7:518–527

**CALIDAD MICROBIOLÓGICA DE LA CARNE DE RES COMERCIALIZADA EN CÁRDENAS,
TABASCO**
MICROBIOLOGICAL QUALITY OF BOVINE MEAT COMMERCIALIZED IN CARDENAS, TABASCO

¹Córdova de la Cruz D, ¹Zaldívar Cruz JM, ¹Hernández Nataren E, ¹Mendoza-Hernández JHR, ²
Hernández Domínguez E

¹Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. Periférico Carlos A. Molina S/N, Km 3 Carretera
Cárdenas-Huimanguillo, Cárdenas, Tabasco, Código Postal 86500 (01) 937 105 06 27

² Instituto Tecnológico Superior de Acayucan, Carretera Costera del Golfo, Agrícola Michapan KM
216.4. Acayucan, Veracruz

Autor para correspondencia: zaldivar@colpos.mx

RESUMEN

Muchos alimentos de origen animal, como la carne, por su naturaleza de alto contenido proteico y mineral, son un reservorio natural para los microorganismos patógenos causantes de las enfermedades transmitidas por alimentos (ETS), las cuales son responsables de pérdidas económicas, que van más allá de los gastos que le cuesta al estado el tratamiento de estas, ya que también provocan pérdidas de horas de trabajo, puesto que las personas que las padecen generalmente quedan incapacitadas para realizar sus actividades rutinarias. En el presente trabajo se evaluó la presencia de *Salmonella* spp. como parámetro de calidad microbiológica de 12 muestras de carne de res de comercios de la zona urbana del municipio de Cárdenas, Tabasco, usando la metodología indicada en la Norma Oficial Mexicana NOM-210-SSA1-2014. La confirmación se llevó a cabo por métodos bioquímicos. Un alto índice del total de las muestras resultó positivo. La presencia de *Salmonella* ssp. puede deberse a un manejo inadecuado de la carne en cualquiera de las etapas de la cadena de producción, por lo que deberían implementarse políticas de salud para elevar los estándares de sanidad y un monitoreo permanente que garantice la inocuidad de la carne.

Palabras clave: *ETA'S, Salmonella, Inocuidad*

INTRODUCCION

La carne es el alimento más solicitado en la mayoría de los países (Vasut y Dima, 2009). lo que la convierte en uno de los productos de mayor producción y consumo (Cuadro 1), y debido a la importancia de ésta en la transmisión de enfermedades es necesario buscar métodos efectivos de conservación, así como de detección de microorganismos patógenos para asegurar la inocuidad de esta (Solís, 2012). La importancia de la carne deriva de sus proteínas de alta calidad, que contienen todos los aminoácidos esenciales, así como de sus minerales y vitaminas de elevada biodisponibilidad. La carne es rica en vitamina B12 y hierro, los cuales no están fácilmente disponibles en las dietas vegetarianas (FAO, 2015), las fuentes más frecuentes de suministro de carne son las especies de animales domésticos como el ganado vacuno, los cerdos y las aves de corral y, en menor medida, los búfalos, ovejas y cabras. La carne es una matriz con muy buenas cualidades para el crecimiento y multiplicación de muchos microorganismos, especialmente las bacterias (Vasut y Dima, 2009).

La falta de salubridad en los alimentos ha sido un problema de salud que se ha presentado para el ser humano desde los inicios de la civilización, es por ello que la inocuidad de los alimentos debe de ser una cuestión fundamental de salud pública y un asunto de alta prioridad para los todos los actores involucrados en la cadena de producción y hasta su consumo, esto es, productores, vendedores, consumidores, e incluso el gobierno, entonces, producir alimentos inocuos, siendo éstos, carnes, frutas, verduras, u hortalizas, es un verdadero reto, ya que “la inocuidad de los alimentos está asociada a todos los riesgos [...] debido a la presencia en ellos de patógenos microbianos, biotoxinas y contaminantes químicos o físicos, de allí que la obtención y garantía de la inocuidad debe de ser un objetivo no negociable” como si podrían serlo, el precio, o el sabor. Y puesto que todos los consumidores dan por hecho que cualquier alimento que adquieren cumple con la característica de inocuidad, se les debe asegurar el “derecho de acceder a alimentos nutricionalmente adecuados e inocuos, con garantía de que los mismos no le causarán daño a la salud” (Arizpe y Tapia, 2007).

Cuadro 1. Panorama del mercado mundial de la carne, FAO (2014).

	2012	2013 (Estimación)	2014 (Pronostico)	Variación de 2014 a 2013 %
	Millones de toneladas			
Balanza mundial				
Producción	304.2	308.5	311.8	1.1
Carne de bovino	67.0	67.7	68.0	0.5
Carne de ave	105.4	107.0	108.7	1.6
Carne de cerdo	112.4	114.3	115.5	1.1
Carne de ovino	13.7	13.9	14.0	0.5

Se tiene que asegurar que el producto final del proceso de obtención de la carne a consumir dará como resultado, un producto inocuo, es decir, “que no cause daño” a la salud de los consumidores (Real Academia Española, 2016). Las bacterias ocasionan enormes pérdidas económicas, principalmente por dos razones, la primera es que deterioran los productos alimenticios y la segunda, pero no menos importante, es que un buen número de estas resultan patógenas para el humano (Jiménez *et al.*, 2006). Las enfermedades transmitidas por los alimentos son definidas como el “conjunto de síntomas originados por la ingestión de agua o productos alimenticios que contengan agentes infecciosos o sustancias tóxicas en cantidades tales que afectan la salud del consumidor” (OMS, 2007 en Martínez-Ríos *et al.*, 2016). Los miembros del género *Salmonella* están ampliamente distribuidos en la naturaleza, encontrándose como comensales y patógenos en el tracto gastrointestinal de los mamíferos, provocando un alto índice de enfermedades de sus hospederos (Selbitz *et al.*, 1995, Turnbull, 1979 en Pachón, 2009), pero lo que lo que la convierte en la enterobacteria de mayor importancia en la salud pública es que *el género Salmonella son patógenos oportunistas que tienen la capacidad de colonizar animales productores de alimentos sin causar enfermedad manifiesta* (Bradley *et al.*, 2017), también es común encontrarla en alimentos como el huevo (Rincón *et al.*, 2011). Es una de las principales bacterias patógenas transmitidas por los alimentos (Jeníková *et al.*, 2000) en cuanto a agentes biológicos se refiere, teniendo como consecuencia un alto índice de afectaciones en la salud del ser humano. (Martínez-Ríos *et al.*, 2016). En México se han realizado estudios de enfermedades transmitidas por patógenos, específicamente para el caso de *Salmonella*, en el estado de Querétaro para la detección e identificación de bacterias causantes de enfermedades transmitidas por alimentos (Martínez-Ríos *et al.*, 2016); en el estado de Jalisco (Rojas y González, 2006), para la determinación e identificación de microorganismos patógenos en carne fresca y carne congelada (Solís, 2012). Rubio *et al.*, (2013), realizó un estudio para detección de *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* y *Yersinia enterocolitica* en tres estados del país, uno de la cuales fue Tabasco (específicamente en la ciudad de Villahermosa), encontrándose presencia de los tres microorganismos. En la actualidad son escasos los estudios realizados para determinar la calidad microbiológica de las carnes que se consumen en el estado de Tabasco, es por eso por lo que el objetivo de este trabajo fue determinar la calidad microbiológica de las carnes comercializadas en la zona urbana del municipio de Cárdenas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Toma de muestras

Las muestras de carne de bovino fueron recolectadas de carnicerías locales y supermercados ubicados en el municipio de Cárdenas del estado de Tabasco. La selección de los puntos de muestreo se realizó mediante un diseño completamente al azar, tomando en cuenta únicamente las 64 carnicerías registradas en el Padrón Municipal, de las cuales sólo se encontraron operando 33 establecimientos. Se seleccionaron 12 establecimientos ubicados en la zona urbana para la toma de muestras. Se colectaron 250 g de carne de res, posteriormente fueron transportadas en condiciones de frío al laboratorio para su análisis.

Procedimiento analítico

Se utilizó el procedimiento especificado en la Norma Oficial Mexicana NOM-210-SSA1-2014, Productos y servicios. Métodos de prueba microbiológicos, en el apartado A.6.2.18, para carnes, productos cárnicos, sustancias de origen animal, glándulas y otros alimentos el cual divide el procedimiento en los siguientes pasos:

- Etapa de pre-enriquecimiento;

- Enriquecimiento selectivo;
- Aislamiento en medios de cultivos selectivos
- Aislamiento en medios Diferenciales
- Identificación bioquímica

Para la etapa de preenriquecimiento se pesaron en condiciones asépticas, 25 g de muestra, se agregaron 225 ml de agua peptonada amortiguada estéril y se licuó por 2 minutos y se incubó durante 24 h a 36°C.

Para el enriquecimiento selectivo se transfirieron 0.1 mL del cultivo de preenriquecimiento a un tubo con 10 mL de caldo RVS RVS (Medio de Rappaport-Vassiliadis con soya) y 1 mL a un tubo conteniendo 10 mL de caldo MKTTn (Caldo de Muller-Kauffmann tetrationato novobiocina) y se incubó durante 24 h a 36°C.

El aislamiento selectivo se llevó a cabo a partir de los tubos de enriquecimiento inoculando a en tres medios de cultivo en placa, XLD (Xilosa, Lisina, Desoxicolato), ASB (Agar Sulfito de Bismuto) y VB (Agar Verde Brillante) y se incubó por 24h a 36°C.

Después de ese periodo, para su diferenciación, se seleccionaron al menos 1 colonia considerada como típica de cada agar selectivo y se inoculó en Agar SS (Agar Salmonella-Shigella) durante 24 h a 36°C. De estas placas se tomaron colonias consideradas como típicas para su confirmación bioquímica.

Para la confirmación bioquímica a partir del agar nutritivo, con un asa recta estéril se inoculó en tubos de agar inclinado de TSI (Tres Azúcares o Triple Azúcares y Hierro) y LIA (Lisina Hierro Agar). Se sembró por picadura en el fondo y estría en la superficie inclinada. Debido a que la reacción de descarboxilación de la lisina es estrictamente anaerobia, el fondo del medio de LIA, debe medir 4 cm y el bisel de al menos 2.5 cm, también se inocularon los medios MIO (Movilidad, Indol, Ornitina), (Citrate de Simons), y Caldo Urea.

Se incubaron los tubos a 36°C ± 1°C por 24 h ± 3 h. Se dejaron los tapones flojos de los tubos para mantener condiciones de aerobiosis mientras se incuban evitando excesiva producción de H₂S. Se interpretaron los cambios de color como se describe a continuación:

TSI:

Fondo del medio;

Amarillo: glucosa positiva.

Rojo o sin cambio de color: glucosa negativa.

Negro: formación de sulfuro de hidrógeno.

Burbujas o grietas en el medio: formación de gas debido a la utilización de la glucosa.

Superficie inclinada.

Amarillo: lactosa y/o sacarosa positivos.

Rojo o sin cambio de color: lactosa y/o sacarosa negativa.

Las colonias típicas de Salmonella spp, producen alcalinidad (color rojo) en la parte inclinada del medio y ácido (color amarillo) en el fondo; con producción de gas y cerca del 90% de los casos producen H₂S (ennegrecimiento del agar). Cuando alguna Salmonella spp lactosa positiva es aislada, el agar de TSI se torna completamente amarillo.

LIA

En LIA, Salmonella spp produce reacción alcalina (color púrpura) se consideraron como negativos los cultivos que produjeron claramente un color amarillo en el fondo del tubo. La mayoría de los cultivos de Salmonella spp producen H₂S en LIA.

Todos los cultivos que dieron reacción alcalina en el fondo del medio de LIA, independientemente de la reacción que hayan dado en TSI, presuntivos de Salmonella spp.

Urea

Con un asa estéril se inocularon los tubos de agar caldo urea. Debido a que algunas veces los tubos de agar urea sin inocular, pueden virar a rojo púrpura (prueba positiva), debe incluirse, un tubo de este agar sin inocular como control en una prueba negativa. Para *Salmonella* spp no se produce cambio en la coloración (amarillo anaranjado). Se incubaron a 24 h ± 2 h a 36°C ± 1°C.

MIO

Fundamento: Es un medio que se utiliza para determinar la presencia de flagelos, así como las enzimas descarboxilasa de ornitina y triptofanasa. Por lo tanto, sirve para determinar la movilidad, descarboxilación de la ornitina y producción de indol.

Algunas bacterias poseen flagelos y otras carecen de ellos. Este medio ayuda a diferenciar las móviles de las no móviles.

Lectura e interpretación: La movilidad se observa por turbidez del medio, si sólo se observa crecimiento en la estría realizada es negativa. Si la bacteria posee la enzima triptofanasa, al agregar el reactivo (3 gotas) de Kovac (p-dimetilaminobenzaldehído) o Erlich se observa un anillo color rosado intenso. La presencia de enzima decarboxilasa de Ornitina, desdobla la Ornitinaa putrescina, lo que intensifica el color violeta del medio fondo del tubo. Un viraje del violeta al amarillo se interpreta ornitina negativa.

Citrato de Simons:

Fundamento: Determina la capacidad de un microorganismo de utilizar el citrato como única fuente de carbono.

Lectura e interpretación: Un viraje de color verde al azul marino y crecimiento en la superficie da una reacción positiva, de lo contrario es negativa

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en las pruebas microbiológicas realizadas a las muestras de carne de res comercializadas en la ciudad de Cárdenas, Tabasco.

En el Cuadro 2 se muestra el crecimiento que hubo por cada caja de agar indicando con (+) la presencia de colonias típicas, mismas que se seleccionaron para su posterior análisis bioquímico.

Cuadro 2. Crecimiento bacteriano en agares selectivos.

Características de colonias típicas de <i>Salmonella SPP</i>	AGARES			
	Salmonella Shigella	Sulfito de Bismuto	Xilosa, Lisina, Desoxicolato	Verde Brillante.
Incoloro, generalmente con centro de color negro.		Negras rodeadas por una zona negra o parduzca, con brillo metálico.	Colonias con centro de color negro.	Colonias entre blancas y rojas, rodeadas de zonas rojas.
Número de muestra	Salmonella Shigella	Sulfito de Bismuto	Xilosa, Lisina, Desoxicolato	Verde Brillante.
1	(+)	(+)	(+)	(+)
2	(+)	(+)	(+)	(+)
3	(+)	(+)	(+)	(+)
4	(+)	(+)	(+)	(+)
5	(+)	(+)	(+)	(+)
6	(+)	(+)	(+)	(+)
7	(-)	(-)	(-)	(-)
8	(+)	(+)	(+)	(+)
9	(+)	(+)	(+)	(+)
10	(+)	(+)	(+)	(+)
11	(-)	(-)	(-)	(-)
12	(+)	(+)	(+)	(+)

Para el análisis bioquímico se tomaron colonias típicas presuntivas según los manuales de los medios de cultivo para Salmonella.

En el Cuadro 3 se muestran los resultados y las reacciones obtenidas en las pruebas bioquímicas para las 12 muestras analizadas.

Análisis estadístico

En la Figura 6 se muestra que, del total de las 12 muestras, en 10 hay presencia de microorganismos patógenos a la salud del ser humano, lo que corresponde al 83.33%, resultaron positivas para el serotipo *S. typhimurium*.

Cuadro 3. Resultados de las pruebas bioquímicas.

N° de muestra	Medio TSI	Medio MIO	Medio Citrato de Simons	Medio Caldo Urea	Medio LIA	DETERMINACIÓN
Control	K/A+ H ₂ S	+ (-) +	+	-	K/A (+)	
1	K/A+ H ₂ S	+ (-) +	+	-	K/A (+)	S. typhimurium
2	K/A+ H ₂ S	+ (-) +	+	-	K/A (+)	S. typhimurium
3	K/A+ H ₂ S	+ (-) +	+	-	K/A (+)	S. typhimurium
4	K/A+ H ₂ S	+ (-) +	+	-	K/A (+)	S. typhimurium
5	K/A+ H ₂ S	+ (-) +	+	-	K/A (+)	S. typhimurium
6	K/A+ H ₂ S	+ (-) +	+	-	K/A (+)	S. typhimurium
7	A/A+ H ₂ S	+ (-) +	+	-	+	
8	K/A+ H ₂ S	+ (-) +	+	-	K/A (+)	S. typhimurium
9	K/A+ H ₂ S	+ (-) +	+	-	K/A (+)	S. typhimurium
10	K/A+ H ₂ S	+ (-) +	+	-	K/A (+)	S. typhimurium
11	A/A+G	--+	-	+		
12	K/A+ H ₂ S+G	+ (-) +	+	-	K/A (+)	S. typhimurium



Figura 1. Las colonias típicas de Salmonella en Agar SS suelen ser Incoloras, generalmente con centro de color negro.

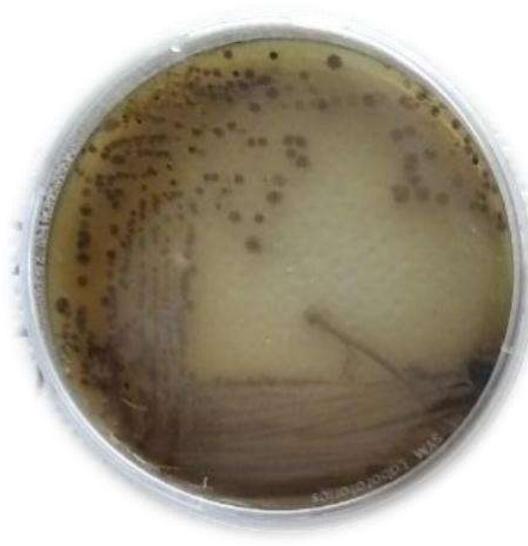


Figura 2. Las colonias típicas de Salmonella en Agar SB suelen ser negras rodeadas por una zona negra o parduzca, con brillo metálico.

Los resultados obtenidos en el presente estudio son similares a lo encontrado por Rubio *et al.*, (2013), quienes realizaron un estudio similar en la entidad en la ciudad de Villahermosa, y considerando que la normatividad vigente (NOM-210-SSA1-2014) en el apartado A.8 menciona que los cultivos determinados como presuntivos con las pruebas bioquímicas deben ser reportados como ausentes o presentes, los resultados demuestran que la calidad microbiológica de la carne consumida en la zona urbana de Cárdenas, Tabasco no cumple con los parámetros que la normatividad vigente marca, lo que muestra una falta de inocuidad de la misma, que podría ocasionar enfermedades gastrointestinales, por lo que se hace necesario incrementar la vigilancia epidemiológica por las instituciones correspondientes para garantizar la calidad de los alimentos consumidos:



Figura 3. Las colonias típicas de *Salmonella* en Agar XLD suelen ser con centro de color negro.

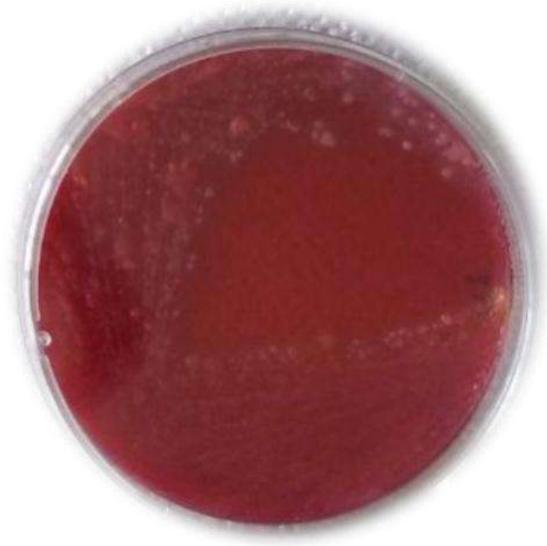


Figura 4. Las colonias típicas de *Salmonella* en Agar VB suelen ser entre blancas y rojas, rodeadas de zonas rojas.

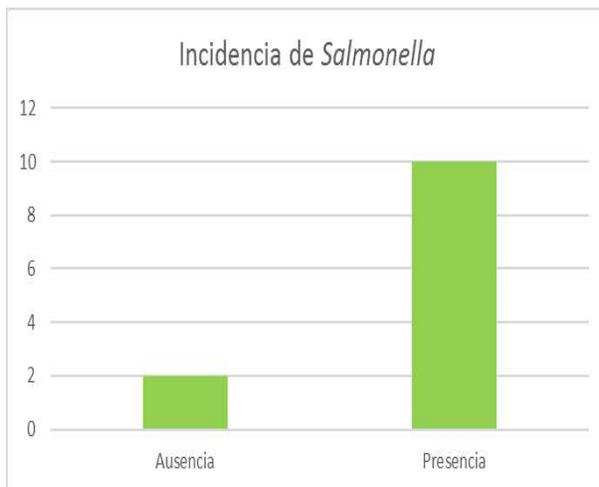


Figura 5. Incidencia de *Salmonella* en carne de res de Cárdenas, Tabasco

Incidencia de *Salmonella* en muestras de Carne de Cárdenas, Tabasco

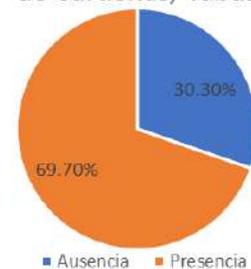


Figura 6. Porcentaje de muestras con presencia de *Salmonella* en carne de res de Cárdenas, Tabasco

LITERATURA CITADA

- Arispe, I; Tapia, M. S. (2007) Inocuidad y calidad: Requisitos indispensables para la protección de la salud de los consumidores. *Agroalimentaria*. 13(24): 105-117
- Bearson B. L.; Bearson S. M. D.; Brunelle B. W.; Bayles D. O.; Lee I. S and Kich J.D. (2017) *Salmonella* DIVA vaccine reduces disease, colonization and shedding due to virulent *S. Typhimurium* infection in swine. *Journal of Medical Microbiology*. 66: 651-661.
- FAO, (2014) . Consumo de Carne <http://www.fao.org/ag/againfo/themes/es/meat/background.html>
Consultado: 31/03/2018

- FAO, (2015) Composición de la carne http://www.fao.org/ag/againfo/themes/es/meat/backgr_composition.html Consultado: 31/03/2018
- Jeníková G. Pazlarová J. and Demnerová K. (2000) Detection of Salmonella in food samples by the combination of immunomagnetic separation and PCR assay. *Internatl Microbiol.* 3: 225-229.
- Martínez-Ríos F. J., Pérez Urquiza M., Campos Guillén J., Briones Caloca R., Jarro Castañeda A. E., Medina Lezama S. E. y Cruz Hernández A. (2016) Métodos moleculares para el estudio de enfermedades transmitidas por patógenos; el caso de salmonella. *Digital Ciencia@UAQRO* PP: 01-12
- Norma Oficial Mexicana NOM-210-SSA1-2014, Productos y servicios. Métodos de prueba microbiológicos. Determinación de microorganismos indicadores. Determinación de microorganismos patógenos.
- Rincón Ácero, D. P.; Rámirez Rueda R. Y. y Vargas Medina J c.(2011). Transmisión de *Salmonella* entérica a través de huevos de gallina y su importancia en salud pública. *Rev. Univ. Ind. Santander. Salud.* 13(24) pp.167-177.
- Rojas Herrera R. A., González Flores T., (2006) Detección e identificación de bacterias causantes de enfermedades transmitidas por alimentos mediante la reacción en cadena de la polimerasa, *Bioquimia* 31 (2) 69-76.
- Rubio Lozano M. S., Martínez Bruno J. F., Hernández Castro R., Bonilla Contreras C. B., Méndez Medina R. D., Núñez Espinosa J. F., Alejandro Echeverry, M. Brashears M. (2013). Detection of *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* and *Yersinia enterocolitica* in beef at points of sale in México. *Rev Mex Cienc Pecu.* 4(1): 107-115
- Solís E. B. (2012) Determinación e identificación de Microorganismos Patógenos en carne fresca y carne congelada. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Vasut R.G.; Dima Robeci, M., (2009). Food contamination with psychrophilic bacteria, *Lucrări științifice medicină veterinară*, 12(2), 325-330.

EVALUACIÓN ECONÓMICA DE UNIDADES DE PRODUCCIÓN BAJO EL SISTEMA DE DOBLE PROPÓSITO EN SINALOA

ECONOMIC EVALUATION OF FARMS IN THE DUAL PURPOSE SYSTEM IN SINALOA

¹Bautista-Martínez Y, ²Granados-Rivera LD, ³Espinosa García JA, ¹Cancino S J, ¹López Acevedo EA

¹Universidad Autónoma de Tamaulipas / Universidad Autónoma del Estado de México, Matamoros SN, Zona Centro Ciudad Victoria, Tamaulipas, C.P. 87000.

²Instituto Nacional de Investigación Forestal, Agrícola y Pecuaria, General Terán, Km. 31 Carretera Montemorelos-China Exhacienda Las Anacuas, C.P. 67400

³Centro Nacional de Investigación en Fisiología y Mejoramiento Animal CENID-FyMA de INIFAP, km.1 Carretera Colón, Ajuchitlán, Querétaro C.P. 76280.

Autor para correspondencia: ybautista@docentes.uat.edu.mx

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue determinar las características socioeconómicas, productivas y los principales indicadores económicos de unidades de producción (UP) del sistema bovino de doble propósito (DP) en el estado de Sinaloa. La información se obtuvo de 10 UP a través de encuestas mensuales durante el período de un año (julio 2012 - junio 2013), donde se registró información relacionada con las características generales de las UP, así como las necesarias para calcular los indicadores económicos; inventario de activos fijos, ingresos, egresos, producción de leche y carne. Las características socioeconómicas y productivas fueron analizadas con estadística descriptiva (medias, frecuencias, porcentajes, coeficiente de variación). El desarrollo de la actividad del DP representan el 87.5 % de los ingresos de los productores de una edad promedio de 50 años con escolaridad básica, la producción de leche fue de 12 l diarios. La relación beneficio- costo indicó, que por cada peso que se invierte el productor gana 30 centavos, mientras que la rentabilidad sobre la inversión fue del 13.69 %. El costo de producción de un litro de leche fue de \$4.85, becerro \$4947.78. El precio pagado al productor fue de \$6.0 por litro de leche y \$6070.69 por becerro generando utilidades de \$1.15 y \$1122.91 respectivamente. La empresa pecuaria empieza a generar ganancia cuando alcanza el punto de equilibrio con un ingreso de \$45,349.7 por venta de leche, lo que corresponde a producir 75,581.97 litros en el año, e ingresos de \$75,581.96 por venta de becerros equivalente a 8 animales. Conocer los indicadores económicos de la empresa pecuaria es importante para la toma de decisiones, ya que permite diseñar estrategias de acuerdo a las necesidades de las UP, mediante el registro de información de manejo de hato, variables productivas y económicas.

Palabras clave: *Rentabilidad, beneficio-costo, ganancias, punto de equilibrio*

INTRODUCCIÓN

El sistema de doble propósito se desarrolla principalmente en las áreas del trópico seco y húmedo de México. El estado de Sinaloa se caracteriza por ser uno de los Estados representativos del sistema de doble propósito del trópico seco. En el año 2016 Sinaloa produjo 162,094 t de ganado en pie, 91,337 t de carne en canal y 106,945 litros de leche (SIAP, 2016) debido a que es uno de los estados productores de carne y leche de bovino del país, es importante realizar un análisis de desempeño económico de las unidades de producción con el objetivo de conocer la rentabilidad de estas y realizar mejoras en el sistema de producción.

En general existe varios indicadores económicos en el análisis de desempeño económico de las empresas, para el caso del sector pecuario las de mayor relevancia son; inversión de activos, costos de producción, ingresos, costo unitario de producción, utilidades, rentabilidad y punto de equilibrio (Espinosa *et al.*, 2010). El resultado de la estimación de estas variables le permitirá al productor tomar decisiones sobre el manejo de los insumos que utiliza para la producción para obtener mayores beneficios económicos. El objetivo del presente estudio fue realizar un análisis sobre las principales variables de desempeño económico de unidades de producción del estado de Sinaloa para conocer la rentabilidad de estas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el estado de Sinaloa, ubicado a 22° 31' y 26° 56' N y 105° 24' y 109° 27' O. El 48 % del territorio tiene un clima cálido subhúmedo, temperatura promedio anual de 25 °C, con un promedio de temperatura máxima de 36 °C en los meses de mayo a julio y una mínima promedio de 10.5 °C, en el mes de enero (CNA, 2018).

Los datos se obtuvieron de 10 unidades de producción en el sistema de doble propósito, durante el periodo de julio del 2012 a junio del 2013, por medio de encuestas mensuales, donde se registró información relacionada con las características generales de los productores y unidades de producción, inventario de los activos fijos, manejo en la alimentación, praderas, reproducción, genética, gastos, egresos, así como la producción de leche y carne.

Las características socioeconómicas y productivas fueron analizadas con estadística descriptiva (medias, frecuencias, porcentajes, coeficiente de variación).

En el análisis económico de las unidades de producción se calculó de acuerdo a la metodología propuesta por (espinosa *et al.*, 2010) para el análisis de las empresas pecuarias y se estimaron las siguientes variables.

Costos variables fue la suma aritmética de los costos de mano de obra, insumos alimenticios, medicamentos, inseminación artificial, combustibles, servicios, mantenimiento y otros costos que se efectuaron en el periodo de análisis.

Costos fijos incluyeron la depreciación y administración ya que estos no variaron en relación al volumen de producción.

Costos totales de producción fue la suma aritmética de los costos variables y costos fijos de la unidad de producción.

Ingreso total incluyó los ingresos por venta de leche, becerros e ingresos potenciales, estos últimos corresponden a los productos generados no vendidos durante el periodo de análisis.

Costo unitario de producción de leche y de carne correspondió al costo de producir una unidad de producto.

Utilidad del periodo corresponde a las ganancias monetarias de la empresa durante el periodo de análisis. Que es la diferencia entre los costos totales a los ingresos totales.

Relación beneficio-costos indica cuánto se gana en términos monetarios por cada peso que se gasta.

Rentabilidad sobre la inversión que indica en términos porcentuales la utilidad o pérdida por cada peso que la empresa destina para pagar los costos de producción. Se estima dividiendo la utilidad entre los costos totales de producción.

Punto de equilibrio económico (PEE) corresponde a los ingresos mínimos que se deben obtener por la venta de leche o carne para que la empresa pecuaria empiece a generar ganancias.

Punto de equilibrio productivo (PEP) corresponde a los litros de leche o cantidad de becerros que la unidad de producción debe generar para comenzar a tener ganancias.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las unidades de producción bajo el sistema de doble propósito en el estado de Sinaloa se caracterizan por tener productores de edad adulta (Cuadro 1), lo cual puede representar un riesgo a mediano y largo plazo del abandono gradual de la ganadería de DP, debido a que la gente joven emigra a otras áreas en busca de oportunidades de estudiar y trabajo. Por lo tanto, los proyectos productivos dirigidos al área de producción animal deben ser dirigidos a la gente joven para evitar el abandono de esta actividad (Nájera-Garduño *et al.*, 2016).

Cuadro 1. Medias y coeficiente de variación de las características socioeconómicas de unidades de producción del sistema de doble propósito en el estado de Sinaloa.

Variable	n	Media (\bar{y})	CV
Edad del productor (años)	10	50.3	15.28
Escolaridad (años)	10	7.2	26.35
Tamaño de la unidad de producción (ha)	10	89.8	80.72
Mano de obra permanente (personas/día)	10	3.0	69.63
Mano de obra temporal (personas/año)	10	11.90	39.97
Distancia a la comunidad más cercana (km)	10	2.1	42.83
Ingreso de la actividad ganadera (%)	10	87.5	27.70

n= Número de unidades de producción; CV= Coeficiente de variación.

Por otra parte, la escolaridad de los productores corresponde a una educación básica, otros estudios relacionan los años de escolaridad de los productores con la adopción de innovaciones tecnológicas en las unidades de producción lo cual trae beneficios económicos (Cuevas *et al.*, 2016). Lo cual es importante ya que en promedio el 87 % de los ingresos de los productores es por la actividad ganadera y el resto por realizar otras actividades (empelados, comercio).

Cuadro 2. Estructura del hato de unidades de producción en el sistema de doble propósito en el estado de Sinaloa

Variable	n	Media (\bar{y})	CV
Vacas en producción	10	50.6	70.92
Vacas secas	10	14.8	64.01
Vaquillas	10	12.46	76.75
Becerras	10	6.27	71.33
Becerras	10	7.35	56.90
Sementales	10	2.14	72.87
Producción promedio diaria (l)	10	12.24	17.81

n= Número de unidades de producción; DE= Desviación estándar; CV= Coeficiente de variación.

La estructura del hato fue heterogénea entre las UP (Cuadro 2). Velasco-Fuenmayor *et al.* (2009) relaciona el tamaño del hato con la adopción de tecnología. Productores con hatos grandes adoptan una mayor cantidad de innovaciones tecnológicas y de forma más rápida que productores con hatos pequeños, este efecto puede estar relacionado a que estos productores buscan hacer más eficiente los recursos con los que cuentan, para disminuir los gastos especialmente los relacionados con la alimentación (Cuevas *et al.*, 2016) que son los que representan en general la mayor proporción de los costos variables.

Los productores de Sinaloa en promedio ganan 30 centavos por cada peso que invierten (Cuadro 3) La cual es mayor a las obtenidas en áreas tropicales de sur con valores de 11 a 16 centavos (Juárez-Barrientos *et al.*, 2015). Mientras que la rentabilidad de la inversión indica que los productores ganan 13.69 centavos por peso invertido cuando se incluyen el costo de los activos fijos (equipo e infraestructura utilizado únicamente para la actividad pecuaria). Ambos valores son mayores a la tasa de interés que recibiría el productor si invirtiera su dinero en un banco.

Los costos de producción de leche y becerros son mayores a los precios pagados al productor por la venta de estos, lo cual le genera utilidades económicas por producto generado. Los costos de producción dependerán de la cantidad y precios de los insumos utilizados en el proceso de producción, en regiones tropicales como Tabasco y Veracruz los costos de producción por litro de leche son de \$3.26 (Granados *et al.*, 2011) y \$2.66 (Guevara *et al.*, 2008) estas regiones del trópico húmedo se caracterizan porque la mayoría de su alimentación es basada en pastoreo, y pocas veces se suplementa con una dieta balanceada a los animales, mientras que el trópico seco al haber una mayor escases de forraje durante la época de seca los productores se ven obligados a utilizar complementos alimenticios lo cual provoca el aumento de los costos de producción.

Cuadro 3. Indicadores económicos de unidades de producción del doble propósito en Sinaloa.

Indicadores económicos	n	Sinaloa	CV
Relación beneficio-costos (UP)	10	1.30	61.53
Rentabilidad sobre la inversión (%)	10	13.69	45.83
Costo de un litro de leche (\$)	10	4.85	6.22
Costo de un becerro (\$)	10	4947.78	21.38
Precio promedio pagado al productor (l \$ ⁻¹)	10	6.0	8.33
Precio promedio pagado al productor (becerro \$ ⁻¹)	10	6070.69	17.72
Utilidad por un litro de leche (\$)	10	1.15	26.30
Utilidad por producir un becerro (\$)	10	1122.91	13.70
Punto de equilibrio de leche (\$)	10	453491.7	65.54
Punto de equilibrio de becerros (\$)	10	75581.96	51.22
Punto de equilibrio en leche (l)	10	75581.97	65.54
Punto de equilibrio en becerros (UP)	10	7.08	44.88

El punto de equilibrio ocurre cuando los ingresos son iguales a los costos de producción, es decir no existen ganancias ni pérdidas. Este punto lo consiguen las unidades de producción del estado de Sinaloa al producir 75,581.97 l de leche lo que corresponde a un ingreso de 45,3491.7. Y una producción promedio de y becerros al año con un ingreso de 75,581.96. El punto de equilibrio dependerá de los costos de producción e ingresos obtenidos en las unidades de producción.

CONCLUSIONES

Las unidades de producción en la región de estudio se caracterizan por tener características sociales y de estructura de hato heterogéneas sin embargo la mayoría de los ingresos económicos de los productores es por desarrollar la actividad ganadera y obtiene mayores ingresos por la producción de leche que por la venta de becerros. El desarrollo de la actividad del sistema de doble propósito es rentable para los productores ya que reciben beneficios económicos por llevar a cabo esta actividad además de contribuir a la elaboración de alimentos básicos.

LITERATURA CITADA

- Cuevas Reyes, V., Loaiza A. M., Espinosa-García J.A., Vélez I.A., Montoya F.M.D. 2016. Tipología de las explotaciones ganaderas de bovinos doble propósito en Sinaloa, México. *Rev Mex Cienc Pecu* 2016;7(1):69-83
- Granados Z. L., Quiroz V. J., Barrón A.M., Cruz, P.C y Jiménez O.M.M. 2011. Costos de producción del litro de leche y carne en un sistema de lechería de doble propósito. *Actas Iberoamericanas de Conservación Animal* 1:424-427.
- Guevara. R., Hernández, L. A. G., Bello C. H. A. y Pérez L.B. 2008. Sustentabilidad financiera: el caso de una empresa ganadera de bovino de doble propósito. *Revista Mexicana de Agronegocios*, núm. enero-junio: 503-515.
- Juárez-Barrientos, J. M., Herman-Lara E., Soto-Estrada A., Ávalos, C.D.A., Vilaboa-Arroniz J y P. Díaz-Rivera. 2015. Tipificación de sistemas de doble propósito para producción de leche en el distrito de desarrollo rural 008, Veracruz, México. *Revista científica XXV* (4) 317-323.
- Nájera-Garduño A. L., Piedra-Matías R., Albarrán-Portillo B y García-Martínez A. 2015. Cambios en la ganadería doble propósito en el trópico seco del estado de México. *Agrociencia* 50: 701-710.
- Servicio Meteorológico Nacional. 2016. Disponible en: <http://smn.cna.gob.mx>
- Velasco-Fuenmayor, J., Ortega-Soto L., Sánchez-Camarillo, E., Urdaneta F. 2009. Factores que influyen sobre el nivel tecnológico presente en las fincas ganaderas de doble propósito localizadas en el estado Zulia, Venezuela. *Revista Científica* 19, 187–195.

Sección D:
Biotecnología

VARIABILIDAD GENÉTICA DE GENOTIPOS AVANZADOS DE TOMATE DE CÁSCARA
***Physalis ixocarpa* Brot.**
GENETIC VARIABILITY OF ADVANCED GENOTYPES OF HUSK TOMATO *Physalis ixocarpa* Brot.

González-Chavira MM, Pons-Hernández JL, González-Pérez E, Villalobo-Reyes S

Centro de Investigación Regional del Centro del INIFAP. Carretera Celaya San Miguel Allende
Kilómetro 6.5, 38010, Celaya, Guanajuato, México.

Autor de correspondencia: gonzalez.mario@inifap.gob.mx

RESUMEN

Conocer la similitud genética entre los individuos y las poblaciones es de gran utilidad en los programas de mejoramiento genético debido a que facilita la organización del material, la selección adecuada de los genotipos superiores y la complementación con datos fenotípicos y agronómicos para el desarrollo de una población mejorada. Es por esto que se planteó esta propuesta, cuyo objetivo fue cuantificar por medio de marcadores moleculares de ADN de tipo AFLP, la variabilidad genética presente en 20 líneas avanzadas de tomate de cascara (*Physalis ixocarpa*), pertenecientes al programa de mejoramiento de hortalizas del CE-Bajío del INIFAP. Se encontró que el promedio general de similitud entre los genotipos fue de 0.86 que corresponde a las condiciones genéticas del material evaluado. De acuerdo a las relaciones genéticas, se detectaron los genotipos 4 y 70 como posibles progenitores de híbridos mejorados y las líneas 88, 94 y 97 como base de una variedad de polinización libre. De igual forma se detectó a los materiales 89 y 171 como probables duplicados.

Palabras clave: *Physalis ixocarpa*, marcadores moleculares, diversidad genética

INTRODUCCION

En México el cultivo de tomate verde o de cáscara, ocupa el quinto lugar en cuanto a superficie sembrada a nivel nacional con un promedio de producción de 2013 a 2016 de 637 mil 462 toneladas anuales; producidas en 42 mil hectáreas divididas en 28 estados de la República, con una Tasa Media de Crecimiento anual para este periodo de 4.7 por ciento. Esto ha situado al país en el noveno lugar como productor y en el tercer puesto como exportador; gracias a esto este producto se encuentra en el sexto lugar de las hortalizas más importantes del país después del chile, el jitomate y la calabaza (SAGARPA, 2017).

Este aumento en la producción ha incrementado la demanda de nuevas variedades adaptadas a las cambiantes condiciones agroecológicas del país. Las variedades actuales son el resultado del mejoramiento genético convencional que se ha venido realizando a través de ciclos de selección y cruzamientos. Dicho mejoramiento tiene como base la diversidad genética cuyas fuentes de germoplasma son silvestres, razas o cultivares primitivos, variedades antiguas, material que ha tenido un proceso de mejoramiento pero que no ha sido liberada y germoplasma de especies introducidas que han evolucionado al nivel de acriollamiento.

La variabilidad genética o diversidad genética en sentido amplio es el componente más básico de la biodiversidad y se define como las variaciones heredables que ocurren en cada organismo, entre los individuos de una población y entre las poblaciones dentro de una especie. El resto de la biodiversidad se deriva de los procesos evolutivos que operan sobre esas variaciones (Piñero *et al.*, 2008).

La diversidad genética tiene una organización multidimensional compleja y su comprensión se basa en el grado de similitud (o diferencia) entre pares de unidades (individuos, poblaciones, accesiones, variedades, etc.) valorada a través de caracteres que son compartidos. Desde el punto de vista agronómico y comercial, la caracterización del germoplasma se ha basado fundamentalmente en características de alta y de baja heredabilidad, medidas a través del fenotipo. Sin embargo, las principales limitantes de esta caracterización son la influencia ambiental, el tiempo requerido para coleccionar los datos y el reducido número de genes involucrados en este proceso. En las últimas décadas ha habido innumerables esfuerzos para desarrollar técnicas que permitan conocer más directamente la variación genética y no a través de los fenotipos, lográndose un notorio aumento en los marcadores genéticos disponibles para estudios de diversidad. Su aplicación permite determinar la estructura genética, tanto en las poblaciones naturales como cultivadas y estudiar el grado de similitud entre y dentro de las unidades de estudio, evitando el efecto ambiental.

Los marcadores moleculares proveen gran cantidad de información, son altamente polimórficos, cubren todo el genoma y su evaluación es posible en estadios muy tempranos del desarrollo, utilizando pequeñas porciones de material biológico que no destruyen el individuo; no presentan interacciones intergénicas, tienen mayor reproducibilidad y presentan herencia simple y a menudo codominancia (Awise, 2004). Permiten estimar la diversidad genética neutral, hacer comparaciones entre individuos, poblaciones (también variedades o razas) y especies o grupos taxonómicos mayores y establecen relaciones de paternidad, parentesco y filogenéticas. Entre los más usados para caracterizar y evaluar la variabilidad genética se encuentran los RFLP, RAPD, AFLP, SSR, ISSR y SNP (Cubero, 2013).

De este grupo de metodologías, “Los polimorfismos en la longitud de los fragmentos amplificados”, mejor conocidos como “AFLP” por sus siglas del inglés “Amplified Fragment Length Polymorphism”, pertenecen al grupo de marcadores moleculares multi-loci que permiten analizar al azar regiones de ADN distribuidas en todo el genoma sin tener conocimiento previo de éste (Simpson 1997a, Simpson et al. 1999), lo que ha facilitado la clasificación de los materiales, la detección de duplicados, la identificación del origen geográfico y la determinación de puntos de máxima variabilidad. Esta información facilita el manejo de las colecciones de germoplasma, ya que permite elegir parentales donde buscar nuevos alelos para ampliar la base genética de los materiales y la explotación adecuada de la heterosis (Awise 2004).

MATERIALES Y MÉTODOS

Material biológico. Para la obtención del tejido vegetal, se colectaron hojas jóvenes de 5 plantas de cada 20 líneas avanzadas de tomate. Se realizaron extracciones individuales por planta. Posteriormente se mezclaron cantidades iguales de ADN de cada planta para tener una sola muestra por cada línea.

Extracción de ADN. El aislamiento del ADN fue hecho de acuerdo al protocolo de extracción de CTAB modificado por Porebski et al., 1997. Se cuantificó con la ayuda de un espectrofotómetro (Thermo Scientific™ NanoDrop 8000) y se complementó con una cuantificación visual en gel de agarosa a 1.5%. Se uniformizaron las diluciones a una concentración de 120 ng/μl de ADN.

Análisis AFLP. Los polimorfismos en la longitud de los fragmentos amplificados fueron detectados utilizando el protocolo descrito por Vos y col. en 1995; que en términos generales consiste en: cortar el ADN con dos endonucleasas de restricción, una de corte raro y otra de corte frecuente (Eco R1 y Tru 91); los productos de éstas digestiones se ligan a secuencias conocidas de ADN de doble cadena llamadas adaptadores, la secuencia adaptador-sitio de restricción de estos fragmentos sirve como ADN blanco para las posteriores amplificaciones. Se hace una amplificación selectiva usando iniciadores AFLP que tienen en su extremo 3' un número de bases selectivas (1 y 3) que se extienden hacia dentro del fragmento de restricción, uno de estos iniciadores se marca con flúoroforos que emiten luz en una longitud de onda de 700 y 800 nanómetros y son detectados por un escáner láser que los registra, de ésta forma, solamente un subgrupo de fragmentos de restricción será amplificado y visualizado en geles de secuenciación de poliacrilamida bajo condiciones desnaturalizantes, utilizando un secuenciador NEN Global IR2, marca LI-COR, el cual tiene acoplada una computadora lo cual permite la captura automática de la imagen digital. Los iniciadores adaptador-sitio de restricción Eco R1 (E+3) usados en este trabajo fueron: E+ACA, E+AGC y E+AAC; los iniciadores adaptador-sitio de restricción Tru 91 (T+3) fueron T+CAG y T+CTC. Con estos iniciadores se formaron las cuatro combinaciones usadas para el análisis: E+ACA/T+CAG, E+AGC/T+CAG, E+ACA/T+CTC y E+AAC/T+CTC.

Análisis de datos. Las imágenes digitales generadas por el secuenciador, se analizan usando el programa “Cross Checker 2.91” el cual codifica las bandas de cada variedad usando un código binario donde cada banda se representa como presente (1) o ausente (0), los archivos de datos binarios son analizados con el programa NTSYS-pc versión 2.1 (Numerical Taxonomy Multivariate Analysis System) (Rohlf, 2000), para generar una matriz de similitud basada en el coeficiente de similitud de Nei y Li (Nei y Li, 1979), también conocido coeficiente de Dice (Dice, 1945), el cual considera para determinar la semejanza entre dos variedades solo las coincidencias. A partir de la matriz de similitud, se determinan las relaciones genéticas entre el germoplasma estudiado utilizando un dendrograma generado por un análisis de agrupamientos aplicando el método UPGMA (Unweighted Pair Group Method Arithmetic Average).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La media general de la similitud genética obtenida entre 20 líneas avanzadas de tomate de cáscara fue de 0.86, con un rango desde 0.66 a 0.94. La mayor similitud fue entre las líneas 89 y 171 y la menor similitud fue entre la 27 y 70 (Cuadro 1). Estos resultados son más altos al promedio de 0.62, reportado por Wei, *et al.* en 2012, obtenido al analizar 38 colectas de seis especies de *Physalis* con marcadores moleculares estas diferencias eran de esperarse por el tipo de genotipos analizados ya que se está comparando la similitud entre especies contra la similitud entre genotipos de la misma especie que además han sufrido un proceso de mejoramiento.

Se ha sugerido que la domesticación y la endogamia reducen drásticamente la variación genética aumentando por lo tanto la similitud genética (Labate, *et al.*, 2009), no obstante, en tomate de cascara parece que esta situación no es tan drástica. Zamora-Tavares, *et al.* en el 2015, usando marcadores moleculares, analizaron tres poblaciones de *Physalis philadelphica* originarias del estado de Jalisco con diferentes grados de domesticación, reportando una similitud genética promedio en poblaciones silvestres de 0.84 y en cultivadas 0.83, valores ligeramente inferiores a los encontrados en este trabajo en líneas mejoradas (0.86). Esto puede ser debido a que la mayoría de los genotipos de tomatillo poseen autoincompatibilidad gametofítica y por lo tanto son alogamas obligados (Evanno, *et al.* 2005). Aunque el tomate de cáscara ha sido domesticado durante siglos, las formas silvestres con frecuencia se encuentran creciendo en campos cultivados provocando cruzamientos entre ellos (Hudson, 1986), por lo que la domesticación ha tenido poco efecto a nivel general en la diversidad de este cultivo. La diferencia con los resultados aquí presentados, es muy probable que sea debido a que los genotipos analizados en este trabajo están en las etapas finales de mejoramiento, por lo que la presión de selección hacia los caracteres de interés, ha disminuido la diversidad genética y aumentando la similitud entre ellos.

Cuadro1. Matriz de similitud genética entre genotipos de tomate de cascara, según el coeficiente de Nei y Li (1979) con marcadores AFLP.

Genotipos	4	17	18	25	27	30	37	41	64	70	79	86	88	89	92	94	97	167	171	182	
4	1																				
17	0.78	1																			
18	0.73	0.89	1																		
25	0.77	0.88	0.92	1																	
27	0.73	0.86	0.92	0.88	1																
30	0.79	0.85	0.85	0.87	0.88	1															
37	0.76	0.87	0.87	0.89	0.87	0.87	1														
41	0.71	0.82	0.88	0.84	0.85	0.83	0.85	1													
64	0.74	0.82	0.84	0.84	0.83	0.84	0.85	0.86	1												
70	0.79	0.69	0.7	0.71	0.66	0.71	0.73	0.73	0.79	1											
79	0.72	0.83	0.89	0.85	0.85	0.82	0.85	0.89	0.9	0.79	1										
86	0.71	0.82	0.85	0.82	0.82	0.83	0.85	0.89	0.91	0.78	0.91	1									
88	0.72	0.87	0.9	0.86	0.85	0.83	0.9	0.88	0.88	0.74	0.91	0.87	1								
89	0.74	0.83	0.9	0.88	0.85	0.86	0.87	0.89	0.89	0.75	0.89	0.88	0.92	1							
92	0.73	0.84	0.87	0.85	0.85	0.88	0.85	0.88	0.88	0.75	0.9	0.89	0.89	0.91	1						
94	0.71	0.87	0.92	0.88	0.85	0.83	0.87	0.88	0.85	0.75	0.91	0.87	0.93	0.91	0.92	1					
97	0.72	0.85	0.93	0.86	0.88	0.84	0.88	0.88	0.89	0.73	0.91	0.87	0.93	0.93	0.9	0.93	1				
167	0.73	0.8	0.85	0.85	0.85	0.84	0.85	0.86	0.84	0.73	0.86	0.82	0.88	0.88	0.87	0.85	0.86	1			
171	0.76	0.84	0.89	0.89	0.85	0.86	0.88	0.86	0.89	0.75	0.89	0.85	0.93	0.94	0.92	0.91	0.91	0.93	1		
182	0.7	0.8	0.87	0.82	0.84	0.79	0.81	0.89	0.83	0.7	0.86	0.86	0.88	0.88	0.86	0.88	0.88	0.86	0.87	1	

En cuanto a las relaciones genéticas encontradas se puede apreciar en el dendrograma de la figura 1, que a pesar de que el promedio general de similitud entre el total de las líneas es alto, se forman claramente dos grupos (A y B), el A formado por las líneas 4 y 70, y el B con los 18 genotipos que completan este estudio. Los dos genotipos del grupo A, muestran un coeficiente de similitud de 0.73 con respecto al resto de las líneas, por lo que pueden ser interesante analizar su uso como posibles progenitores de híbridos, con el fin de aprovechar una potencial heterosis la cual se ha demostrado que es posible en esta especie (Camposeco, *et al.* 20015; Peña-Lomelí, *et al.* 1998)

Con respecto al grupo B, se aprecia la formación de dos subgrupos (B1 y B2), en el subgrupo B2 se agrupan los genotipos 89 y 171 que por su alta similitud podrían considerarse como duplicados, de igual forma en este grupo se tienen los materiales 88, 94 y 97 que son muy parecidos genéticamente y podrían usarse indistintamente en los diferentes procesos de mejoramiento y mezclándolos como una variedad de polinización libre.

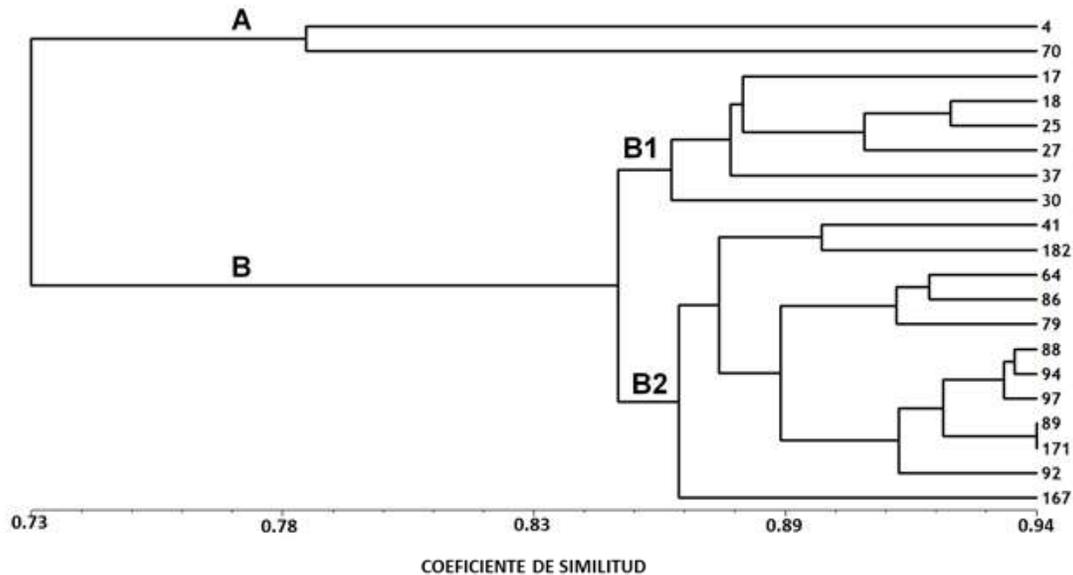


Figura 1. Dendrograma de las relaciones genéticas existentes entre 20 líneas avanzadas de tomate de cáscara, basado en el coeficiente de similitud de Nei-Li calculado con cuatro combinaciones AFLP.

Se espera que al generar este conocimiento el fitomejorador cuente con un criterio adicional para la elección más adecuada del método de mejoramiento, el manejo de estos genotipos, la selección de progenitores y el aprovechamiento de la heterosis.

CONCLUSIONES

La diversidad genética encontrada en los genotipos analizados está acorde a su condición genética de líneas avanzadas.

El análisis molecular con marcadores moleculares de tipo AFLP, permitió detectar posibles progenitores de nuevos híbridos.

El análisis molecular detecto posibles genotipos duplicados y materiales con la uniformidad necesaria para formar variedades de polinización libre.

LITERATURA CITADA

- Avise, J.C. 2004. Molecular Markers. Natural History and Evolution. Chapman & Hall, New York. 511pp.
- Cubero, J.I. 2013. Introducción a la mejora genética vegetal. Mundi-Prensa Libros S.A. Madrid. 565pp.
- Camposeco, M.N., Robledo T.V., Valdez A.L.A., Ramírez G.F., Mendoza V.R. y Benavides M.A. 2015. Estimación de la aptitud combinatoria en poblaciones de tomate de cáscara Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Vol.6 Núm.3, p. 437-451
- Dice, L.R. 1945. Measures of the amount of ecologic association between species. Ecology, 26: 297–302.
- Evanno, G., Regnaut S., Goudet J. 2005. Detecting the number of clusters of individuals using the software STRUCTURE: a simulation study. Mol Ecol 14: 2611–2620.
- Hudson, W.D. Jr. 1986. Relationships of domesticated and wild *Physalis philadelphica*. In D'Arcy WG, editor. Solanaceae: biology and systematics. New York, Columbia University Press. 416–432.
- Labate, J.A., Robertson L.D., Baldo A.M. 2009. Multilocus sequence data reveal extensive departures from equilibrium in domesticated tomato (*Solanum lycopersicum* L.). Heredity 103: 257–267.
- Nei, M. y W.H. Li. 1979. Mathematical model for studying genetic variation in terms of restriction endonucleases. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 76(2), 5269-5273. Doi: 10.1073/pnas.76.10.5269
- Peña-Lomelí, A., Molina-Galán J.D., Cervantes-Santana T., Márquez-Sánchez F., Sahagún-Castellanos J. y Ortiz-Cereceres J. 1998. Heterosis intervarietal en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). Revista Chapingo Serie Horticultura 4(1):31-37, 1

- Piñero, D.; Caballero-Mellado, J.; Cabrera-Toledo, D.; Canteros, C.; Casas, A.; Castañeda, A.; Castillo, A.; Cerritos, R. 2008. La diversidad genética como instrumento para la conservación y el aprovechamiento de la biodiversidad: Estudios en especies mexicanas, en *Capital natural de México*, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. Conabio, México, pp. 437-494.
- Porebski, S.L., G. Bailey and R. Baum. 1997. Modification of CTAB DNA extraction protocol for plants containing high polysaccharide and polyphenol components. *Plant Molecular Biology Reporter* 15 (1): 8 – 15.
- Rohlf, F.J. 2000. NTSYS-pc, Numerical Taxonomy and Multivariate Analysis System. Version 2.11. New York, Exeter, Setauket.
- SAGARPA, 2017. <http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/zacatecas/boletines/Paginas/2017B120M.aspx#> (Consultado en mayo 2018).
- Simpson, J. 1997a. Amplified fragment length polymorphisms (AFLPs). *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 60: 119-122.
- Simpson, J., O. Martínez, A. Mendoza-Herrera, M. Sánchez, F. Hernández y S. Hernández-Delgado. 1999. AFLP analysis of plant genomic DNA. Pgs. 85-97. En: 4o International Course on Analysis and manipulation of plant genome. Irapuato CINVESTAV.
- Vos P, Hogers R, Bleeker M, Reigans M. Van de Lee T, Hornes M, Frijteis A, Pot J. Peleman J, Kuiper M and M Zabeau. 1995. AFLP: A new technique for DNA fingerprinting. *Nucleic Acids Res* 23: 4407 - 4414.
- Wei J, Hu X, Yang J, Yang W. 2012. Identification of Single-Copy Orthologous Genes between *Physalis* and *Solanum lycopersicum* and Analysis of Genetic Diversity in *Physalis* Using Molecular Markers. *PLoS ONE* 7(11): e50164. doi: 10.1371/journal.pone.0050164

**NANOEMULSIONES COMO SISTEMAS ACARREADORES DEL EXTRACTO LIPÍDICO RICO
EN ASTAXANTINA OBTENIDO DE CABEZA DE CAMARÓN**
NANOEMULSIONS AS DELIVERY SYSTEMS OF THE LIPIDIC EXTRACT RICH IN ASTAXANTIN
OBTAINED FROM SHRIMP HEAD

¹Rodríguez Sánchez B, ²Hernández Becerra JA, ³García Galindo HS, ¹Rodríguez Blanco L,
¹Ochoa Flores AA

¹División Académica de Ciencias Agropecuarias. UJAT, 25 km carretera Villahermosa-Teapa,
Villahermosa, Tabasco, México.

²División de Procesos Industriales, UTTab. 15 km carretera Villahermosa-Teapa, Villahermosa,
Tabasco, México.

³UNIDA, Instituto Tecnológico de Veracruz, M.A. de Quevedo 2779, Col. Formando Hogar, Veracruz,
Veracruz, México.

Autor para correspondencia: angelica.ochoa@ujat.mx.

RESUMEN

Una de las propiedades más importantes de la astaxantina es su excepcional actividad antioxidante, que supera a la del β -caroteno o a la del α -tocoferol, por la que se le ha atribuido un extraordinario potencial para proteger al organismo contra enfermedades cardiovasculares, enfermedades del sistema inmunológico y diversos tipos de cáncer. Las nanoemulsiones, dispersiones finas de aceite en agua o de agua en aceite y estabilizadas con pequeñas cantidades de emulsificantes, debido a su reducido tamaño de glóbulo y bajo impacto sensorial son una alternativa para el acarreo de moléculas bioactivas en los alimentos, como los antioxidantes. En este estudio se formularon, prepararon y caracterizaron, nanoemulsiones como sistemas acarreadores del extracto lipídico rico en astaxantina obtenido de cabeza de camarón. Se analizaron 15 formulaciones, de acuerdo con el diseño experimental compuesto central 2^3 propuesto. Se evaluó el efecto de la cantidad de extracto lipídico rico en astaxantina, la cantidad de glicerol y la relación de extracto lipídico rico en astaxantina-emulsificante utilizadas en su preparación. Se determinó el tamaño de glóbulo y la distribución del tamaño de glóbulo de las nanoemulsiones. De acuerdo con los resultados obtenidos, se encontró que los tres factores evaluados presentaron efecto sobre el tamaño y la distribución del tamaño de glóbulo de las nanoemulsiones, así como sobre su estabilidad. Al incrementar la cantidad de aceite o de glicerol en las nanoemulsiones, así como al aumentar la relación aceite-emulsificante, se incrementó el tamaño de glóbulo. Las mejores formulaciones, presentaron tamaños de glóbulo inferiores a los 35 nm. Del análisis estadístico de los resultados, se obtuvo una formulación óptima, a una concentración de extracto lipídico de 8.79 %, una relación de extracto lipídico-emulsificante de 1:1.98 y una concentración de glicerol en la fase acuosa del 5 %, con un tamaño de glóbulo de 31 nm.

Palabras clave: *Nanoemulsiones, Astaxantina, Antioxidantes, Desechos, Cabeza de camarón.*

INTRODUCCIÓN

La astaxantina es un pigmento que pertenece a la familia de los carotenoides, cuya síntesis se deriva del licopeno; éstos comprenden a más de 600 pigmentos que se sintetizan de novo en plantas superiores, algas, hongos y bacterias; la mayoría son hidrocarburos de 40 átomos de carbono que contienen dos sistemas de anillo terminal unidos por una cadena de enlaces dobles conjugados; los dos grupos más importantes son los carotenos, compuestos solo de carbono e hidrógeno, y las xantófilas, derivados oxigenados, con grupos hidroxilo (-OH), como la zeaxantina, o con grupos cetónicos (=O), como la cantaxantina, o con ambos, como la astaxantina (3,3'-dihidroxi- β , β -caroteno-4,4'-diona) (Higuera-Ciapara *et al.*, 2006).

La astaxantina es uno de los principales pigmentos naturales presentes en salmónidos y crustáceos, en los que su función principal es proporcionarles su color rojo-naranja característico, además de participar en procesos fisiológicos críticos como el metabolismo de lipoproteínas, respiración, reproducción, crecimiento y sobrevivencia larvaria. Sin embargo, al ser incapaces de sintetizar carotenoides de novo, la astaxantina o sus precursores deben ser suministrados en la dieta o estar presentes en los alimentos naturales del sistema de cultivo de estos organismos (Meyers, 1994). Además de su efecto sobre el color, una de las propiedades más importantes de la astaxantina es su actividad antioxidante; se ha reportado que su capacidad antioxidante es 10 veces mayor que la de

otros carotenoides como la zeaxantina, luteína, cantaxantina y el β -caroteno, y 100 veces superior a la exhibida por el α -tocoferol (Miki, 1991).

El metabolismo aeróbico normal en los organismos genera moléculas oxidativas, que en exceso y debido a su muy alta reactividad, pueden reaccionar con proteínas, lípidos, carbohidratos y el ADN; este ataque constante de radicales libres contra un organismo se conoce como estrés oxidativo, el cual ha sido asociado con diferentes enfermedades (Rodríguez-Perón *et al.*, 2001). Muchos estudios han demostrado que la oxidación puede inhibirse al consumir cantidades adecuadas de antioxidantes; que las personas que ingieren una mayor cantidad de carotenoides tienen un menor riesgo de sufrir enfermedades; así también, que debido a su elevada actividad antioxidante, la astaxantina posee un extraordinario potencial para proteger al organismo contra una amplia gama de padecimientos (Tachaprutinun *et al.*, 2009); por lo que su uso en productos nutracéuticos para la prevención y el tratamiento del cáncer, la degeneración macular relacionada con la edad, la inflamación, la infección por *Helicobacter pylori* y el estrés oxidativo cardiovascular, así como para mejorar la respuesta inmunológica han ganado relevancia (López-Roldán y Mach, 2012).

Los desechos del procesamiento del camarón son una fuente importante de carotenoides, particularmente de astaxantina (Sachindra y Mahendrakar, 2010). En México, la producción nacional de este crustáceo en el año 2015 fue de 241,457 toneladas; su captura en altamar aportó el 15.8%; la que se realizó en esteros y bahías el 11.5%, y la acuicultura 72.7 % (SAGARPA, 2016). En la comercialización de este producto destaca su forma congelada sin cabeza como una de las principales; estimando que del volumen total de camarón procesado, el 35% corresponde a los desechos: exoesqueleto y cefalotórax (López-Cervantes *et al.*, 2006). Se han desarrollado métodos para la recuperación de carotenoides a partir de los desechos del camarón utilizando solventes orgánicos y aceites vegetales (Sachindra *et al.*, 2007). Sin embargo, los carotenoides son compuestos altamente inestables y necesitan protección contra el calor excesivo, la exposición a la luz y el oxígeno para evitar su degradación. Además, la astaxantina es un compuesto lipofílico, poco soluble en agua y con muy baja biodisponibilidad oral (Domínguez-Hernández *et al.*, 2016).

La nanotecnología ofrece el potencial para mejorar significativamente la biodisponibilidad de los compuestos bioactivos debido al incremento sustancial de su solubilidad, como resultado de la reducción en su tamaño de partícula; comprende nanoestructuras con morfologías diversas, como nanopartículas biopoliméricas, nanopartículas lipídicas sólidas, nanomicelas, nanoliposomas, nanodispersiones y nanoemulsiones (Chen *et al.*, 2006). Las nanoemulsiones, dispersiones finas de aceite en agua de unos 20 hasta 200 nm, estabilizadas con pequeñas cantidades de emulsificantes, son particularmente atractivas por su transparencia y relativamente alta estabilidad cinética; que pueden vehiculizar compuestos pobremente solubles en agua hasta el sitio deseado y tienen la ventaja de que debido a su pequeño tamaño de partícula, el área superficial por unidad de masa se incrementa, permitiendo un mayor transporte, exposición del compuesto bioactivo y un incremento en su actividad biológica; pueden también mejorar su estabilidad, al protegerlos de la degradación química o biológica (McClements, 2010). Por todo lo anterior, el objetivo del presente trabajo consistió en formular nanoemulsiones como sistemas acarreadores del extracto lipídico rico en astaxantina obtenido de cabezas de camarón.

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención del extracto lipídico. El extracto lipídico se obtuvo de las cabezas de camarón por el método de extracción con solventes asistida por ultrasonificación empleando para ello un baño ultrasónico con control de temperatura. Las cabezas de camarón previamente deshidratadas fueron sometidas a la extracción con etanol, a una relación de cabeza de camarón: solvente de 1:30 (peso:volumen), a una temperatura de 40 °C y un tiempo de ultrasonificación de 30 min. La mezcla de extracción (extracto lipídico: solvente) se separó de los residuos de las cabezas de camarón por filtración a vacío sobre papel filtro Whatman; para recuperar el extracto lipídico, el solvente fue separado de la mezcla de extracción con ayuda de un rotaevaporador.

Caracterización del extracto lipídico. Se determinó el rendimiento, el contenido de astaxantina y el perfil de ácidos grasos del extracto lipídico obtenido de las cabezas de camarón. Para determinar el rendimiento, una vez separado el extracto lipídico de los restos del material extraído y del solvente utilizado para su extracción, se pesó. El porcentaje en peso (EO %) de la cantidad de extracto obtenido (WEO; g) para la cantidad de material procesado (WMP; g) se calculó como rendimiento, de acuerdo con la ecuación: $EO \% = WEO \times 100 / WMP$. El contenido de astaxantina en el extracto

lipídico se determinó por espectrofotometría UV-Visible, de acuerdo con la metodología descrita por Tolasa *et al.* (2005). El perfil de ácidos grasos se determinó mediante cromatografía de gases, cuantificándolos en forma de metilésteres; los ácidos grasos se metilaron siguiendo el procedimiento descrito por Hernández-Becerra *et al.* (2014).

Formulación y preparación de las nanoemulsiones. Las 15 formulaciones evaluadas, se obtuvieron del diseño experimental compuesto central 2^3 propuesto que incluye, diferentes concentraciones de extracto lipídico rico en astaxantina (0.1, 0.3, 0.5, 0.7 y 0.9 %), diferentes proporciones de extracto lipídico rico en astaxantina-emulsificante (1:1, 1:2, 1:3, 1:4 y 1:5 p/p) y diferentes concentraciones de glicerol en la fase acuosa (5, 10, 15, 20 y 25 %). Las nanoemulsiones fueron preparadas por emulsificación-homogeneización a alta velocidad, seguida de ultrasonificación de alta energía, utilizando el extracto lipídico rico en astaxantina, el emulsificante no iónico Tween 40, glicerol y agua destilada desionizada. La fase oleosa se preparó por la adición del extracto lipídico al emulsificante; mientras que la fase acuosa se preparó por la adición del agua destilada desionizada al glicerol; se adicionó la fase acuosa (agua destilada desionizada-glicerol) a la fase oleosa (extracto lipídico-emulsificante) y la mezcla se homogenizó durante 3 min a 20,000 rpm, usando un homogeneizador Ultra-Turrax T25 digital (IKA Works, Inc. Staufen, Alemania), para producir una emulsión gruesa de aceite en agua. Para obtener las nanoemulsiones, la emulsión gruesa se sometió a ultrasonificación, a 20 % de amplitud y 50 % del ciclo de trabajo, en un Sonicador Branson Digital S-450D (Branson Ultrasonics Corp., Danbury, CT), por 6 minutos, en ciclos de 1 minuto de sonicación, 1 minuto de reposo, siempre sobre un baño de hielo para evitar la elevación de la temperatura durante el proceso.

Caracterización de las nanoemulsiones. Se determinó el tamaño de glóbulo y la distribución del tamaño de glóbulo, como índice de polidispersidad (PDI) de las nanoemulsiones, utilizando un dispositivo de dispersión de luz dinámica Zetasizer Nano-ZS90 (Malvern Instruments Inc.) a un ángulo fijo de 90° y a una temperatura de 25 °C. Antes de realizar las mediciones del tamaño de glóbulo y distribución del tamaño de glóbulo, las muestras se diluyeron con agua destilada desionizada utilizando un factor de dilución de 1:200 para evitar los efectos múltiples de dispersión.

Estabilidad de las nanoemulsiones. Las nanoemulsiones fueron almacenadas a una temperatura de 4 °C durante 30 días. Durante este periodo, cada 7 días se les determinó el tamaño de glóbulo y la distribución del tamaño de glóbulo.

Diseño experimental y análisis estadístico. Se utilizó un diseño central compuesto 2^3 , tres factores a dos niveles, con $2n = 2(3)$ puntos axiales, así como el punto central m . Para obtener un total de $N = 2^3 + 2(3) + m = 8 + 6 + 1 = 15$ tratamientos experimentales; con su réplica, un total de 30 corridas experimentales; para evaluar el efecto de la concentración de aceite, la relación de extracto lipídico-emulsificante y la concentración de glicerol en la fase acuosa, sobre el tamaño de glóbulo y la distribución del tamaño de glóbulo de las nanoemulsiones. El análisis estadístico de los resultados obtenidos se realizó en base a la metodología de superficie de respuesta, utilizando el paquete estadístico MINITAB versión 14.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización del extracto lipídico obtenido de las cabezas de camarón. El rendimiento en la extracción lipídica de las cabezas de camarón, por el método de extracción con solventes asistida por ultrasonificación rindió un 10.04 ± 0.99 % de extracto lipídico, en base seca. De acuerdo con Armenta *et al.* (2002) el contenido de lípidos en el cefalotórax de camarón, en base seca, es de 4.63 %; por su parte Sachindra (2003) reporta desde un 1.1 hasta un 8.1 % de lípidos en cefalotorax de camarón, en base seca, dependiendo de la especie de camarón estudiada. En relación con el contenido de astaxantina en el extracto lipídico, se obtuvo una concentración de 2.61 ± 0.28 mg de astaxantina por g de extracto lipídico; estos resultados son congruentes con los obtenidos por López-Cervantes *et al.* (2006), quienes reportan que la fracción lipídica del fermentado de los residuos de camarón contiene 2.21 mg de astaxantina por gramo de muestra seca. Por su parte, Sachindra y Mahendrakar (2005) aislaron astaxantina de residuos de camarón utilizando aceites vegetales y el rendimiento máximo obtenido en la extracción con aceite de girasol fue de 0.026 mg del pigmento por gramo de residuo. El perfil de ácidos grasos del extracto lipídico obtenido de cabezas de camarón se presenta en el Cuadro 1. A diferencia de los aceites vegetales, los aceites obtenidos de animales de origen marino se caracterizan por la presencia de ácidos grasos insaturados de cadena larga; en este sentido, en el extracto lipídico obtenido de las cabezas de camarón se identificaron 12 ácidos grasos, 8 de los cuales son insaturados. Podemos observar que los ácidos grasos encontrados en mayor cantidad son

el palmítico (C16:0), el oleico (C18:1n9), el eicosapentaenoico (C20:5n3), el araquidónico (C20:4n6) y el esteárico (C18:0), en orden decreciente; mientras que los ácidos grasos en menor proporción son el láurico (C12:0), el gadoleico (C20:1n9) y el mirístico (C14:0). Estos resultados son congruentes con los reportados por Guillou *et al.* (1995), quienes reportan que los ácidos oleico y palmítico son los que predominan en el aceite extraído de los residuos de camarón.

Cuadro 1. Perfil de ácidos grasos en el extracto lipídico rico en astaxantina obtenido de cabeza de camarón

Ácido graso	mg/g de extracto lipídico
C12:0	0.38 ± 0.09
C14:0	8.85 ± 0.40
C16:0	57.33 ± 3.38
C16:1n7	17.03 ± 2.08
C18:0	23.75 ± 2.15
C18:1n9	40.12 ± 5.40
C18:2n6	19.38 ± 2.83
C18:3n3	16.05 ± 1.96
C20:1n9	4.33 ± 0.57
C20:4n6	24.83 ± 2.76
C20:5n3	25.64 ± 3.12
C22:6n3	14.59 ± 2.52

Preparación y caracterización de las nanoemulsiones. En el Cuadro 2 se observa la composición de cada una de las 15 nanoemulsiones preparadas por emulsificación-homogeneización a alta velocidad, seguida de ultrasonificación de alta energía; estos métodos se utilizan ampliamente para la preparación de nanoemulsiones, pero es necesario evaluar las posibles variables durante su formación.

Cuadro 2. Composición de las nanoemulsiones (NE) preparadas con el extracto lipídico rico en astaxantina obtenido de cabeza de camarón

Formulación	Componentes			
	Extracto lipídico (g/10 g de NE)	Emulsificante Tween 40 (g/10g de NE)	Glicerol (g/10 g de NE)	Agua destilada desionizada (g/10 g de NE)
F ₁	0.3	1.6	0.91	8.19
F ₂	0.7	.4	0.79	7.11
F ₃	0.3	.2	0.85	7.65
F ₄	0.7	1.8	0.65	5.85
F ₅	0.3	1.6	1.82	7.28
F ₆	0.7	.4	1.58	6.32
F ₇	0.3	.2	1.7	6.8
F ₈	0.7	1.8	1.3	5.2
F ₉	0.1	1.3	1.44	8.16
F ₁₀	0.9	1.7	0.96	5.44
F ₁₁	0.5	1.5	1.35	7.65
F ₁₂	0.5	1.5	1.05	5.95
F ₁₃	0.5	.5	0.4	7.6
F ₁₄	0.5	.5	2.0	6.0
F ₁₅	0.5	.5	1.2	6.8

Las nanoemulsiones fueron sometidas a diferentes tiempos de sonicación (Figura 1), observándose un efecto significativo de esta variable sobre su tamaño de glóbulo (ANOVA F = 28.2042; p < 0.000). Como ha sido descrito por algunos autores, tiempos de sonicación más largos, implican una mayor

energía aplicada al sistema, dando como resultado una mayor disminución en el tamaño del glóbulo; sin embargo, también ha sido reportado el sobreprocesamiento, lo que produce más fuerzas de corte aplicadas sobre la disrupción de los glóbulos y mayores tasas de colisión entre los glóbulos recién formados, dando lugar a un aumento neto en el tamaño de glóbulo de las nanoemulsiones (Tang *et al.*, 2013; Kentish *et al.*, 2008). La composición de las diferentes formulaciones presentó también un efecto significativo sobre su tamaño de glóbulo (ANOVA $F = 42.16062$; $p < 0.0000$) (Figura 2); así como sobre su distribución de tamaños de glóbulo (ANOVA $F = 17.18642$; $p < 0.0000$) (Figura 3). De acuerdo con Shah *et al.* (2010), las nanoemulsiones presentan una distribución de tamaño desde 20 hasta 200 nm; todas las formulaciones evaluadas en este trabajo, excepto la formulación 8, presentaron tamaños de glóbulo a esta escala nanométrica y pueden ser denominadas nanoemulsiones. Sin embargo, entre más pequeño sea el tamaño de glóbulo alcanzado por la formulación, éste es considerada mejor; las formulaciones con los menores tamaños de glóbulo (< 35 nm), fueron las formulaciones 2, 3, 6 y 13, mientras que las formulaciones que alcanzaron los mayores tamaños de glóbulo (>150 nm) fueron las preparadas con la mayor concentración de extracto lipídico, 9 % (Formulación 10), o con las mayores proporciones de extracto lipídico-emulsificante, 1:4 (Formulaciones 4, 8) y 1:5 (Formulación 12).

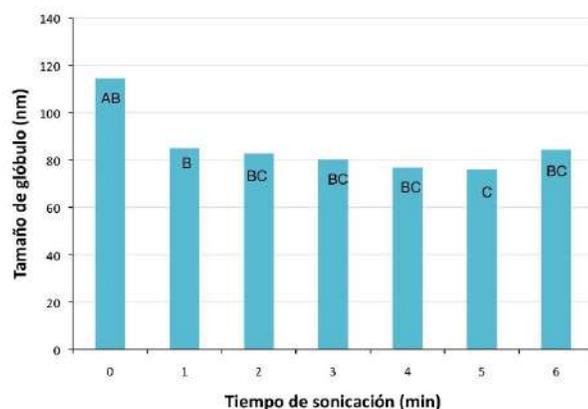


Figura 1. Efecto del tiempo de sonicación sobre el tamaño de glóbulo medio alcanzado en las nanoemulsiones preparadas con el extracto lipídico rico en astaxantina.

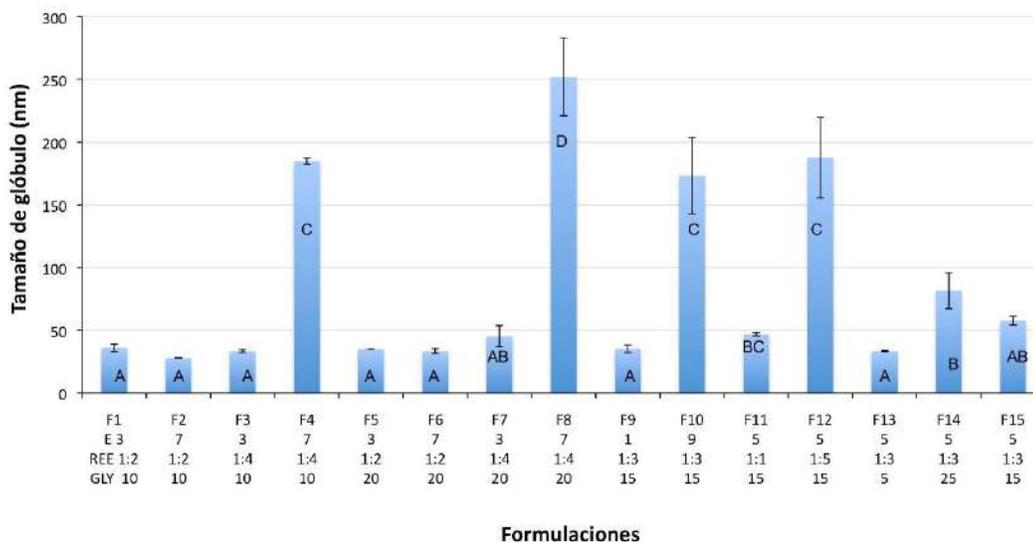


Figura 2. Tamaño de glóbulo alcanzado por cada una de las nanoemulsiones correspondientes al diseño experimental propuesto, preparadas con el extracto lipídico rico en astaxantina, a seis minutos de sonicación.

La distribución de tamaños de glóbulo de las nanoemulsiones fue evaluada como índice de polidispersidad (PDI); este parámetro es importante porque se relaciona con la calidad de una nanoemulsión, valores de 0.1 o 0.2 indican una muy buena calidad y una alta estabilidad, mientras que valores cercanos a 1 indican una mala calidad y están relacionados con poca estabilidad (Klang y Valenta, 2011).

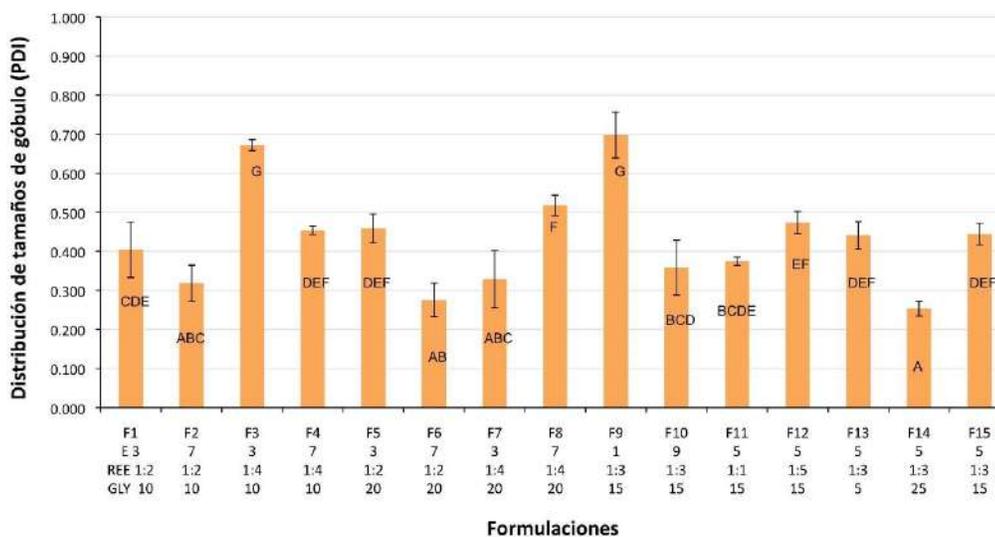


Figura 3. Distribución de tamaños de glóbulo alcanzada por cada una de las nanoemulsiones correspondientes al diseño experimental propuesto, preparadas con el extracto lipídico rico en astaxantina, a seis minutos de sonicación.

En este trabajo, las nanoemulsiones que alcanzaron los menores valores de PDI, fueron las correspondientes a las formulaciones 2, 6, 7 y 14, con valores de 0.328, 0.275, 0.318 y 0.253, respectivamente; mientras que aquellas con los mayores valores de PDI fueron las correspondientes a las formulaciones 3, 8, 9 y 12, con valores de 0.672, 0.517, 0.697 y 0.474, respectivamente. Ha sido reportado que a mayores tamaños de glóbulo, el PDI disminuye, de la misma forma que a menores tamaños de glóbulo se presentan mayores valores en el PDI (Ahmed *et al.*, 2012, Lee *et al.*, 2011); en este trabajo se observa también esa tendencia. Sin embargo, menores valores en el PDI, además de menores tamaños de glóbulo, corresponden a las mejores formulaciones, tal es el caso de las formulaciones 2 y 6; altos valores en el PDI y en el tamaño de glóbulo se observaron en las formulaciones 8 y 12.

Utilizando la metodología de superficie de respuesta, se optimizó el tamaño de glóbulo de las nanoemulsiones preparadas por ultrasonificación, a diferentes concentraciones de extracto lipídico, diferentes relaciones de extracto lipídico-emulsificante y diferentes concentraciones de glicerol, con lo que se obtuvo la formulación óptima, a una concentración de extracto lipídico de 8.79 %, una relación de extracto lipídico-emulsificante de 1:1.98 y una concentración de glicerol en la fase acuosa de 5 %; es decir, 8.79 % de extracto lipídico rico en astaxantina obtenido de las cabezas de camarón, 17.404 % del emulsificante Tween 40, 3.690 % de glicerol y 70.116 % de agua destilada desionizada.

Estabilidad de las nanoemulsiones. Los cambios en el tamaño de glóbulo de las nanoemulsiones preparadas con el extracto lipídico rico en astaxantina se presentan en la Figura 4; en ésta destaca el incremento en el tamaño de glóbulo de las nanoemulsiones correspondientes a las formulaciones 4, 12, 14 y 15, el cuál fue de 296, 170, 176 y 141 %; esto indica su alta inestabilidad. Por su parte, las formulaciones 8 y 10, que alcanzaron grandes tamaños de glóbulo al momento de su preparación, presentaron una mayor estabilidad durante su almacenamiento, incrementando su tamaño de glóbulo en un 2 y 33 %, respectivamente. Las nanoemulsiones que mantuvieron su tamaño de glóbulo sin cambio, fueron las formulaciones 1, 2, 5 y 11. En cuanto al tratamiento óptimo, puede observarse que su tamaño de glóbulo inicial de 31 nm, se incrementó en un 53 %, alcanzando a los 35 días de almacenamiento un tamaño de glóbulo de 48 nm.

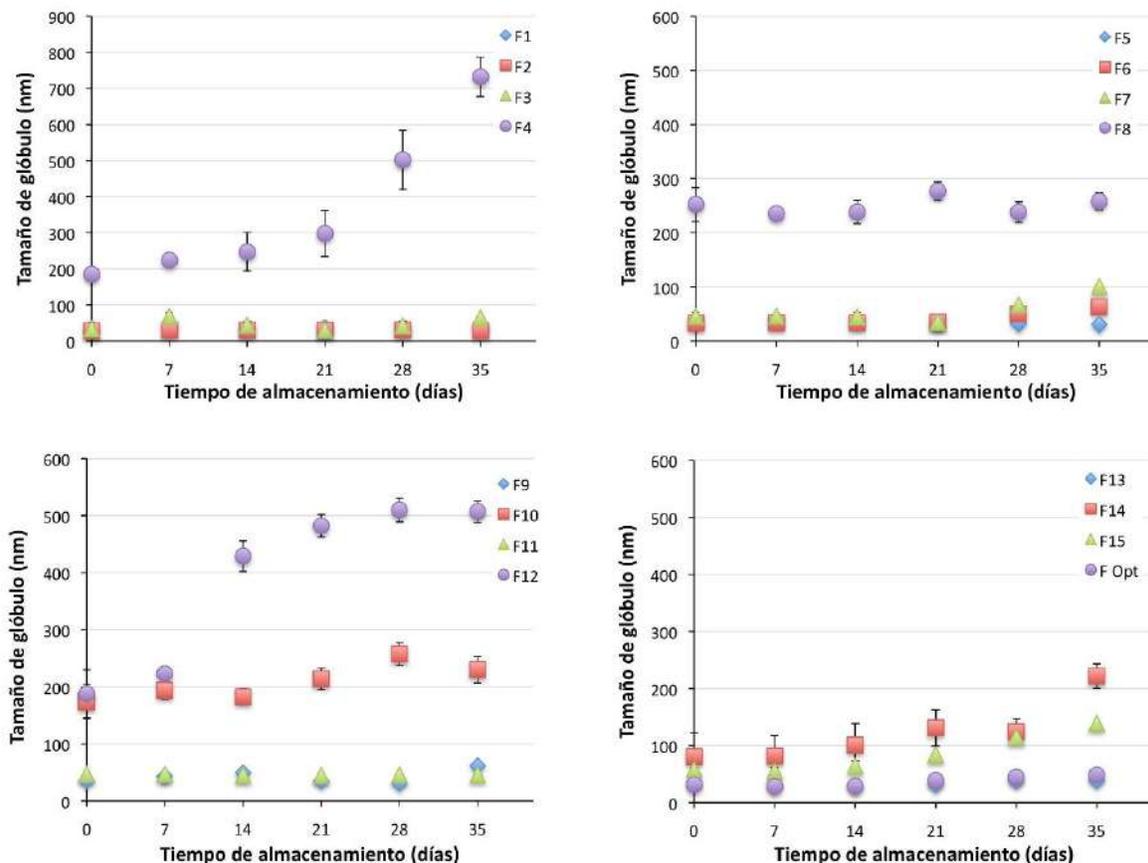


Figura 4. Tamaño de glóbulo alcanzado, por cada una de las nanoemulsiones correspondientes al diseño experimental propuesto (F1 a F15) y la formulación óptima (F Opt), durante su almacenamiento a 4 °C.

CONCLUSIONES

La extracción de cabezas de camarón de desecho, con solventes y asistida por ultrasonificación, rindió en base seca un 10.04 % de extracto lipídico, constituido por 12 ácidos grasos, palmítico (C16:0), oleico (C18:1n9), eicosapentaenoico (C20:5n3), araquidónico (C20:4n6), esteárico (C18:0), linoléico (C18:2n6), palmitoleico (C16:1n7), linolénico (C18:3n3), docosahexaenoico (C22:6n3), láurico (C12:0), gadoleico (C20:1n9) y mirístico (C14:0), en orden decreciente; además de una concentración de astaxantina de 2.61 mg por g de extracto lipídico.

Con el extracto lipídico rico en astaxantina como fase oleosa, se obtuvieron por emulsificación-homogeneización a alta velocidad y ultrasonificación de alta energía, 14 nanoemulsiones con tamaños de glóbulo de entre los 28 y 188 nm; además de una formulación óptima que consistió en una concentración de extracto lipídico de 8.79 %, una relación de extracto lipídico-emulsificante de 1:1.98 y una concentración de glicerol en la fase acuosa de 5 %, con un tamaño de glóbulo de 31 nm. Las nanoemulsiones que presentaron una alta estabilidad durante su almacenamiento a 4 °C, por 35 días, fueron las formulaciones 1, 2, 5 y 11; mientras que la formulación óptima, incrementó su tamaño de glóbulo en un 53 %.

LITERATURA CITADA

- Ahmed, K., Li, Y., McClements, D.J. y Xiao, H. 2012. Nanoemulsion- and emulsion- based delivery systems for curcumin: Encapsulation and release properties. *Food Chemistry*. 132: 799-807.
- Armenta, R.E., Guerrero-Legarreta, I. y Huerta, S. 2002. Extracción de carotenoproteínas a partir de residuos de camarón fermentados. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. 1: 49-55.

- Chen, H., Weiss, J., y Shahidi, F. 2006. Nanotechnology in nutraceuticals and functional foods. *Food Technology*. 60: 30-36.
- Domínguez-Hernández, C.R., García-Alvarado, M.A., García-Galindo, H.S., Salgado-Cervantes, M.A. y Beristáin, C.I. 2016. Estabilidad, actividad antioxidante y biodisponibilidad de astaxantina nano-emulsionada. *Revista mexicana de Ingeniería Química*. 15: 457-468.
- Guillou, A., Khalil, M. y Adambounou, L. 1995. Effects of silage preservation on astaxanthin forms and fatty acid profiles of processed shrimp (*Pandalus borealis*) waste. *Aquacult.* 130: 351-360.
- Hernández-Becerra, J.A., Ochoa-Flores, A.A., Valerio-Alfaro, G., Soto-Rodríguez, I., Rodríguez-Estrada, M.T. y García, H.S. 2014. Cholesterol oxidation and astaxanthin degradation in shrimp during sun drying and storage. *Food Chemistry*. 145: 832-839.
- Higuera-Ciapara, I., Felix-Valenzuela, L. y Goycoolea, F. 2006. Astaxanthin: a review of its chemistry and applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 46: 185-196.
- Kentish, S., Wooster, T.J., Ashokkumar, M., Balachandran, S., Mawson, R. y Simons, L. 2008. The use of ultrasonics for nanoemulsion preparation. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 9: 170-175.
- Klang, V. y Valenta, C. 2011. Lecithin-based nanoemulsions. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*. 21: 55-76.
- Lee, S.J., Choi, S.J., Li, Y., Decker, E.A. y McClements, D.J. 2011. Protein-Stabilized Nanoemulsions and Emulsions: Comparison of Physicochemical Stability, Lipid Oxidation, and Lipase Digestibility. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 59: 415-427.
- López-Cervantes, J., Sánchez-Machado, D., Gutierrez-Coronado, M. y Rios-Vazquez, N. (2006). Quantification of astaxanthin in shrimp waste hydrolisate by hplc. *Biomedical Chromatography*. 20: 981-984.
- López-Roldán, P. y Mach, N. 2012. Efecto del consumo de astaxantina en la salud. *Revista Española de Nutrición Comunitaria*. 18:164-177.
- McClements, D.J. 2010. Emulsion design to improve the delivery of functional lipophilic components. *Annual Review of Food Science and Technology*. 1: 241-269.
- Meyers, S.P. 1994. Developments in world aquaculture, feed formulations, and the role of carotenoids. *Pure and Applied Chemistry*. 66: 1069-1076.
- Miki, W. 1991. Biological functions and activities of animal carotenoids. *Pure and Applied Chemistry*. 63:141-146.
- Rodríguez-Perón, J.M., Menéndez-López, J.R., y Trujillo-López, Y. 2001. Radicales libres en la biomedicina y el estrés oxidativo. *Revista Cubana de Medicina Militar*. 30:36-44.
- Sachindra, N. 2003. Studies on some crustaceans of tropical waters with special reference to pigments. PhD thesis, Central Food Technological Research Institute, Mysore. India.
- Sachindra, N., Bhaskar, N., Siddegowda, G., Sathisha, A., y Suresh, P. 2007. Recovery of carotenoids from ensilaged shrimp waste. *Bioresource Technology*. 98: 1642-1646.
- Sachindra, N.M. y Mahendrakar, N.S. 2010. Stability of carotenoids recovered from shrimp waste and their use as colorant in fish sausage. *Journal of Food Science and Technology*. 47: 77-83.
- Sachindra, N.M. y Mahendrakar, N.S. 2005. Process of optimization for extraction of carotenoids from shrimp waste with vegetable oils. *Bioresource Technology*. 96: 1195-1200.
- SAGARPA. 2016. Anuario estadístico de acuacultura y pesca 2016. Technical report, Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca.
- Shah, P., Bhalodia, D. y Shelat, P. 2010. Nanoemulsion: A pharmaceutical review. *Systematic Reviews in Pharmacy*. 1: 24-32.
- Tachaprutinun, A., Udomsup, T., Luadthong, C. y Wanichwecharungruang, S. 2009. Preventing the thermal degradation of astaxanthin through nanoencapsulation. *International Journal of Pharmaceutics*. 374: 119-124.
- Tang, S.Y., Shridharan, P. y Sivakumar, M. 2013. Impact of process parameters in the generation of novel aspirin nanoemulsions Comparative studies between ultrasound cavitation and microfluidizer. *Ultrasonics Sonochemistry*. 20: 485-497.
- Tolasa, S., Cakli, S. y Ostermeyer, U. 2005. Determination of astaxanthin and canthaxanthin in salmonid. *European Food Research and Technology*. 221: 787-791.

**COMPARACIÓN DE LA CINÉTICA DE CRECIMIENTO DE UNA LEVADURA COMERCIAL CON
UNA CEPA NATIVA, USANDO COMO SUSTRATO JUGO DE CACAO**
COMPARATION OF THE KINETIC GROWTH OF A COMMERCIAL YEAST CEPA WITH A NATIVE
CEPA, USING AS SUBSTRATE COCOA JUICE

Sánchez Tosca DG, Morales Cruz R, Arroyo Falconi P, Hernández Vélez RM, Urrieta Saltijeral JM

Instituto Tecnológico de Villahermosa. Departamento de Química, Bioquímica y Ambiental. Laboratorio de Microbiología. Carret. Vhsa- Frontera Km 3.5 Cd. Industrial. Villahermosa, Tabasco.

Autor de correspondencia: roberto.cruz@itvillahermosa.edu.mx

RESUMEN

El grano de cacao se utiliza para la obtención de diversos productos de gran demanda comercial como son los chocolates, generando residuos orgánicos subutilizados, como es el jugo de cacao. En este trabajo se evaluó la producción de biomasa de una levadura comercial y una cepa nativa aislada en una fermentación previa de granos de cacao en cajas. Las cinéticas de crecimiento se realizaron en matraces Erlenmeyer utilizando el jugo de cacao como fuente de carbono y sustrato principal. Los medios se prepararon utilizando dos concentraciones de urea (U), 0.11 y 0.22 g/l y dos diferentes valores iniciales de pH, 4.5 y 6.0, con el fin de determinar las condiciones más adecuadas para obtener la mayor concentración de biomasa. En cada tratamiento se determinaron: grados brix, volumen celular empacado, y cuenta de levaduras en placa. Los resultados obtenidos demuestran que ambas levaduras pueden crecer en jugo de cacao y que las condiciones de pH y urea si influyen en el crecimiento, de ambas levaduras, resultado desfavorable para ambas, un nivel de pH 6.0 y una concentración de urea de 0.11 g/l. La mayor concentración de levaduras por el método de cuenta en placa, se obtuvo a las 24 horas en el tratamiento del jugo de cacao con un pH 4.5 y 0.22 g/l de urea para la levadura comercial, que alcanzó un valor por arriba de 10, 000 UFC/ml para la levadura comercial, en tanto que la levadura nativa alcanzo 10, 000 UFC/ml a las 24 horas en el tratamiento con pH 6.0 y 0.22 g/l de urea. Al comparar los parámetros cinéticos de velocidad especifican máxima de crecimiento y velocidad de consumo de sustrato para las dos levaduras, se encontró que los mejores valores los presento la cepa de la levadura nativa.

Palabras clave: *levadura, comercial, nativa, jugo, cacao*

INTRODUCCION

En México, se producen cada año casi 27 mil toneladas de cacao, con un valor mayor a los mil millones de pesos, siendo Tabasco, Chiapas y Guerrero, los principales productores de este fruto mexicano, conocido como el alimento de los dioses. La producción de esta semilla, considerada una de las principales aportaciones del país al mundo, está en manos de 37 mil agricultores y sus familias, la mayoría perteneciente al sector social de las entidades: Tabasco (con 68 por ciento), Chiapas (con 31 por ciento) y Guerrero (con 1.0 por ciento). De acuerdo con el Comité Sistema Cacao Nacional A.C. en 10 de los 17 municipios de Tabasco se siembra cacao. Los municipios de Comalcalco, Cárdenas, Cunduacán y Huimanguillo concentran el 87 por ciento de la producción de la entidad; mientras que Chiapas tiene cuatro regiones de producción: Norte, Centro, Soconusco y Selva-Norte (http://www.zocalo.com.mx/new_site/articulo/mexico-gran-productor-de-cacao). El grano de cacao seco y fermentado, se utiliza como una materia prima para la obtención de diversos productos de gran demanda, como son los chocolates. Para obtenerla se requiere de una serie de procesos poscosecha, iniciando con la extracción de los granos frescos extraídos de las mazorcas maduras, estos, son fermentados, secados, tostados y molidos. Durante las primeras horas del proceso de fermentación, se genera jugo de cacao (Gonzales, 2005), éste generalmente no es aprovechado y se derrama al suelo y/o a depósitos naturales de agua. Por ello en este trabajo se plantea utilizarlo como la materia prima principal en la elaboración de un medio de cultivo, para la producción de biomasa, por su composición, especialmente rico en azúcares y otros componentes, que pueden ser utilizados como nutrientes en el cultivo de levaduras, generando una buena alternativa de aprovechamiento, a la vez que se disminuye el efecto que estos residuos al ser derramados sin tratamiento al medio ambiente. Especies de levaduras y de algunas bacterias, son considerados microorganismos con gran potencial probiótico y prebiótico. El papel de las levaduras, particularmente de *S. cerevisiae*, como probiótico para aves y cerdos, ha recibido la atención de muchos

investigadores, con resultados prometedores basados en los efectos probióticos por la exclusión competitiva de patógenos o en la oferta de minerales como el selenio o el cromo que no son fácilmente disponibles a los animales en sus formas inorgánicas. Igualmente, se ha probado el suministro de levaduras inactivas y/o levaduras vivas en rumiantes, en los que han podido registrar ganancia de peso. Estas características hacen que en particular las levaduras sean consideradas microorganismos de gran promesa para cumplir las funciones de probióticos y prebióticos. Otros de los usos potenciales de las levaduras siguen siendo los tradicionales, como son en la industria vinícola, de panificación, así como fuente de vitamina B12 (Manovacía *et al.*, 2008; Madigan, 2009). En trabajos previos realizados en el laboratorio del instituto, se aislaron cepas de levaduras nativas durante el proceso de fermentación en cajas; así también, se han realizado trabajos con levaduras comerciales, por ello se planteó, realizar la comparación del crecimiento de una cepa nativa y una levadura comercial en diferentes niveles de pH y concentración de urea, a nivel de matraz, a fin de determinar el comportamiento de ambas en la producción de biomasa y la capacidad de utilizar este residuo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Cepas Microbianas

Levadura comercial obtenida en un centro comercial (CC).

Levadura nativa aislada previamente y conservada en el laboratorio de Microbiología del Instituto (CN).

Materia prima. El jugo de cacao (JC) se obtuvo, macerando manualmente en agua destilada (1:1), las semillas extraídas de mazorcas. Se filtró y ajustó a 5°Brix. Añadiendo dextrosa en caso necesario. Se etiquetó como jugo de cacao estandarizado y se conservó en refrigeración o congelación para su uso posterior.

Tratamientos

pH1, U1 (4.5: 0.11 g/l)

pH1, U2 (4.5: 0.22 g/l)

pH2, U1 (6.0: 0.11 g/l)

pH2, U2 (6.0: 0.22 g/l)

Los medios de cultivo se prepararon con el jugo de cacao estandarizado, en matraces Erlenmeyer, ajustando cada matraz a las condiciones mencionadas para los diferentes tratamientos. El medio se sometió a tratamiento térmico en un autoclave a 10 lb/in² por 10 min.

Las cepas se utilizaron en condiciones estándar, por resiembras periódicas en tubos inclinados con PDA y conservadas en refrigeración. Igualmente se estandarizó la concentración del inóculo, suspendiendo las levaduras en agua estéril y midiendo la absorbancia a 600 nm en un espectrofotómetro Marca Spectronic. Se calculó el volumen de inóculo a fin de que todos los matraces tuvieran un inóculo equivalente.

Los matraces inoculados, para cada uno de los tratamientos, se incubaron en un baño maría a agitación constante y a una temperatura de 28-30 °C, durante 24 horas. Las muestras se tomaron cada 4 horas; A estas, se les realizaron los análisis microbiológicos y fisicoquímicos.

Análisis fisicoquímicos. Se midieron los grados brix con un refractómetro digital, marca Atago. Colocando una gota de la muestra en la cámara del refractómetro y se tomó la lectura en el Display. La muestra se retiró con algodón y se limpió la cámara con agua destilada. Para la medición del pH, se utilizó un pH-metro digital marca Hanna Instrument. A un volumen de la muestra se le añadió un volumen equivalente de agua destilada; el electrodo (previamente calibrado) fue introducido en la muestra y se toma la lectura del pH. Después de cada muestra el electrodo se enjuaga con agua destilada.

Análisis microbiológicos. Se aplicaron dos métodos para medir el crecimiento microbiano en las muestras de las cinéticas de los cuatro tratamientos. Uno de ellos fue medir el volumen celular empacado. El paquete celular se obtuvo, colocando un mililitro de la muestra, en un tubo para hematocrito graduado. Este se centrifugó a 3000 rpm, durante 10 min, en una centrifuga marca Solbat. El tubo se retiraba y de la escala, se tomaba la lectura de la cantidad del paquete celular obtenido, calculando el volumen celular por litro. El otro método aplicado, fue el de cuenta de levaduras en placa, conforme a la NOM 111-SSA1, para la cuenta de hongos y levaduras en alimentos. Se hicieron diluciones de la muestra y se sembraron en cajas de Petri, utilizando agar papa dextrosa como medio

de cultivo. Las cajas se incubaron por 48 horas a 28-30 °C de temperatura. Se contaron las colonias y se calculó el número levaduras, reportando como UFC/ml.

Análisis estadístico

Para la presentación e interpretación de resultados se utilizaron gráficos de estadística descriptiva. Para determinar los parámetros cinéticos y determinar el mejor tratamiento para cada levadura, se calculó la velocidad específica de crecimiento máxima, de las cinéticas de crecimiento de los resultados obtenidos con los dos métodos microbiológicos, ajustando por regresión lineal, los datos de la fase exponencial. De igual forma, por regresión lineal, tomando los datos de la región lineal de la curva, se obtuvo la velocidad de consumo de sustrato, para los cuatro tratamientos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cinética de crecimiento y consumo de azúcares de la cepa comercial

En la figura 1 se observa la cinética de crecimiento de la levadura comercial de los datos obtenidos con la medición del volumen celular empacado, para los cuatro tratamientos. Como se puede observar, en la figura, el tratamiento con pH 6 y 0.11 g/l de urea, mostro muy poco crecimiento. Los tratamientos restantes en cambio, si mostraron incremento en el paquete celular. De estos tres tratamientos, el tratamiento con bajos niveles de pH y urea, fue el que mostro la fase lag más prolongada (8 horas) a diferencia de los otros dos en los que se observa un incremento del paquete celular a partir de las 4 horas. Siendo los tratamientos con las condiciones, pH 4.5, 0.22 g/l de urea y pH 6, 0.22 g/l de urea, los que alcanzaron un volumen celular empacado máximo, de 3.5 ml/l a las 24 horas.

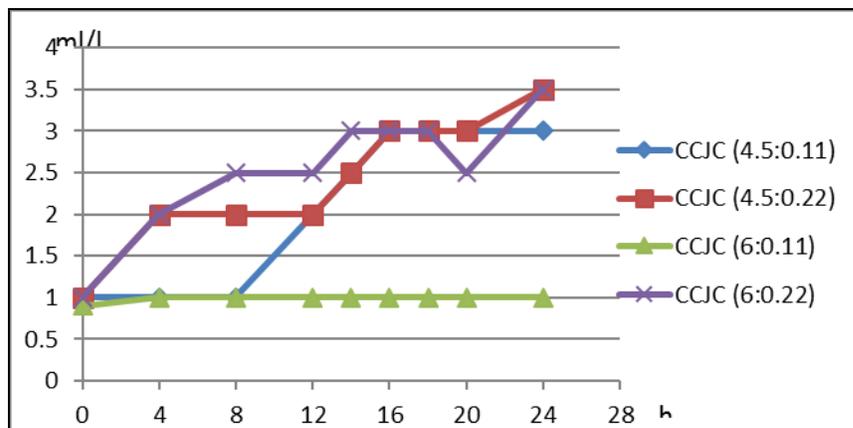


Figura 1. Cinéticas de crecimiento de la levadura comercial por el método de volumen celular empacado para los cuatro tratamientos

En la figura 2 se observa la cinética de crecimiento de la cepa de la levadura comercial, utilizando el método de cuenta en placa. Como se puede apreciar en ésta, los datos sirvieron en general para corroborar los resultados mostrados en el gráfico anterior por el método de volumen celular empacado. Siendo un método más sensible, nos permitió comprobar que el tratamiento con pH₂, U₁ es el que presentaba un crecimiento pobre. De los otros tres tratamientos restantes, fue el tratamiento con las condiciones de pH₁, U₂, el que a las 24 horas mostro el mayor contenido de levaduras (mayor a 10,000 UFC/ml).

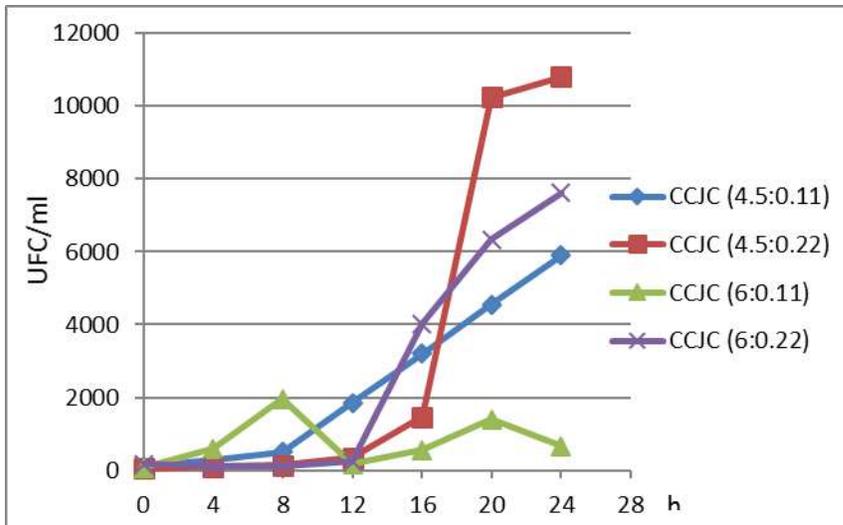


Figura 2. Cinéticas de crecimiento de levadura comercial, utilizando el método de cuenta en placa

En la figura 3 se puede observar el comportamiento del consumo de azúcares, en las cinéticas con la levadura comercial, en donde los tratamientos pH1, U1; pH1, U2 y pH2, U2, fueron los que mostraron la mayor disminución en los azúcares del medio, quedando a las 24 horas valores cercanos a 1 grado brix. Por otra parte, fue el tratamiento con pH2, U1, el que mostro el menor consumo, quedando a las 24 horas un contenido de azúcares residuales cercano a 4 grados brix, resultado que fue congruente, con el bajo crecimiento mostrado por la levadura.

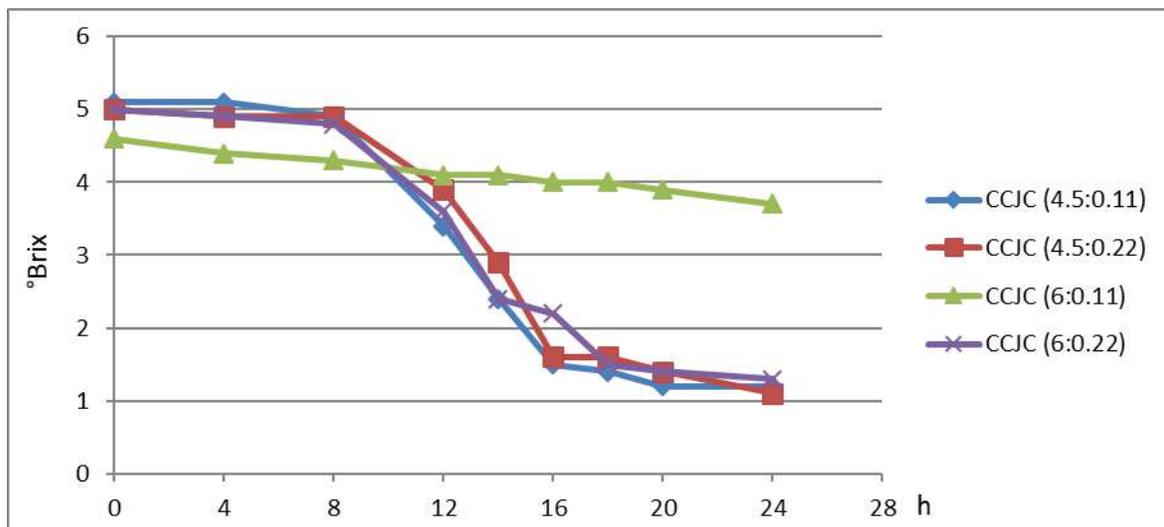


Figura 3. Cinéticas de consumo de azúcares para la levadura comercial por el método de grados brix

Cinética de crecimiento y consumo de azúcares de la cepa nativa

En la figura 4 se puede observar el comportamiento de la cinética de crecimiento de la levadura nativa. El tratamiento con las condiciones de pH2, U1 aunque durante las primeras horas mostró crecimiento, y un comportamiento similar a los otros tres tratamientos, entra en una fase estacionaria y posteriormente disminuye y se mantiene constante en una segunda fase estacionaria. En cambio, en los otros tres tratamientos, se observó incremento en el paquete celular, siendo los tratamientos con las condiciones de pH y urea de 4.5, 0.22 g/l y 6, 0.22 g/l, en los que se alcanzó el mayor valor, del paquete celular (4 ml/l), entre las 16 y las 18 horas (un tiempo relativamente menor que la levadura comercial); para posteriormente entrar en la fase estacionaria.

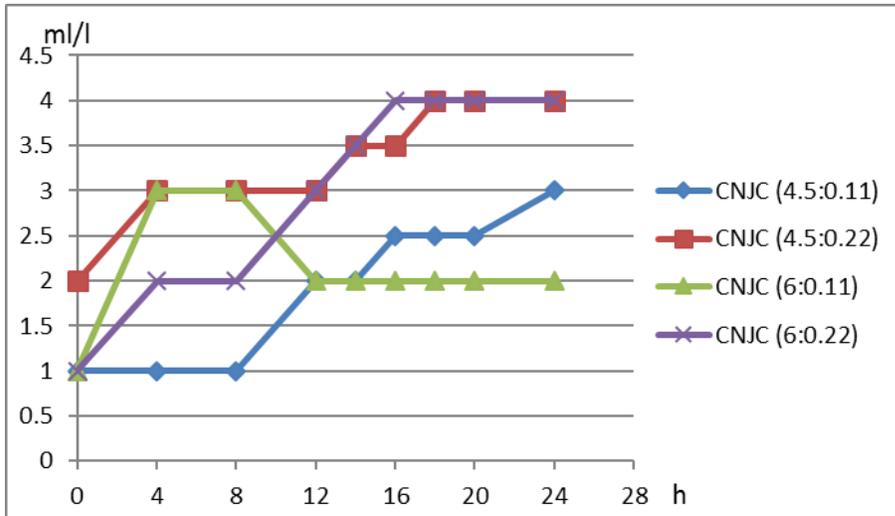


Figura 4. Cinéticas de crecimiento de la levadura nativa con la técnica de volumen celular empacado para los cuatro tratamientos

En la figura 5, se observa el comportamiento cinético del crecimiento de la levadura nativa, utilizando el método de cuenta de levaduras en placa. Nuevamente se corrobora que la condición de pH 6 y concentración de urea de 0.11 g/l fue la menos favorable, con un crecimiento mínimo; en tanto que los otros tres tratamientos mostraron un franco crecimiento. A las 16 horas el tratamiento que mostraba mejores resultados fue con pH 4.5 y 0.22 g/l de urea, sin embargo, entra rápidamente en fase estacionaria y es el tratamiento a pH 6 y con 0.22 g/l el que logra el mayor crecimiento, alcanzando un valor de 10,000 UFC/ml.

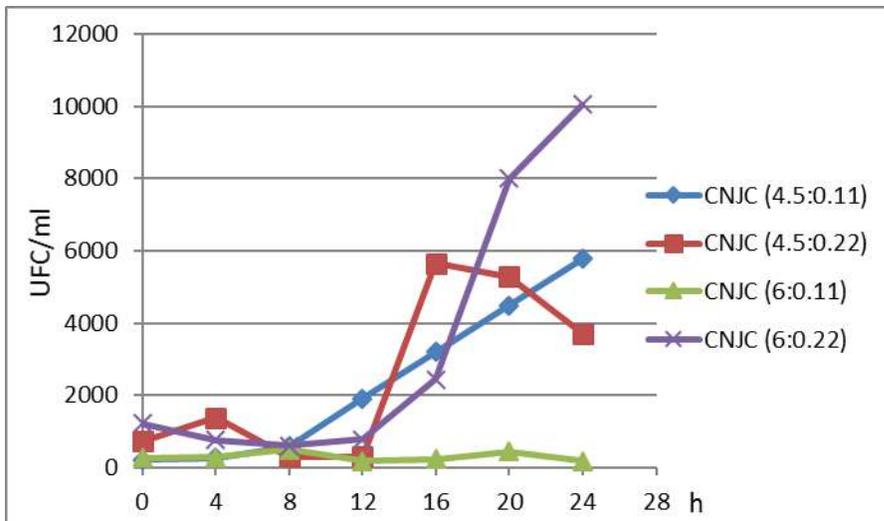


Figura 5. Cinéticas de crecimiento de levadura comercial, utilizando el método de cuenta en placa

En la figura 6 se observa el comportamiento del consumo de sustrato durante las 24 horas de los experimentos. El tratamiento con las condiciones de pH 2, U1 nuevamente mostro el menor consumo de sustrato, en tanto que los otros tres tratamientos, con condiciones de pH y urea de 4.5 y 0.11 g/l; 4.5, 0.22 g/l y 6, 0.22 g/l aunque permanecen constantes durante las primeras 8 horas, posteriormente muestran una disminución de los grados brix hasta alcanzar un valor mínimo de 2 a partir de las 16 horas, para posteriormente mantenerse prácticamente constante.

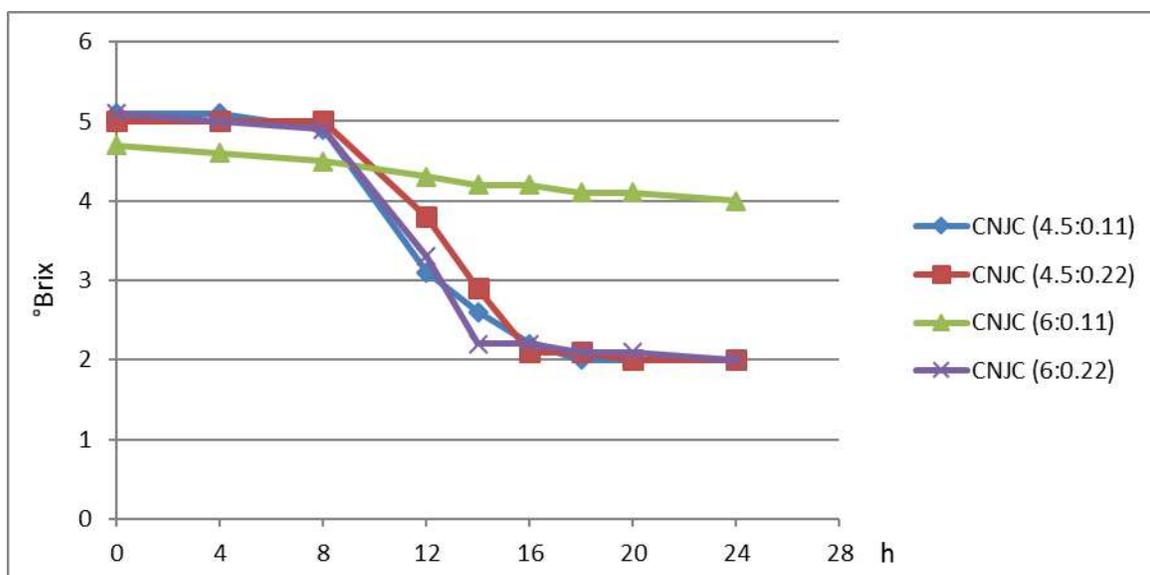


Figura 6. Cinéticas de consumo de azúcares para la cepa de levadura nativa, por el método de grados brix

Calculo Velocidad máxima de crecimiento

El cuadro 1, se presenta el cuadro comparativo de los valores calculados para la velocidad específica máxima de crecimiento en la mejor de las condiciones de los 4 tratamientos, para cada una de las levaduras (pH1, U2 para la levadura comercial y pH2, U2 para la levadura nativa). Encontrando que la levadura nativa es la que tuvo las mayores velocidades específica de crecimiento.

Cuadro 1. Velocidad específica máxima de crecimiento

Levadura	μ máx	
	Método microbiológico	
	Volumen celular empacado (ml levaduras/litro de medio. Hora)	Cuenta en placa (h ⁻¹)
Cepa Comercial	0.0604	0.0397
Cepa Nativa	0.0753	0.0415

Velocidad de consumo de azúcares (q_s)

En el cuadro 2 se muestra el comparativo de la velocidad de consumo de azúcares para las dos levaduras crecidas en el medio con jugo de cacao y en las mejores condiciones de crecimiento alcanzadas de los cuatro tratamientos (pH 4.5, 0.22 g/l de urea para la levadura comercial y pH 6.0, 0.22 g/l de urea para la levadura nativa). Siendo la levadura nativa la que obtuvo la mayor velocidad de consumo de sustrato.

Cuadro 2. Velocidad de consumo de azúcares

Levadura	q _s (gs/100 ml.h)
Cepa Comercial	-0.0438
Cepa Nativa	-0.0624

CONCLUSIONES

En este trabajo se concluye que el jugo de cacao puede ser utilizado para el crecimiento de las dos levaduras y que las condiciones más favorables para cada uno de las levaduras fue de pH 4.5, 0.22 g/l de urea para la levadura comercial y pH 6.0, 0.22 g/l de urea para la levadura nativa, así también que las condiciones menos favorables para ambas levaduras fue pH 6.0, 0.11 g/l de urea. La levadura nativa mostro la mayor la velocidad específica máxima de crecimiento en comparación con la levadura comercial, así también la mayor velocidad de consumo de sustrato lo presento la levadura nativa.

LITERATURA CITADA

- Cruz, S. 2015. Estudio cinético a nivel de matraz para la obtención de levadura, utilizando residuos orgánicos de la región (suero de leche, jugo de cacao y melaza). Instituto tecnológico de Villahermosa. Ingeniería bioquímica. Tabasco, México. pp 28 – 39.
- Gonzales, O. 2005. Desarrollo experimental del proceso para la obtención de jugo derivado del mucilago de cacao. Universidad de industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia. pp 13.
- López, N. 2013. Optimización de condiciones de cultivo de *S. cerevisiae* a nivel matraz utilizando el banano de rechazo como sustrato. Instituto tecnológico de Villahermosa. Ingeniería bioquímica. Tabasco, México. pp 28 – 38.
- Manovacía, Moreno, Nohora Patricia; Moreno Cárdenas, Angélica María; Mayorga Mogollón, Olga Lucía; Barahona Rosales, Rolando N. 2008. Evaluación del contenido de nutrientes y producción de biomasa en cepas de levadura colombianas y comerciales. Universidad nacional de Colombia. Facultad nacional de agronomía. Medellín.
- Madigan, M. 2009. Brock: Biología de los microorganismos. Duodécima edición. Editorial: Pearson Educación, S.A. Madrid, España. pp 812 – 839.
- Norma Oficial Mexicana NOM-111-SSA1-1994, Bienes y servicios. Método para la cuenta en placa de Mohos y Levaduras en Alimentos
- Zumbado, W. 2006. Selección de una levadura para la producción de biomasa: crecimiento en suero de queso. Universidad de Costa rica. Agronomía mesoamericana. Alajuela, Costa rica. pp 153 – 155.

**CARACTERIZACIÓN BROMATOLÓGICA DEL RESIDUO DERIVADO DE LA EXTRACCIÓN DE
ACEITE DE SEMILLAS NEEM *Azadirachta indica* A. Juss**
BROMATOLOGICAL CHARACTERIZATION OF WASTE FROM THE EXTRACTION OF NEEM SEED
OIL *Azadirachta indica* A. Juss

¹Hernández Becerra JA, ²Ochoa Flores AA, ¹López Cruz JA, ¹García Jiménez R, ¹Ruiz Santiago FL, ¹Valadez Villarreal A

¹División de Procesos Industriales, UTTAB. Carretera Villahermosa-Teapa km 14.6 s/n, Fracc. Parrilla II, Parrilla, Centro, Tabasco, México.

²División Académica de Ciencias Agropecuarias. UJAT, 25 km carretera Villahermosa-Teapa, Villahermosa, Tabasco, México.

Autor para correspondencia: jahernandez.tc@uttab.edu.mx.

RESUMEN

El fruto del árbol de Neem (*Azadirachta indica* A. Juss) ha sido muy apreciado desde hace mucho tiempo debido a sus diferentes propiedades funcionales las cuales son aprovechadas dentro de la medicina tradicional asiática. Este fruto posee una semilla dentro de la cual se ubica el kernel, el cual se caracteriza por su alto contenido de aceite. Este aceite es rico en muchos de los compuestos funcionales, principalmente en la denominada Azaridactina. Este aceite actualmente tiene relevancia comercial debido a su rol en el control de algunas plagas, actuando como un insecticida natural. El aceite de este fruto generalmente es obtenido por extracción mecánica o bien por el empleo de extracciones con solventes. Recientemente se han reportado importantes rendimientos de aceite extraído empleando solventes y asistiendo el proceso con tratamientos de ultrasonido de alta intensidad. Al igual que los demás métodos de extracción, la asistida por ultrasonificación genera una importante cantidad de residuos sólidos los cuales pueden ser aprovechados en diferentes formas. No obstante, la caracterización bromatológica de estos residuos es necesaria en una primera instancia. En este sentido el objetivo del presente trabajo consistió en caracterizar bromatológicamente los residuos sólidos derivados de la extracción asistida por ultrasonificación de kernel de semillas de neem, comparándola con lo reportada en otros estudios. Los resultados indicaron un alto contenido de proteína ($46.84 \pm 3.91\%$), Potasio (1316.83 ± 2.46 mg/100g) y fósforo (968.97 ± 28.50 mg/100g). Al igual que los anteriores parámetros, los contenidos de cenizas, grasa, azúcares totales, fibra dietética y sodio estimados fueron similares a los reportados en otros estudios. Lo anterior implica que el empleo de ultrasonido durante la extracción no provoca alteraciones relevantes que pudieran influir negativamente en la composición proximal de los residuos obtenidos.

Palabras clave: *Neem, extracción, ultrasonificación, aceite, residuos*

INTRODUCCIÓN

El árbol de Neem (*Azadirachta indica* A. Juss) es una planta originaria de la India la cual se adapta y crece muy bien en regiones tropicales y subtropicales del planeta. Actualmente este árbol se encuentra distribuido en más de 78 países de los cinco continentes (Cruz-Fernández y Del Ángel-Sánchez, 2004). Ese árbol fue introducido a México a través de la Universidad Autónoma de Nuevo León en el año de 1989 (Leos y Salazar, 1992). A partir de entonces este árbol ha sido distribuido a los estados de Yucatán, Veracruz, Oaxaca, Morelos, Chiapas, Guanajuato, Sonora, Tabasco, Tamaulipas, Durango, Baja California Sur y San Luis Potosí (Cruz-Fernández y Del Ángel-Sánchez, 2004).

Desde épocas ancestrales, el árbol de Neem adquirió gran importancia entre los pobladores de diferentes regiones de Asia debido principalmente a sus propiedades medicinales. Por lo anterior, a este árbol se le ha conocido como la “farmacia de la aldea” y el “árbol de los mil usos” (Pijoan, 2004). Hasta ahora se han aislado más de 135 compuestos de diferentes partes del árbol, todos ellos con algún tipo de actividad biológica. Estos compuestos se han dividido en dos grandes grupos: Isoprenoides y no Isoprenoides. De entre los isoprenoides se encuentran protomeluquinas, limonoides, azadarona y derivados, gedunina y derivados, así como compuestos del tipo vilasinina y csceomeliacinas como lo son la nimbina, salanina y azadiractina. Entre los no isoprenoides se encuentran algunos flavonoides y sus glicósidos, dihidrochalconas, coumarinas y taninos entre otros (Vargas-López et al., 2012). Entre las diferentes propiedades funcionales vinculados a los anteriores

compuestos se encuentran la actividad antiséptica, antipiréticas, antialérgicas, antiinflamatorias, antivirales, antiparasitarias, antimicrobianas, antifúngicas, y anticonceptivas (Pankaj et al. 2011).

Además de lo anterior, es importante resaltar el uso actual que de este árbol se da en el control de plagas, siendo diferentes extractos de esta planta una fuente de insecticidas, pesticidas y agroquímicos naturales, amigables con el medio ambiente (Ogbuewu et al. 2011). El compuesto activo responsable de la actividad insecticida es sin duda el limonoide llamado azadiractina (AZA) el cual se encuentra en mayor concentración en el aceite extraído de las semillas del fruto (Djibril et al., 2015). La semilla del fruto del neem está conformada por una cascarilla y el kernel, éste último agrupa al endospermo y el germen. El contenido de aceite en la semilla entera se ha reportado ser de alrededor del 29%. Sin embargo, en el kernel éste llega a ser del 49% (Djibril et al., 2015). El aceite es generalmente extraído de las semillas por extracción mecánica (prensado en frío) pudiendo alcanzar rendimientos de alrededor del 38% (p/p) (Arias et al., 2009).

Derivado de la extracción mecánica del aceite proveniente de los frutos del árbol de neem o bien del kernel, se obtiene un residuo sólido conocido como "Torta de Neem". El aprovechamiento tradicional de este residuo sólido se ha enfocado comúnmente en su uso como biofertilizante. No obstante, su importante contenido en algunos macronutrientes, tales como las proteínas lo han situado como un insumo con potencial uso en la alimentación de animales de corral y algunos rumiantes. Si bien, su empleo en la alimentación animal ha sido planteado desde hace varias décadas, su empleo en este tenor requiere la eliminación de diferentes compuestos los cuales limitan significativamente la palatabilidad de los alimentos formulados con estos residuos (Abdulazeez, et al., 2014; Nayaka et al., 2013; Nagalakshmi et al., 1999; Rao et al., 2016; Musalia et al., 2000; Anandan et al., 1996; Udayasekhara, 1987). Algunos de los tratamientos propuestos involucran la extracción con solventes de alta polaridad mezclados con agua. Otros incluyen el tratamiento con diferentes alcoholes y álcalis en ebullición, seguido del lavado con agua y el drenado de ella (Aruwayo y Maigandi, 2013).

En los últimos años nuevas tecnologías de extracción han sido desarrolladas, una de ellas hace uso del ultrasonido (ultrasonificación). Recientes estudios han demostrado que este tipo de extracción incrementa la transferencia de masa por efecto de cavitación (Li et al., 2014). Los tratamientos de ultrasonificación producen burbujas cuando las ondas ultrasónicas pasan a través del solvente de extracción. Esta burbuja está conformadas por gas vapor del mismo solvente. Este fenómeno es ampliamente conocido como cavitación. La explosión de las burbujas producidas por la cavitación provoca altas presiones y temperaturas en el punto específico de la explosión (arriba de 100 MPa y 5000 °K). Así, cuando las burbujas colapsan en puntos cercanos a la superficie de la pared celular, las altas presiones y temperaturas generan flujo de líquido y fuerzas de corte dirigidas hacia la superficie de dichas paredes celulares provocándoles un daño físico considerable (Li et al., 2014). Recientemente se ha reportado que tratamientos de extracción con solventes aplicados a kernel de neem genera rendimientos de aceite extraído de alrededor del 49% (p/p) (Hernández-Becerra et al., 2017). Al igual que en otros tipos de extracción, en la asistida por ultrasonido se generan residuos sólidos los cuales podría ser aprovechados. Una posible ventaja de la extracción de aceite del kernel de neem empleando solventes y ultrasonificación es el hecho que no sólo se tienen buenos rendimientos de extracción, sino que además se pueden extraer otros compuestos que son responsables de la baja palatabilidad de los residuos, abriendo la posibilidad de ser aprovechados en la alimentación animal. Si bien lo anteriormente planteado es factible, una primera etapa de la evaluación de este tipo de residuos consistiría en su caracterización bromatológica, esperando que esta no se vea afectada por los tratamientos con ultrasonido. En este sentido, el objetivo del presente trabajo consistió en caracterizar bromatológicamente los residuos sólidos derivados de la extracción asistida por ultrasonificación de kernel de semillas de neem, comparándola con lo reportada en otros estudios.

MATERIALES Y MÉTODOS

Preparación del material biológico

Frutos maduros de neem fueron recolectados de árboles localizados en las instalaciones de la División Académica de Ciencias Agropecuarias (DACA) de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT). Los frutos fueron trasladados al laboratorio de análisis especiales de la Universidad Tecnológica de Tabasco (UTTAB) en donde fueron lavados y separado la pulpa de las semillas. Las semillas fueron extendidas sobre una malla de plástico y secadas a temperatura ambiente bajo sombra. A las semillas secas se les separó manualmente la cascarilla del kernel. El kernel recolectado

fue empacado y almacenado bajo refrigeración hasta su empleo. Momentos antes de realizar las pruebas de extracción, el kernel fue molido empleando un mortero hasta convertirlo en una masa homogénea.

Extracción de aceite por ultrasonificación

Lotes de kernel de neem de 15 g fueron pesados dentro de matraces Erlen Meyer de 250 ml con tapón de rosca, adicionándoles 150 ml de acetona. La mezcla fue homogeneizada empleando un homogeneizador Ultra Turrax (10000 rpm, 4 min). A continuación el homogenizado fue colocado dentro de un baño sonicador (Marca Cole-Parmer Modelo 8895-39 con una potencia de salida de 110W, 40KHz) para su sonicación. Las condiciones de temperatura y tiempo fueron de 40°C por 20 minutos. El anterior tratamiento corresponde al más idóneo considerando lo reportado previamente por Hernández-Becerra et al. (2017). Una vez concluido el tratamiento de extracción la fase orgánica (acetona con extracto oleoso) fue separada de los residuos sólidos por filtración empleando papel filtro Whatman número 1. El extracto oleoso fue trasvasado cuantitativamente a un matraz y evaporado a vacío. El matraz junto con la fracción oleosa extraída fue colocada dentro de un desecador y posteriormente pesado, determinando la cantidad de aceite extraída por la diferencia en peso del matraz. El porcentaje de extracción fue estimado relacionando la cantidad de aceite extraído y el peso inicial de kernel. Los residuos sólidos de germen de Neem derivados de la filtración fueron esparcidos sobre papel absorbente con el fin de evaporar el solvente residual y posteriormente guardados en frascos de vidrio y almacenados bajo refrigeración hasta su análisis bromatológico.

Análisis de humedad

El análisis de humedad fue realizado en base a la Norma Oficial Mexicana NOM-116-SSA1-1994. Bienes y Servicios. Determinación de humedad en alimentos por tratamiento térmico. Método por arena o gasa.

Análisis de cenizas

El análisis de cenizas fue realizado considerando lo establecido en la Norma Mexicana NMX-F-607-Normex-2002. Determinación de cenizas en alimentos.

Análisis de proteína

El análisis de proteínas fue realizado en base a lo establecido en la Norma Mexicana NMX-F-608-Normex-2002. Determinación de proteínas en alimentos.

Análisis de grasa

El análisis de grasa fue realizado con base a la Norma Mexicana NMX-F-615-Normex-2004. Determinación de extracto etéreo en alimentos.

Análisis azúcares reductores

El análisis de azúcares reductores fue realizado en base a lo establecido en el apartado 2 (Determinación de azúcares) del Apéndice normativo C (de los métodos de prueba) de la Norma Oficial Mexicana NOM-086-SSA1-1994. Bienes y servicios. Alimentos y bebidas no alcohólicas con modificaciones en su composición. Especificaciones nutrimentales.

Análisis de fibra dietética

El análisis de fibra dietética fue realizado en base a lo establecido en el apartado 7 (Determinación de fibra dietética. Método gravimétrico-enzimático) del Apéndice normativo C (de los métodos de prueba) de la Norma Oficial Mexicana NOM-086-SSA1-1994. Bienes y servicios. Alimentos y bebidas no alcohólicas con modificaciones en su composición. Especificaciones nutrimentales.

Análisis de sodio y potasio

El análisis de sodio y potasio se realizó por el método 966.16 del AOAC (2000), empleando un espectrofotómetro de llama marca Corning, modelo 410.

Análisis de fósforo

El contenido de cada uno de los minerales antes indicados se realizará de acuerdo con el método 33.7.8 del AOAC (AOAC, 2000). En este método la muestra es convertida a cenizas usando un mufla y posteriormente las cenizas son disueltas en ácido diluido.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La extracción asistida por ultrasonido es una tecnología emergente que actualmente está siendo estudiada con el fin de evaluar su potencial uso en diferentes aplicaciones. El tipo de ultrasonido empleado en este tipo de aplicaciones es de alta intensidad (18 a 100 kHz) la cual tiene la capacidad de ocasionar rompimiento celular, permeabilización de las membranas, así como provocar daños estructurales y fisicoquímicos en los sistemas en donde es aplicado (Delgado, 2011).

Estudios previos han demostrado la eficacia del empleo de este tipo de tecnología en mejorar los rendimientos de extracción de aceite a partir del kernel de la semilla del fruto de Neem (Hernández-Becerra et al., 2017). En el presente trabajo se realizaron alrededor de 30 lotes de extracción de los cuales el rendimiento alcanzado fue de 49.34 ± 4.26 % lo cual coincide con lo reportado previamente por el mismo grupo de investigación. Es de destacar que este proceso genera alrededor del 50% (p/p) de residuos sólidos los cuales pueden ser aprovechados de diferentes formas. No obstante, es necesario analizar su composición y compararla con lo reportado en otros estudios.

En el cuadro 1 se muestran el contenido de los principales componentes nutricionales presentes en los residuos generados de la extracción del aceite del kernel de Neem. Es de resaltar el importante contenido de proteína presente en este residuo, el cual en promedio alcanza 46.84 ± 3.91 %. Lo anterior coincide con Udayasekhara (1987) quien reporta un contenido proteínas de entre 45.0 y 49.4% en tortas desengrasadas de kernel de semillas de Neem.

Cuadro 1. Composición bromatológica de residuos de la extracción de aceite de semillas Neem (*Azadirachta indica*) por ultrasonicación

Humedad (%)	6.92 ± 0.22
Cenizas (% B.H)	8.36 ± 0.01
Grasa (% B.H)	2.54 ± 0.36
Proteínas (% B.H)	46.84 ± 3.91
Azúcares totales (% B.H)	3.91 ± 0.06
Fibra dietética (% B.H)	2.68 ± 0.01
Sodio (mg/100)	93.35 ± 8.88
Potasio (mg/100)	1316.83 ± 2.46
Fósforo (mg/100)	968.97 ± 28.50

El elevado contenido de proteínas en residuos sólidos provenientes de la extracción oleosa de diferentes semillas ha conducido a proponer y estudiar el uso de éstos en la alimentación de diferentes especies de animales. En este sentido diversos autores han evaluado su empleo llegando a la conclusión de que es necesario el tratamiento previo de estos residuos con el fin de reducir el contenido de diferentes compuestos que ocasionan una baja palatabilidad de los alimentos formulados (Abdulazeez, et al., 2014; Nayaka et al., 2013; Rao et al., 2016; Musalia et al., 2000). A este respecto, puede plantearse la necesidad de evaluar el contenido de este tipo de compuestos en los residuos generados en el presente estudio con el fin de establecer si la ultrasonicación reduce significativamente su presencia.

Por otra parte en el cuadro 1 se puede también apreciar el importante contenido de fósforo y potasio en la muestras analizadas. De igual forma, lo anterior coincide con lo reportado por Udayasekhara (1987), para el caso del fósforo (879 a 938 mg/100g). De manera similar los valores reportado por el anterior investigador para el caso del contenido de grasa (3.6 a 9.1%), cenizas (7.6 a 9.5%) y fibra cruda (5.5 a 8.6%), son similares a los encontrados en el presente estudio y que se muestran en el cuadro 1.

A pesar del empleo de diferentes métodos de extracción, la concordancia entre los resultados presentados en el presente estudio y los reportados por otros investigadores, conlleva a establecer que el empleo de la ultrasonicación al parecer no altera la composición proximal en los residuos sólidos derivados de esta actividad. Sin embargo, el análisis de los principales compuestos responsables de la poca palatabilidad de los residuos obtenidos es muy necesario para continuar con objetivo de aprovecharlo como fuente de proteínas en la alimentación animal.

CONCLUSIONES

Los residuos sólidos provenientes de la extracción de aceite asistida por ultrasonicación del kernel de semillas de Neem poseen un alto contenido de proteína, fósforo y potasio, lo cual concuerda con lo reportado en otros estudios, implicando que este tipo de extracción no provoca alteraciones relevantes que pudieran influir negativamente en su composición proximal.

LITERATURA CITADA

- Abdulazeez, A., Abdulmumini, S., and Sulaiman, J. 2014. Potential of detoxified neem kernel cake as a protein source in broiler feeding. *IOSR Journal of Agricultural and Veterinary Science*, 7(1):22–29.
- Anandan, S., Sastry, V., Musalia, L., and Agrawal, D. 1996. Growth rate and nutrient efficiency of growing goats fed urea ammoniated neem (*azadirachta indica*) seed kernel meal as proteon supplement. *Small Ruminant Research*, 22:205–212.
- AOAC 2000a. Official Methods of Analysis. Método 33.7.8. The Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, MD, USA., 17 edition.
- AOAC 2000b. Official Methods of Analysis. Método 966.16. The Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, MD, USA., 17 edition.
- Arias, D., Vázquez, G., Acosta, W., Montañez, L., Álvarez, R., and Pérez, V. 2009. Determinación del azadiractina de los aceites esenciales del árbol de neem (*Azadirachta indica*). *Revista Ingeniería UC*, 16(3):22–26.
- Aruwayo, A. and Maigandi, S. 2013. Neem (*Azadirachta indica*) seed cake/kernel as protein source in ruminants feed. *Amerial Journal of Experimental Agriculture*, 3(3):482–494.
- Cruz-Fernández, M. and DelAngel-Sánchez, R. 2004. El árbol de nim. establecimiento y aprovechamiento en la huasteca potosina. Folleto Técnico 3, INIFAP- CIRNE, Campo Experimental Huichilhuayán y Campo Experimental Ébano. San Luis Potosí, México.
- Delgado, J. O. 2012. Aplicación del ultrasonido en la industria de los alimentos. *Revista especializada en ingeniería de procesos en alimentos y biomateriales*, 6:141–152.
- Djibril, D., Mamadou, F., Gérard, V., Geuye, M. C., Oumar, S., and Luc, R. 2015. Physical characteristics, chemical composition and distribution of constituents of the neem seeds (*Azadirachta indica* A. juss) collected in senegal. *Research Journal of Chemical Sciences*, 5(7):52–58.
- Hernández-Becerra, J., Ochoa-Flores, A., and DelaCruz-Sánchez, A. 2017. Extracción de aceite asistida por ultrasonificación a partir del fruto del árbol de neem (*Azadirachta indica*). In V Congreso Internacional de Agronomía Tropical. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
- Leos, M. J. and Salazar, S. 1992. El árbol de neem (*Azadirachta indica* A. juss) en México. Folleto Técnico 3, Facultad de Agronomía, UNAL.
- Li, Y., Zhang, Y., Sui, X., Zhang, Y., Feng, H., and Jiang, L. 2014. Ultrasound-assisted aqueous enzymatic extraction of oil from perilla (*perilla frutescens* L.) seeds. *CyTA-Journal of Food*, 12(1):16–21.
- Musalia, L., Anandan, S., Sastry, V., and Agrawal, D. 2000. Urea-treated neem (*azadirachta indica* a. juss) seed kernel cake as a protein supplement for lambs. *Small Ruminant Research*, 35:107–116.
- Nagalakshmi, D., Sastry, V., Katiyar, R., Agrawal, D., and Verma, S. 1999. Performance of broiler chicks fed on diets containig urea ammoniated neem (*azadirachta indica*) kernel cake. *British Poultry Science*, 40(1):77–88.
- Nayaka, H., Umakantha, B., Ruban, S., Murthy, H., and Narayanaswamy, H. 2013. Performance and hematological parameters of broilers fed neem, tumeric, vitamin e and their combinations. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 25(6):483–488.
- NMX-F-607-Normex. 2002. Norma Mexicana NMX-F-607-Normex-2002. Determinación de cenizas en alimentos. Diario Oficial de la Federación.
- NMX-F-608-Normex. 2002. Norma Mexicana NMX-F-608-Normex-2002. Determinación de proteínas en alimentos. Diario Oficial de la Federación.
- NMX-F-615-Normex. 2004. Norma Mexicana NMX-F-615-Normex -2004. Determinación de extracto etéreo en alimentos. Diario Oficial de la Federación.
- NOM-086-SSA1. 1994. Norma oficial mexicana NOM-086-SSA1-1994. Bienes y Servicios. alimentos y bebidas no alcohólicas con modificaciones en su composición. especificaciones nutrimentales. Diario Oficial de la Federación.
- NOM-116-SSA1. 1994. Norma oficial mexicana NOM-116-SSA1-1994. Bienes y Servicios. Determinación de humedad en alimentos por tratamiento térmico. Método por arena o gasa. Diario Oficial de la Federación.
- Pi Joan, M. 2004. El neem. la farmacia de la aldea. *Ambito Farmacéutico. Etnofarmacia*, 23(5):128–132.

- Rao, S., Jash, S., Dineshkumar, D., Krishnamoorthy, P., Elangovan, A., Sivaram, M., Parthipan, S., and Selvaraju, S. 2016. Influence of detoxified neem seed cake on diet digestibility, body weight change, hormonal profiles, immune response and testicular gene expression in male sheep. *Animal Feed Science and Technology*, 211:41–49.
- Udayasekhara, P. 1987. Chemical composition and biological evaluation of debitter- rized and defatted neem (*azadirachta indica*) seed kernel cake. *JAOCS*, 9:1348–1355.
- Vargas-López, J. M., Canett-Romero, R., Robles-Sánchez, M., and Morales- Castro, R. 2012. Aplicación de neem en la conservación de alimentos y salud pública. In Aguilar, G. A. G., editor, *Nuevas tendencias en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, chapter 13, pages 360–382. Trillas.

CALIDAD DE ACEITE DE NAPAHUITE *Trichilia hirta* L. PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL EN MÉXICO
QUALITY OF NAPAHUITE OIL *Trichilia hirta* L. FOR THE PRODUCTION OF BIODIESEL IN MEXICO

¹Martínez Valencia BB, ¹Solís-Bonilla JL, ²Hernández-Gómez E, ¹Zamarripa Colmenero A

¹Campo Experimental Rosario Izapa CIRPAS-INIFAP. Carretera Tapachula-Cacahoatan Km. 18, C.P. 30870. Tuxtla Chico, Chiapas, México.

²Campo Experimental Centro Chiapas CIRPAS-INIFAP. Carretera Internacional Ocozocoautla - Cintalapa Km. 3, C.P. 29140. Ocozocoautla, Chiapas, México.

Autor para correspondencia: martinez.biaani@inifap.gob.mx

RESUMEN

En la actualidad existe una búsqueda constante de cultivos energéticos para la producción de biocombustibles de segunda generación. Las semillas del árbol de napahuite (*Trichilia hirta* L) contiene un aceite de color naranja que podría considerarse como una materia prima con potencial para la producción de biodiesel. En este trabajo se realizaron cinco colectas de napahuite con el objetivo de conocer su contenido y calidad de aceite. Se encontraron contenidos de aceite entre 46.57% - 51.09%, contenido de humedad de semilla entre 3.18% - 4.56%. La colecta INIFAP-MX-Th1 presento mayor contenido de aceite con 51.09 %, una densidad de 0.920 g/cm³, viscosidad de 49.11 mm²/s e Índice de Yodo de 70.75 mg iodo. g⁻¹. Con respecto a la composición de los ácidos grasos la colecta INIFAP-MX-Th1 presenta un 32% de saturados (palmítico y esteárico), 46% de monoinsaturados (oleico principalmente) y 22 % de poliinsaturados (linoleico principalmente). De acuerdo a los resultados obtenidos, se aprecia que la calidad del biodiesel depende de la composición de ácidos grasos del aceite vegetal del que se deriva, es decir, depende del grado de insaturación y el tipo de enlaces del aceite de origen que influyen en los parámetros del biodiesel como el índice de cetano, el punto de fusión, la estabilidad oxidativa, entre otros. Por lo tanto, se considera que un aceite de calidad es aquel que presente mayor proporción en ácidos grasos monoinsaturados principalmente ácido oleico con respecto a los saturados y poliinsaturados. Se concluye que el aceite de napahuite es de buena calidad debido a la composición de los ácidos grasos y a sus propiedades fisicoquímicas.

Palabras clave: *cultivos bioenergéticos, calidad de aceite, biodiesel*

INTRODUCCION

Uno de los problemas mundiales más importantes de orden económico, social, ambiental y aún de sobrevivencia de la propia humanidad, es el cambio climático provocado principalmente por la emisión de bióxido de carbono y su acumulación en la atmósfera (IPCC, 2007). El efecto invernadero trae como consecuencias el incremento del promedio de la temperatura de la tierra, las sequías, el deshielo de los polos y las inundaciones; estos fenómenos afectan la vida de miles de personas, las economías familiares y nacionales y la producción y productividad agropecuaria y forestal. Las pérdidas económicas por este fenómeno en 2005 fueron superiores a los 200 mil millones de dólares (Zamarripa *et al*, 2009). Ante este escenario, México está impulsando el uso de energías renovables más eficientes y limpias como los Biocombustibles para disminuir los efectos del cambio climático y contribuir a la conservación del ambiente. Aunado a los problemas ambientales, el agotamiento de las reservas probadas de petróleo del país, cuya duración se estimaba en aproximadamente 8 años, y el aumento constante en el precio del petróleo, justifican sobremanera la necesidad de explorar nuevas fuentes de energía renovable como el etanol y el biodiesel a partir de especies agrícolas. Además, que existe una insuficiente producción nacional de oleaginosas y granos para el desarrollo de los biocombustibles. Actualmente en el mundo, la mayor parte de la producción de Bioenergéticos está basada en materias primas de origen agrícola; a pesar de que en la actualidad los biocombustibles representan una fracción poco significativa de la demanda global de combustibles para el transporte, se espera un crecimiento importante en el largo plazo, principalmente en aquellas regiones donde existe un mayor potencial. La obtención de variedades mexicanas con alta eficiencia energética, rendimiento agroindustrial y de baja emisión de contaminantes, otorgará seguridad y rentabilidad a los productores para enfrentar la competencia en el mercado. Por lo anterior, el INIFAP se ha centrado en buscar nuevas especies vegetales que posean potencial en la producción de aceite para la obtención de biodiesel. El napahuite (*Trichilia hirta* L), según la Biblioteca digital de la medicina tradicional mexicana (2009) lo describe como una planta que tiene hojas compuestas divididas en hojuelas más

largas que anchas acomodadas una frente de la otra sobre un largo soporte. Las flores son blancas, pequeñas y están en racimos, nacen en la unión del tallo y las hojas. Los frutos son cápsulas peluditas como terciopelo, verdes, que cuando maduran son de color rojo y se abren en 3 partes. Está presente en climas cálido y semicálido desde el nivel del mar hasta los 1800 m. Con respecto a su composición fisicoquímica no existe mucha información al respecto, solo se han realizado estudios en semillas y hojas, pero el aceite no se ha evaluado hasta el momento. Es por ello, que el objetivo de este trabajo fue evaluar el aceite de napahuite para conocer su potencial como materia prima para la producción de biodiesel.

MATERIALES Y MÉTODOS

Colecta de frutos. Se realizaron cinco colectas de frutos en la región de Tuxtla Chico, Chiapas, con la finalidad de contar con semillas de Napahuite para el estudio de calidad de aceite.

Determinación de humedad. Se molieron las semillas de napahuite y se colocaron 3 g de muestra en recipientes con peso constante, se dejaron durante 24 horas a 60 °C en una estufa, posteriormente por gravimetría se determinó la humedad (%).

Contenido de aceite. Para la evaluación de contenido de aceite se trabajó con las cinco colectas. Las semillas fueron molidas y secadas a 60 °C durante 24 horas en una estufa marca Yamato. Después se procedió a extraer el aceite con base a la metodología descrita por NMX-F-615-NORMEX-2004 utilizando un equipo marca Gerardth.

Ácidos grasos. La evaluación del perfil de ácidos grasos se llevó a cabo en un cromatógrafo de gases de la marca Perkin Elmer modelo Clarus 500 con columna capilar Supelcowax™10 (Supelco) de 30 metros de longitud por 0.20 mm de diámetro interno y 0.25 µm de espesor y se utilizó helio como gas de acarreo. La identificación de ácidos grasos se realizó en base a las curvas de calibración y el tiempo de retención de estándares individuales de ácidos grasos (Sigma-Aldrich, St Louis, USA).

Caracterización fisicoquímica. Para determinar la densidad y viscosidad del aceite de Napahuite se basó en la norma ASTM D445 utilizando un viscosímetro marca Anton Paar. Con respecto al índice de yodo se usó la metodología descrita por la norma mexicana NMX-F-152-SCFI-2011. Para medir la estabilidad de oxidación de los aceites se realizó con el método EN 14112 de la Norma Europea, utilizando un equipo Rancimat marca Metrohm.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como se puede observar en el Cuadro 1, encontramos que las semillas de Napahuite presentaron un bajo contenido de humedad. El contenido de agua en las semillas representa un factor muy importante durante la extracción del aceite independientemente del método elegido, Bernardini (1981) menciona que cada semilla debe tener una humedad óptima de menos del 9%, una humedad por encima de este valor representa una disminución en la efectividad de la transformación, generando emulsiones entre agua y aceite, que ocurre en la superficie de las partículas, lo que impide que el solvente penetre en las fibras de almendras y solubilice el aceite. Con respecto al contenido de aceite se encontraron rangos de 46.57% a 51.09%. La viscosidad y densidad el aceite de napahuite presentan características similares al del aceite de soya (densidad de 0.9138 g/cm³ y viscosidad de 32.6 mm²/s) tal como lo reporta Singh *et al.*, (2010) y *Jatropha curcas* cuya variedad Doña Aurelia tiene una densidad de 0.921 g/cm³ y viscosidad de 34.89 mm²/s (Zamarripa *et al.*, 2017), el aceite de soya y *jatropha* son las principales materias primas que se han estudiado para la producción de biodiesel de primera y segunda generación.

Cuadro 1: Características fisicoquímicas y contenido de aceite de napahuite

Parámetros	Valores
Humedad (%)	3.18 ± 0.04 - 4.56 ± 0.09
Aceite (%)	46.57 ± 0.86 - 51.09 ± 0.36
Viscosidad (mm ² /s)	45.35 ± 0.01 - 49.11 ± 0.3
Densidad (g/cm ³)	0.9124 ± 0.0 - 0.9201 ± 0.0
Índice de Yodo (mg yodo g ⁻¹)	70.75 ± 0.82 - 77.82 ± 0.68

Así mismo, se puede observar que el índice de yodo se encontró en un rango de 70.75 a 77.82 mg yodo g⁻¹, el contenido de yodo es una forma indirecta de conocer cómo se encuentra los ácidos grasos insaturados presentes en el aceite, la norma europea EN-14214 establece un valor máximo permisible de índice de yodo de biodiesel de 120 mg yodo g⁻¹. Valores muy por debajo de este índice indican un mayor riesgo de formación de sólidos en frío debido a la presencia de ácidos grasos saturados.

En la Figura 1, se muestra el contenido de aceite de las cinco colectas realizadas, como se observa las colectas INIFAP-MX-Th1 e INIFAP-MX-Th4 se encuentran por arriba del 50 %, lo que significa que tiene mayor contenido de aceite con respecto a las semillas de la soya que es de aproximadamente 18.5 % según lo reportado por Hwang *et al.*(2014), el aceite de soya es utilizado actualmente para obtener biodiesel en Brasil.

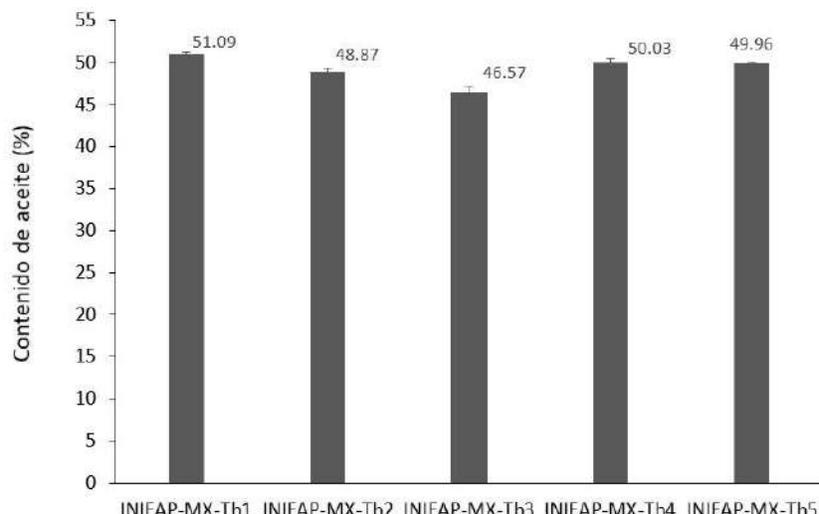


Figura 1. Contenido de aceite (%) de cinco colectas de Napahuite (*Trichilia hirta L.*)

En la Figura 2, se observa la distribución de los ácidos grasos saturados, moninsaturados y poliinsaturados presentes en el aceite de napahuite. Este tipo de aceite tiene una mayor proporción de ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados que van desde 68.74% hasta 56.22%. Se realizaron los análisis de cromatografía para conocer los tipos de ácidos grasos presentes en los aceites (datos no mostrados), la variedad INIFAP-MX-Th4 es la que tiene mayor presencia de ácido oleico 43.87% y 21.35 % de ácido linoleico, por lo que representa una buena opción para la producción de biodiesel de calidad.

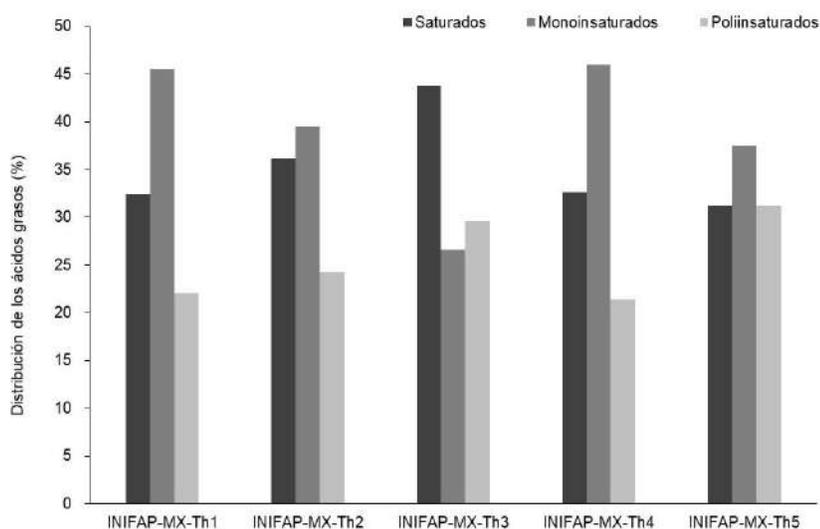


Figura 2. Distribución porcentual de los ácidos grasos presentes en el aceite de napahuite de cinco colectas.

CONCLUSIONES

Se puede concluir que el aceite de napahuite de las colectas evaluadas representa una buena opción para la producción de biodiesel de segunda generación, debido a sus características fisicoquímicas, contenido de aceite superior al 45% y por la composición de los ácidos grasos, principalmente oleico y linoleico.

LITERATURA CITADA

- ASTM D445, 2017. Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids (and Calculation of Dynamic Viscosity).
- Bernardini E. 1981. Tecnología de aceites y grasas. 1ra. Madrid, España: Ed. Española. Ed. Alambra S.A. 34 p.
- EN 14112, 2008. Norma Europea. Determinación de la estabilidad a la oxidación (prueba de oxidación acelerada).
- Hwang, E. Y., Song, Q., Jia, G., Specht, J.E., Hyten, D.L., Costa, J., Cregan, P.B. 2014. A genome-wide association study of seed protein and oil content in soybean. BMC Genomics. 15: 1-12.
- NMX-F-615-NORMEX-2004. Determinación de extracto etéreo (método Soxhlet) en alimentos. Norma Oficial Mexicana.
- NMX-F-152-SCFI-2011. Determinación del índice de yodo por el método ciclohexano. Norma Oficial Mexicana.
- Singh, S.P. y Singh, D. 2010. Biodiesel production through the use of different sources and characterization of oils and their esters as the substitute of diesel: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 14: 200-216.
- Zamarripa, C.A., Pecina, Q.V. 2017. New Clonal Varieties of Jatropha. In: Tsuchimoto S. (ed). The Jatropha Genome. Switzerland; Springer International Publishing AG.. pp. 275-288.
- Zamarripa, C. A, Ruíz, C. P. A., Solís B. J. L, Martínez, H. J., Olivera, D.A, Martínez V.B. 2009. Biocombustibles: perspectivas de producción de biodiesel a partir de Jatropha curcas L. en el trópico de México. Folleto Técnico No.12 Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, SAG, México. 46 p.

REFERENCIAS INFORMATICAS

- Biblioteca Digital de la Medicina Tradicional Mexicana, 2009. <http://www.medicinatradicionalmexicana.unam.mx/monografia.php?l=3&t=&id=7773> (consultado el 25 de junio de 2018)
- IPCC, 2007. IV Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de expertos sobre cambio climático. World meteorological Organization. UNEP. <http://www.ipcc.ch/> (consultado el 25 de junio de 2018)

CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE FITOQUÍMICOS DE CHILTEPIN *Capsicum annuum* L. var. *glabriusculum*
ANTIOXIDANT CAPACITY OF PHYTOCHEMICALS OF CHILTEPIN *Capsicum annuum* L. var. *glabriusculum*

Medina-Juárez LA, Gámez-Meza N, Hayano-Kanashiro C

Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Universidad de Sonora, Rosales y Blvd. Luis Encinas s/n, Col. Centro, C.P. 83000, Hermosillo, Sonora, México.
Autor para correspondencia: luis.medina@unison.mx

RESUMEN

El chiltepín es una especie semidomesticada que se encuentra distribuida en el sur, centro y Norteamérica. En México, se distribuye a lo largo de la costa del Pacífico. Esta planta es un arbusto perenne altamente ramificado con tallos delgados y puede alcanzar alturas de hasta dos metros. Los frutos maduros son bayas pequeñas, rojas y redondas que se sostienen erectas, con un diámetro de 6 a 8 mm. Los frutos de la planta de chiltepín se usan principalmente en la preparación de alimentos y en la medicina tradicional. Para llevar a cabo el estudio fitoquímico, se recolectaron frutos maduros de chiltepín en la región de Álamos, Sonora. Los resultados mostraron un contenido de compuestos fenólicos totales de 663.26 mg de equivalentes de ácido clorogénico/100 g peso seco (ps). Los compuestos fenólicos identificados fueron los ácidos gálico, clorogénico y ferúlico. Con respecto a los flavonoides totales, se encontró un contenido de 424.58 mg de equivalentes de catequina/100 g ps; se identificaron catequina y luteolina. En relación al contenido de capsaicina se encontró 4.17 mg/g ps. También, se realizó la determinación de carotenoides y tocoferoles encontrándose 33.23 mg/g y 39.31 mg/100 g respectivamente. Además, los extractos metanólicos de chiltepín, mostraron capacidad para inhibir los radicales ABTS^{•+} (93.36 μ mol de equivalente Trolox/g ps) y DPPH[•] (24.04 μ mol de equivalente Trolox/g ps). Se encontró además, una correlación significativa ($p < 0.05$) entre el contenido de fenoles totales de chiltepín y su capacidad antioxidante ($r = 0.93$ para ABTS y $r = 0.98$ para DPPH). Por lo tanto, los compuestos fitoquímicos identificados y la capacidad antioxidante mostrada hacen del fruto de chiltepín una fuente potencial de compuestos antioxidantes.

Palabras clave: *compuestos fenólicos, capsaicinoides, carotenoides, tocoferoles.*

INTRODUCCION

El chiltepín, *Capsicum annuum* L. var. *glabriusculum* (Heiser y Pickersgill), es una especie silvestre, actualmente en proceso de domesticación. Se encuentra distribuida en algunas regiones de la República Mexicana y otras partes del mundo. En México, se encuentra en toda la costa y serranías costeñas, tanto del Océano Pacífico como del Golfo de México, desde Sonora a Chiapas y de Tamaulipas a la Península de Yucatán. En el Estado de Sonora esta especie se distribuye en los municipios del centro y la zona serrana oriental. Las zonas más ricas en este fruto son la del Río Sonora y la sierra de Álamos (CONAFOR, 2009). Esta planta es un arbusto anual o perenne, ramificado, que alcanza una altura de hasta dos metros con tallos delgados que con frecuencia se trepan en otros arbustos. El fruto es una baya roja, redonda u oblonga de 6 a 8 mm de diámetro que crece en posición eréctil, sus semillas son de color blanco a amarillentas (Bañuelos *et al.*, 2008).

Los frutos del género *Capsicum* y especie *annuum* son una excelente fuente de metabolitos secundarios (fitoquímicos bioactivos), compuestos que pueden actuar principalmente como antioxidantes (Leja *et al.*, 2008). Dentro de estos metabolitos secundarios se encuentran los compuestos fenólicos, los cuales tienen un papel fisiológico importante en las plantas. Por otro lado, estas sustancias pueden influir en la calidad, aceptabilidad y estabilidad en los productos alimenticios, actuando como colorantes, antioxidantes y proporcionando sabor (Chitindingu *et al.*, 2007). Los compuestos fenólicos poseen diferentes actividades biológicas, siendo su capacidad antioxidante la más importante. Otro fitoquímico importante y característico del género *Capsicum*, son los capsaicinoides, los cuales son responsables del sabor picante de los frutos de estas plantas (Tewksbury *et al.*, 2008). Estudios reportan que los capsaicinoides presentan efectos benéficos en la salud, actuando como cardioprotectores, antiinflamatorios, anticancerígenos y antioxidantes (Srinivasan, 2016). Por otro lado, los fitoquímicos responsables de la variación de colores, de amarillo a rojo, en frutos maduros de chiles son los carotenoides (Deli *et al.*, 2001). Estos compuestos como

precursores de la vitamina A, poseen capacidad antioxidante (Rodríguez-Concepciona, *et al.*, 2018). Los frutos del género *Capsicum*, especialmente en su forma deshidratada, son una excelente fuente de tocoferoles (vitamina E). La transformación de cloroplastos a cromoplastos durante la maduración de los frutos de *Capsicum annuum* L., genera la acumulación masiva de carotenoides, paralelo al incremento en la síntesis de α -tocoferol (Arango y Heise, 1998).

En base a lo expuesto anteriormente y al aumento del consumo del fruto de chiltepín se hace necesario el presente estudio sobre la determinación de los compuestos fenólicos, capsaicinoides, carotenoides y tocoferoles; así como su capacidad antioxidante.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se colectaron frutos de *Capsicum annuum* L. var. *glabriusculum* completamente rojos, en la región de Álamos, Sonora (27°04'18.19" LN 109°03'40.36" LO y 401 msnm). Los frutos fueron secados usando un proceso artesanal (expuesto a los rayos solares directos durante 32 h).

Determinación de fenoles y flavonoides totales: Los compuestos fenólicos se determinaron espectrofotométricamente a 765 nm utilizando el método Folin-Ciocalteu (Howard *et al.*, 2000). Los resultados se reportaron como miligramos equivalentes de ácido clorogénico (EAC)/100 g de ps. Los flavonoides fueron determinados espectrofotométricamente a 510 nm (Molina-Quijada *et al.*, 2010). Los resultados se reportaron como miligramos equivalentes de catequina (EC)/100 g ps.

Identificación de los compuestos fenólicos: El procedimiento se realizó en un equipo de cromatografía HPLC Varian PS-230 (Palo Alto, CA, USA), equipado con un detector Agilent (G1315D 1260 DAD VL). Se utilizó una columna Supelcosil™ LC18 (30 x 0.4 cm x 5 μ m. Supelco, Bellefonte, PA, USA) y una fase móvil según Cantos *et al.* (2000). La identificación de los compuestos fenólicos se llevó a cabo por comparación de los tiempos de retención de los estándares correspondientes y su espectro de absorción.

Cuantificación de capsaicinoides: La determinación se realizó utilizando un cromatógrafo HPLC equipado con un detector UV-VIS (280 nm) y una columna Supelcosil C18 (Tanaka *et al.*, 2009).

Cuantificación de carotenoides: La cuantificación de carotenoides se realizó a través de un cromatógrafo HPLC equipado con un detector UV-VIS (450 nm) y una columna Supelcosil C18 (Mínguez-Mosquera y Hornero-Méndez, 1993).

Cuantificación de los tocoferoles: Para la determinación de tocoferoles se utilizó un cromatógrafo HPLC equipado con un detector UV-VIS (292 nm) y una columna Supelcosil Si-60 (25 cm x 4.6 mm 5- μ m tamaño de partícula, Supelco, Bellefonte, PA, USA) (método oficial Ce 8-89, AOCS, 2009).

Determinación de capacidad antioxidante: La propiedad antioxidante de los extractos metanólicos de chiltepín fue evaluada por dos métodos: 2,2-difenil-1-picrilhidracil (DPPH) y ácido 2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazol-6- sulfónico) (ABTS). La reacción para el DPPH[•] fue leída a 515 nm y a 734 nm para el ABTS^{•+}, en un espectrofotómetro Cary 100 UV-Vis. Los resultados fueron expresados como μ mol de equivalente trolox/g de muestra seca (Agustín-Salazar *et al.*, 2017).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Compuestos Fenólicos: Los compuestos fenólicos totales reportados en el presente trabajo (Cuadro 1), fueron mayores a los reportados en chiltepín de Baja California Norte y secado a 65 °C por 24 h (485 mg EAG/100 g ps) y en chile habanero (592 mg EAG/100 g ps) (Rodríguez-Maturino *et al.*, 2012). En el mismo sentido fueron los resultados reportados por Howard *et al.*, (2000), para compuestos fenólicos totales (431.6 mg/100 g) y flavonoides totales (0.55 mg/100 g) en chile habanero. Por otro lado, Medina-Juárez *et al.*, (2012) reportó el contenido de compuesto fenólico totales de cinco chiles comercialmente importantes en México, incluyendo Anaheim (97.99 mg/100 g), Caribe (154 mg/100 g), Jalapeño (59.34 mg/100 g), Bell (103.26 mg/100 g) y Serrano (94.58 mg/100 g). Estos frutos fueron colectados en el noroeste de México y todos mostraron valores más bajos de compuestos fenólicos totales que los encontrados en el chiltepín. Estas diferencias en el contenido de compuestos fenólicos totales, entre los diferentes frutos de *Capsicum*, se pueden deber a varios factores como el genotipo, condiciones climatológicas, prácticas agronómicas y condiciones de poscosecha (DuPont *et al.*, 2000; Romani *et al.*, 2002). Los compuestos fenólicos identificados en el fruto de chiltepín por HPLC fueron, los ácidos gálico, clorogénico y ferúlico y entre los flavonoides catequina y luteolina (Cuadro 1). Estos compuestos coincidieron con los reportados para chiles Anaheim, Caribe, Jalapeño, Bell y Serrano.

Cuadro 1. Ácidos fenólicos y flavonoides en chiltepín (*Capsicum annuum* L. var. *glabrusculum*), Anaheim^a y Jalapeño^a.

Concentración (mg/100 g ps)	Chile		
	Chiltepín ^b	Anaheim	Jalapeño
Fenoles totales (EAC)	663.26 ± 33.91	97.99	59.34
Ácido gálico	24.88 ± 0.54	69.30	49.10
Ácido cafeico	ND	2.20	0.20
Ácido clorogénico	32.21 ± 1.62	0.97	0.20
Ácido ferúlico	6.61 ± 0.25	ND	ND
Flavonoides totales (EC)	424.58 ± 10.22	25.38	28.77
Catequina	50.64 ± 5.59	3.68	0.11
Epicatequina	ND	7.35	0.10
Rutina	ND	0.38	0.20
Luteolina	49.42 ± 0.72	0.35	0.20

^a Medina Juárez *et al.*, 2012. EAC, equivalentes de ácido clorogénico; EC, equivalentes de catequina.

^b Los valores representan la media del triplicado ± desviación estándar. ND, no detectado.

Capsaicinoides: Los valores de capsaicinoides encontrados en el presente trabajo (Cuadro 2), son similares (4.2 - 8.2 mg/g) a los reportado por Montoya-Ballesteros *et al.*, (2010). Otros chiles producidos en la región central de México (*Capsicum annuum* var. *aviculare*, piquín 53.71 mg/g y *Capsicum annuum* var. *annuum*, chile de árbol, 80.52 mg/g), mostraron valores de capsaicinoides superiores a los encontrados para chiltepín (Contreras-Padilla y Yahia, 1998). Por otro lado, Blanco-Rios *et al.*, (2017), reportó valores menores a los de chiltepín (0.044 mg/g en chile rojo Anaheim y 0.102 mg/g en Jalapeño). En el género *Capsicum*, la producción de capsaicinoides depende de varios factores: de la especie, el genotipo, las condiciones agronómicas y la etapa de madurez (Wahyuni *et al.*, 2013).

Carotenoides y tocoferoles: En el Cuadro 2, se muestran los valores de carotenoides y tocoferoles en chiltepín, los cuales son mayores a los reportados por Blanco-Rios (2013), para Anaheim (6 mg/g; 2.68 mg/g) y para Jalapeño (4.15 mg/g; 0.81 mg/g).

Cuadro 2. Carotenoides, tocoferoles y capacidad antioxidante en chiltepín (*Capsicum annuum* L. var. *glabrusculum*), Anaheim^a y Jalapeño^a.

Determinación	Chile ^b		
	Chiltepín	Anaheim	Jalapeño
Capsaicinodes (mg/g)	4.17 ± 0.11	0.04 ± 0.007	0.10 ± 0.01
Carotenoides (mg/g)	33.23 ± 0.3	5.94 ± 0.01	4.15 ± 0.09
Tocoferoles (mg/100 g)	39.31 ± 2.3	2.68 ± 0.05	0.81 ± 0.04
ABTS ^{*+} (µmol ET/g)	96.36 ± 0.39	64.38 ± 1.34	61.07 ± 2.57
DPPH [*] (µmol ET/g)	24.04 ± 0.19	39.15 ± 0.34	2.17 ± 0.11

^a Blanco-Rios *et al.*, 2017. ^b Los valores representan la media del triplicado ± desviación estándar.

Capacidad antioxidante: Los resultados mostraron una capacidad antioxidante alta de los extracto metanólicos de chiltepín (Cuadro 2). Además, se detectó que la correlación entre el contenido de fenoles totales, ácido clorogénico y capsaicinoides fue significativa ($p < 0.05$) para ABTS ($r = 0.93$; $r = 0.91$; $r = 0.9$) y DPPH ($r = 0.98$; $r = 0.9$; $r = 1.0$) respectivamente.

CONCLUSIONES

Los resultados del presente estudio muestran que el fruto rojo de chiltepín, es una fuente importante de fitoquímicos, como los compuestos fenólicos, capsaicinoides, carotenoides y tocoferoles. Los cuales se comprobó fueron los responsables de su capacidad antioxidante. Estas características hacen del fruto de chiltepín, una fuente potencial de compuestos antioxidantes.

LITERATURA CITADA

- Agustin-Salazar, S., Gamez-Meza, N., Medina-Juañez, L.A., Malinconico, M., Cerruti C. 2017. Stabilization of polylactic acid and polyethylene with nutshell extract: efficiency assessment and economic evaluation. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering* 5(6):4607–4618.
- Arango, Y., Heise, Klaus-Peter. 1998. Localization of α -tocopherol synthesis in chromoplast envelope membranes of *Capsicum annuum* L. fruits. *Journal of Experimental Botany*. 49(324):1259-1262.
- Bañuelos, N., Salido, P.L., Gardea, A. 2008. Etnobotánica del chiltepin. Pequeño gran señor en la cultura de los sonorenses. *Estudio Sociales*. 16:178–205.
- Blanco-Rios, A.K. 2013. Contenido de fitoquímicos en chiles (*Capsicum annuum* L.). Bell, Anaheim y Jalapeño como una función del cultivar y algunos factores tecnológicos. Ph.D. diss. Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México.
- Blanco-Rios, A.K., Medina-Juárez, L.A., Gamez-Meza N. 2017. Drying and pickling on phenols, capsaicinoids, and free radical-scavenging activity in Anaheim and Jalapeño peppers. *Ciência Rural*, 47(9):1-6.
- Chitindingu, K., Ndhlala, A.R., Chapano, C., Benhura, M.A., Muchuweti, M. 2007. Phenolic compound content, profiles and antioxidant activities of *Amaranthus hybridus* (pigweed), *Brachiaria brizantha* (upright brachiaria) and *Panicum maximum* (Guinea grass). *Journal of Food Biochemistry*. 31(2):206–216.
- CONAFOR, 2009. Técnicas para el establecimiento y producción de chiltepin silvestre, bajo un sistema agroforestal en Sonora, México. <http://www.conafor.gob.mx/biblioteca/tecnicas-chiltepin.pdf> (consultado el 20 de junio de 2018).
- Contreras-Padilla, M., E.M. Yahia. 1998. Changes in capsaicinoids during development, maturation, and senescence of chile peppers and relation with peroxidase activity. *J. Agric. Food Chem.* 46(6):2075–2079
- Deli, J., Molnar, P., Matus, Z., Toth, G. 2001. Carotenoid composition in the fruits of red paprika (*Capsicum annuum* var. *lycopersiciforme rubrum*) during ripening; biosynthesis of carotenoids in red paprika. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 49:1517-1523.
- DuPont, M.S., Mondin, Z., Williamson, G., Price, K.R. 2000. Effect of variety, processing and storage on the flavonoid glycoside content and composition of lettuce and endive. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48:3957–3964.
- Howard, L. R., Talcott, S. T., Brenes, C. H., Villalon, B. 2000. Changes in phytochemical and antioxidant activity of selected pepper cultivars (*Capsicum* Species) as influenced by maturity. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 48(5):1713-1720.
- Leja, M., Wy'golik, G., Kami'ska, I. (2008). Changes of some biochemical parameters during the development of sweet pepper fruits. *Folia horticulture* 27:277-283.
- Medina-Juárez, L.A., Molina-Quijada, D.M.A., Del Toro-Sánchez, C.L., González-Aguilar, G.A., Gámez-Meza, N. 2012. Antioxidant activity of peppers (*Capsicum annuum* L.) Extracts and characterization of their phenolic constituents. *Revista Interciencia*. 37:588-593.
- Mínguez-Mosquera, M. I. y Hornero-Méndez, D. 1993. Separation and quantification of the carotenoid pigments in red pepper (*Capsicum annuum*, L.), paprika and oleoresin by reversed phase HPLC. *J. Agric. Food Chem.* 41: 1616-1620.
- Molina-Quijada, D. M. A., Medina-Juárez, L. A., González-Aguilar, G. A., Robles-Sánchez, R. M., Gámez-Meza, N.(2010). Compuestos fenólicos y actividad antioxidante de cáscara de uva (*Vitis vinifera* L.) de mesa cultivada en el noroeste de México. *Ciencia y Tecnología de Alimentos - Journal of Food* 8:57-63.
- Montoya-Ballesteros, L. C., Gardea-Bejar, A. Ayala-Chavez, G. M., Martinez-Nuñez, Y. Y., Robles-Ozuna, L. E. 2010. Capsaicinoides y color en chiltepin (*Capsicum annuum* var. *aviculare*). Efecto del proceso sobre salsas y encurtidos. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 9:197-207.
- Rodríguez-Concepciona, M., Avalos, J., Bonet, M.L., Boronat, A., et al., 2018. A global perspective on carotenoids: Metabolism, biotechnology, and benefits for nutrition and health. *Progress in Lipid Research*. 70:62-93.
- Romani, A., Pinelli, P., Galardi, C., Sani, G., Cimato, A., Heimler, D. 2002. Polyphenols in greenhouse and open-air grown lettuce. *Food Chemistry*. 79:337–342.
- Srinivasan, K. 2016. Biological Activities of Red Pepper (*Capsicum annuum*) and Its Pungent Principle Capsaicin: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 56(9):1488-1500.

- Tanaka, Y., Hosokawa, M., Otsu, K., Watanabe, T., Yazawa, S. 2009. Assessment of capsiconinoid composition, nonpungent capsaicinoid analogues, in *Capsicum* cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 57:5407 -5412.
- Tewksbury, J.J., Reagan, K.M., Machnicki, N.J., Carlo, T.A., Haak, D.C., Peñaloza, A.L. and Levey, D.J. 2008. Evolutionary ecology of pungency in wild chilies. *Proceedings of National Academy of Science of the USA*. 105(33):11808–11811.
- Wahyuni, Y., Ballester, A.R., Sudarmonowati, E., Bino, R.J., Bovy, A.G. 2013. Secondary metabolites of *Capsicum* species and their importance in the human diet. *Journal of Natural Products*. 76(4):783-793.

**EFFECTO DEL TRATAMIENTO TÉRMICO CON MICROONDAS EN EL CONTENIDO DE FIBRA
DIETÉTICA DE LA PASTA RESIDUAL DE *Jatropha curcas***
EFFECT OF THERMAL TREATMENT WITH MICROWAVE IN THE CONTENT OF DIETETIC FIBER
OF THE RESIDUAL PASTE OF *Jatropha curcas*

¹Corzo-Ríos LJ, ²Martínez-Herrera J, ³Sánchez-Chino XM, ⁴Jiménez-Martínez C

¹ Unidad Profesional interdisciplinaria de Biotecnología, Dpto. de Bioprocesos. Instituto Politécnico Nacional. Av. Acueducto s/n, Col. Ticomán. Ciudad de México. C.P. 07340. México.

² Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Tabasco, Campo Experimental Huimanguillo, Km. 1. Carr. Huimanguillo-Cárdenas, Tabasco. C.P. 86400, México

³ Cátedra-CONACyT, Departamento de Salud, El Colegio de la Frontera Sur-Villahermosa. Carretera a Reforma Km. 15.5 s/n. Ra. Guineo 2da. Sección. C.P. 86280, Villahermosa, Tabasco, México

⁴ Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Dpto. de Ingeniería Bioquímica, Zacatenco. Instituto Politécnico Nacional. Unidad Profesional Adolfo López Mateos, Av. Wilfrido Massieu Esq. Cda. Miguel Stampa s/n, C.P.07738. México.

Autor para correspondencia: crisjm_99@yahoo.com.

RESUMEN

La semilla de *Jatropha curcas* al ser sometida a un pretratamiento térmico facilita la extracción de grasa y proteína, el residuo fibroso resultante podría ser una buena fuente de fibra dietética. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto del tratamiento con microondas de la semilla de *Jatropha curcas* sobre la eficiencia de extracción de aceite y proteína y en el contenido de fibra dietética del residuo fibroso. La determinación de la fibra dietética fue realizada por tres lotes de 250 g cada uno, dos lotes recibieron un tratamiento térmico, fueron sometidos a calentamiento en un horno de microondas por 2 minutos, un lote a 1000 Watts y otro lote a 600 Watts de potencia de calentamiento. Las semillas fueron molidas para realizar su análisis químico proximal y posteriormente fueron desengrasados, una vez que se extrajo el aceite con solvente (Hexano) se procedió a la extracción de la proteína mediante una solubilización alcalina, obteniendo así la pasta residual. Para la determinación de la fibra dietética se realizó por método enzimático, utilizando α -amilasa y amiloglucosidasa. Los rendimientos de extracción de aceite y proteína se incrementaron con el tratamiento con microondas. El contenido de fibra dietética en la semilla de *Jatropha curcas* fue de 6.31 (g/100 g de harina) y se redujo a 1.12 y 0.26 (g/100 g de harina) cuando la semilla fue tratada con 600 y 1000 W de potencia de las microondas.

Palabras clave: *Jatropha curcas*, fibra dietética, aceite, proteína

INTRODUCCION

El piñón (*Jatropha curcas* L.) es una semilla oleaginosa, perteneciente a la familia de las *Euforbiáceas*. Es originaria de México y Centroamérica, pero se ha esparcido alrededor del mundo en regiones tropicales y subtropicales (Jongschaap y col., 2007; Falasca y Ulberich, 2008).

La planta de *J. curcas* es tolerante a la sequía, está bien adaptada a los suelos semiáridos de las zonas marginales y necesita una lluvia moderada. Se han reportado dos tipos de *J. curcas*, la toxica y la no toxica, esta última sólo en México (Makkar y col., 1998), pues no presentan los ésteres de forbol, responsables de la toxicidad, por lo que es posible su empleo en la alimentación humana y/o animal (Martínez y col. 2006).

La fibra dietética se define como una sustancia de origen vegetal que no puede ser digerida por las enzimas del tracto digestivo humano. Son los polisacáridos estructurales de plantas, que incluyen la celulosa, la hemicelulosa, los betaglucanos, las pectinas, los mucilagos, las gomas y la lignina, este último no tiene estructura de polisacárido porque son polímeros de fenilpropano. Las diferencias estructurales de cada uno de ellos, determina propiedades fisicoquímicas diferentes, y como consecuencia, comportamientos fisiológicos diversos. (Meyer, 2004).

La fibra alimentaria es considerada como un carbohidrato complejo, se ha dividido en dos grupos: fibra soluble e insoluble, según sus características químicas y sus efectos en el organismo (Prosky y col., 1988). Fibra insoluble. Está formada por celulosa, lignina, hemicelulosa y almidón no digerible que retienen poca agua e incrementan poco su volumen. Los componentes de este tipo de fibra son poco fermentables y resisten a la acción de microorganismos (AACC, 2001). Su función es limpiar paredes

del intestino desprendiendo desechos adheridos y promoviendo la laxación de los residuos del organismo. Se encuentra en tallos, casara de granos y frutas, hojas, etc. (Suriguez, 2004). Fibra soluble: está formada por pectina, mucilagos y gomas que retienen mucha agua y son capaces de formar geles viscosos. Es muy fermentable por los organismos intestinales, por ello produce gran cantidad de gas en el intestino y aumenta el volumen de las heces disminuyendo su consistencia, además disminuye y ralentiza la absorción de grasas y azúcares porque atrapa estos componentes en geles (AACC, 2001).

Por lo anterior, en este trabajo se evaluó el efecto del pretratamiento térmico con microondas en las semillas de *Jatropha curcas* sobre la eficiencia de extracción de aceite y proteína y el contenido de fibra dietética del residuo fibroso.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se partió de un lote de semillas variedad no tóxica proporcionadas por el CEPROBI del Instituto Politécnico Nacional. La separación del grano y la cáscara se realizó de manera manual. La semilla fue separada en tres lotes de 150 gramos cada uno, con el fin de dar pretratamiento térmico a dos lotes de ellos. El lote restante (150g) fue molido en una licuadora doméstica (Oster, MOD. 465-15) hasta obtener una harina uniforme que pasó por una malla No. 60, para realizar el análisis químico proximal de la semilla siguiendo los métodos descritos por la AOAC (1990), por triplicado para cada determinación.

Tratamiento con microondas

Los dos lotes destinados al tratamiento térmico fueron sometidos a calentamiento en un horno de microondas (Samsung MOD. MC32F604TCT) por 2 minutos, un lote a 1000 Watts y otro lote a 600 Watts de potencia de calentamiento.

Obtención de pasta residual

Extracción de grasa. Los tres lotes de muestra molida y seca fueron distribuidos en cartuchos de papel filtro previamente secados para su extracción de grasa, en un dispositivo de soxhlet utilizando hexano como disolvente durante 4 horas. Después de su extracción los cartuchos fueron traspasados del dispositivo a un recipiente para secarse a temperatura ambiente en una campana de extracción por 3 horas y después por una hora en la estufa para eliminar el hexano restante.

Extracción de proteína. Los tres lotes fueron disueltos en agua destilada (10:1) en un vaso de precipitado de un litro. El pH fue ajustado a 11 con NaOH utilizando un potenciómetro para monitorearlo (OAKTON, NS 2264786). Al llegar al pH la solución se dejó en agitación en una parrilla durante una hora a 60°C de temperatura para la solubilización de proteínas. Posteriormente se filtró y la pasta resultante se secó a 60 °C durante 12 h para así obtener el residuo fibroso.

Determinación de fibra dietética en la pasta residual

Para la determinación de fibra dietética se utilizó el método reportado por Prosky et al. (1988). Un gramo de muestra fue disuelto en 50 mL de una solución buffer ($\text{Na}_2\text{HPO}_4/\text{NaH}_2\text{PO}_4$) 0.08M, pH6, y se agregó 0.1 mL de α -amilasa. La solución fue calentada a 95 °C durante 15 minutos en un matraz Erlenmeyer cubierto con papel aluminio con agitación constante. Transcurrido el tiempo se enfrió a temperatura ambiente. Posteriormente se ajustó el pH a 7.5 con NaOH 0.275 N, y se agregó 0.1 mL de solución de proteasa 50 mg/mL a la solución y se incubó a 60 °C durante 30 minutos en baño María (Precision, MOD. 66300-29). Una vez atemperada la solución se ajustó el pH a 4.5 con HCl 0.325 M, y se añadió 0.1 mL de amilogucosidasa, se incubó a 60 °C durante 30 minutos en baño María. Transcurrido el tiempo se agregaron 280 mL de etanol 78% y se dejó en reposo durante toda la noche.

El contenido del matraz fue transferido a un crisol Gooch (Pyrex, 30 mL) que contenía 0.5 g de celite y a peso contante. La filtración se llevó acabo aplicando vacío con una bomba (Gast, MOD. DOA-P704-AA). El crisol fue secado a 105 °C durante toda la noche. Posteriormente fueron atemperados en un desecador, pesados y transferidos a una mufla (Lindberg, MOD. 51848) a 600 °C durante 5 horas. Finalmente, el crisol fue transferido a una estufa a 105 °C durante 2 horas, atemperados en desecador y pesados.

El contenido de fibra dietética en la muestra está dado por la diferencia del residuo en el crisol Gooch, menos el contenido de cenizas y proteína La determinación se hizo para ambos lotes por triplicado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El resultado del análisis químico proximal se muestra en el cuadro 1, el contenido de humedad se encuentra por debajo de los valores reportados por Zamarripa y col. (2009), y el contenido de proteína, sin embargo, se está por encima de la referencia en el contenido de grasa y fibra. Por otro lado, estos resultados concuerdan con lo reportado por Lozano y col. (2017).

Cuadro 1. Resultados del análisis químico proximal de *J. curcas*

		Lozano y col. (2017)	Zamarripa y col. (2009)
Humedad	3.81 ± 0.02	2.08 ± 0.03	4.6-5.5
Fibra	6.18 ± 0.07	5.17 ± 0.06	2.83-4.0
Grasa	60.13 ± 1.42	61.14 ± 1.41	57.77-58.79
Cenizas	4.59 ± 0.29	4.69 ± 0.22	3.84-5.13
Proteína	19.28 ± 0.25	19.19 ± 0.28	29.7-32.08
ELN*	6.01	7.73	-

*Calculado por diferencia

Como resultado del pretratamiento térmico con microondas, el cambio de color de la semilla no es muy notable, como se observa en la figura 1. El residuo fibroso es lo que resulta de la extracción de grasa y proteína de la semilla, los resultados de rendimiento de extracción se muestran en el cuadro 2, mientras que la composición de los residuos fibrosos se muestra en el cuadro 3.



Figura 1. Semilla de *J. curcas* con cascara, sin cascara y cambio de coloración.

Así mismo el rendimiento de extracción de aceite en los tres diferentes lotes es mayor en el lote con el tratamiento con mayor potencia de calentamiento (85.11%), el lote con 600 W de potencia de calentamiento tuvo un rendimiento del 84.46% y el rendimiento de extracción de grasa del lote sin tratamiento es menor (83.49%). Estos resultados son mayores a los reportados por Ramos y col. (2006), quienes trataron semillas de *Jatropha curcas* con microondas durante 300 s, y lograron rendimientos de entre 43 y 51 %.

Cuadro 2. Rendimiento de la extracción de grasa y proteína de la semilla de *Jatropha curcas* con y sin tratamiento con microondas.

	sin tratamiento	con tratamiento de 600W	con tratamiento de 100W
Rendimiento de la extracción de grasa (%)	83.49 ± 0.20 ^c	84.46 ± 0.15 ^b	85.11 ± 0.10 ^a
Rendimiento de la extracción de proteína (%)	70.8 ± 0.80 ^b	79.2 ± 0.55 ^a	79.8 ± 1.20 ^a

En el rendimiento de extracción de proteína aumentó significativamente en las semillas que recibieron un tratamiento térmico 79.2% en el lote con tratamiento térmico de 600 W y 79.8% en el lote con tratamiento de 1000 W, comparado con la semilla sin tratamiento que tiene un rendimiento de 70.8%.

El porcentaje de proteína en los residuos fibrosos con tratamiento son mayores, aquí se debe considerar que la pasa residual de la semilla sin tratamiento tiene mayor contenido de grasa, lo que afecta al proceso de extracción de proteína con álcali.

En el residuo fibroso de la semilla sin tratamiento térmico tiene un contenido de grasa de 8.96% siendo significativamente mayor en comparación con el contenido de grasa en las semillas que llevaron el tratamiento térmico, (4.62%) para la semilla a 600 W y la semilla de 1000 W con menor contenido de grasa (3.74%). Lo cual puede ser que el tratamiento térmico permite la porosidad de las células, debilitando membranas celulares que contienen el aceite, haciendo que la extracción con el solvente sea más eficaz (Ramos y col., 2016).

Cuadro 3. Composición del residuo de semilla de *J. curcas* después de la extracción de aceite y proteína (g / 100g)

	sin tratamiento	con tratamiento a 600 w	con tratamiento a 100W
Fibra cruda	12.60 ± 0.50 ^D	13.82 ± 0.80 ^a	14.11 ± 0.50 ^a
Grasa	8.96 ± 1.10 ^a	4.62 ± 0.60 ^D	3.74 ± 0.40 ^D
Proteína	11.59 ± 0.50 ^D	9.18 ± 0.20 ^a	8.98 ± 0.80 ^a

Para el contenido de fibra dietética (cuadro 4) es mayor en la semilla sin tratamiento térmico, con un contenido de 6.31% de fibra dietética, el lote con tratamiento de 600 W tiene un 1.12% de fibra dietética, el cual se ve disminuido en gran cantidad cuando la semilla es tratada con 1000 W (0.26 %).

Cuadro 4. Contenido de fibra dietética para *J. curcas* (g /100 de harina)

Semilla	Contenido de fibra dietética
No pretratada	6.31
Tratamiento de 600W	1.12
Tratamiento de 1000W	0.26

El uso de microondas ocasionó una disminución en el contenido de fibra dietética en *Jatropha curcas*, lo cual puede ser explicado por el aumento del almidón disponible, debido a la alta temperatura del tostado, ya que el almidón resistente es ablandado, haciéndolo más vulnerable a la digestión enzimática (Veena y col., 1995).

CONCLUSIONES

El uso de microondas mejoró la eficiencia de extracción de aceite y proteínas y provocó una disminución en el contenido de fibra dietética en *Jatropha curcas*. Estos efectos se incrementaron cuando la potencia del tratamiento de microondas aumentó.

LITERATURA CITADA

AACC (2001). Association of official Analytical Chemists Official Methods. Vol 2. 16 Edition, Arlington USA.

Jongschaap, R.; Corré, W.; Bindraban, P.; Brandenburg, W. 2007. Claims and facts on *Jatropha curcas* L.: Global *Jatropha curcas* evaluation, breeding and propagation programme (en línea). Plant Research International B.V.; Wageningen UR. Consultado en Septiembre 2017. Disponible en: http://www.factfuels.org/media_en/Claims_and_Facts_on_Jatropha_-WUR

Falasca, Silvia Liliana y ULBERICH, Ana. 2008. Potencialidad bioenergética sudamericana a partir de forestaciones con *Jatropha* sp. (*J. curcas*, *hieronymi* y *macrocarpa*). *Revista Virtual REDESMA*, vol.2, n.2, pp. 101-116.

Makkar, H. Becker, K. y Schmook, B. 1998. Edible provenances of *J. curcas* from Quintana Roo, state of México and effect of roasting on antinutrient and toxic factors in seeds. *Plant Food for Human Nutrition*. 52, 31-36.

Martinez-Herrera, J. Sissuraju, P. Francis, B. Dávila-Ortíz, G. Becker, K. 2006. Chemical composition, toxic/antimeabolic constituents, and effects of different treatments on their levels, in four provenances of *Jatropha curcas* L. from Mexico. *Food Chemistry*. 96: 80-89

Meyer P.D. 2004. Nondigestible oligosaccharides as dietary fiber. *J AOAC Int*. 87(3):718-26.

- Prosky, L., Asp, N., Schweizer, T., De Vries, J. W., & Furda, I. 1988. Determination of insoluble, soluble and total dietary fibre in foods and food products: Interlaboratory study. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists*, 1017–1023.
- Ramos, L. Sánchez, R.J., De Figueiredo, A.K., Nolasco, S.M., Fernández, M.B. 2016. Optimization of microwave pretreatment variables for canola oil extraction. *Journal of Food Process*,
- Suriguez, M. 2004. Factoría Virtual de Proyectos, S. L. Dietas. NET Canal Nutrición-La fibra alimentaria. Consultado 30 Octubre. Disponible en: <http://www.dietas.net/nutricion/los-carbohidratos/la-fibra-alimentaria.html>
- Veena, A., Urooj, A., & Puttaraj, S. (1995). Effect of processing on the composition of dietary fibre. *Molecular Nutrition & Food Research*, 132-138.
- Zamarripa Colmenero, A., Ruíz Cruz, P. A., Solís Bonilla, J. L., Martínez Herrera, J., Olivera de los Santos, A., Martínez Valencia, B. 2009. Biocombustibles: Perspectivas de producción de biodiesel a partir de *Jatropha curcas* L. en el trópico de México. México: INIFAP. 45 p.

OBTENCIÓN DE NANOCRISTALES DE CELULOSA A PARTIR DE RESIDUOS AGRÍCOLAS DE PIÑA *Ananas comosus* L. Merrill POR EL MÉTODO DE HIDRÓLISIS ÁCIDA
ISOLATION OF CELLULOSE NANOCRYSTALS FROM AGRICULTURAL WASTES OF PINEAPPLE *Ananas comosus* L. Merrill BY ACID HYDROLYSIS METHOD

¹Colorado-Torres M, ¹Bolio-López GI, ²Lucien Veleva L, ¹Valerio Cárdenas C, ¹Córdova-Sánchez S, ¹Hernández-Villegas MM

¹UPCH, Departamento de Ciencias Básicas e Ingenierías, Carr. Cárdenas-Huimanguillo Km.2.0, Cárdenas, Tabasco, México.

²CINVESTAV-Mérida, Departamento de Física Aplicada, Carr. Ant. a Progreso Km.6, Cordemex, 97310 Mérida, Yucatán, México.

Autor de correspondencia: gloria.bolio@upch.mx

RESUMEN

Durante la cosecha de piña se generan una gran cantidad de residuos agrícolas que representan una fuente importante de materia prima para la obtención de celulosa y nanocelulosa, estos derivados de las paredes celulares de los vegetales se han utilizado en diversas aplicaciones poliméricas. El objetivo de este estudio fue la obtención de celulosa y nanocelulosa a partir de los residuos agrícolas de piña (coronas). La obtención de celulosa y nanocelulosa se realizó mediante procedimientos químicos, los nanocristales de celulosa se obtuvieron mediante una doble hidrólisis ácida controlada, asistida de un proceso de sonicación. Las muestras de celulosa y nanocelulosa fueron caracterizadas a través de las técnicas TAPPI 236 CM 85 No. Kappa y T 203 OM 88 contenido de alfa, beta y gamma celulosa, Espectroscopia de infrarrojo (FTIR), Difracción de Rayos X (XRD), Microscopia Electrónica de Barrido con Analizador Elemental Acoplado (SEM-EDS) y Microscopia de Fuerza Atómica (AFM). Se obtuvo No. Kappa de 6.93 para la celulosa coronas de piña, Los interferogramas mostraron las bandas características de los componentes lignocelulósicos, la cristalinidad calculada a partir de los difractogramas 71.4%, asimismo los nanocristales de celulosa presentaron una cristalinidad de 85.4% con tamaños de cristal de 8.85 nm (88.5 Å). Los interferogramas mostraron las bandas típicas de los nanocristales obtenidos por el proceso de hidrólisis con H₂SO₄. Las micrografías de AFM de la nanocelulosa en suspensión presentaron diámetros en un rango de 9 a 9.8 nm y una longitud promedio de 200 nm. Los resultados obtenidos evidenciaron el potencial de los desechos agroindustriales de la piña como una fuente para la obtención de nanocelulosa, disponible para ser usada en una amplia gama de nuevos biomateriales.

Palabras clave: *Ananas comosus*, Residuos Agrícolas, Nanocristales, Celulosa, Hidrólisis Ácida.

INTRODUCCIÓN

Actualmente una de las principales problemáticas para el medio ambiente es la generación y disposición final de los residuos agrícolas, los cuales en la mayoría de los casos son quemados o alojados en las plantaciones sin ningún tratamiento (Morán, 2008).

Del cultivo de la piña se produce grandes cantidades de residuos, ya que de la planta solamente se aprovecha el fruto y todo lo demás es desechado. La producción de piña anual nacional es de aproximadamente 817,462.62 toneladas por año (SAGARPA, 2014). Según Ross (2014), el 20% del residuo es de corona y de hojas en el cultivo, así que hay un gran volumen de residuos eliminados en espera de su utilización. Estudios precedentes (Ross, 2014; Bolio *et al.*, 2011; Morán, 2008), han mostrado que es factible obtener fibras celulósicas de los desechos de palma de aceite, mazorca de maíz, corona de piña, de banano y de sisal, respectivamente usando métodos químicos como hidrólisis ácida, hidrólisis alcalina y pulpeo mecánico, por lo tanto, estos desechos agrícolas son alternativas o fuentes potenciales para la obtención de celulosa y nanocelulosa. La celulosa es el principal componente de la mayoría de las fibras naturales, variando en función del tipo y origen de la fibra y puede convertirse en fragmentos más pequeños, hasta tamaño nano, este nanocristal rígido y corto tiene su estructura de forma de barra impartiendo mayor rigidez a los nanocompuestos, incluso a baja concentración cuando se incorporan en matrices poliméricas debido a su gran relación de aspecto y capacidad de formar estructuras de red interconectados a través de enlaces de hidrógeno (Khalil *et al.*, 2011). Por lo que el enfoque de este trabajo consistió en obtener y caracterizar

nanocelulosa a partir de residuos agrícolas de la piña cabezona (*Ananas comosus* L. Merrill) con potencial de refuerzo para matrices poliméricas

MATERIALES Y MÉTODOS

Preparación de los residuos de piña

Las coronas de piña fueron recolectadas en la Ranchería Tierra Colorada 4ª Sección, localizadas a 17° N, 93° W del poblado C-34 del municipio de Huimanguillo, Tabasco, México. Estos residuos fueron trasladados y procesados en las instalaciones del laboratorio de Materiales Poliméricos de la Universidad Popular de la Chontalpa. Después de la recolección de las coronas, se hicieron cortes en secciones de 5 cm y se lavaron con agua corriente; se le realizó un secado solar a temperatura ambiente para eliminar el exceso de humedad y fueron almacenados en bolsas de plástico para su posterior procesamiento.

Obtención de celulosa

La obtención de celulosa se realizó siguiendo los pasos que se describen a continuación, según el procedimiento propuesto por Cazaurang *et al.* (1990), el cual es en cuatro etapas.

Pretratamiento con NaOH al 10%: para la eliminación de ceras, pectinas y resinas de las coronas de piña. (1) Hidrólisis ácida con H₂SO₄ al 0.4% facilita el acceso de reactivos en las etapas subsecuentes. (2) Cloración con NaClO al 3.5%: degradación de lignina y disminución de tamaño de cadena de celulosa. (3) Extracción alcalina con NaOH al 20%: solubilizar hemicelulosa, cambio en grado de cristalinidad y tamaño de la cadena de celulosa. (4) Blanqueo con NaClO al 0.5%: eliminación de grupos cromofóricos y lignina residual.

Obtención de la nanocristales de celulosa (NCC)

La celulosa seca se introdujo en una solución de HCl 4N, bajo agitación continua, para detener la reacción se utilizó un hidromódulo 5:1 (agua: solución), dejándose en reposo por 24 horas. Pasado el tiempo se lavó repetidamente con agua desionizada, usando ciclos de centrifugado, hasta alcanzar un pH ≥ 4 o hasta que el sobrenadante se torne turbio (Bondeson *et al.*, 2006; Araki *et al.*, 1998). A este sobrenadante posteriormente se sometió a una segunda hidrólisis con H₂SO₄ al 64% (w/w), con ayuda de un ultrasonificador en baño de hielo, para evitar incremento en la temperatura a más de 50°C y se agregó agua destilada para detener la reacción (hidromódulo 10:1), dejando reposar por 24 horas. Nuevamente se centrifugó hasta alcanzar un pH ≥ 4 , para obtener un sobrenadante turbio (suspensión de nanocelulosa), el cual fue almacenado, posteriormente la nanocelulosa obtenida se concentró por medio del rotavapor y se dializó con membranas (12-14 kD) durante 5 días con recirculación de agua, hasta pH igual a la del agua desionizada, para obtener una solución de nanocelulosa purificada de coronas de piña. Finalmente, se sometió a ultracongelación para su liofilización y almacenamiento.

Métodos de caracterización para la celulosa y nanocristales de celulosa

La caracterización fisicoquímica de la celulosa y nanocelulosa obtenidas se realizó a partir de las siguientes técnicas y equipos:

Técnica de caracterización No. de KAPPA TAPPI 236 CM 85. El N° KAPPA es el volumen (en mL) de KMnO₄ 0,1N consumido por 1g de pulpa seca. Los resultados son corregidos para ser equivalentes a 50% de KMnO₄ consumido.

Técnica de caracterización TAPPI 203 OM 88: contenido de alfa, beta y gamma Celulosa en pulpa. La α -celulosa indica una celulosa no degradada, de alta masa molecular, contenido en la pulpa. La β celulosa es celulosa degradada y la γ -celulosa consiste principalmente en hemicelulosas. La cantidad de α -celulosa y β -celulosa se determinó por medio de la técnica TAPPI 203 OM. La beta celulosa se determina por diferencia.

Caracterización morfológica y análisis elemental (SEM-EDS). Para analizar la morfología y diámetros, así como la composición elemental de las fibras de celulosa obtenida de las coronas y hojas de piña, se utilizó el Microscopio Electrónico de Barrido SEM-EDS modelo Phillips and XL-30 ESEM JEOL JSM-7600F, el cual tomó micrografías de la superficie de la fibra tratada.

Espectroscopía de infrarrojo (FTIR). La caracterización química de las muestras de celulosa y nanocelulosa se llevó a cabo utilizando la técnica de espectroscopia de infrarrojo con transformada de Fourier (FTIR). Utilizando un Espectrómetro de infrarrojo FTIR modelo Nicolet iS5 en el modo de absorción. Para cada muestra se recolectaron 225 barridos con una resolución de 4 cm⁻¹. Todas las muestras fueron registradas a una temperatura de 25°C. El análisis de datos se llevó a cabo usando el programa OMNIC, con intervalos de 4000-550cm⁻¹.

Difracción de Rayos X (XRD). Por medio de los rayos X, método de polvos (XRD), se determinó la cristalinidad y el tamaño de cristales de celulosa y nanocelulosa, utilizando un equipo Difractómetro Broker D-8 Advance, con tiempo de paso 0.5 seg, tamaño de paso 0.02 grados, 40 Kv 30ma, del laboratorio de difracción de rayos-X del CINEVESTAV-Mérida, México. Para el análisis cualitativo de los difractogramas obtenido se aplicó el software Diffrac AT y la identificación de las regiones se realizó con la base de datos del mismo equipo.

Microscopía de Fuerza Atómica (AFM). La caracterización dimensional de los nanocristales se realizó en un microscopio de Fuerza Atómica (AFM Modelo NX10 Biometer) combinado con análisis de imágenes para conocer los diferentes tamaños de partículas y visualizar las dimensiones de estos a escala nanométrica (10^{-9} m=1nm), utilizando el modo de lectura intermitente, barriendo la superficie sobre los planos (X-Y).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El rendimiento de celulosa fue de $23.89 \pm 0.2\%$, correspondiente a la corona de piña. Estos valores son mayores a los reportados por Ross (2014), rendimiento de $11.0 \pm 4.0\%$ de celulosa obtenida a partir de las coronas de piña, utilizando el método de hidrólisis ácida. Por otro lado, es un rendimiento menor al reportado por Bolio *et al.* (2011), de 66% de celulosa a partir del raquis y pseudotallo de Musa Cavendish, con procedimientos químicos (hidrólisis ácida). Morán (2008) reporta de 50 a 74% de celulosa para fibra de sisal, usando dos tratamientos químicos, uno libre de cloro y el otro con el cloro como agente de blanqueo, similar al reportado por Restrepo (2007): 51% en raquis del banano, empleando tratamiento químico con hidróxido de potasio al 5%. García *et al.* (2013) reportaron 47% y 52% para el bagazo de caña de azúcar integral y desmedulado, respectivamente, con tratamientos químicos. Estos valores son menores que los reportados por Carchi (2014), 37.85 y 26.86% para el pseudotallo y tallo floral de banano de celulosa, respectivamente. El rendimiento puede atribuirse a las diferentes fibras empleadas para el estudio, al igual de los diferentes métodos y concentraciones de las soluciones empleadas.

Caracterización fisicoquímica de la celulosa

Técnica de caracterización TAPPI 236 CM 85 No. KAPPA o grado de deslignificación.

Después de someter la fibra de corona de piña a Blanqueo con NaClO al 0.5% se aplicó la técnica de obtención del No. de Kappa TAPPI 236 CM 85 y el valor encontrado para la fibra de corona de piña fue de 6.93. Shin *et al.* (2007), obtuvieron un valor mayor para número de Kappa en *Populus tremuloides* M. de 12.8, aplicando el proceso de cocción Kraft y blanqueo con oxígeno. Valores similares fueron reportados para la celulosa obtenida mediante pastas al sulfato de Cardo (*Cynara cardunculus* L.) con un No. de Kappa de 11 a 15 (Villar *et al.* 1999).

Los valores bajos obtenidos en este estudio indican una buena eficiencia en el proceso de deslignificación (Flández, 2006; Zou, 2002).

Técnica de caracterización TAPPI 203 OM 88: contenido de alfa, beta y gamma celulosa en pulpa.

La composición química de corona de piña fue α -celulosa 96%, β -celulosa 3.4% y la proporción de γ -celulosa fue de 1.6%. Toscano *et al.* (2015), reportaron un contenido menor de α -celulosa $34.76 \pm 0.4\%$ y similar en gamma ($1.67 \pm 0.02\%$ y $8.55 \pm 0.05\%$) en la paja de trigo con tratamiento álcali (hidróxido de sodio 1% y blanqueada (clorito sódico). La celulosa extraída de la vaina de frijol pelón registró valores menores, 91.68% de α -celulosa y una concentración mayor de beta y similares de gama 6.44% y 1.88%, respectivamente, con tratamiento químico de hidrólisis ácida. (De la Cruz *et al.*, 2006). Los valores reportados indican un alto grado de deslignificación, obteniendo así una celulosa de buena calidad.

Caracterización morfológica y análisis elemental (SEM-EDS).

La microscopía SEM fue aplicada para la celulosa de corona de piña, obtenida después de la hidrólisis ácida. De esta manera se logró la caracterización morfológica de la muestra. En la (Fig. 1) se observa el diámetro promedio de la fibra de celulosa, con valores de $3.24 \pm 0.8 \mu\text{m}$ para la corona de piña. Ross (2014) reporta un diámetro menor con promedio de $2.9 \pm 0.8 \mu\text{m}$ de las fibras de celulosa extraída de las coronas de piña. Pulido *et al.* (2016) reportan un diámetro similar en promedio de $3.6 \mu\text{m}$ de fibras de celulosa a partir de Tule (*Typha domingensis*), por método químico de hidrólisis ácida. Un diámetro mayor se obtuvo en promedio de 5-10 μm del Raquis de Banano, empleando tratamiento químico con hidróxido de potasio al 5% (Restrepo *et al.*, 2007).

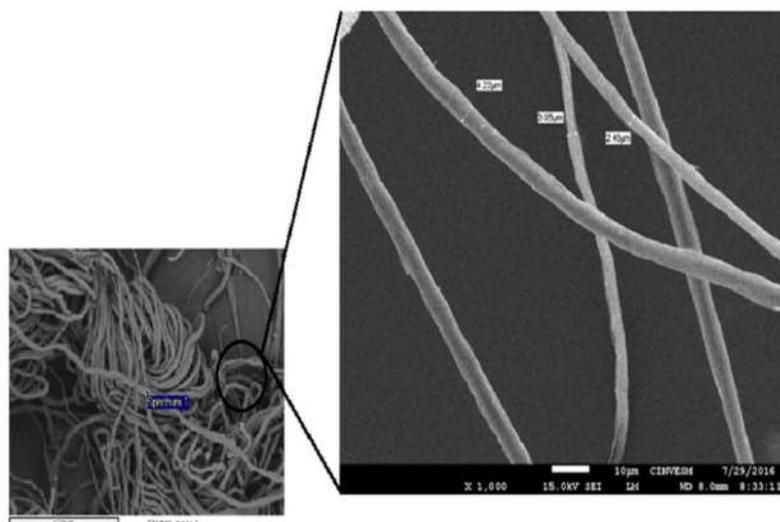


Figura 1. Micrografías (SEM) de diámetros de las fibras de celulosa de corona de piña.

De acuerdo a la composición elemental (Fig. 2), obtenido por medio del SEM-EDS las fibras de la corona de piña están compuestas en su mayoría de carbono (61.1%) y oxígeno (38.5%). Los rastros de cloro (0.16%) se atribuyen a residuos del proceso de blanqueamiento y de calcio (0.14%), probablemente generado durante el lavado de la fibra.

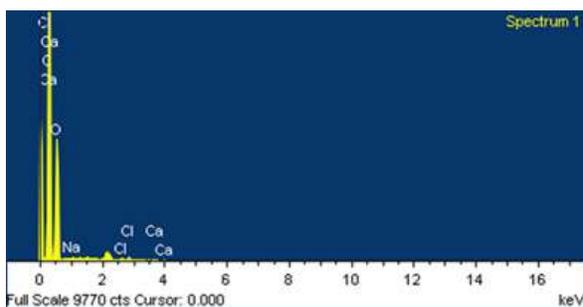


Figura 2. Análisis elemental EDS.

Espectroscopia de infrarrojo (FTIR)

Conocer la cantidad de regiones amorfas y cristalinas de la celulosa y nanocelulosa es importante, para poder entender los cambios en la estructura a nivel molecular (Moran, 2008).

La Fig. 3 muestra el Interferograma de la celulosa de corona de piña obtenida por el método de hidrólisis ácida. En él cual se observan las regiones principales de absorción, destacando bandas cercanas a 3300 cm^{-1} que corresponden a grupos O-H provenientes de humedad (agua adsorbida) en la muestra (Contreras *et al.*, 2010). La intensidad de la banda a 2900 cm^{-1} es atribuida a vibraciones de estiramiento de los enlaces C-H presentes en la celulosa (Lu y Hsieh, 2010) y bandas de vibración de enlaces C-H₂, de acuerdo a Contreras *et al.* (2010). En el intervalo de $1475\text{--}1600\text{ cm}^{-1}$ se presentan picos correspondientes a la vibración de la estructura de los anillos aromáticos (C=C) característicos de la lignina lo que indica que su remoción fue parcial en estas muestras (Romero *et al.*, 2014; Santos *et al.*, 2013). Picos propios de la lignina se encuentran en el rango $1400\text{--}1600\text{ cm}^{-1}$, correspondientes a la vibración de la estructura de anillos aromáticos (Moran J., 2008). Bandas representativas de la estructura cristalina de celulosa I se confirma por la existencia de vibraciones a 1057 cm^{-1} y 1427 cm^{-1} , flexiones asignadas a estiramiento C-O y flexión de CH₂ indica (Molina *et al.*, 2017; Santos *et al.*, 2013). La banda 1380 cm^{-1} son flexiones C-H significativas de la celulosa y hemicelulosa (Lui, *et al.*, 2017). La intensidad a la banda 1180 cm^{-1} es atribuida al estiramiento asimétrico de C-O-C en celulosa y hemicelulosas (Grande, 2014). El pico de absorción entre 1066--

1050 cm^{-1} se asigna a las vibraciones de los grupos C-O-C del anillo de la β -glucopiranososa que constituye a la celulosa (Romero *et al.*, 2014; Navarro *et al.*, 2004). La banda a 1030 cm^{-1} corresponde a vibraciones de enlaces C-O (Contreras *et al.*, 2010).

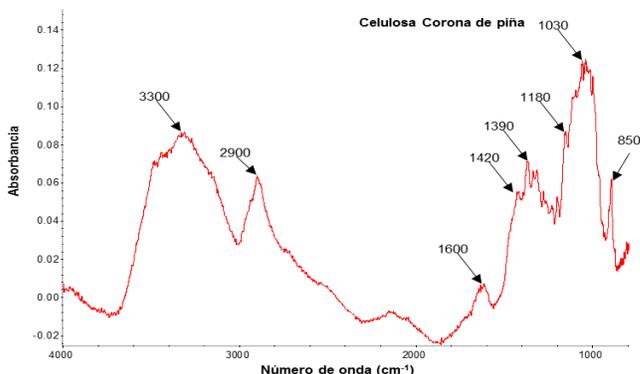


Figura 3. Interferograma (FTIR) de la celulosa obtenida de la corona de piña.

Difracción de Rayos X (XRD)

Los difractogramas de la celulosa de corona (Fig. 4) muestra el pico observado cercano a $2\theta = 22.4^\circ$ y 22.8° es de celulosa (Wang *et al.* 2007), así como los picos a $2\theta = 15.4^\circ$, 16.5° , 34.7° y 35.3° son los 4 picos característicos a la estructura de la celulosa I (Bolio *et al.*, 2011). La intensidad del pico bien definido correspondiente a $2\theta=22^\circ$ se identifica con la región cristalina de la celulosa, mientras que el pico deformado y ancho corresponde a la fracción amorfa de la misma, aunque presente en el material (García *et al.*, 2013). De acuerdo a los picos referidos la cristalinidad de 71.4% para la celulosa de corona de piña, valores similares para la celulosa a partir de tule, de 69% de cristalinidad (Pulido *et al.*, 2016), un porcentaje mayor al reportado por Ross (2014) con cristalinidad de 39.6% para coronas de piña (sin procesar) y 43.05% para la celulosa obtenida de las coronas de piña.

Después de someter la fibra a tratamiento de hidrólisis ácida, el tamaño de cristales para la celulosa de corona de piña es de 6.38 nm (63.8 Å). El tamaño promedio de los cristales de la celulosa de banano fue de 4.46 nm (44.6 Å) (Bolio *et al.*, 2011), similar al tamaño de cristal para la celulosa a partir de tule de 6.1 nm (Pulido *et al.*, 2016). El tamaño del cristal puede aumentar o disminuir dependiendo del origen de la fibra y del tratamiento empleado para su obtención.

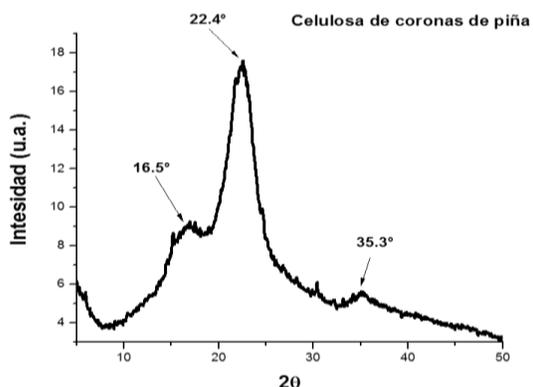


Figura 4. Difractograma de celulosa obtenida de corona de piña.

Caracterización fisicoquímica de la NCC

A partir de la celulosa obtenida se realizó un doble hidrólisis ácido, la primera hidrólisis se realizó con HCl, un ácido fuerte, que al disociarse en los iones H^+ Cl^- , se genera un protón que permite romper el enlace β -glucosídico (1-4) de la celulosa. La presencia de ácidos en la celulosa permitió atacar las zonas amorfas, ya que contiene agua intermolecular que ayuda a la difusión del ácido.

Posteriormente se llevó a cabo la segunda hidrólisis ácida con H_2SO_4 con ayuda de un ultrasonificador, propiciando la ruptura de los enlaces glucosídicos y liberando los cristales individuales. Suspensiones

coloidales estables fueron observadas. Esto se puede explicar por el hecho de que los NCC tratados tienen una importante densidad de carga en su superficie, característica importante de los NCC. Debido a las cargas negativas en su superficie, se permite la formación de grupos éster de sulfato durante el tratamiento con ácido sulfúrico, mejorando su estabilidad en soluciones acuosas y quedando en suspensión.

Caracterización de grupos funcionales por Espectroscopia de Infrarrojo (FTIR)

El interferograma correspondiente a NCC de corona de piña (Fig. 5) muestra bandas similares a las descritas para la celulosa. Disminuyendo significativamente los picos de 1430 cm^{-1} correspondientes a lignina, los otros picos a 3300 , 2900 , 1650 , 1450 , 1330 , 1160 , 1060 y 910 cm^{-1} son característicos de la celulosa y el pequeño pico a 1730 cm^{-1} podría deberse a la oxidación de la nanocelulosa (Morán, 2008). Un pico débil en 890 cm^{-1} corresponde tentativamente al estiramiento de los enlaces C-O-S de los nanocristales (Chaidedgumjorn, 2002; Petropavlovskii y Vasiléva, 1967), típicos de la obtención de nanocristales por hidrólisis con H_2SO_4 .

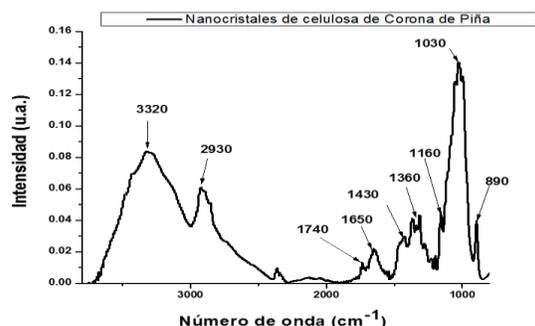


Figura 5. Interferograma del (FTIR) de NCC obtenidos de la corona de piña por doble hidrólisis ácida.

Caracterización por difracción de Rayos-X (XRD)

En el difractograma de rayos X (Fig. 6) se puede observar que los picos en 22.7° presentan mayor intensidad por la presencia de NCC. También se observan picos en 15.1° y 34.4° característicos de la celulosa, después de haber aplicado la doble hidrólisis ácida. La cristalinidad obtenida para NCC fue de 85.4%, valores similares a la reportada por García *et al.* (2013), para la celulosa microcristalina, a partir de la pulpa de madera y pulpa de bagazo (83.57 y 82.83%, respectivamente) y mayor a la reportada para los microcristales de celulosa de palma de aceite (60.1% de cristalinidad, Owolabi *et al.*, 2016). El tamaño de cristal 8.85 nm (88.5 Å), mayor al obtenido para la celulosa (6.38 nm para corona). Menor a lo reportado para los microcristales de celulosa de palma de aceite con tamaño de cristal de 12.15 nm (Owolabi *et al.*, 2016).

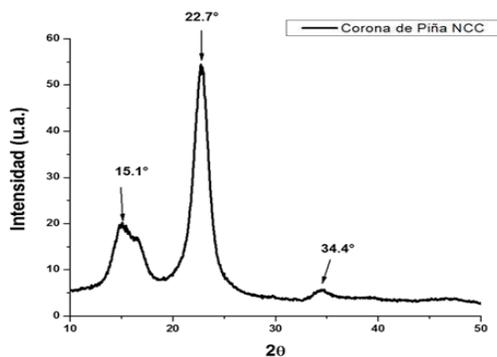


Figura 6. Difractograma de NCC obtenidas de corona de piña

Microscopia de Fuerza Atómica (AFM).

En la Fig.7 se presenta la micrografía de AFM de la nanocelulosa de corona de piña en suspensión, determinándose diámetros en un rango de 9 a 9.8 nm y una longitud promedio de 200 nm, para las microfibrillas de corona de piña.

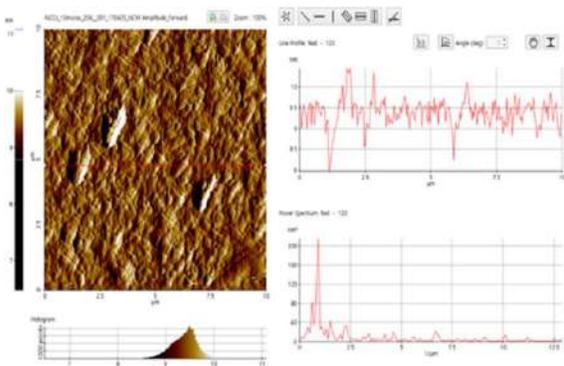


Figura 7. Imagen de AFM amplitud de nanocelulosa obtenida de corona de piña hidrolizadas con H_2SO_4 .

Resultados similares se han reportado para las microfibrillas de celulosa de Raquis de Banano (5-10 nm de diámetro), tratadas con KOH 5% (Restrepo *et al.*, 2007). Para nanofibras de Sisal, obtenidas por hidrólisis ácida (Morán *et al.*, 2008) reportan un promedio de diámetro de 30.9 ± 12.5 nm. Estas dimensiones son típicas para muestras de celulosa tratadas con ácidos fuertes (Zuluaga *et al.*, 2007). De esta manera, los parámetros de longitud y diámetro nos permiten inferir que debido a la relación de aspecto (l/d), la nanocelulosa obtenida a partir de corona de piña posee el efecto potencial de ser parte de refuerzos en materiales compuestos (Bolio *et al.*, 2011).

CONCLUSIONES

En este trabajo ha sido propuesto un procedimiento exitoso para la extracción de nanocelulosa de residuos de corona de piña. La composición de la corona de piña presento valores aceptables en α -celulosa 96%, β -celulosa de 3.4% y γ -celulosa de 1.6% indicando que durante el tratamiento se llevó a cabo una buena remoción de lignina. Las micrografías de SEM-EDS mostraron que el diámetro promedio de celulosa de corona de piña fue de 3.24 ± 0.8 μm de acuerdo al análisis elemental el carbono y oxígeno son los principales elementos en la composición de la celulosa obtenida de los residuos de piña. Por medio de la espectroscopia infrarroja (FTIR). Se confirmó la remoción de lignina y hemicelulosa, a través de los grupos funcionales. Los patrones de difracción de Rayos X mostraron mayor cristalinidad en la nanocelulosa (85.4%), que en la celulosa (71.4%) obtenida de las coronas de piña debido a la eficiente de la remoción de las zonas amorfas durante el tratamiento químico y tamaños de cristal de 8.85 nm (88.5 Å). Los picos cristalinos característicos de la celulosa cercanos a $2\theta = 16.5^\circ$, 22.4° y 35.3° , correspondientes a la celulosa tipo I, esta es comúnmente encontrada en las fibras nativas. Las micrografías de AFM de la nanocelulosa presentan diámetros de 9.4 nm en promedio (rango de 9 a 9.8 nm) y una longitud promedio de 200 nm. Los resultados de este estudio evidencian el potencial de los desechos agrícolas de piña, como una fuente para la obtención de nanocelulosa disponible para ser utilizada en una extensa gama de nuevos biomateriales.

LITERATURA CITADA

- Bolio, G., Valadez, A., Veleza, L. y Andreeva, A. (2011). Whiskers de celulosa a partir de residuos agroindustriales de banano: Obtención y caracterización. *Revista Mexicana de Ing. Química*. 10(2): 291-299.
- Carchi, M.D.E. (2014). Aprovechamiento de los Residuos Agrícolas provenientes del cultivo de Banano para obtener Nanocelulosa (Tesis de Licenciatura). Universidad de Cuenca, Cuenca Ecuador. Pp 13-68.
- Cazaurang, M., Peraza, S. and Cruz, R. (1990). Dissolving pulp from henequen fiber. *Cellulose Chemistry and Technology*. 24: 629-638.
- Chaidedgumjorn, A., Toyoda, H., Rhan, Woo, E., Bok, Lee K., Shink, Kim Y., Toida, T. and Imanari, T. (2002). Effect of (1 \rightarrow 3)- and (1 \rightarrow 4)-linkages of fully sulfated polysaccharides on their anticoagulant activity. *Carbohydrate Research*. 337: 925-933.
- Contreras, Q., Héctor, J., Trujillo, P., Hugo, A., Arias, O., Gerardo, Pérez, C., José, L., Delgado, F., Ezequiel, (2010). Espectroscopía ATR-FTIR de Celulosa: Aspecto instrumental y tratamiento matemático de espectros. *Revista e-Gnosis*. 8: 1-13.

- De la Cruz, L.C., Pérez, F.V., Domínguez, E.R. y Madera, S.T. 2006. Extracción y caracterización fisicoquímica de la celulosa extraída de la vaina del frijol pelón (*Vigna Unguiculata* L. Walp). Memorias de la Semana de Divulgación y Video Científico. Pp. 288-312.
- Flández, G.J.Y. (2006). Efecto de ayudantes en pulpage Kraff basado en antraquinonas y surfactantes sobre pulpa de *Eucalyptus nitens*. Universidad Austral de Chile, facultad de ciencias forestales. Tesis para obtener el título de Ingeniero en Maderas. Pp 8-35.
- García, G.L., Bordallo, L.E., Dopico, R.D. y Cordero, F.D. (2013). Obtención de celulosa microcristalina a partir del bagazo de la caña de azúcar. Revista sobre los derivados de la caña de azúcar. 47: 57-63.
- Khalil, H.P.S., Bhat, A.H. and Yusra, A.F. (2011). Green composites from sustainable cellulose nanofibrils: A review. Carbohydrate Polymers. 87: 963-979.
- Lu, P. and Hsieh, Y.L. (2010). Preparation and properties of cellulose nanocrystals: Rod, spheres, and network. Carbohydrate Polymers. 82: 329-336.
- Molina, C., Castro, M., Osorio, M., Torres, M., Gómez, B., Zuluaga, R., Gómez, C., Gañán, P., Rojas, O. and Castro, C. (2017). Effect of Different Carbon Sources on Bacterial Nanocellulose Production and Structure Using the Low pH Resistant Strain Komagataeibacter Medellinensis. Materials. 10(6): 1-13.
- Morán, J. (2008). Extracción de celulosa y obtención de nanocelulosa a partir de fibra sisal. 2do Encuentro de Jóvenes Investigadores en Ciencia y Tecnología de Materiales. Asociación Argentina de Materiales. 6 p.
- Navarro, F., Dávalos F. y Ramos, J. (2004). Blanqueo Superficial de Papel (Con peróxido de hidrógeno y perborato de sodio asistido con plasma en frio y luz ultravioleta y visible. Guadalajara, Jalisco. Ediciones de la Noche. Pp 42-136.
- Petropavlovskii, G. and Vasiléva, Q. A. (1967). Characteristics of cellulose sulfates with low degrees of substitution based on infrared spectra in the stretching vibration range of the hydroxyl groups. Zhurnal Prikladnoi Spektroskopii. 7(2): 240-243.
- Pulido, B.E., Morales, C.B., Zamudio, A.M. y Lugo, F., (2016). "Obtención y caracterización de nanocelulosa a partir de tule (*Typha domingensis*)" Revista de Energía Química y Física. 3(6): 31-38.
- Restrepo, A., Zuluaga, R., Castro, C., Correa, N., Vélez, J. y Gañán, P. (2007). Nano-composites reforzados con Microfibrillas de celulosa aisladas de paredes celulares de Raquis de Banano. Scientia et Technica. 13(36): 689-693.
- Romero, V. P., Marfisi, S., Oliveras, R.P., Rojas, G.B. y Peña, G. (2014). Obtención de Celulosa microcristalina a partir de desechos agrícolas del cambur (*musa sapientum*). Síntesis de celulosa microcristalina. Revista iberoamericana de polímeros. 15(6): 286-300.
- Ross, A. (2014). Obtención y caracterización de celulosa a partir de residuo agroindustrial de Piña (*Ananas Comosus* L. Merrill) en Cárdenas, Tabasco, México. (Tesis de Licenciatura) Universidad Popular de la Chontalpa. H. Cárdenas, Tabasco. Pp 3-40.
- SAGARPA-SIAP. (2016). Avance de Siembras y Cosechas: Resumen nacional por estado. http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/AvanceNacionalCultivo [Consultado 03 de Marzo del 2016]
- Shin, S.J., Cho, N.S. and Lai, Y.Z. (2007). Residual extractives in aspen kraft pulps and their impact on kappa number and Klason lignin determination. The Japan Wood Research Society 2007. J Wood Sci. 53(6): 494-497.
- Técnica Technical Association of the Pulp and Paper Industry - TAPPI No. KAPPA o grado de designificación 236 CM 85.
- Técnica Technical Association of the Pulp and Paper Industry -TAPPI T Contenido de Alfa, Beta y Gamma celulosa 203 OM 88.
- Toscano, P. L., Ayala, B. A. G., Cervantes, D. L., Amado, M. M. G., Torres, R. R., Romero, U. E. y Correa, L. C. (2015), Caracterización química de Paja de Trigo del Valle de Mexicali y la correlación entre el No. KAPPA y el contenido de Lignina. Memorias del XXXVI Encuentro Nacional de la AMIDIQ, Cancún, Quintana Roo, México. Pp 113-124.
- Zuluaga, R., Putaux, J-L., Restrepo, A., Mondragón, I. and Gañán, P. (2007). Cellulose microfibrils from banana farming residues: isolation and characterization. Cellulose. 14(6): 585-592.

Sección E: Tecnología de alimentos

**CAPACIDAD ANTIOXIDANTE Y CONTENIDO DE ESTEVIOSIDOS Y COMPUESTOS
FENÓLICOS EN ESTEVIA ELICITADA**
ANTIOXIDANT CAPACITY AND CONTENT OF STEVIOSIDES AND PHENOLIC COMPOUNDS OF
ELICITED STEVIA

¹Guzman-Maldonado SH, ²Estefania-Ojeda S, ¹González-Chavira MM, ¹Díaz-Huacuz SR, ¹Pons-Hernández JL

¹Centro de Investigación Regional del Centro del INIFAP. Carretera Celaya San Miguel Allende
Kilómetro 6.5, 38010, Celaya, Guanajuato, México.

²Instituto Tecnológico de Celaya. Antonio García Cubas 600, Fovissste, Celaya, Gto.
Autor de correspondencia: guzman.horacio@inifap.gob.mx

RESUMEN

Es necesario contar con fuentes naturales de alta capacidad antioxidante y contenido de metabolitos secundarios de interés particular. La estevia es fuente de esteviosidos y compuestos fenólicos relacionados con la industria y la salud. No existen reportes sobre el efecto de la elicitación en la capacidad antioxidante y nivel de esteviosidos y fenólicos en la hoja de estevia. Se presentan los resultados en respuesta a la aplicación de los elicitores, quitosano y peróxido de hidrógeno en estevia. Se analizaron 25 plantas por separado (n=25) por comparación de medias (Tukey, 0.05) antes de la aplicación y a los 7, 15 y 21 días. Como resultado del tratamiento con los elicitores, la capacidad antioxidante se incrementó significativamente. Este alto nivel de capacidad antioxidante es el reflejo del incremento significativo de los compuestos fenólicos analizados, con excepción de las antocianinas, que no presentaron un incremento significativo. El esteviosido y el rebaudiosido A se incrementaron por efecto de la aplicación de elicitores después de 21 días de la aplicación. El contenido de rebaudiosido C también se incrementó y es mayor que la suma del esteviosido y rebaudiosido A, juntos. La aplicación de peróxido de hidrógeno y quitosano modifican los niveles de la capacidad antioxidante, edulcorantes y compuestos fenólicos. La síntesis de esteviosidos y compuestos fenólicos difiere dentro de un mismo lote de plantas de stevia. La aplicación de elicitores parece ser una estrategia promisoría para incrementar metabolitos de interés para la salud humana.

Palabras clave: *Stevia rebaudiana*, elicitores, ORAC, fenólicos

INTRODUCCION

La estevia (*Stevia rebaudiana*) es una planta nativa del valle del río Monday en las llanuras del Paraguay. Los indios guaraníes la utilizaban desde tiempos precolombinos para endulzar sus alimentos y la llamaban "ka'a-héé", o "hierba dulce". De las 154 especies del género, *S. rebaudiana* es la única especie con propiedades edulcorantes gracias a la presencia de los glucósidos de esteviol (GE) (Brandle *et al.*, 1998; Yadav, *et al.*, 2011; Herrera-Cedano *et al.*, 2012). Se conocen al menos quince GE, de los cuales el esteviósido y el rebaudiósido A son los más importantes. El esteviosido es 143 veces más dulce que el azúcar, mientras que el rebaudiósido A es 242 veces más dulce (Molina-Calle *et al.*, 2017). Se ha reportado que la hoja de estevia es consumida por pacientes diabéticos para reducir los niveles de glucosa en la sangre y proteger de daño renal y hepático (Momtazi-Borojeni *et al.*, 2016). El consumo de la hoja reduce la glucosa postprandial (que se presenta después de consumir alimentos) y eleva los niveles de insulina en la sangre de personas sanas (Jeppesen *et al.*, 2000). Además de los GE, la estevia contiene compuestos fenólicos incluidos los flavonoides, ácido quínico y caféico, antocianinas y ácidos hidroxícinnámicos e hidroxibenzoicos (Sytar *et al.*, 2016; Molina-Calle *et al.*, 2017).

Por otro lado, las especies reactivas de oxígeno (ROS) y nitrógeno (RNS) son generadas por el cuerpo humano. Es necesario un balance entre estos radicales libres y los compuestos antioxidantes para asegurar una función fisiológica apropiada. Si los ROS, que son los radicales más relevantes, superan

la capacidad del cuerpo humano para regularlos, se presenta una condición conocida como estrés oxidativo. Por lo tanto, se requiere contar con fuentes externas ricas en antioxidantes para evitar los daños causados por los ROS en los lípidos, proteínas y el ADN (Lobo *et al.*, 2010). Se sabe que los compuestos fenólicos presentan propiedades antioxidantes que pueden apagar los radicales libres de

cualquier naturaleza (Tapas et al., 2008). Se ha demostrado que la capacidad antioxidante es función de la concentración de compuestos fenólicos (Prior et al., 1998).

Existen varios factores que pueden incrementar los metabolitos secundarios, incluidos los compuestos fenólicos, en las plantas, como los nutrientes del suelo, la temperatura, las condiciones de luz y la presencia de CO₂. Otra estrategia para aumentar el nivel de fitoquímicos en plantas, es a través de la aplicación de elicitores. Dicho incremento se logra porque los elicitores provocan estrés en la planta lo que desencadena una serie de señales que activan su metabolismo (Aza-González et al., 2011; Garcia-Mier et al., 2015). Ejemplo de elicitores son el jasmonato, salicilatos y carbohidratos como el quitosano. El efecto de los elicitores sobre el aumento de los metabolitos secundarios está en función de su concentración, el tipo de elicitor, la mezcla de elicitores y la etapa fenológica en que se aplican. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la aplicación de peróxido de hidrógeno y quitosano sobre la capacidad antioxidante y el nivel de esteviosidos y compuestos fenólicos. Bajo nuestro conocimiento, esta es la primera vez que se aplican elicitores a la hoja de stevia para evaluar su efecto sobre la capacidad antioxidante y el contenido de otros fitoquímicos de interés.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material biológico. Se utilizaron 25 plantas de una población criolla de estevia proveniente del Estado de México. Las plantas se sembraron bajo condiciones de invernadero en el Campo Experimental Bajío en Celaya, Gto., en 2017, con el manejo de riego y nutrición estándar para la estevia.

Aplicación de elicitores. Se aplicaron peróxido de hidrógeno (Mm) en forma foliar y quitosano en el suelo (670 µg/mL). Se cosechó hoja de cada planta al tiempo 0 (antes de aplicar los elicitores) y a los 7, 15 y 21 días después de la aplicación. Las muestras fueron congeladas a – 80 °C, liofilizadas y almacenadas a – 20 °C hasta su análisis. Todas las determinaciones se realizaron a cada planta, por separado (n= 25).

Capacidad antioxidante. La capacidad para apagar radicales de oxígeno (ORAC) fue determinada con el método de Ou et al. (2001).

Determinación de esteviosidos. El esteviosido y los rebaudiosidos A y C fueron determinados con cromatografía líquida de alta resolución y detector de diodos (HPLC-DAD) (Talha et al. (2012). La cuantificación de los edulcorantes se determinó comparando el tiempo de retención y el espectro de los picos de estándares comerciales (SIGMA) con los generados por las muestra.

Fenoles totales. La cuantificación de fenoles totales se llevará a cabo por la técnica propuesta por Singleton et al. (1999).

Flavonoides. El contenido de flavonoides se cuantificará por el método sugerido por Dewanto et al. (2002). El extracto metanólico se mezclará con agua destilada y una solución de 2-aminoetildifenilborato (10%) y se leerá a 404 nm para ser comparada con una curva estándar de rutina. Los flavonoides se expresarán como mg equivalentes de rutina por 100 gramos de muestra.

Antocianinas. Esta determinación se realizó por el método espectrofotométrico por diferencia de pH (Lee et al., 2005).

Taninos. Los taninos condensados se cuantificarán de acuerdo a la metodología descrita por Deshpande y Cheryn (1985).

Análisis estadístico. Se realizó una ANOVA multifactorial y un análisis de variables múltiples en los resultados. Sobre el contenido de ácidos fenólicos simples se realizó una ANOVA y una comparación de medias por el método de Tukey (0.05).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante ORAC de las plantas elicitadas se incrementó significativamente a los 15 y 21 días después de aplicar el tratamiento (Figura 1 A). Por ejemplo, a los 15 días el nivel ORAC se había incrementado 1.5 veces en comparación con las plantas no elicitadas, mientras que a los 21 días el nivel de ORAC era casi el doble que al inicio. El nivel de ORAC detectado en las plantas sin elicitar (0 días) y elicitadas (7, 15, 21 días) es similar al del té negro y verde (728-1686 µmol ET/100 g) (Henning et al., 2009) que es la planta con la mayor capacidad antioxidante en la naturaleza. Esta alta capacidad antioxidante de la estevia elicitada es un reflejo del alto contenido de compuestos fenólicos. Por otro lado, se sabe que los radicales libres de oxígeno son la fuente de diversas enfermedades que aquejan al hombre (Lobo et al., 2010).

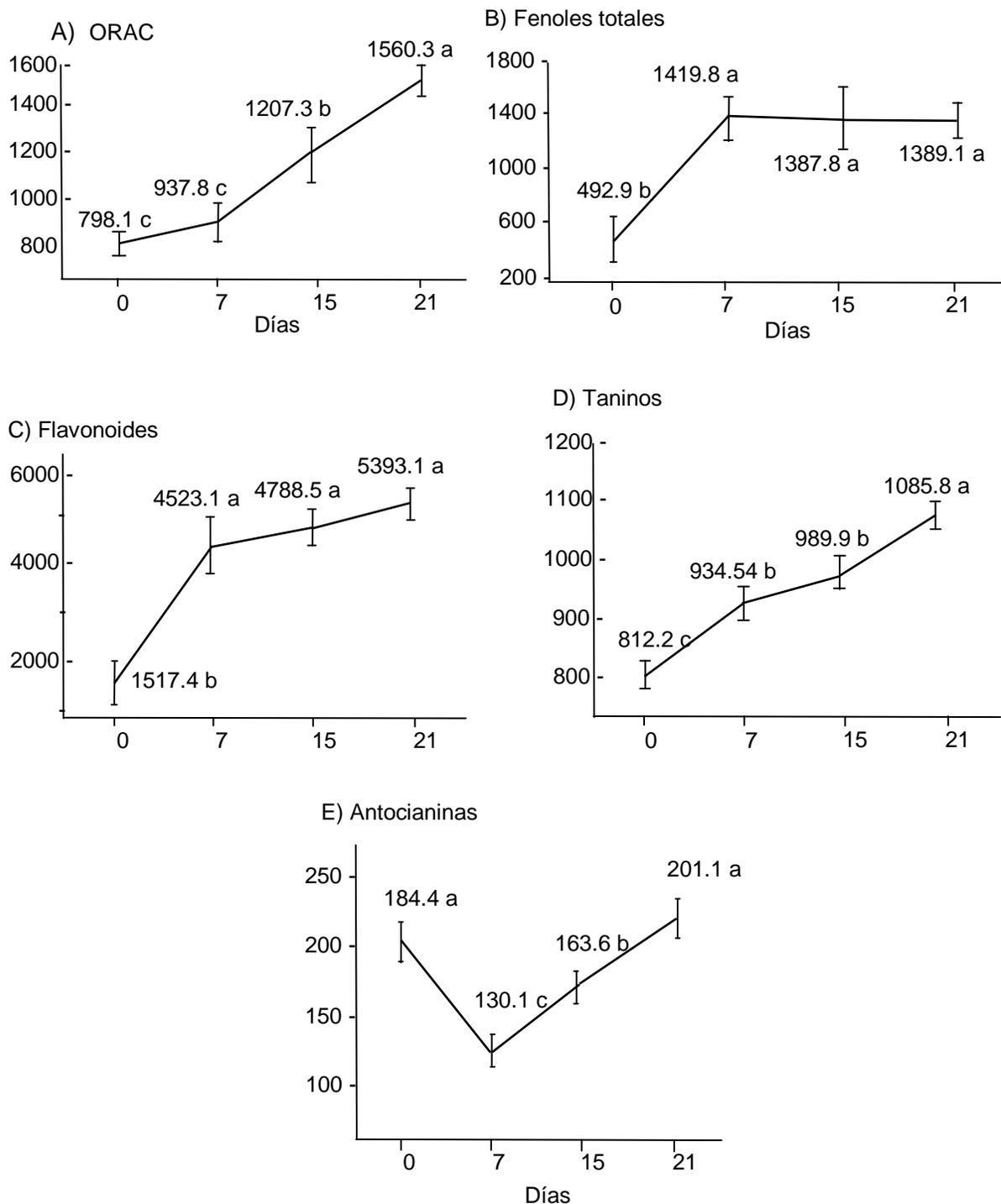


Figura 1. A) Capacidad antioxidante (ORAC) ($\mu\text{mol ET}/100\text{ g}$), B) fenoles totales ($\text{mg EAG}/100\text{ g}$), C) flavonoides ($\text{mg EAG}/100\text{ g}$), D) taninos ($\text{mg EC}/100\text{ g}$) y E) antocianinas ($\text{EC3G}/100\text{ g}$) en stevia no elicitada (0 días) y a los 7, 15 y 21 días después de la elicitación.

Compuestos fenólicos. En respuesta a la elicitación, la stevia incrementó el contenido de fenoles totales, flavonoides y taninos condensados en un 65%, 66% y 13%, respectivamente, a los siete días después del tratamiento (Figura 1B, C, D). Sin embargo, a los 15 y los 21 días el contenido de fenoles

totales y flavonoides no se incrementó, estadísticamente hablando. Se puede ver en la Figura 1 que la desviación estándar es alta en casi todos los fenoles, lo que sugiere que dentro de la especie utilizada (criolla) hay una alta variabilidad genética. Los taninos a los 21 días se incrementaron un 25% si se compara con las plantas al inicio de experimento (0 días) (Figura 1D). Aunque no se reportó el efecto de la aplicación de elicitors en estevia, cuando se aplicó quitosano y peróxido de hidrógeno a plantas de chile morrón, el contenido de flavonoides se incrementó un 37% (García-Mier et al., 2015), este aumento fue menor al aquí encontrado (66%); estos autores también reportaron un 46% de incremento en el contenido de taninos condensados, mayor al 13% reportado para stevia en este trabajo.

El contenido de antocianinas se comportó en forma diferente (Figura 2E); su nivel disminuyó de 184.4 (sin elicitación, tiempo 0) a 130.1 mg EC3G/100 g a los 7 días después del tratamiento. Posteriormente se incrementaron las antocianinas hasta un nivel similar, estadísticamente hablando, al presentado por las plantas a inicio del experimento. Estos datos sugieren que el quitosano y el peróxido de hidrógeno no provocan ninguna respuesta en la síntesis de antocianinas en la stevia.

Esteviosidos. El esteviosido se incrementó significativamente después de la aplicación de los elicitors (Cuadro 1). Por ejemplo, a los siete días, este compuesto se había incrementado 56% en comparación con el control (0 días, antes de la aplicación de los elicitors); a los 15 y 21 días se incrementó 5.3 y casi diez veces más que el de las plantas sin elicitación. Esta tendencia sugiere que el esteviosido continúa sintetizándose después de los 21 días. Sin embargo, es necesario confirmar dicho comportamiento.

Cuadro 1. Contenido de esteviosidos (mg/100 g, bs) en stevia elicitada.

Días	Esteviosido	Rebaudiosidos	
		A	C
0	52.9 ± 23.1 c	105.2 ± 12.0 c	595.6 ± 207.3 d
7	118.9 ± 45.1 c	151.5 ± 30.2 b	1075.9 ± 237.5 c
15	271.7 ± 38.6 b	394.9 ± 205.7 a	1453.5 ± 108.7 b
21	494.9 ± 77.6 a	559.8 ± 271.2 a	1986.1 ± 305.9 a

Promedios (n=25) con letra similar en la misma columna, no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05)

Con respecto al rebaudiosido A, el contenido de este compuesto se incrementó 30% a los siete días después de la aplicación de los elicitors, en comparación con el tratamiento control (a los 0 días) (Cuadro 1). A los 15 días el incremento con respecto al control fue altamente significativo, siendo más de tres veces (de 105.0 a 394.9 mg/100 g) y a los 21 días aumentó más de cinco veces comparado con el control (sin elicitors, 0 días). De los tres esteviosidos analizados el de mayor concentración fue el Rebaudiosido C (Cuadro 1). El contenido del rebaudiosido C se duplicó a los siete días de la aplicación de los elicitors, comparado con el grupo control. A los 15 y 21 días se había incrementado casi tres y cuatro veces más que el grupo control (Cuadro 2). El rebaudiosido C fue más de 10 veces mayor que el esteviosido y casi seis veces mayor que el rebaudiosido A en las plantas sin elicitar. A los 7, 15 y 21 días se detectó mayor contenido de rebaudiosido C en comparación con los otros dos (Cuadro 1).

Promedios con letras similares en cada figura son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05). EAG= equivalentes de ácido gálico; EC = equivalente de catequina; EC3G = equivalente de cianidin 3, glucosido.

Se ha reportado que el contenido de esteviosidos en la stevia es muy amplio y que depende del genotipo y el medioambiente en que se produzca (Brandle y Telmer, 2007). La baja concentración del esteviosido y rebaudiosido A en comparación con el rebaudiosido C, sugieren que el lote de plantas utilizadas en el presente trabajo produce un edulcorante menos amargo y, en consecuencia, de mayor aceptación. Este sabor amargo característico de esta especie, es conferido por el esteviosido, en mayor grado y por el rebaudiosido A (Nicklasson et al., 2018).

CONCLUSIONES

- La aplicación de peróxido de hidrogeno y quitosano modifican los niveles de la capacidad antioxidante, edulcorantes y compuestos fenólicos.
- La síntesis de esteviosidos y compuestos fenólicos difiere dentro de un mismo lote de plantas de stevia. Mientras que la aplicación de elicitores disminuye el contenido del esteviosido, pero incrementa los niveles de rebaudiosido A y de tres ácidos fenólicos detectados.
- Es necesario no suspender la aplicación de elicitores si se desea mantener el nivel alto del rebaudiosido A y muy probablemente de ácido feúlico.
- La aplicación de elicitores parece ser una estrategia promisoría para incrementar metabolitos de interés para la salud humana.

LITERATURA CITADA

- Aza-González, C., Nuñez-Paleniús, H.G., and Ochoa-Alejo, N. 2011. Molecular Biology of capsaicinoid biosynthesis in chili pepper (*Capsicum* spp). *Plant Cell Reports*, 30(5): 695-706.
- Brandle, J.E., Starrat A.N., and Gijzen, M. 1998. *Stevia rebaudiana*: Its agricultural, biological, and chemical properties. *Canadian Journal of Plant Science*, 78(4): 527-536.
- Brandle, J.E., and Telmer, P.G. 2007. Steviol glycoside biosynthesis. *Phytochemistry*. 68(14):1855-1863.
- Deshpande, S.S., and Cheryan, M. 1985. Evaluation of vanillin assay for tannin analysis of dry beans. *Journal of Food Science*, 50: 905-916.
- Dewanto, X., Wu, K., Adom, K., and Liu, R.H. 2002. Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50: 3010–3011.
- García-Mier, L., Jiménez-García, S.N., Guevara-González, R.G., Feregrino-Pérez, A.A., Contreras-Medina, L.M., and Torres-Pacheco, I. 2015. Elicitor mixtures significantly increase bioactive compounds, antioxidant activity, and quality parameters in sweet bell pepper. *Journal of Chemistry*, Vol. 2015, Article ID 269296, 8 pages. Open Access Journal.
- Herrera-Cedano, F., Gómez-Jaimez, R., y González-Rivas, C. 2012. El cultivo de stevia (*Stevia rebaudiana*) Bertoni en condiciones agroambientales de Nayarit, México. Folleto Técnico Núm. 19. Santiago Ixcuintla, Nayarit. Julio de 2012. 43 p.
- Henning, S.M., Fajardo-Lira, C., Lee, H.W., Youssefian, A.A., Go, V.L.W., and Heber, D. 2003. Catechin content of 18 teas and a green tea extract supplement correlates with the antioxidant capacity. *Journal Nutrition and Cancer*, 45(2): 226-235.
- Jeppesen, P.B., Gregersen, S., Poulsen, C.R., and Hermansen, K. 2000. Stevioside acts directly on pancreatic β cells to secrete insulin: Actions independent of cyclic adenosine monophosphate and adenosine triphosphate—sensitive K^+ -channel activity. *Metabolism*, 49(2):208-214.
- Lee, J., Durst, R.W., and Wrolstad, R.E. 2005. Determination of total monomeric anthocyanin pigment content of fruit juices, beverages, natural colorants, and wines by the pH differential method: Collaborative study. *Journal of AOAC International*, 88(5): 1269-1278.
- Lobo, V., Patil, A., Phatak, A., and Chandra, N. 2010. Free radicals, antioxidants and functional foods: Impact on human health. *Pharmacognosy Review*, 4(8): 118-126.
- Molina-Calle, M., Priego-Capote, F., and Luque de Castro, M.D. 2017. Characterization of *Stevia* leaves by LC-QTOF MS/MS analysis of polar and non-polar extracts. *Food Chemistry*, 219(6): 329-338.
- Momtazi-Borojeni, A.A., Esmaeili, S.A., Abdollahi, E., and Sahebkar, A. 2016. A Review on the pharmacology and toxicology of steviol glycosides extracted from *Stevia rebaudiana*. *Current Pharmaceutical Design*, 23(11):1616-1622.
- Nicklasson, S., Sjöström, D., Amundin, M., Roth, D., Hernandez Salazar, L.T., and Laska, M. 2018. Taste responsiveness to two steviol glycosides in three species of nonhuman primates. *Current Zoology*, 64(1):63-68.
- Ou, B., Hampsch-Woodill, M., and Prior, R. L. 2001. Development and Validation of an Improved Oxygen Radical Absorbance Capacity Assay Using Fluorescein as the Fluorescent Probe. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(10): 4619–4626.
- Prior, R. L., Cao, G., Martin, A., Sofic, E., McEwen, J., O'Brien, C., Lischner, N., Ehlenfeldt, M., Kaltl, W., Krewer, G., and Mainland, C.M. 1998. Antioxidant capacity as influenced by

- total phenolic and anthocyanin content, maturity, and variety of *Vaccinium* species. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(7):2686-2693.
- Singleton, V.L., Rudolf, O., Rosa, M., and Lamuela, R. 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin Ciocalteu Reagent. *Methods in Enzymology*, 299:152-178.
- Sytar, O., Borankulova, A., Shevchenko, Y., Wendt, A., and Smetanska, I. 2016. Antioxidant activity and phenolics composition in *Stevia rebaudiana* plants of different origin. *Journal of Microbiology and Biotechnology Food Science*, 5(3):221-224.
- Talha, M., Hussain, I., Ullah, R., and Khan, L. 2012. Analysis of steviside in *Stevia rebaudiana*. *Journal of Medicinal Plants Research*, 6(11): 2216-2219.
- Tapas, A. R., Sakarkar, D. M., and Kakde, R. B. 2008. Flavonoids as nutraceuticals: A review. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, 7(3): 1089-1099.
- Yadav, A.K., Singh, S. Dhyani, D., and Ahuja, P.S. 2011. A review on the improvement of stevia [*Stevia rebaudiana* (Bertoni)] *Canadian Journal of Plant Science*, 91(1): 1-27.

DETERMINACIÓN DEL VALOR NUTRITIVO DE VARIETADES DE MAIZ CRIOLLO DEL ESTADO DE PUEBLA
DETERMINATION OF THE NUTRITIVE VALUE OF MAIZE VARIETIES CRIOLLO OF THE STATE OF PUEBLA

¹Sánchez Chino X, ²Jiménez-Martínez C, ²Ruíz-Victoria RA, ³Martínez-Herrera J, ⁴Corzo-Ríos L, ⁵Gil Muñoz A

¹Cátedra-CONACyT, Departamento de Salud, El Colegio de la Frontera Sur-Villahermosa. Carretera a Reforma Km. 15.5 s/n. Ra. Guineo 2da. Sección. C.P. 86280, Villahermosa, Tabasco, México.

²Laboratorio de Moléculas Bioactivas. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional. Av. Wilfrido Massieu Esq. Cda. Miguel Stampa s/n, C.P.07738 Delegación Gustavo A. Madero. Ciudad de México.

³Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Tabasco, Campo Experimental Huimanguillo, Km. 1. Carr. Huimanguillo-Cárdenas, Tabasco. C.P. 86400, México

⁴Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología, Instituto Politécnico Nacional. Av. Acueducto S/N, Barrio La Laguna, Col. La Laguna Ticomán, 07340, Cd de México, México.

⁵Colegio de Posgraduados Campus Puebla. Boulevard Forjadores de Puebla 205, Santiago Momoxpan, 72760 San Pedro de Cholula, Pue.

Autor para correspondencia: crisjm_99@yahoo.com

RESUMEN

El maíz es uno de los cultivos agrícolas más importantes en de México, ya que representa una de las principales fuentes de proteínas y carbohidratos de la población mexicana, desde tiempos prehispánicos. El estado de Puebla se encuentra dentro de los principales productores de maíz a nivel nacional, cerca del 90% de su superficie se cultiva con semillas criollas. La colecta y estudio de los maíces criollos mexicanos han sido motivados por diversas causas, entre las principales, destaca contar con fuentes de germoplasma para mejoramiento genético, caracterizar las semillas mexicanas de autoconsumo, y a sus cultivares en diferentes regiones del país, así como realizar estudios biológicos básicos para conocer el proceso de evolución del maíz. El objetivo del presente trabajo fue determinar el valor nutritivo de 25 variedades de maíces criollos cultivados en el Estado de Puebla con diferentes coloraciones. Se caracterizaron morfológicamente y se determinaron sus propiedades nutricionales. La concentración de proteína mostrada en las variedades analizadas fue de 9.49-10.94g/100g de maíz, con una digestibilidad del 60.11-67.90%, el ácido glutámico fue el aminoácido más abundante en estas semillas, seguido por leucina, todas las variedades mostraron deficiencia en triptófano y lisina. La concentración de fibra fue de 13.9 y 13.5g/100g de muestra. La concentración de lípidos fue de 6.30-6.85 g/100g de maíz, destacando el ácido palmítico (28.4-12.3%), ácido esteárico (15.7%-1.8%), ácido oleico (46.2%-33.5%) y ácido linoleico (39.2%-9.3%), la concentración de cenizas 1.74-1.66 g/100g finalmente la mayor concentración de carbohidratos fue de 79.20- 70.69g/100g de maíz de los cuales se identificó que hasta el 85% correspondía a almidón. Los maíces criollos presentan propiedades nutricionales independientemente del color que presente su semilla, por lo que su cultivo es importante, tanto para conservar la diversidad de especies como para la alimentación.

Palabras clave: digestibilidad, calidad proteica, composición nutricional, semillas de maíz

INTRODUCCION

México se reconoce como centro de origen del maíz. Estudios arqueológicos demuestran que los restos más antiguos provienen de los estados de Oaxaca y Puebla, donde existe una gran diversidad de variedades criollas y parientes silvestres (Benz, 2001). Por selección humana, se llegó a producir un maíz primitivo, que se consumía de diversas maneras, una de ellas consistía en calentarlo hasta que la semilla explotara en la forma que actualmente se conoce como "palomita de maíz"; es probable que también se moliera hasta producir harina. El maíz posee gran importancia económica mundial, ya sea como alimento humano, para el ganado o como materia prima de un gran número de productos industriales. Cerca del 40% del maíz producido en los países tropicales se usa para la alimentación animal, concretamente para ganado y establecimientos avícolas. En muchos países desarrollados las mazorcas se utilizan cada vez más para la fabricación de piensos. Además es precursor de uno de los

principales productos de la dieta del mexicano: la tortilla, elaborada a partir de maíz nixtamalizado (maíz cocido en cal, remoción del pericarpio y posterior molienda)

Las etnias mexicanas cuentan con una gran riqueza fitogenética de maíces representada por una amplia diversidad de maíces de una pluralidad de colores (blancos, amarillos, rojos, rosas, negros, azules morados, pintos, debido a la presencia de antocianinas y compuestos fenólicos principalmente, presentes en el pericarpio y en la capa de aleurona o en ambas estructuras del grano. La utilización de genotipos de grano blanco es mayor por la disponibilidad de variedades y hábitos de consumo, sin embargo un sector de la población prefiere productos nixtamalizados derivados de maíces de grano azul, principalmente tortillas (Salinas et al., 2012).

Las proteínas del maíz son en general de baja calidad si se les compara con las proteínas de origen animal, esto es debido principalmente a su limitado contenido de aminoácidos esenciales, lisina y triptófano. La proteína de maíz contiene en promedio un 2% de lisina, este valor está por debajo del mínimo recomendado para la nutrición humana por la FAO. Los carbohidratos son uno de los principales componentes del grano de maíz, pues representan alrededor del 60% al 70% en peso seco. Los principales carbohidratos presentes en el grano de maíz son el almidón y la fibra dietética. La fibra dietética es el componente químico del maíz de menor concentración. Los carbohidratos complejos (hemicelulosa y lignina). El grano de maíz contiene alrededor del 2.2% de lípidos, localizados principalmente en el germen del grano, el cual contiene más del 30% de aceite. El grano de maíz contiene principalmente dos vitaminas liposolubles, la provitamina A o carotenoide y la vitamina E. Los carotenoides se encuentran, principalmente en el maíz amarillo, en tanto que el maíz blanco tiene un escaso o nulo contenido de ellos. La concentración de cenizas en el grano de maíz es del 1-3%. El germen del grano contiene 78% de los minerales, probablemente porque son esenciales durante el crecimiento del embrión es relativamente rico en fósforo, en forma de fitato de potasio y magnesio; los minerales menos abundantes son el calcio y algunos oligoelementos (Cu, Fe, Zn). Determinar las propiedades físicas y nutricionales de 25 muestras de maíces criollos del Estado de Puebla. (Prasana et al., 2001).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron 22 muestras de maíces criollos provenientes de la región del valle de Puebla, y 3 muestras de variedades mejoradas obtenidas a partir de poblaciones nativas sobresalientes (cuadro 1). las semillas empleadas para los diferentes análisis provinieron de incrementos manuales (utilizando el método de cruza masivas fraternales), y fueron proporcionados para este estudio por el Dr. Abel Gil Muñoz, profesor investigador del colegio de posgraduados, campus Puebla.

Cuadro 1. Muestras de semillas de maíz criollo utilizadas

#	Región	Localidad	Color	#	Región	Localidad	Color
14	VP	Santa Ma.	azul	42	LM	S. Miguel Canoa	blanco
		Zacatepec					cacahuacintle
19	LM	Ntra. Sra. Del Monte	azul	46	LM	Acajete	amarillo
20	VP	Huejotzingo	blanco	47	LM	Acajete	pinto
23	IP	S. Miguel	azul	48	IP	S. Juan Tlate	pinto diverso
		Tianguistengo					
24	IP	S. Rafael Ixtapaluca	amarillo	49	IP	S. Matias Atzala	pinto diverso
27	VP	Huejotzingo	azul	80	IP		blanco
28	VP	Sta. Ma. Zacatepec	blanco	89	LM	Ntra. Sra. Del Monte	blanco
32	IP	Sta. Ma.	rojo	103	LM		blanco
		Nepopualco					
33	IP	Sta. Ma. Zacatepec	moradillo	106	IP	La Preciosita	blanco
34	IP	Sta. Ma.	azul	107	IP	Tlahuapa	blanco
		Nepopualco					
36	LM	Tepatlaxco	blanco	116	LM	Acajete	blanco
			cacahuacintle				
40	LM	Tepatlaxco	rojo	122	LLS		blanco cremoso
41	LM	S. Miguel Canoa	azul				

Clave: VP = Valle de Puebla, LM = La Malinche, IP = Iztaccíhuatl-Popocatepetl, LLS = Llanos de Serdán

Análisis nutricional de los maíces criollos.

Para la composición química, las semillas se molieron y tamizaron 50 g de cada muestra de maíz. Las harinas obtenidas se utilizaron para el análisis químico proximal, digestibilidad *in vitro*, almidón total. El análisis químico proximal se realizó por triplicado a las muestras de maíz, utilizando métodos oficiales de la Association of Official Analytical Chemists (A.O.A.C, 2005). Se determinó la concentración de proteína por el método de Kjeldahl (NX6.25) (método 955.04), el perfil de aminoácidos por medio de espectroscopia de Infra-Rojo Cercano y La digestibilidad de las proteínas se determinó utilizando el método descrito por Hsu, 1977. Utilizando una solución multienzimática (tripsina pancreática / quimotripsina / peptidasa intestinal) . La concentración de lípidos (método 920.39) y los ácidos grasos se analizaron por cromatografía de gases, la fibra dietaria total (método 958.29) y cenizas (método 923.03). La humedad se determinó en una termobalanza y carbohidratos se calcularon por diferencia de peso con los demás componentes, la concentración de almidón total utilizando por medio de la hidrólisis con de amilo-glucosidasa.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Composición química proximal de los maíces criollos.

La composición química proximal de las semillas de maíz se muestra en el cuadro 2, la cual es independiente del color y del lugar de origen de las muestras por ejemplo: las variedades analizadas de la región Iztaccihuatl-Popocatepetl presentaron mayores concentraciones de fibra dietaria total, lípidos y cenizas, por el contrario, las variedades de la región de La Malinche presentaron menores concentraciones de fibra dietaria total, lípidos y cenizas. La concentración de proteína se encuentra en un rango de 5.9-10.9 %, en todos los casos el componente mayoritario son los carbohidratos que se encuentran en una concentración de entre 70 y 78%.

Cuadro 2. Análisis químico proximal de maíces criollos del Estado de Puebla (g/100 g) de semilla seca

C	Color de grano	Humedad	Proteína* (NX5.85)	FDT*	Lípidos*	Cenizas*
20	blanco	10.20 ±0.01	5.99 ± 0.26	10.1 ± 0.02	4.16 ± 0.02	1.03 ±0.19
28	blanco	9.20 ±0.01	8.51 ± 0.70	10.0 ± 0.01	5.34 ± 0.03	1.05±0.05
80	blanco	10.03 ±0.00	8.61 ± 0.28	11.3 ± 0.21	3.49 ±0.01	1.25±0.01
89	blanco	10.90 ±0.02	7.40 ± 0.39	8.1 ± 0.03	4.39 ±0.05	1.36±0.02
103	blanco	9.37 ±0.01	7.24 ± 0.05	12.9 ± 0.02	3.45 ±0.01	0.9± 0.01
106	blanco	10.06 ±0.01	9.49 ± 0.68	10.1 ± 0.01	3.63 ±0.18	1.74±0.09
107	blanco	7.96 ±0.03	9.78 ± 0.84	12.6 ± 0.03	3.46 ±0.02	1.02±0.01
116	blanco	9.25 ±0.08	7.93 ± 0.04	8.7 ± 0.04	2.90 ±0.11	1.27±0.08
122	blanco cremoso	7.35 ±0.12	7.68 ± 0.45	13.9 ± 0.04	2.93 ±0.03	1.31±0.06
36	blanco cacahuacintle	10.23 ±0.05	8.96 ± 0.89	13.5 ± 0.07	4.07 ±0.01	1.48±0.02
42	blanco cacahuacintle	13.63 ±0.03	6.09 ± 0.42	11.8 ± 0.02	3.98 ±0.02	1.41±0.08
24	amarillo	9.62 ±0.02	7.14 ± 0.63	10.8 ± 0.06	3.43 ±0.25	1.25±0.02
46	amarillo	8.43 ±0.04	8.79 ± 0.11	11.4 ± 0.02	4.10 ±0.04	1.55±0.04
32	rojo	9.17 ±0.03	7.37 ± 0.87	11.7 ± 0.02	4.08 ±0.02	1.19±0.38
40	rojo	13.76 ±0.00	6.49 ± 0.37	12.0 ± 0.01	2.29 ±0.12	1.52±0.02
47	pinto	14.70 ±0.02	5.87 ± 0.73	12.1 ± 0.06	4.08 ±0.01	1.38±0.04
48	pinto diverso	9.66 ±0.03	9.25 ± 0.09	8.9 ± 0.48	4.23 ±0.03	1.50±0.01
49	pinto diverso	10.41 ±0.01	7.20 ± 0.94	10.8 ± 0.43	4.53 ±0.01	1.38±0.18
33	moradillo	8.90 ±0.01	6.61 ± 0.52	9.2 ± 0.64	4.68 ±0.02	1.55±0.13
14	azul	12.63 ±0.02	6.26 ± 0.54	11.4 ± 0.02	2.71 ±0.01	1.48±0.06
19	azul	9.26 ±0.05	7.61 ± 0.32	13.0 ± 0.31	3.92 ±0.31	1.39±0.07
23	azul	12.60 ±0.03	6.59 ± 0.65	11.1 ± 0.04	6.30 ±0.04	1.05±0.11
27	azul	10.26 ±0.05	6.98 ± 0.64	11.4 ± 0.27	3.70 ±0.02	1.27±0.04
34	azul	11.33 ±0.01	10.94 ± 0.09	13.7 ± 0.45	3.01 ±0.15	1.66±0.01
41	azul	12.23 ±0.11	6.55 ± 0.33	13.1 ± 0.32	6.85 ±0.01	1.85±0.04

** Calculados por diferencia. Los resultados representan la media de tres determinaciones independientes ± DE (Desviación Estandar).
Fibra Dietaria Total (FDT)

Perfil de aminoácidos de maíces criollos

Como se observa en el Cuadro 3, en la composición de aminoácidos de las 25 variedades de maíces estudiados, destaca al ácido glutámico (18.1-19.3), seguido por leucina (10.85 a 12.77%) valor considerablemente mayor que el requerimiento del patrón FAO/OMS. Por otro lado los aminoácidos limitantes fueron el triptófano (deficiente en proteínas vegetales) y la lisina.

Cuadro 3. Aminoácidos de maíces criollos del Estado de Puebla obtenidas por Espectroscopia de Infra-Rojo Cercano (NIR).

Muestra (%)	Color grano	Ala	Arg	Asp	Glu	Cys	Gly	His	Ile	Leu	Lys	Met	Phe	Pro	Ser	Thr	Trp	Tyr	Val
20	blanco	7.30	5.06	6.71	18.26	2.36	4.00	3.30	3.53	11.66	3.42	2.24	4.24	9.54	4.95	3.65	0.82	4.12	4.83
28	blanco	7.58	5.05	6.81	18.68	2.31	4.07	3.30	3.63	12.31	3.30	2.31	4.40	8.13	5.05	3.63	0.77	4.18	4.51
80	blanco	7.68	4.98	6.75	19.31	2.39	3.95	3.22	3.63	12.77	3.22	2.28	4.67	6.85	5.09	3.74	0.73	4.26	4.47
89	blanco	7.03	5.06	6.54	17.39	2.34	4.07	3.33	3.45	10.85	3.45	2.22	4.07	11.84	4.93	3.70	0.74	4.07	4.93
103	blanco	7.34	4.82	6.53	18.49	2.31	3.82	3.12	3.52	12.26	3.12	2.21	4.52	10.05	4.92	3.52	0.70	4.12	4.62
106	blanco	7.71	5.00	6.67	19.38	2.29	3.85	3.13	3.65	12.60	3.23	2.29	4.69	9.69	5.00	3.65	0.73	4.27	2.19
107	blanco	7.54	4.89	6.62	18.94	2.34	3.87	3.16	3.56	12.63	3.16	2.24	4.68	8.45	4.99	3.67	0.71	4.18	4.38
116	blanco	7.56	5.04	6.79	18.84	2.41	3.94	3.29	3.61	12.38	3.29	2.30	4.38	7.45	5.04	3.72	0.77	4.16	5.04
122	cremoso	7.44	4.96	6.47	18.02	2.27	3.88	3.13	3.45	11.87	3.24	2.27	4.31	10.36	4.85	3.56	0.76	3.99	5.18
36	cacahuacintle	7.44	4.79	6.52	18.65	2.24	3.77	3.06	3.57	12.33	3.06	2.24	4.59	8.56	4.99	3.67	0.71	4.28	5.50
42	cacahuacintle	7.44	4.96	6.61	18.06	2.36	4.01	3.19	3.42	11.45	3.31	2.24	4.25	9.56	4.96	3.66	0.71	4.13	5.67
24	amarillo	7.43	4.92	6.70	18.64	2.30	3.87	3.14	3.56	12.36	3.25	2.30	4.61	8.48	5.03	3.66	0.73	4.19	4.82
46	amarillo	7.48	4.98	6.75	18.69	2.39	4.05	3.22	3.63	12.36	3.22	2.28	4.78	7.68	4.98	3.74	0.73	4.36	4.67
32	rojo	7.40	5.13	6.80	18.26	2.39	4.18	3.34	3.58	11.69	3.46	2.27	4.42	7.88	5.01	3.82	0.72	4.18	5.49
40	rojo	7.36	4.91	6.58	17.84	2.34	3.90	3.12	3.46	11.48	3.23	2.23	4.35	10.70	4.91	3.57	0.78	4.12	5.13
47	pinto	7.23	4.82	6.57	18.07	2.30	3.83	3.18	3.50	11.83	3.18	2.19	4.38	10.95	4.82	3.61	0.77	4.05	4.71
48	pinto diverso	7.38	4.85	6.64	18.55	2.32	3.90	3.16	3.48	12.22	3.16	2.21	4.53	9.80	4.95	3.58	0.74	4.11	4.43
49	pinto diverso	7.34	4.93	6.65	18.12	2.41	4.01	3.21	3.44	11.70	3.33	2.29	4.36	9.52	4.93	3.67	0.80	4.13	5.16
33	moradillo	7.59	5.02	6.81	18.86	2.46	4.02	3.24	3.57	11.83	3.24	2.34	4.35	7.59	5.13	3.79	0.78	4.24	5.13
14	azul	7.23	4.75	6.55	18.19	2.26	3.84	3.16	3.39	11.86	3.16	2.15	4.29	10.85	4.86	3.62	0.68	4.07	5.08
19	azul	7.40	4.90	6.61	18.56	2.28	3.87	3.19	3.53	12.07	3.19	2.28	4.44	9.57	5.01	3.64	0.68	4.10	4.67
23	azul	7.44	4.88	6.63	18.49	2.33	3.95	3.14	3.49	11.98	3.26	2.21	4.42	9.42	5.00	3.60	0.70	4.19	4.88
27	azul	7.44	4.88	6.63	18.60	2.33	3.95	3.14	3.49	12.09	3.26	2.21	4.42	9.42	5.00	3.60	0.70	4.19	4.65
34	azul	7.58	4.98	6.79	19.00	2.38	3.96	3.17	3.62	12.44	3.17	2.26	4.52	7.47	5.09	3.73	0.79	4.30	4.75
41	azul	7.21	4.81	6.52	18.19	2.29	3.89	3.09	3.43	11.78	3.20	2.17	4.35	10.98	4.92	3.55	0.69	4.12	4.81
Patrón FAO									4.00	7.00	5.40	3.5*	6.00**			4.00	1.40	5.00	

*Total aminoácidos azufrados ** Total de aminoácidos aromáticos

Cuadro 4. Digestibilidad *in vitro* de la proteína en maíces criollos del Estado de Puebla

Muestra	Color	Digestibilidad (%)	Muestra	Color	Digestibilidad (%)
Caseína		88.90 ± 1.20			
20	Blanco	66.77 ± 0.48	32	Rojo	61.81 ± 3.19
28	Blanco	67.90 ± 4.46	40	Rojo	65.87 ± 1.59
80	Blanco	63.61 ± 0.32	47	Pinto	60.11 ± 0.16
89	Blanco	64.96 ± 2.55	48	Pinto Diverso	60.22 ± 0.96
103	Blanco	62.14 ± 0.78	49	Pinto Diverso	61.47 ± 1.43
106	Blanco	65.64 ± 2.87	33	Moradillo	61.81 ± 0.64
107	Blanco	62.14 ± 2.55	14	Azul	61.25 ± 2.71
116	Blanco	61.13 ± 0.96	19	Azul	62.37 ± 4.31
122	Blanco cremoso	65.75 ± 1.12	23	Azul	60.23 ± 0.04
36	Bco Cacahuacintle	61.81 ± 0.64	27	Azul	63.61 ± 1.27
42	Bco Cacahuacintle	60.45 ± 1.28	34	Azul	67.11 ± 0.48
24	Amarillo	62.48 ± 0.96	41	Azul	61.81 ± 0.48
46	Amarillo	63.05 ± 0.48			

Los resultados representan la media de tres determinaciones independientes ± DE

Digestibilidad *in- vitro* de maíces criollos

Como se muestra en los resultados del Cuadro 4, las proteínas de los maíces estudiados tuvieron una digestibilidad del 60.11-67.90% Este valor es significativamente menor al de la caseína que fue de 88.9%, esta proteína se usó como referencia para el análisis ya que contiene todos los aminoácidos

esenciales. Esta menor digestibilidad podría atribuirse a la deficiencia que presentan en algunos aminoácidos (Lys, Trp, etc) y una alta proporción de otros (Leu, Glu). Los efectos de la composición de la dieta en la digestibilidad también han sido verificados por Córdova-Murueta et al. (2002), quienes determinaron que la digestibilidad in vitro era afectada, no solamente por la fuente del suplemento proteico, sino también, por la cantidad de proteína en la dieta.

Cuadro 5. Almidón total de 25 variedades de maíces criollos del Estado de Puebla

Muestra	Color de grano	%Almidón total	Muestra	Color de grano	%Almidón total
20	Blanco	79.8 ±0.01	32	Rojo	75.1 ±0.05
28	Blanco	79.8 ±0.01	40	Rojo	74.0 ±0.08
80	Blanco	71.9 ±0.17	47	Pinto	77.2 ±0.17
89	Blanco	77.4 ±0.05	48	Pinto Diverso	65.8 ±0.14
103	Blanco	79.7 ±0.04	49	Pinto Diverso	74.3 ±0.11
106	Blanco	75.6 ±0.01	33	Moradillo	79.8 ±0.03
107	Blanco	78.3 ±0.01	14	Azul	79.1 ±0.03
116	Blanco	75.2 ±0.06	19	Azul	77.6 ±0.04
122	Blanco cremoso	75.7 ±0.08	23	Azul	78.7 ±0.04
36	Bl. Cacah	84.9 ±0.04	27	Azul	77.3 ±0.02
42	Bl. Cacah	80.3 ±0.01	34	Azul	76.6 ±0.03
24	Amarillo	83.4 ±0.03	41	Azul	73.9 ±0.01
46	Amarillo	85.6 ±0.09			

Los resultados representan la media de tres determinaciones independientes±DE

Cuadro 6. Contenido de ácidos grasos de 25 variedades de maíces criollos del Estado de Puebla

Muestra	Color de grano	Ácido graso (%)				
		Palmítico	Esteárico	Oleico	Linoleico	Eicosanoico
20	Blanco	15.9	8.6	37.4	33.5	4.6
28	Blanco	13.2	4.6	44.5	34.5	3.2
80	Blanco	15.6	8.4	37.9	36.3	1.8
89	Blanco	15.3	8.7	40.9	33.3	1.8
103	Blanco	14.8	8.4	40.1	35.1	1.6
106	Blanco	14.6	8.7	40.4	34.7	1.6
107	Blanco	14.0	6.7	33.7	44.0	1.6
116	Blanco	12.6	5.7	46.2	34.7	0.8
122	Bco cremoso	12.8	10.6	36.6	39.0	1.0
36	Bco	12.4	5.2	45.2	34.3	2.9
	Cacahuacintle					
42	Bco	12.3	10.2	39.0	36.9	1.6
	Cacahuacintle					
24	Amarillo	14.6	9.8	41.3	32.6	1.7
46	Amarillo	14.9	1.8	44.1	38.3	0.9
32	Rojo	15.7	10.8	38.1	29.1	6.3
40	Rojo	14.3	5.8	43.2	34.7	2.0
47	Pinto	15.8	11.5	33.5	30.7	8.5
48	Pinto Diverso	13.2	9.1	43.5	30.4	3.8
49	Pinto Diverso	13.1	4.2	41.5	38.3	2.9
33	Moradillo	13.1	9.1	37.8	38.9	1.1
14	Azul	13.0	5.8	43.5	30.8	6.9
19	Azul	14.6	9.4	39.9	34.5	1.6
23	Azul	15.3	7.6	38.2	37.3	1.6
27	Azul	28.4	15.7	44.5	9.3	2.1
34	Azul	13.2	9.6	36.8	39.2	1.2
41	Azul	13.8	10.0	37.7	37.0	1.5

Los resultados representan la media de tres determinaciones independientes.

Almidón total de semillas de maíces criollos

El almidón constituye la parte mayoritaria de la semilla de maíz se encuentra principalmente en el endospermo. La cantidad de almidón en las muestras de maíces criollos analizadas fue de 65-85% (cuadro 5), la variedad con menor concentración fue la pinto diverso 48 (65% de almidón total) y las de mayor proporción fueron la amarillo 46 (85.6%) y la blanco cacahuacintle 36 (84.9 %). Estos resultados coinciden con lo reportado por Méndez et al. (2005) quienes reportaron valores entre 70-73% de almidón. Se ha observado que maíces que contienen mayor proporción de almidón, se obtendrían masas con mejores propiedades reológicas y, por lo tanto, tortillas con mejor calidad sensorial (Narváez et al., 2003).

Ácidos grasos en el aceite de maíces criollos

Se analizó el contenido de ácidos grasos presentes en el aceite de maíz (Cuadro 6), dentro de los que destacan el ácido palmítico de 28.4% a 12.3%, el ácido esteárico de 15.7% a 1.8%, el ácido oleico de 46.2% a 33.5% y ácido linoleico de 39.2% a 9.3%. Sobresaliendo las variedades de maíz azul y blanco, por lo que podemos confirmar que el aceite de maíz es rico en ácidos grasos insaturados, propenso a la rancidez oxidativa producto de reacciones de deterioro de los lípidos presentes en el grano, sin embargo el maíz contiene antioxidantes propios como compuestos fenólicos y antocianinas (morados y rojos) y carotenoides en los amarillos que protegen dichos aceites (Lehtinen y Laakso, 2004).

CONCLUSIONES

Las semillas de maíz criollo, tienen alto valor nutricional, destacando la concentración de carbohidratos, principalmente almidón, fibra y proteínas, estos parámetros son independientes a su región de origen y su color, la digestibilidad de sus proteínas aunque es menor que la caseína es alta debido a que este es un alimento de origen vegetal, entre sus aminoácidos destacan al ácido glutámico y la leucina y son abundantes en ácido oleico y linoleico. Por lo que es recomendable, el cultivo de estas variedades de semillas, tanto para conservar la diversidad como para su aprovechamiento en la alimentación.

LITERATURA CITADA

- AACC. 2000. *American Association of Cereal Chemists. Approved Methods of the*
- Benz, B. F. 2001. *Archeological evidence of teosinte domestication from Guila Naquitz, Oaxaca*. Proc. Natl. Acad. Sci. 98:2104-2106.
- Córdova-Murueta, J.H., García-Carreño, F.L., (2002): *Nutritive value of squid and hydrolyzed protein supplement in shrimp feed*. Aquaculture 210, 371-384.
- Hsu W. H., Vavak D. L., Satterlee L. D. and Miller G. A. (1977): *A multienzyme technique for estimating protein digestibility*. J. Food Sci. 42: 1269-1273.
- Lehtinen, P. y S. Laakso; *Role of Lipid in Quality of Oat Products*, Agricultural and Food Science: 13(1), 88-99 (2004).
- Méndez M. G., Solorza F. J., Velásquez V. M., Gómez M. N., Paredes L. O. y Bello P. L.; (2005): *Composición química y caracterización calorimétrica de híbridos y variedades de maíz cultivadas en México*. Agrociencia. 39: 267-274
- Salinas M Y, F J Cruz C, S A Díaz O, F Castillo G (2012): *Granos de maíces pigmentados de Chiapas, características físicas, contenido de antocianinas y valor nutracéutico*. Rev. Fitotec. Mex. 35:33-41.
- Narváez R. C., Valenzuela B. J., Carlos Muñoz S. C. y Hinrichsen R. P. (2003) *Comparación de RAPD y AFLP como métodos de identificación genética de vid basados en el estudio de fragmentos genómicos*. Agricultura técnica (Chille) 60 (4): 320-340.
- Prasanna, B. M., Vasal, S. K., Kassahun, B., & Singh, N. N. (2001). Quality protein maize. *Current science*, 1308-1319.

COMPOSICIÓN BROMATOLÓGICA Y CUANTIFICACIÓN DE COMPUESTOS FENÓLICOS EN MALTA DE CEBADA

BROMATOLOGICAL COMPOSITION AND QUANTIFICATION OF PHENOLIC COMPOUNDS IN BARLEY MALT

¹Sánchez Chino X, ²Jiménez-Martínez C, ²Osornio Pedraza A, ³Corzo-Ríos L, ⁴Martínez-Herrera J

- ¹. Cátedra-CONACyT, Departamento de Salud, El Colegio de la Frontera Sur-Villahermosa. Carretera a Reforma Km. 15.5 s/n. Ra. Guineo 2da. Sección. C.P. 86280, Villahermosa, Tabasco, México.
- ². Laboratorio de Moléculas Bioactivas. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional. Av. Wilfrido Massieu Esq. Cda. Miguel Stampa s/n, C.P.07738 Delegación Gustavo A. Madero. Ciudad de México.
- ³. Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología, Instituto Politécnico Nacional. Av. Acueducto S/N, Barrio La Laguna, Col. La Laguna Ticomán, 07340, Cd de México, México.
- ⁴. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Tabasco, Campo Experimental Huimanguillo, Km. 1. Carr. Huimanguillo-Cárdenas, Tabasco. C.P. 86400, México
Autor para correspondencia: *crisjm_99@yahoo.com

RESUMEN

Los cereales, forman parte de la nutrición de millones de personas, además de ser fuente de energía, suministran nutrientes como proteínas, lípidos, carbohidratos, fibra y metabolitos con actividad biológica, por lo que han sido clasificados como alimentos funcionales. La cebada es uno de los cereales más cultivados en México y la mayor parte de su cosecha se destina para la producción de malta con la que después se elabora la cerveza. La malta es el grano germinado de la cebada bajo condiciones controladas. La germinación modifica la composición química de las semillas, produciendo cambios en los metabolitos secundarios presentes en la semilla, entre ellos los compuestos fenólicos. Se ha demostrado que estos compuestos presentan actividades biológicas contribuyendo a la prevención de enfermedades crónicas no transmisibles. El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto de la germinación sobre la composición bromatológica y cuantificación de compuestos fenólicos y taninos ya que dichos compuestos son los principales relacionados con la actividad biológica (antioxidante, antiinflamatoria, anticancerígena, entre otras).

El grano de cebada fue adquirido en Calpulalpan, Tlaxcala, y se germinó durante 1, 3 y 5 días a 22, 25 y 30°C. La composición química proximal se determinó mediante los métodos propuestos por la AOAC. Se extrajeron compuestos fenólicos y los taninos con solventes orgánicos. En los resultados se observó que las mejores condiciones de germinación fueron a 22°C/ durante 5 días, ya que las semillas tuvieron mayor concentración de compuestos nutricionales y fenólicos, por lo que los germinados obtenidos podrían tener aplicaciones en alimentos funcionales.

Palabras clave: germinación, compuestos nutricionales, taninos condensados

INTRODUCCION

Los cereales constituyen la principal fuente de energía en la dieta humana debido a su alto valor energético y su bajo costo a comparación de otros alimentos. Estos se cultivan con facilidad, pueden transportarse fácilmente y almacenarse por periodos de tiempo muy largos, entre los principales cereales cultivados en México, destacan el maíz, trigo y cebada (SIAP, 2018), este último cereal es empleado en la obtención de mostos, que son utilizados en elaboración de la cerveza o en destilados para whisky, en la elaboración de pan negro y para la alimentación animal, particularmente de cerdos. Sin embargo, existen algunos países de Asia y África en el que todavía continúa siendo el principal alimento humano (Newman and Newman 2008).

El principal componente de los granos de cebada son los carbohidratos (65-68%) y proteínas (11-14%), además de minerales como el calcio y el fosforo (en promedio 84 y 294 mg/100 g respectivamente) (Callejo, 2002)

El malteado de los cereales es un proceso de germinación controlado, mediante el cual la semilla pasa de un estado de latencia a un estado de actividad bioquímica a fin de desarrollar una nueva planta, durante dicho proceso el almidón y las proteínas son hidrolizadas ya que se activan enzimas como la amilasa, proteinasas y peptidasas; se liberan hormonas, hay síntesis de *novos* de diferentes

compuestos. Los germinados son considerados como un alimento funcional, ya que hay evidencia de su capacidad para disminuir el riesgo de enfermedades crónico-degenerativas, esto debido principalmente al contenido en aminoácidos esenciales, fibra, micronutrientes, vitaminas, flavonoides y compuestos fenólicos (López-Amorós et al., 2006)

Entre los principales compuestos bioactivos identificados en la malta destacan el ácido fólico, vitaminas del complejo B (B1, B2, B12) y compuestos fenólicos: ácido ferúlico, ácido gálico, ácido siríngico; flavonoides de tres tipos: los flavanos como la familia de las catequinas, los antocianos entre los que están la pelargonidina y la malvidina y derivados asociados como las chalconas y los flavonoles como la quercetina o el kaempferol. También aparecen otros compuestos fenólicos más complejos como los taninos destacando las proantocianidinas de diverso grado de polimerización, estos compuestos son metabolitos secundarios sintetizados por las plantas como mecanismo de defensa (Liu & Yao, 2007) La actividad biológica de los polifenoles y de la capacidad antioxidante ha tenido grandes avances y se les ha atribuido actividad antimicrobiana, antimutagénica, antioxidantes, anticarcinogénica, El objetivo fue evaluar los cambios en la composición nutricional de la cebada y malta germinada a diferentes temperaturas y tiempos y cuantificar los compuestos fenólicos totales y taninos de la malta y su variación durante la germinación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó semilla de cebada adquirida en Calpulalpan Tlaxcala, se acondicionaron, eliminando materiales extraños (restos de plantas, piedras, tierra, vidrio) y semillas dañadas. Se escogieron 1000 g de semillas para la germinación. Las semillas fueron lavadas con detergente en una proporción de 0.1:100 en agua destilada y posteriormente con una solución de agua y cloro 1:10 para eliminar los microorganismos que pudieran haber quedado adheridos a las semillas. Posteriormente, se enjuagaron tres veces en agua destilada para eliminar los residuos de los químicos empleados. Para la germinación se formaron 10 lotes de 100g de semillas cada uno, colocándolas en charolas con papel filtro saturado con agua; un lote fue el testigo (SG) y con los otros se probaron tres tiempos de germinación (1, 3 y 5) días y 3 diferentes temperaturas (22, 25 y 30°C).

Se determinó el tamaño de la radícula y el número de las plántulas de semilla de cebada como medida de germinación de 50 semillas.

La cebada germinada (malta) se secó por 12 h a 45°C para retirar la humedad en la semilla y **mantener las propiedades organolépticas. Al final de este tiempo se sometieron a molienda para obtener harina fina la cual se utilizó para realizar los análisis posteriores.** La composición química de la harina y germinados de cebada se determinó de acuerdo a los procedimientos oficiales descritos por la A.O.A.C (2005) que comprende los siguientes análisis: a) Humedad (método 925.09), b) Proteína cruda (método 954.01), usando 6.25 como factor de conversión de nitrógeno a proteína. c) Grasa cruda (método 920.39), d) Fibra cruda (método 962.09), e) Cenizas (método 923.03), el contenido de carbohidratos se cuantificó mediante la diferencia del total y los demás compuestos determinados.

La extracción de compuestos fenólicos se realizó tomando 20 gramos de malta seca y desengrasadas, los cuales se tomaron por duplicado, a una de estas muestras se les adicionó una solución 70% de acetona y a otra metanol acidificado (1% HCl) y se mantuvieron en agitación magnética por 4h a 45°C, posteriormente se eliminó el solvente de las muestras con un rotavapor y se centrifugaron a 13000 rpm/10min, se retiró el disolvente y se re suspendieron las muestras en metanol; la concentración de compuestos fenólicos totales de extractos (de acetona y metanólicos) fue determinada con base al método de Folin Ciocalteu adaptada para su uso en microplacas usando como estándar ácido ferúlico. El contenido de taninos en los extractos la harina germinada de cebada se realizó siguiendo el procedimiento de Ross *et al.*, 2010 usando como estándar ácido tánico.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Germinacion

Respecto a los diferentes tiempos de germinación que se probaron (1, 3 y 5 días), el crecimiento de la radícula y el porcentaje de germinación fue aumentando conforme incrementaba el tiempo, en los primeros días de germinación existe un desarrollo enzimático y se comienzan a dar cambios bioquímicos, propiciando las condiciones para el crecimiento de la radícula. En la figura 1 se observa que el mayor crecimiento en la radícula y de número de semillas germinadas fue a 22°C y al quinto día

de germinación, por lo que esta condición es recomendable ya que tanto como el volumen como el peso final será mayor.

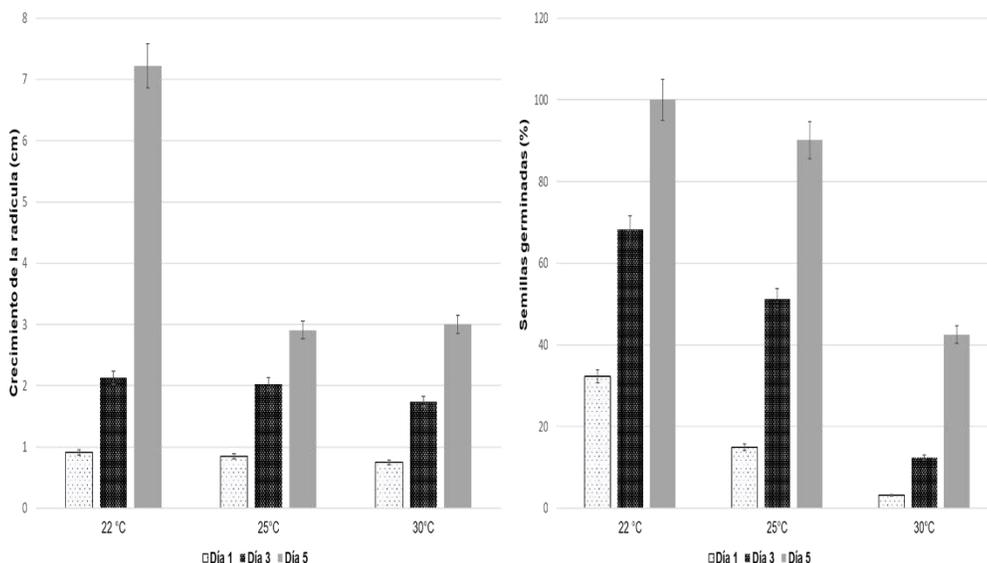


Figura 1. a) Crecimiento del eje embrionario a diferentes temperaturas y tiempos de germinación la cebada b) % de semillas germinadas en función del tiempo y temperatura.

En la Figura 2 se muestra la variación de carbohidratos en la malta, como se puede observar la mayor concentración es a los 5 días de cualquiera de las temperaturas probadas, y la temperatura óptima fue 22°C, también en estas condiciones se tiene la mayor concentración de proteínas, lípidos, cenizas y menor contenido de fibra. Cuando se someten a germinación, la concentración de proteínas disminuye, principalmente en el día 1, ya que durante los primeros días aumenta la hidrólisis de las proteínas de reserva. Los aminoácidos liberados después de la germinación pueden ser utilizados en la síntesis de nuevas proteínas en la plántula en desarrollo o para proporcionar energía mediante la oxidación de su esqueleto carbonado es por esta razón que a pesar que el incremento de proteínas es lento a través de los días de germinación es posible volver a incrementar ya que hay síntesis de proteínas de *novo*, además de que se aumenta su digestibilidad (Arellano et al., 2008; Chaparro-Rojas et al., 2010)

Otra característica de esta semilla es su bajo contenido de lípidos (1.89%), que se encuentran principalmente en el germen y la aleurona del grano. Como se puede observar, conforme va aumentando los días de germinación de la cebada se observa un incremento de la cantidad de lípidos, esto se atribuye a que durante la germinación ocurren reacciones como la lipólisis de los triglicéridos para producir ácidos grasos y glicerol. El contenido de cenizas también tiene un incremento conforme la temperatura y los días de germinación aumenta, Elizalde et al., (2011), reportaron que el hierro disponible, en semillas de amaranto soya y quinua, tendió a disminuir a medida que avanzó el proceso de germinación; sin embargo, la germinación no afectó significativamente el contenido de hierro en semillas germinadas, mientras que el calcio disponible se incrementó significativamente a partir del segundo día de germinación además que se ambos minerales se hacían eran biodisponibles

Cuantificación de compuestos fenólicos y taninos

Se analizó la concentración de compuestos fenólicos extraídos a partir de dos disolventes: metanol acidificado con HCl (1%) y acetona (75%), donde se evaluó el mejor rendimiento de extracción de los compuestos fenólicos. Los resultados se pueden observar en la figura 3, el disolvente con mayor eficiencia de extracción fue la acetona, debido a que es más selectiva a los compuestos fenólicos presentes en la cebada y malta que el Met-HCl 1. La temperatura óptima para la síntesis de estos compuestos es 22°C, al aumentar los días de germinación aumentó su concentración, lo cual se debe quizá a que se activa la biosíntesis de compuestos de la vía de los fenilpropanoides, los cuales son precursores de una amplia gama de metabolitos primarios y secundarios como fenólicos y flavonoides,

que funcionan como antioxidantes celulares e inhiben los radicales libres, lo que previene la aparición de enfermedades (Qualley et al., 2012)

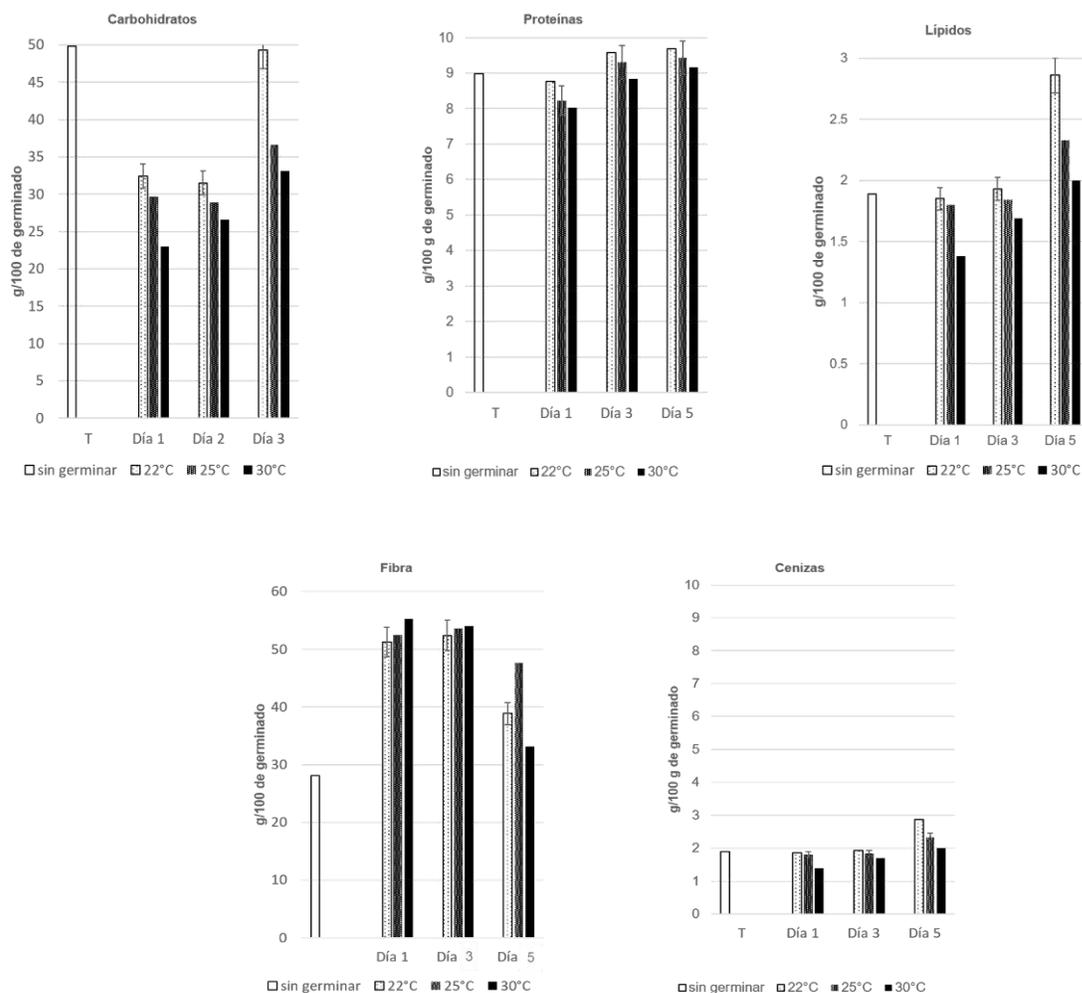


Figura 2. Composición bromatológica de germinados de cebada a diferentes tiempos y temperaturas Se muestran resultados de tres repeticiones \pm EE.

La concentración de taninos en la semilla de cebada fue de 65 mg/ g de muestra. Mientras que en la malta obtenida a diferentes tiempos y temperaturas fue de 41-67 mg/g, conforme avanza el tiempo de germinación en la semilla la concentración de taninos disminuye, el contenido de taninos es menor en la semilla germinada a 22°C, este efecto es benéfico porque dichos compuestos forman complejos con proteínas disminuyendo su disponibilidad, por lo que al disminuir su presencia de aumenta la calidad proteica de la cebada (Dávila et al., 2003).

CONCLUSIONES

La concentración de los compuestos nutrimentales, así como los fenólicos y taninos, en la malta de cebada varían en función del tiempo y la temperatura de germinación. La temperatura de 22°C es más favorable para la germinación de la semilla de cebada, ya que se observa mayor crecimiento de la radícula, y al quinto día a esta temperatura se alcanza el 100% de semillas germinadas, lográndose además la mayor concentración de proteínas, carbohidratos, lípidos y la menor concentración de compuestos fenólicos. La germinación permite mejorar la actividad funcional de la semilla de cebada.

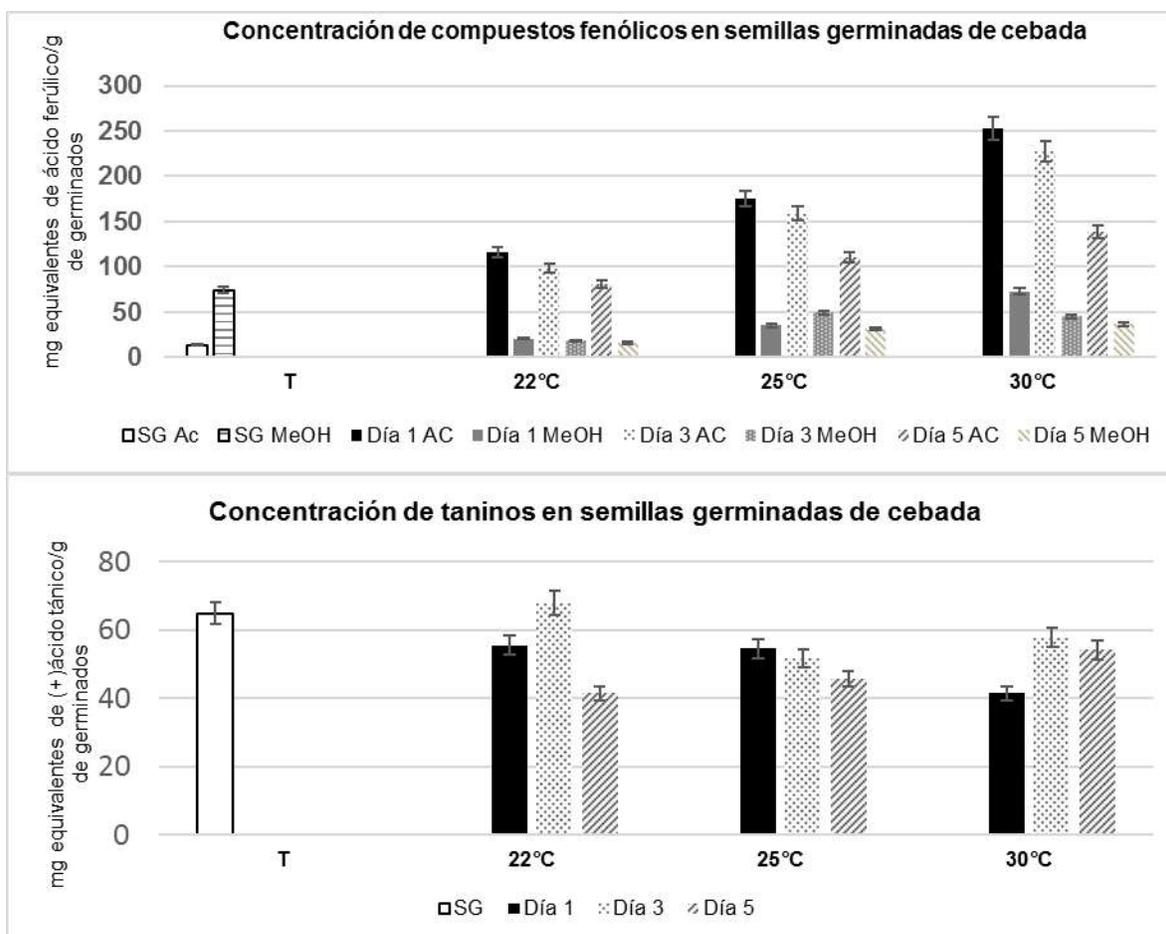


Figura 3. a) concentración de compuestos fenólicos totales, b) concentración de taninos en semillas germinadas de cebada (malta). SG (sin germinar), Ac (Extracto con acetona), MeOH (extracción con metanol acidificado). Se muestran resultados de tres repeticiones \pm EE.

LITERATURA CITADA

- Arellano, Y., García, E. y Vázquez-Ramos, J.M. 2008. Estimulación de la síntesis de ADN y de proteínas del ciclo celular por auxinas durante la germinación de maíz. *Agrociencia*, 42(6): 637-644.
- Callejo-González, M.J. 2002. Industrias de cereales y derivados Ediciones Mundi-Prensa. (No. E21/58).
- Chaparro-Rojas, D.C. Pismag-Portilla, R.Y. Elizalde-Correa, A. Vivas-Quila, N.J. y Erazo Caicedo, C.A. 2010. Efecto de la germinación sobre el contenido y digestibilidad de proteína en semillas de amaranto, quinua, soya y guandul. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 8(1): 35-42.
- Dávila, M.A, Sangronis, E, y Granito, M. 2003. Leguminosas germinadas o fermentadas: alimentos o ingredientes de alimentos funcionales. *Archivos latinoamericanos de nutrición*, 53(4):348-354.
- Elizalde, A.D.D, Pismag, RY. y Chaparro, D. 2011. Efecto de la germinación sobre el contenido de hierro y calcio en amaranto, quinua, guandul y soya. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial: BSAA*, 9(1):51-59.
- López-Amorós, M.L., Hernández, T, y Estrella, I. 2006. Effect of germination on legume phenolic compounds and their antioxidant activity. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19(4): 277-283.
- Liu, Q. y Yao, H. 2007. Antioxidant activities of barley seeds extracts. *Food chemistry*, 102(3): 732-737.

Newman, R.K y Newman C.W. 2008. Barley for food and health: science, technology, and products, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, U.S.A. 245

Qualley, A.V, Widhalm, J.R. Adebesein, F. Kish, C.M. y Dudareva, N. 2012. Completion of the core β -oxidative pathway of benzoic acid biosynthesis in plants. Proceedings of the National Academy of Sciences, 109(40):16383-16388.

REFERENCIAS INFORMATICAS

SIAP, 2017. <http://www.siap.gob.mx/> (consultado el 30 mayo 2018)

ALIMENTO FUNCIONAL: TORTILLAS HORNEADAS FUNCTIONAL FOOD: BORED TORTILLAS

Ruiz Santiago FL, Garcia Jiménez R, Valadez Villarreal A, Hernandez Becerra JA, Rocher Córdova R, Ocaña Gómez M, Silvan Sarao CD

Universidad Tecnológica de Tabasco, carretera Villahermosa-Teapa Km 14.6 S/N C.P. 86288, Parrilla II, Centro, Tabasco, México.

Autor para correspondencia: francolucioruiz@hotmail.com

RESUMEN

Los alimentos funcionales son aquellos que contienen elementos que aportan beneficios a la salud y ayudan a retrasar la aparición de enfermedades. Para este trabajo se presenta una tortilla horneada diferente a lo tradicional ya que además de harina de maíz nixtamalizado, contiene avena (*Avena sativa*), chía (*Salvia hispánica*) y linaza (*Linum usitatissimum*) para enriquecer a este tipo de alimentos que en la actualidad tienen gran aceptación. Se obtuvo un producto de características sensoriales agradables con una aceptación global del 62%. Se obtuvieron diferencias significativas ($p < 0.05$) en cuanto a contenido de fibra y proteínas de la tostada enriquecida con respecto a la comercial, los resultados microbiológicos muestran que el prototipo seleccionado es totalmente inocuo de acuerdo a la normatividad, además con elementos que pueden considerar a este producto como beneficioso a la salud.

Palabras clave: Tortillas horneadas, chia, linaza, avena

INTRODUCCIÓN

En el año 2013, se registraron 5,405 defunciones en mujeres por cáncer de con una tasa de 16.3 defunciones por 100,000 mujeres. Las entidades con mayor mortalidad por cáncer de mama son Coahuila (24.2%), Sonora (22.6%) y Nuevo León 22.4%). El cáncer de colon en México es el 4° tipo de más frecuencia ya que es el responsable de 700 000 muertes. En cuanto a problemas cardiacos estos afectan comúnmente a personas mayores de 40 años y con más frecuencia en los hombres, en un 65%. De acuerdo con el Instituto Nacional de Salud Pública (INSP) el 68.5% de los mexicanos tiene problemas de obesidad y sobre peso, el 58 % padece de diabetes y otro 43.2 hipertensión arterial, padecimientos que en los últimos 13 años ha crecido en 22 %.

De acuerdo con especialistas del Instituto Nacional de Salud Pública (INSP), la enfermedad tiroidea no diagnosticada, particularmente el hipotiroidismo subclínico, es una condición que puede llegar a afectar a alrededor del 10% de la población mexicana, y que puede desencadenar riesgos para la salud si no es tratada adecuadamente.

Por todo lo anterior, los hábitos dietéticos han variado. Ya no se trata únicamente de reducir los alimentos cuyo exceso puede ser perjudicial para la salud, sino de buscar aquellos que tengan beneficios saludables y que ayuden a retrasar la aparición de algunas enfermedades, con esta consigna han aparecido los alimentos funcionales (Aranceta y Serra, 2015)

Los alimentos funcionales son aquellos que, con independencia de aportar nutrientes, han demostrado científicamente que afectan beneficiosamente a una o varias funciones del organismo, de manera que proporcionan un mejor estado de salud y bienestar. Estos alimentos, además, ejercen un papel preventivo ya que reducen los factores de riesgo que provocan la aparición de enfermedades. (Badui, 2015)

Entre los alimentos funcionales más importantes se encuentran los alimentos enriquecidos, ejemplos son: el yogur enriquecido con calcio y vitamina A y D, cereales fortificados con ingredientes que aportan fibra y minerales, pan con ácido fólico, entre muchos más.

En la actualidad uno de los derivados del maíz son las tortillas horneadas, productos que cuentan con gran aceptación y esto se demuestra porque cada día aparecen nuevas marcas y presentaciones de este producto. La mayoría están elaborados con maíz nixtamalizado, en algunos casos mezclados con vegetales como nopal, frijol, chile o saborizados y coloreados artificialmente, y aunque no contienen conservadores, grasas, colesterol, bajos en sodio y sin gluten, no existen productos que estén enriquecidos con ingredientes que beneficien alguna función del organismo (Sloan, 2014)

Considerando que el mercado de la tortilla horneada solo se limita a productos con 100% harina de maíz nixtamalizado y que no existe en el mercado un producto como este enriquecido con otros

ingredientes, se considera que la tortilla horneada enriquecida con avena, chíá y linaza tiene un nivel de innovación alto.

El mercado potencial de este tipo de productos es halagador y va en ascenso, como lo señala la Cámara Nacional de la Industria del Maíz Industrializado, ya que el consumidor busca cada día productos más sanos, con bajo nivel calórico, muestra de ello que GRUMA está pensando abrir próximamente plantas en Monterrey y en Puebla para aumentar su oferta de estos productos y otros derivados del maíz. Tan solo en la planta de Puebla se pretende producir anualmente más de 50,000 toneladas de tortillas de maíz, tortillas de trigo, tostadas horneadas y frituras.

Respecto a la disponibilidad de materia prima, no existe desabasto de estos cereales ya que todos se producen en la república mexicana, aunque la linaza, la avena y la chíá son cultivos del norte del país, existen numerosas empresas que los comercializan y hacen llegar estos cereales al estado de Tabasco. Este producto por su composición, atenderá una necesidad actual que tiene la población de consumir productos sanos y cuyos ingredientes mejoraran alguna función dentro del organismo.

Ejemplos de estos ingredientes que pueden favorecer el enriquecimiento de estas tortillas son la avena (*Avena sativa*), chíá (*Salvia hispánica*) y linaza (*Linum usitatissimum*); respecto a la avena, esta ayuda al organismo a estimular el hígado para producir más lecitina, esta depura los compuestos pesados del organismo, su fibra soluble beneficia a las personas con diabetes, debido a que favorece la digestión del almidón estabilizando los niveles de azúcar, sobre todo después de comer, facilita el tránsito intestinal y evita el estreñimiento. Es el cereal que contiene más proteínas, lo cual ayuda a la producción y desarrollo de tejido nuevo en el organismo, previene el hipotiroidismo, ya que contiene yodo, mineral que hace funcionar de forma correcta la tiroides (Deya C, 2015).

La chíá tiene los beneficios siguientes: Están repletas de fibra y crean una sensación de saciedad, son una fuente saludable de Omega 3 que ayuda el sistema nervioso central, contienen el doble de potasio que el plátano y dos veces más la cantidad de proteínas que cualquier verdura, ayudan a eliminar líquidos y toxinas, regulan la flora intestinal, previenen la oxidación celular. La linaza ayuda a reducir el estreñimiento, e ayuda a controlar el sobrepeso y a regular el apetito por la sensación de saciedad que produce, sus fibras solubles impiden la acumulación de colesterol en la sangre, facilitando su eliminación por vías naturales, previene diversas enfermedades inflamatorias, gracias al ácido linoleico, contiene 27 componentes anti-cancerígenos, uno de estos agentes es la lignina, es un protector en contra de la formación de tumores.

Por las ventajas que ofrecen estos cereales para este proyecto se pretende incorporarlos y enriquecer las tortillas horneadas. Por ello se plantea desarrollar una tortilla horneada a partir de harina de maíz nixtamalizado enriquecido con avena (*Avena sativa*), chíá (*Salvia hispánica*) y linaza (*Linum usitatissimum*) cuyo consumo aporte beneficios saludables y ayuden a retrasar la aparición de algunas enfermedades.

METODOLOGÍA

Materia prima

Los ingredientes utilizados fueron harina de maíz nixtamalizado, avena en hojuelas, linaza y chíá, se adquirieron en un centro de distribución de granos y semillas del municipio del Centro, Tabasco. La sal yodada se adquirió en un supermercado del mismo municipio.

Elaboración de la tortilla horneada

Para la elaboración de la tortilla horneada, se desarrollaron cuatro prototipos variando las concentraciones de los ingredientes. La metodología se obtuvo partiendo de lo descrito en el artículo: Cocinando: Tostadas No Son Fritas en la página electrónica: <https://www.youtube.com/watch?v=qRhfhc2AUrg>.

Evaluación sensorial:

Los prototipos fueron evaluados sensorialmente junto a una muestra comercial (elaborada solo con maíz) a través de una prueba de nivel de agrado donde se utilizó una escala hedónica de cinco puntos que va desde me gusta mucho (5 puntos), me gusta (4 puntos), ni me gusta ni me disgusta (3 puntos), me disgusta (2 puntos) y me disgusta mucho (1 punto) además de solicitarle al juez su preferencia hacia una formulación en específico. Se utilizaron para ello un panel de 50 jueces no entrenados de la Universidad Tecnológica de Tabasco y la prueba se realizó en el Laboratorio de Análisis Sensorial de la Universidad Tecnológica de Tabasco. Las tortillas se elaboraron 24 horas de anticipación para garantizar así la frescura de los productos, almacenadas a temperatura ambiente en bolsas de polietileno transparentes cerradas herméticamente para preservar sus características organolépticas.

Caracterización del producto:

Esta etapa consistió en evaluar el producto seleccionado en base a lo especificado en la norma Oficial Mexicana *NOM-187-SSA1/SCFI-2002*, Productos y servicios. Masa, tortillas, tostadas y harinas preparadas para su elaboración y establecimientos donde se procesan. Especificaciones sanitarias. Información comercial.

Además, se realizó la comparación de las características del producto con uno similar elaborado con 100% harina nixtamalizada de maíz.

RESULTADOS

Desarrollo de prototipos

La formulación de cada uno de los prototipos se muestra en el cuadro tabla 1 y el proceso de elaboración en la figura 1.

Cuadro 1 Formulaciones de la tortilla horneada enriquecida

Ingrediente	Formulación (%)			
	TT01	TT02	TT03	TT04
Harina de maíz nixtamalizado	58	45	42	43
Avena	30	40	42	43
Chía	6	6	6	6
Linaza	6	6	6	6
Sal yodada	0	3	4	2

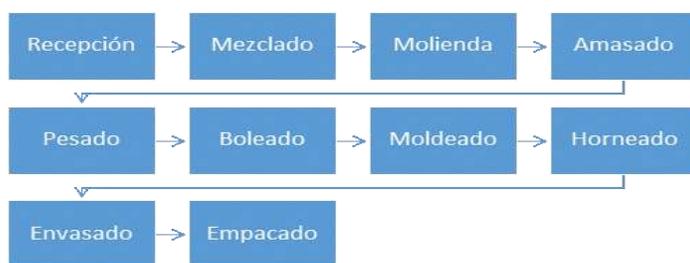


Figura 1: Proceso de elaboración de la tortilla horneada

Evaluación sensorial

Se sometieron a evaluación sensorial dos de las cuatro formulaciones. Después de la evaluación sensorial, los resultados muestran que el nivel de agrado de acuerdo a la escala hedónica fue que la TT0R (comercial) y TT03 presentaron una calificación de 3.5 y 3.6 que en la escala hedónica corresponde a “*ni me gusta ni me disgusta a me gusta*”, mientras que la formulación TT04 presentó una mejor calificación de 4.8 que en la escala hedónica corresponde a “*me gusta a me gusta mucho*”.

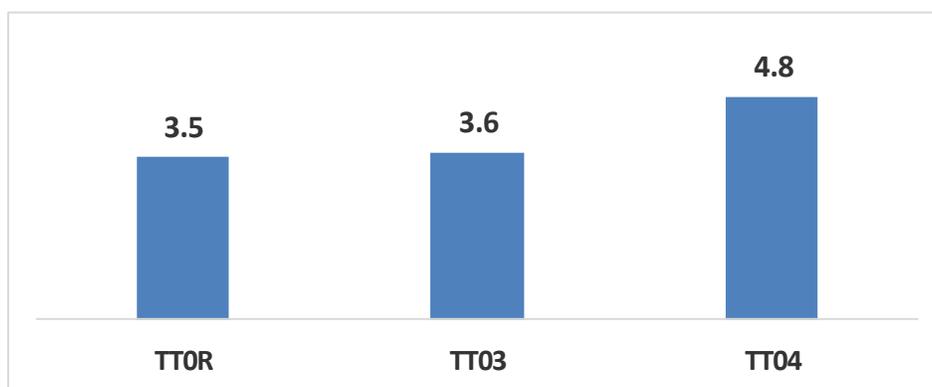


Figura 2: Grado de aceptación de cada formulación en la escala hedónica

Después de cuestionar a los jueces cuál de las formulaciones le parecía mejor, se observa en la figura 3 que la formulación TT04 presentó el mayor porcentaje de aceptación inclusive con respecto a la tostada comercial, por lo que se seleccionó esta fórmula como la definitiva.

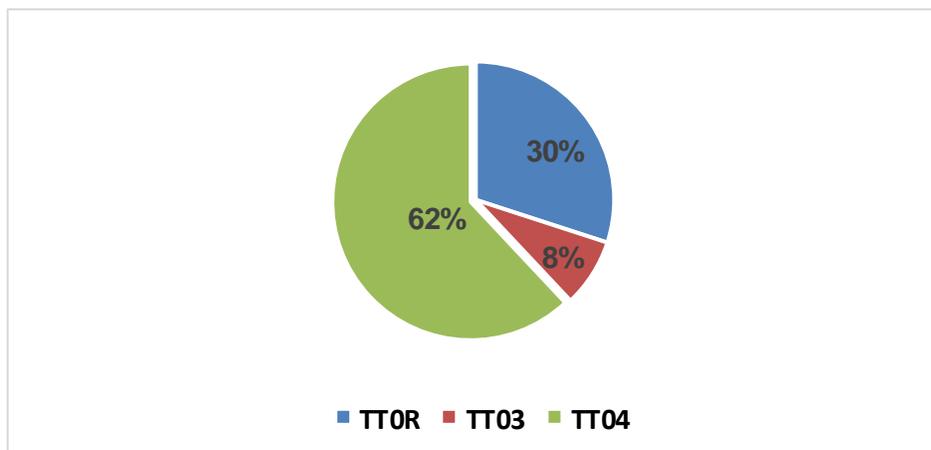


Figura 2: Porcentaje de aceptación global de cada prototipo.

Caracterización del producto

Información Nutricional

En la tabla 3 se muestra la composición nutricional de la tortilla horneada. Se observa que presenta mayor aporte de proteínas que el comercial en un 37%, esto es básicamente al aporte de las proteínas de la linaza y la chía. Se observa también su bajo contenido de grasa comparada con la marca comercial por lo cual muchos autores sugieren su consumo. Destaca también el alto contenido de fibra del producto, lo que el consumo de este producto puede ayudar al funcionamiento digestivo.

Cuadro 3: Información nutricional del producto y comparación con el comercial

Componente	g en 100 g de tortilla horneada con avena, chía y linaza	g en 100 g de tortilla horneada comercial
Humedad	5.3	5.8
Proteínas	11	8
Grasa	0.3	1.1
Carbohidratos	81	83
Fibra dietética	2.5	1.7
Minerales	2.4	2.2
Kcal por porción (1 pza de 12 g)	44.5	44.8

Especificaciones

Microbiológicas. La tortilla horneada cumple con las especificaciones microbiológicas que exige la normatividad, ya que presenta menos de 30 coliformes totales (UFC/g), por lo que su consumo no representa riesgo de una enfermedad transmitida por alimentos, es decir es un alimento inocuo. Además, por el tipo de producto y proceso de elaboración se calcula que su vida de anaquel debe ser mayor de 3 meses.

Sensoriales. Las especificaciones sensoriales del producto son de acuerdo como lo marca la normatividad, como se observa en la tabla 5

Cuadro 5: Especificaciones sensoriales de la tortilla horneada

Determinación Producto	Norma
Color Característico	Característico
Olor Libre de olores extraños	Libre de olores extraños
Sabor Libre de sabores extraños	Libre de sabores extraños

CONCLUSIONES

Al concluir con este trabajo fue posible elaborar una tortilla horneada enriquecida de características sensoriales agradables, de alto valor nutritivo y con elementos que hacen de un alimento funcional, es decir ayuden a mejorar la salud.

LITERATURA CITADA

Badui D..S. 2015. Química de los Alimentos. Ed. Pearson Educación. 5ª Ed. México, D.F.

REFERENCIAS INFORMÁTICAS

- Cuadro 1 Cocinando: Tostadas No Son Fritas. Publicado 14 de noviembre de 2013. Dirección URL: <https://www.youtube.com/watch?v=gRhfhc2AUrg>. Fecha de consulta abril 16 de 2017.
- Sloan E. 2014. Top 10 Food Trends. Abril 2011, Revista Food. Tecnología Volumen 65, No.4.
- Aranceta J., Serra L. 2015. Guía de alimentos funcionales. Editado por la Sociedad Española de Nutrición Comunitaria (SENC) Instituto Omega 3. Dirección URL: http://www.fesnad.org/resources/files/Publicaciones/guia_alimentos_funcionales.pdf
- Cámara Nacional del Maíz Industrializado. 2017. Ventas de Gruma suben 24% el último trimestre. Dirección URL: <https://cnmaiz.wordpress.com/?s=horneadas>. Fecha de consulta abril 10 2017.
- Lamas N. M. 2013. La chía un cultivo muy rentable. Dirección URL: <http://eleconomista.com.mx/columnas/agro-negocios/2013/03/19/chia-cultivo-muy-rentable>. Fecha de consulta abril 12 2017.
- Secretaría de Salud, Instituto de Salud Pública. 2015. Estadísticas de cáncer de mama y cáncer servicio uterino. Dirección URL: <http://www.gob.mx/salud/acciones-y-programas/informacion-estadistica>. Fecha de consulta abril 8 2017.
- Secretaría de Salud, Instituto de Salud Pública. 2015. Estadísticas de cáncer de colon y recto. Dirección URL: <https://www.insp.mx/infografias/cancer-colon-recto.html>. Fecha de consulta abril 12 2017.
- Deya C. 2015. 10 beneficios de la avena. Dirección URL: <http://www.salud180.com/nutricion-y-ejercicio/10-beneficios-de-la-avena>. Fecha de consulta: abril 20 2017.

ACTIVIDAD ANTIBACTERIANA DE LA MIEL TABASQUEÑA CONTRA *Escherichia coli* ANTIBACTERIAL ACTIVITY OF TABASCO'S HONEY AGAINST *Escherichia coli*

¹Arias de la Cruz HL, ¹Zaldívar Cruz JM, ²Nila Méndez AG, ²Hernández Domínguez E

¹Colegio de Postgraduados. Campus Tabasco. H. Cárdenas, Tabasco, México.

²Instituto Tecnológico Superior de Acayucan (ITSA). Acayucan, Veracruz, México.

Autor para correspondencia: zaldivar@colpos.mx

RESUMEN

Se han estudiado diferentes cepas bacterianas resistentes a antibióticos, obteniéndose resultados de sensibilidad por parte de la miel. Actualmente se conoce que la efectividad de la miel en aplicaciones médicas, se debe a su amplia actividad antimicrobiana contra diversas bacterias y hongos. Sin embargo, la mayoría de las investigaciones se han llevado a cabo en las mieles de Australia y Nueva Zelanda, y en general existen pocos estudios sobre las mieles europeas. Por ello, es importante realizar investigaciones a las mieles producidas localmente, pues se ha demostrado que estas tienen una buena actividad antibacteriana frente a una amplia gama de patógenos. Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue determinar la Concentración Mínima Inhibitoria (CMI) y la Concentración Mínima Bactericida (CMB) contra *Escherichia coli*. Para ello, se utilizaron los métodos de dilución en agar y dilución en caldo por triplicado usando diluciones de 10 muestras de miel a 75, 37.50, 18.75, 9.38 y 4.69 %, preparado en caldo nutriente. Para los ensayos, la cepa pura de *E. coli* se sembró en caldo nutritivo estéril, se incubó a 37°C en una incubadora shaker orbital a 250 rpm y se realizaron mediciones en el espectrofotómetro a 600 nm cada hora para obtener la densidad óptica (OD), realizar la curva de crecimiento y establecer la CMI y la CMB. Los resultados demuestran que las mieles tabasqueñas analizadas en este estudio presentan en general un efecto antimicrobiano contra *E. Coli* a una concentración de miel de 18.75%, sobresaliendo las muestras 2, 3 y 4, las cuales requieren una CMI y CMB de 9.38%, demostrando que las mieles tabasqueñas, poseen un potencial antibacteriano comparable a nivel internacional.

Palabras clave: CMB, CMI, Dilución en caldo, Dilución en agar

INTRODUCCION

Escherichia coli es la principal causa de infecciones del tracto urinario y uno de los patógenos más comunes que causan infecciones en la corriente sanguínea, entre otras infecciones (Martelius *et al.*, 2015). La capacidad de las bacterias para adaptarse y hacerse resistentes a los antibióticos ha sido reconocida por la comunidad científica desde hace muchas décadas. *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* y *Salmonella entérica* son sólo algunos de los patógenos nosocomiales con aumento de la resistencia a los antimicrobianos (RAM) que causan infecciones difíciles de tratar causando gran preocupación tanto en los países desarrollados como en los países en desarrollo (Da Silva y Mendonça, 2012). Para abordar el problema de la resistencia bacteriana en el corto plazo, los investigadores, han tomado uno de dos enfoques: 1) se recombinan formulaciones antimicrobianas para producir nuevas combinaciones existentes; 2) la investigación de terapias alternativas, como es el caso de la apiterapia, que ofrece tratamientos a base de miel y otros productos de la colmena contra muchas enfermedades que incluyen infecciones bacterianas (Mandal y Mandal, 2011).

La miel ha tenido gran importancia a nivel mundial, debido a que se ha utilizado para el tratamiento de heridas de la piel, quemaduras, úlceras, infecciones oculares, dolor de garganta. También es utilizada como alimento por su alto valor nutritivo, por los efectos sobre la salud humana y sus propiedades antioxidantes, bacteriostáticas, antiinflamatorias y antimicrobianas. Las propiedades medicinales de la miel se deben a que mantiene un estado húmedo en la herida, su alta viscosidad ayuda a proporcionar una barrera protectora para prevenir la infección, la producción enzimática del peróxido de hidrógeno, su alta osmolaridad, y su bajo nivel de pH (3.2-4.5), lo suficiente para impedir el crecimiento de bacterias patógenas (Mandal y Mandal, 2011).

Se han estudiado diferentes cepas bacterianas resistentes a antibióticos, obteniéndose resultados de sensibilidad por parte de la miel; por otro lado, ésta ha sido utilizada en el tratamiento de heridas que no responden a los antibióticos convencionales, con buenos resultados. Actualmente se conoce que la efectividad de la miel en aplicaciones médicas, se debe a su amplia actividad antimicrobiana contra diversas bacterias y hongos, sin dejar de lado su capacidad de estimular la producción de citoquinas

en los monocitos (Estrada *et al.*, 2005). También han encontrado que la miel natural sin calefacción tiene amplio espectro en la actividad antibacteriana cuando se probó contra bacterias patógenas. Sin embargo, la mayoría de las investigaciones se han llevado a cabo en las mieles de Australia y Nueva Zelanda, y en general existen pocos estudios sobre las mieles europeas (Khalil *et al.*, 2014).

Es importante que la investigación continúe no sólo en aquellas mieles reconocidas como antibacterianas, sino también en otras producidas localmente. Se ha demostrado que las mieles producidas localmente tienen una buena actividad antibacteriana frente a una amplia gama de posibles patógenos humanos (Lusby *et al.*, 2005).

La determinación de la Concentración Mínima Inhibidora (CMI) es la medida de la sensibilidad de una bacteria a un antibiótico. Es la mínima cantidad de antimicrobiano que es capaz de impedir el crecimiento de un microorganismo en unas condiciones normales. La Concentración mínima bactericida (CMB) es la concentración mínima de miel donde el microorganismo no creció en placas de agar después de la incubación (Ramirez y Marin, 2009). Para llevarlo a cabo es necesario utilizar cepas control con el fin de que los resultados sean reproducibles y comparables. Este método ofrece información sobre la sensibilidad de las bacterias: S (sensible), si existe una buena probabilidad de éxito terapéutico en el caso de un tratamiento a la dosis habitual; I (intermedia), cuando el éxito terapéutico es imprevisible; y R (resistente), si la probabilidad de éxito terapéutico es nula o muy reducida (Taroco *et al.*, 2006).

Los métodos para evaluar la actividad antibacteriana están clasificados, en tres grupos principales: Métodos de Difusión (Disco placa y E-test); Métodos de dilución (Medio sólido y líquido (micro/macro dilución); y Bioautografía (Mecanizados y Automatizados) (Ramirez y Marin, 2009). Debido a que, en el Estado de Tabasco, se han identificado algunas zonas con potencial apícola y que la miel ha sido utilizada en la práctica médica desde la antigüedad, se realizó esta investigación para determinar las propiedades antibacterianas de la miel tabasqueña contra *Escherichia coli* y de esa forma darle valor agregado a la misma.

MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación se llevó a cabo en la Unidad de Investigación en Biotecnología Vegetal (UNIBVE) del Instituto Tecnológico Superior de Acayucan (ITSA) en Acayucan, Veracruz. Se consideraron para su estudio 10 mieles, procedentes de distintos apiarios de los siguientes municipios de Tabasco: 4 de Huimanguillo, 3 de Comalcalco, 2 de Centro y 1 de Balancán. Las muestras se almacenaron hasta su análisis a temperatura ambiente

Los ensayos de CMI y CMB se desarrollaron por triplicado usando diluciones de miel a 75, 37.50, 18.75, 9.38 y 4.69 %, preparado en caldo nutriente, adecuando la metodología empleada por Osés *et al.*, (2016).

Siembra de *E. coli*

Para los ensayos, la cepa pura de *E. coli* se sembró en caldo nutritivo estéril, se incubó a 37 °C en una incubadora shaker orbital a 250 rpm y se realizaron mediciones en el espectrofotómetro a 600 nm cada hora para obtener la densidad óptica (OD) y realizar la curva de crecimiento de dicha cepa (Figura 1), para obtener un cultivo en fase estacionaria temprana (0.5 a 0.7 OD) (Fangio *et al.*, 2007).

Concentración Mínima Inhibitoria (CMI) por el método de dilución en agar

Se tomaron 5 tubos que contenían 10 mL de caldo nutritivo estéril, se utilizaron para cada muestra de miel con el fin de realizar sucesivas diluciones para obtener concentraciones finales de 75, 37.50, 18.75, 9.38 y 4.69 %. Se tomaron 10 mL de cada dilución de la miel y se añadieron a 10 mL de agar nutritivo líquido estéril a 50 °C. Esta mezcla se homogeneizó con un Vortex, se vertió en placas y después se dejó solidificar el agar. Se añadió 100 µL de *E. coli* a cada placa. Se utilizó una placa con medio agar nutritivo sin miel inoculada (control positivo) y una placa que contenía medio agar nutritivo con 15 µg/mL de Amoxicilina-ácido clavulánico (control negativo) con tres repeticiones cada una. Las placas se incubaron a 37 °C durante 24 h (Osés *et al.*, 2016).

Concentración Mínima Inhibitoria (CMI) por el método de dilución en caldo

Se utilizaron tubos falcón que contenían 20 mL de cada una de las concentraciones de miel (75, 37.50, 18.75, 9.38 y 4.69 %) y se inoculó con 100 µL del microorganismo (tres réplicas por dilución). Los tubos de control de cada una de las concentraciones de la miel se realizaron añadiendo 20 mL de medio de cultivo caldo nutritivo y 100 µL del microorganismo (control positivo) y 20 mL de medio caldo nutritivo con 15 µg/mL de Amoxicilina-ácido clavulánico y 100 µL del microorganismo (control

negativo). Los tubos se incubaron a 37°C durante seis horas, cada hora se tomó un mL y se midió la OD a 600 nm. Se registraron tanto el crecimiento y la CMI (Osés *et al.*, 2016).

Concentración Mínima Bactericida (CMB)

A continuación, se tomaron 100 μL de cada tubo en el que el crecimiento bacteriano se inhibió, se sembraron en agar nutritivo y se incubaron durante toda la noche a 37 °C con el fin de investigar si la actividad antibacteriana de las muestras de miel fue bacteriostático o bactericida. La Concentración mínima bactericida (CMB) se determinó como la concentración mínima de miel donde el microorganismo no creció en placas de agar después de 24 horas a 37 °C de incubación. Se consideraron las placas con el crecimiento de colonias visibles para exhibir actividades bacteriostáticas, mientras que aquellas con ningún crecimiento se registraron exhibiendo actividades bactericidas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Curva de crecimiento de *E. coli*

Mediante el ensayo por dilución en caldo, se logró establecer la curva de crecimiento de la cepa de *Escherichia coli*, la cual se observa en la Figura 1, donde la fase de crecimiento ocurre en las primera cinco horas de incubación a 37°C, y a partir de las cinco horas de incubación se presenta la fase estacionaria. Con estos datos se pudo determinar la fase estacionaria temprana (0.5 a 0.7 OD), equivalente a una concentración de bacterias de 10^8 células/mL, aproximadamente a las 2 horas con 30 minutos de incubación (Fangio *et al.*, 2007).

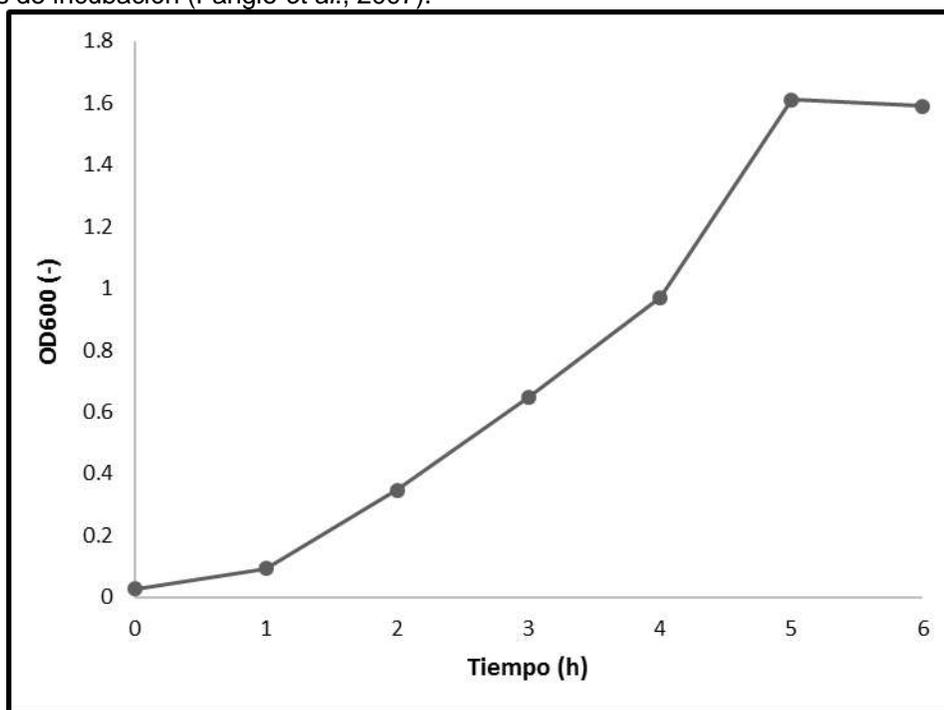


Figura 1. Curva de crecimiento de *Escherichia coli*

CMI

Para todas las muestras de miel probadas, hubo una inhibición total del crecimiento de *E. coli* en la concentración más alta (75%) tanto por dilución en agar y dilución en caldo. La mitad de las muestras presentaron actividad antibacteriana a una concentración de 18.75%. Tres de las muestras de miel causaron una disminución en el crecimiento bacteriano a una concentración de 37.50%. Sin embargo, también se encontró CMI a 9.38% para tres de las muestras. Un efecto contrario fue evidente cuando se realizó una prueba con miel a una concentración de 4.69% donde las 10 muestras de miel presentaron crecimiento microbiano (Figura 2). Estos resultados demuestran que las mieles tabasqueñas tienen mayor efecto antimicrobiano ante *E. coli*, en comparación con las mieles de Portugal reportadas por Oliveira *et al.*, (2017) donde indican una CMI de 25% contra *E. coli* en las primeras 6 horas de incubación y las mieles de Ulmo y Manuka reportadas por Sherlock *et al.*, (2010)

indicando que estas mieles inhiben el crecimiento de *E. coli* a una concentración de 12.5%. Los métodos empleados (dilución en agar y dilución en caldo) obtuvieron resultados similares. Debemos recalcar que el método de dilución en caldo es de menor costo que la dilución en agar, ya que se necesita menos material y proporciona la concentración bactericida mínima, proporcionando adicionalmente el comportamiento del microorganismo a través de la curva de crecimiento.

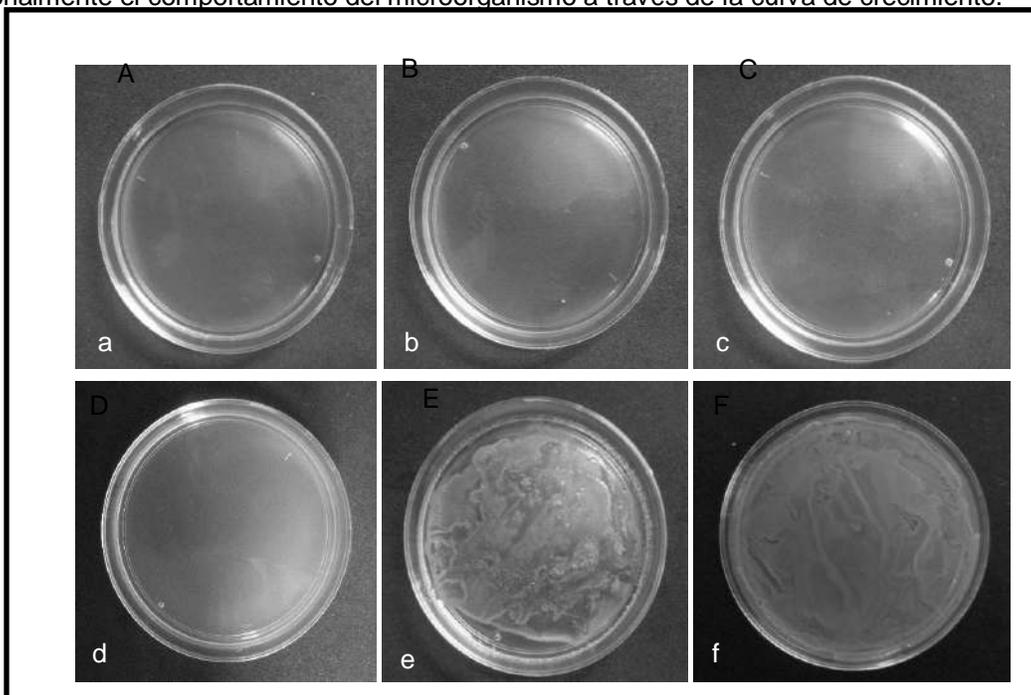


Figura 2. Crecimiento microbiano en placas de Petri a diferentes concentraciones de miel de la muestra 2. A) 75%. B) 37.5%. C) 18.75%. D) 9.38%. E) 4.69%. F) Control positivo.

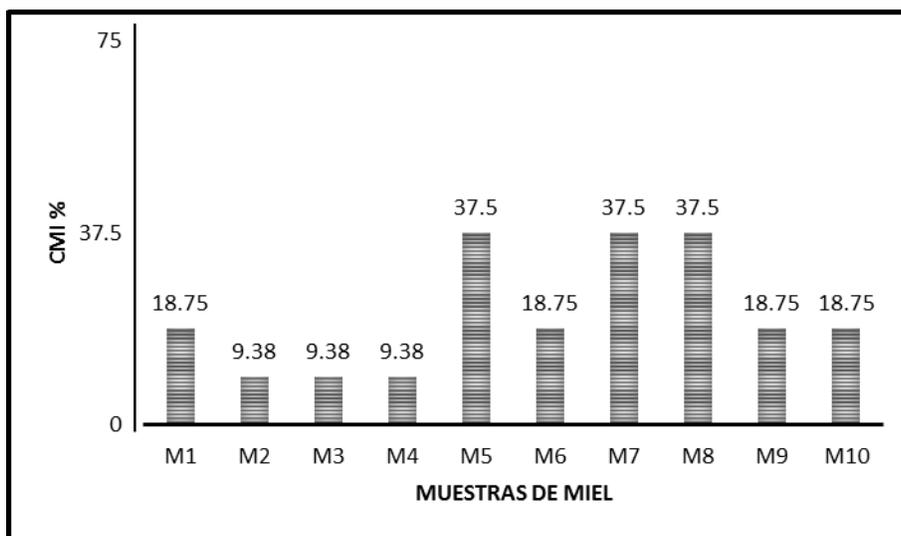


Figura 3. Concentración mínima inhibitoria de las 10 muestras de miel evaluadas.

CMB

Se logró determinar que la actividad antibacteriana de las muestras de miel fue bactericida, es decir, que no se presentó ningún crecimiento de colonias en placas de agar después de 24 horas a 37 °C de incubación. Por lo tanto, la CMB fue exactamente igual a la CMI (Cuadro 1), para no repetir los datos en el cuadro, se describió como efecto bactericida, similar a lo reportado por Sherlock *et al.* (2010) indicando que las mieles de Ulmo y Manuka presentan CMB a una concentración de 12.5% igual que

la CMI. La muestra 2 y 3 presentaron los mejores resultados en cuanto a la concentración mínima inhibitoria se refiere, sin embargo, en la concentración 4.69% hubo crecimiento bacteriano para todas las muestras de miel, observándose que las UFC/mL demuestran que en la muestra 9 y 6 hay una disminución en la población de microorganismo con respecto al resto de las muestras (cuadro 1).

Cuadro1: Concentración mínima bactericida expresada en UFC/mL a diferentes concentraciones de miel

Muestra	Concentración de miel %	UFC/mL	Efecto bactericida
1. Balancán	75	0	SI
	37.5	0	
	18.75	0	
	9.38	2.0×10^7	
	4.69	7.15×10^8	
2. Centro	75	0	SI
	37.5	0	
	18.75	0	
	9.38	0	
	4.69	3.18×10^8	
3. Huimanguillo	75	0	SI
	37.5	0	
	18.75	0	
	9.38	0	
	4.69	3.18×10^8	
4. Huimanguillo	75	0	SI
	37.5	0	
	18.75	0	
	9.38	0	
	4.69	4.5×10^8	
5. Huimanguillo	75	0	SI
	37.5	0	
	18.75	0	
	9.38	2.0×10^7	
	4.69	1.98×10^8	
6. Huimanguillo	75	0	SI
	37.5	0	
	18.75	5.6×10^6	
	9.38	1.92×10^7	
	4.69	3.92×10^7	
7. Centro	75	0	SI
	37.5	0	
	18.75	0	
	9.38	1.6×10^6	
	4.69	6.03×10^8	
8. Comalcalco	75	0	SI
	37.5	0	
	18.75	8.24×10^7	
	9.38	1.46×10^8	
	4.69	1.93×10^8	
9. Comalcalco	75	0	SI
	37.5	0	
	18.75	1.6×10^6	
	9.38	2.96×10^6	
	4.69	1.68×10^7	
10. Comalcalco	75	0	SI
	37.5	0	
	18.75	0	
	9.38	1.6×10^7	
	4.69	6.4×10^7	

CONCLUSIONES

Los resultados demuestran que las mieles tabasqueñas analizadas en este estudio presentan en general un efecto antimicrobiano contra *E. Coli* a una concentración de miel de 37.5 %, partiendo de esto, cuatro de las muestras requieren una concentración de miel de 18.75 % para inhibir a *E. coli*, sobresaliendo las muestras 2, 3 y 4, las cuales requieren una CMI y CMB de 9.38 % empleando los métodos de dilución en agar y dilución en caldo. Por lo tanto, las mieles recolectadas en los municipios de Huimanguillo y Centro poseen propiedades antibacterianas y bactericidas sobre *E. coli*, demostrando que las mieles tabasqueñas, poseen un potencial antibacteriano similar o superior a las mieles de Portugal, Nueva Zelanda y Chile.

AGRADECIMIENTOS

Heydi Lorena Arias de la Cruz, alumna de la maestría en ciencias en el PROPAT, becaria de CONACYT (813762/619177), agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico otorgado para la realización de este proyecto de investigación y al Instituto Tecnológico Superior de Acayucan (ITSA), por las facilidades prestadas para poder realizar la fase experimental del proyecto en la Unidad de Investigación en Biotecnología Vegetal (UNIBVE).

LITERATURA CITADA

- Da Silva, G. J., & Mendonça, N. 2012. Association between antimicrobial resistance and virulence in *Escherichia coli*. *Virulence*, 3(1), 18-28.
- Estrada, H., del Mar Gamboa, M., Chaves, C., y Arias, M. L. 2005. Evaluación de la actividad antimicrobiana de la miel de abeja contra *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli*, *Salmonella enteritidis*, *Listeria monocytogenes* y *Aspergillus niger*. Evaluación de su carga microbiológica. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 55(2): 167-171.
- Fangio, M. F., Iurlina, M. O., & Fritz, R. 2007. Actividad antimicrobiana de mieles del sudeste de la provincia de Buenos Aires frente a *Escherichia coli*. *Revista Argentina de microbiología*, 39(2), 102-123.
- Khalil, A. T., Khan, I., Ahmad, K., Khan, Y. A., Khan, J., & Shinwari, Z. K. 2014. Antibacterial activity of honey in north-west Pakistan against select human pathogens. *Journal of Traditional Chinese Medicine*, 34(1): 86-89.
- Lusby, P. E., Coombes, A. L., and Wilkinson, J. M. 2005. Bactericidal activity of different honeys against pathogenic bacteria. *Archives of Medical Research*, 36(5): 464-467.
- Mandal, M. D., & Mandal, S. 2011. Honey: its medicinal property and antibacterial activity. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 1(2): 154-160.
- Martelius, T., Jalava, J., Kärki, T., Möttönen, T., Ollgren, J., Lyytikäinen, O., & Hospital Infection Surveillance team. 2016. Nosocomial bloodstream infections caused by *Escherichia coli* and *Klebsiella pneumoniae* resistant to third-generation cephalosporins, Finland, 1999–2013: trends, patient characteristics and mortality. *Infectious Diseases*, 48(3), 229-234.
- Oliveira, A., Ribeiro, H. G., Silva, A. C., Silva, M. D., Sousa, J. C., Rodrigues, C. F., Melo, L. D. R., Henriques, A. F., & Sillankorva, S. 2017. Synergistic antimicrobial interaction between honey and phage against *Escherichia coli* biofilms. *Frontiers in microbiology*, 8, 2407.
- Osés, S. M., Pascual-Maté, A., de la Fuente, D., de Pablo, A., Fernández-Muiño, M. A., & Sancho, M. T. 2016. Comparison of methods to determine antibacterial activity of honeys against *Staphylococcus aureus*. *NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences*, 78(1): 29-33.
- Ramirez, L. S., y Marin, C. D. 2009. Metodologías para evaluar in vitro la actividad antibacteriana de compuestos de origen vegetal. *Scientia Et Technica*. 15(42): 263-268.
- Sherlock, O., Dolan, A., Athman, R., Power, A., Gethin, G., Cowman, S., & Humphreys, H. 2010. Comparison of the antimicrobial activity of Ulmo honey from Chile and Manuka honey against methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* and *Pseudomonas aeruginosa*. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 10(1), 47.
- Taroco, R., Seija, V., & Vignoli, R. 2006. Métodos de estudio de la sensibilidad antibiótica. *Temas de Bacteriología y Virología Médica, Oficina del libro FEFMUR, Uruguay*, 36(1): 665-668.

EVALUACIÓN SENSORIAL DE GALLETAS ELABORADAS CON HOJAS DE *Stevia rebaudiana*
SENSORIAL EVALUATION OF COOKIES PRODUCED WITH *Stevia rebaudiana* LEAVES

Murguía Olmedo MdelaL, Moguel Ordóñez YB

^{1,2} Campo Experimental Mocochoá, antigua carretera Mérida-Motul Km. 24.5, Mocochoá, Yucatán.
CP 97454.

Autor para correspondencia: murguia.maria@inifap.gob.mx

RESUMEN

Son pocos los productos alimenticios elaborados con hojas de *S. rebaudiana*, ya que su uso aporta un sabor amargo característico de esta planta. Debido a esto, el objetivo de este trabajo fue evaluar la aceptación de dos galletas elaboradas con hojas de *S. rebaudiana* con el fin de obtener un producto natural, sin azúcar añadida y bajo en calorías. Se elaboró una galleta dulce con avena y una galleta integral tipo “palitos”. Se evaluaron sensorialmente a través de un panel de jueces no entrenados, a través de una escala hedónica estructurada con siete puntos. Se incorporó en la evaluación, hoja seca de estevia para conocer su nivel de aceptación entre la gente. Los resultados se analizaron estadísticamente utilizando el programa SAS ver 9.0. Los resultados indicaron que tanto la hoja seca, la galleta dulce con avena y la galleta integral tipo “palitos” tuvieron buena aceptación entre los panelistas, presentando un nivel de aceptación de 6 clasificada como “Me gusta”. La hoja seca tuvo una mayor aceptación en el grupo de edad del rango de 21-30 años, la galleta integral tipo “palito” entre los panelistas de 31 – 40 años y la galleta dulce con avena abarcó más rangos de edades siendo estas de 21-30 años, 31-40 años, 41-50 años y 51 a 60 años, estando por arriba del 20 % de aceptación. No existieron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre el nivel de aceptación de los productos y el sexo de los panelistas. Solo hubo diferencias significativas de aceptación entre la hoja seca y galleta dulce de avena, no así entre la galleta integral tipo “palito”. Se concluye que los dos tipos de galletas tuvieron una buena aceptación entre los panelistas, con lo cual, se puede ofrecer un producto de alto consumo en México, con propiedades que beneficiaría la salud de los consumidores.

Palabras Clave: pruebas de aceptación, nutrición, estevia.

INTRODUCCIÓN

Actualmente un alto porcentaje de la población mundial presenta problemas de mala nutrición, la cual puede estar provocada por un desbalance en la ingesta de alimentos, ya sea por una carencia o un exceso, provocando daños a la salud. Para mantener el cuerpo sano, se debe proveer de diferentes nutrientes entre los cuales se encuentran los carbohidratos; estos proporcionan energía y deben representar entre el 50-60% de la ingesta diaria. Las galletas son un alimento que aporta nutrientes diferentes según cada variedad. Sus principales componentes son los carbohidratos, proteínas y grasas, lo que las convierte en un alimento ideal para una dieta equilibrada y saludable; sin embargo, existen formulaciones con altos contenidos de azúcar y grasa, las cuales aún en porciones pequeñas, rebasan los requerimientos de ingesta diaria de energía, provocando obesidad en gente adulta y niños, lo que lleva a otro tipo de afectaciones como lo es la diabetes, hipertensión y dislipidemias.

Las galletas son productos alimenticios que ofrecen una variedad de opciones, lo que explica la alta aceptación y consumo. El 97% de las familias mexicanas compra galletas, debido a que la oferta es cada vez más variada y responde a los diversos momentos de consumo que se tienen a lo largo del día o de la semana. Poder proporcionar opciones de este alimento con bajos contenidos de azúcares, contribuiría a evitar el alto consumo de azúcares en la población mexicana.

Actualmente existen edulcorantes no calóricos artificiales que son utilizados como aditivos para los alimentos; no obstante, se les han atribuido efectos cancerígenos y tóxicos por su consumo o por los compuestos derivados de su metabolismo. La *Stevia rebaudiana* representa una alternativa natural para endulzar los alimentos, siendo el estudio y desarrollo de productos una parte importante en el desarrollo de tecnología de estevia en México, para poder ofrecer a la sociedad productos sanos e inocuos. La *S rebaudiana* posee un gran poder edulcorante sin aporte de calorías, y su intenso y marcado sabor dulce se debe principalmente a la presencia de glucósidos denominados de forma genérica como “esteviósidos”, los cuales se ha encontrado que son entre 250 y 300 veces más dulces que la sacarosa con la ventaja de que no aportan calorías (Ramírez et al., 2011).

Los productos de estevia se comercializan como suplementos dietéticos y son vendidos en forma de píldora, polvo, líquido y té herbario. Estos productos no purificados contienen cantidades importantes de los compuestos originales presentes en las hojas como carotenos y vitamina A. Los cristales purificados se utilizan como sustituto del azúcar en alimentos y bebidas dulces, con el fin que sean menos energéticas y se adapten a dietas de control de azúcares, como las recomendadas en caso de obesidad, diabetes, dislipidemias y caries dentales (Carrera et al., 2017).

Existen diversos productos alimenticios elaborados con los cristales purificados, pero son pocos los productos elaborados con las hojas ya que el uso de las hojas aporta un sabor amargo característico de la estevia. Debido a esto, el objetivo de este trabajo fue evaluar la aceptación de dos galletas elaboradas con hojas de *S. rebaudiana* con el fin de obtener un producto natural, sin azúcar añadida y bajo en calorías.

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención de *S. rebaudiana*

Se obtuvieron hojas de *S. rebaudiana* Bertoni de una variedad criolla en una parcela establecida en el municipio de Muna Yucatán. A los 3 meses de establecida la plantación, se realizó el primer corte utilizando tijeras de acero inoxidable y recolectando las ramas en contenedores de plástico previamente sanitizados. Las ramas fueron secadas durante 24 h en una estufa de aire forzado a una temperatura de $50^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$. Concluido el secado, se eliminaron los tallos y las hojas fueron molidas en un molino Cyclotec hasta obtener un tamaño de partícula igual o menor a malla 20. Las muestras molidas se almacenaron en bolsas de polietileno a temperatura ambiente hasta su uso.

Formulación y desarrollo de productos alimenticios.

Se realizaron formulaciones y desarrollaron dos tipos de galletas; galleta dulce con avena y galleta integral (tipo palitos). La cantidad de hoja de estevia incorporada en los productos se calcularon con base al poder edulcorante reportado para las hojas de estevia comparado con la sacarosa.

Galleta dulce con avena. Los ingredientes base fueron; harina de trigo, hojuelas de avena molidas, mantequilla, huevo, arándanos en trocitos, hojas de estevia molida y agua. Procedimiento de elaboración: Los ingredientes secos se mezclaron, y posteriormente se adicionó la mantequilla fría hasta formar una masa con textura arenosa. Se adicionaron los huevos y agua para formar una masa uniforme y se dejó reposar por 30 min en refrigeración. La masa se extendió con la ayuda de un rodillo hasta obtener un grosor de 0.5 cm, se cortaron y extendieron en una charola previamente engrasada. Se dejaron hornear a 170°C durante 20 min. Las galletas se dejaron enfriar y posteriormente se colocaron en bolsas de plástico resellables y se almacenaron en un lugar fresco y seco.

Galletas integrales tipo “palitos”. Los ingredientes fueron; harina de trigo integral, hojuelas de avena molidas, levadura en polvo, aceite de maíz, almendras o nueces y hojas de estevia molidas. Procedimiento de elaboración: Se mezclaron todos los ingredientes en una batidora y se dejó trabajar durante 10 min hasta que se formó una masa elástica. Se dejó fermentar a una temperatura de 30°C durante 15 min, hasta que la masa duplicó su tamaño. Con la ayuda de un rodillo se aplanó, se cortaron pequeñas porciones, y con las manos, se extendieron hasta formar pequeños bastones de 1 cm de diámetro y 5 cm de largo. Se dejaron hornear a 170°C durante 25 min hasta que los palitos estuvieron firmes y dorados. Las galletas frías se colocaron en bolsas de plástico resellables y se almacenaron en un lugar fresco y seco.

Evaluación Sensorial

La evaluación sensorial es una herramienta importante para conocer la aceptación de algún producto. Las características sensoriales, juegan un papel importante para determinar las condiciones adecuadas de aceptación de un alimento (Hough y Fiszman, 2005).

La metodología que se empleó para evaluar sensorialmente los productos alimenticios elaborados con hojas de estevia fue a través de un panel de jueces no entrenados, los cuales señalaron el nivel de agrado o desagrado por medio de una escala hedónica, estructurada con siete puntos. Esta escala contenía un punto intermedio (el cuatro) con la finalidad de proporcionarle a cada juez un punto de indiferencia en los productos en cuestión. Los puntos superiores al cuatro indicarán agrado; me gusta poco (5), mucho (6) y muchísimo (7); los puntos inferiores de cuatro indicarán desagrado, me disgusta poco (3), mucho (2) y muchísimo (1). A cada juez se le proporcionaron los productos alimenticios formulados con las hojas de estevia con la cual emitieron su opinión.

Debido a que pocas personas realmente conocen el sabor de las hojas de estevia, se incorporó la evaluación de la hoja para que los jueces evaluaran y emitieran su nivel de agrado o desagrado.

Los datos se analizaron en primera instancia por estadística descriptiva, mediante gráficos, donde se muestran los porcentajes de aceptación por producto y por rango de edades, posteriormente los datos fueron tabulados y procesados utilizando el programa “Statistical Analysis System” (SAS ver 9.0). El análisis realizado fue un ANDEVA y para comparación de medias se utilizó la prueba de Duncan, evaluando siete niveles de aceptación y tres productos ofrecidos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La prueba de aceptación indicaba que se trabajaría con un panel de 80 jueces no entrenados, pero se obtuvo una participación un total de 250 panelistas que robusteció la prueba. El rango de edad de los panelistas estuvo entre los 19 a 70 años, siendo 152 hombres y 98 mujeres, con un promedio de edad de 43 y 38 años para hombres y mujeres respectivamente. El resultado general del nivel de aceptación fue de 6 clasificada como “Me gusta” en la escala hedónica.

Aceptación de hojas de estevia. Dentro de la evaluación sensorial, lo primero que se le dio a probar a los jueces fue la hoja de estevia, ya que no existe algún dato de la percepción de las personas al sabor característico de la estevia en su sabor original, también de esta manera se familiarizaran con el sabor. Los resultados de aceptación se presentan en la Figura 1.

Se puede observar que los mayores porcentajes de aceptación se encuentran entre los niveles de “Me gusta”, desde ligeramente hasta mucho, que equivaldrían al 5,6 y 7 de la escala hedónica con un porcentaje de aceptación de general de esos tres niveles del 95.1%, un valor muy elevado.

Por grupos de edades, se observó que el porcentaje de aceptación mayor está en el grupo de 21 a 30 años, con un 29.5 %. Esto podría deberse a que actualmente existe una preocupación entre gente joven de cuidar su salud, su peso y por lo tanto su alimentación consumiendo alimentos naturales; otro grupo con porcentaje de aceptación elevado fueron los grupos de edad de 41-50 y 51-60, los cuales la aceptación sería más por motivos de salud y obtener los beneficios que se le atribuyen a las hojas de estevia, como son sus propiedades nutraceuticas (Figura 2).



Figura 1. Porcentaje de aceptación de la hoja seca de *Stevia rebaudiana* Bertoni

Aceptación de la galleta dulce con avena. En cuanto al producto “Galleta dulce con avena”, como se observa en la Figura 3, los niveles de aceptación tuvieron su mayor porcentaje en la escala de “Me gusta mucho” y “Me gusta” equivalente los puntos al 7 y 6 de la escala hedónica. Entre los comentarios realizados por los panelistas, se indicó que la galleta tenía un buen sabor, consistencia agradable y muy similar a las elaboradas con azúcar. Esto llevó a que el producto tuviera un porcentaje de aceptación entre la escala 6 y 7, de un 79.2%.

En lo referente al valor de aceptación de la galleta dulce por grupo de edades de los panelistas, se encontró que los grupos de 21-30 años, 31-40 años, 41-50 años y 51 a 60 años, estuvieron por arriba del 20 % de aceptación y con un valor de aceptación arriba del 6 en la escala hedónica y equivale a “Me gusta mucho” (Figura 4). Este producto abarca más grupos de edades quizás debido a que las

galletas son productos alimenticios de alta aceptación por las familias mexicanas, y por lo tanto con un potencial para introducirlas dentro del público consumidor.

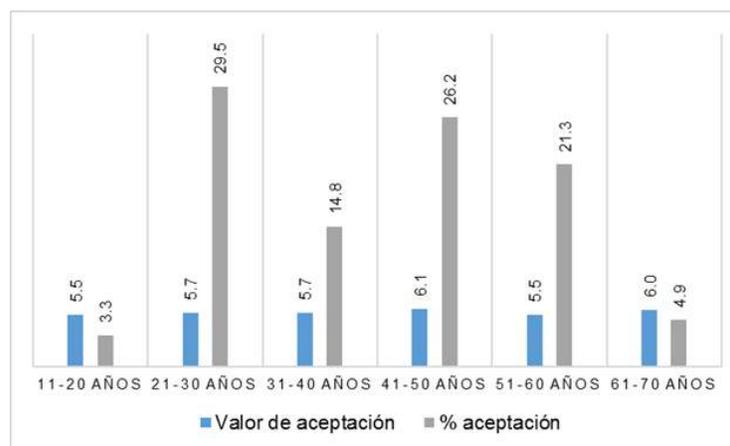


Figura 2. Valor de aceptación y porcentaje de aceptación por grupos de edades de la hoja seca de *Stevia rebaudiana* Bertoni.



Figura 3. Porcentaje de aceptación de la galleta dulce con avena y *S. rebaudiana*

Galletas integrales tipo “palitos”. En cuanto a la galleta integral (tipo palito), se observó que la tendencia en los niveles de aceptación fue hacia “Me gusta” y “Me gusta mucho” con 53.1% y 23.4% de aceptación de los panelistas respectivamente. Entre los comentarios que hicieron fueron que tenía un sabor agradable y muy similar a los elaborados con azúcar (Figura 5). Con relación a la preferencia de las galletas entre hombres y mujeres, se observó que el 49.0 % las mujeres panelista ubicaron a las galletas en la escala de “Me gusta mucho”, en tanto, el 39.5% de los varones la clasificaron en esta escala, indicando una mayor preferencia de las mujeres a la galleta dulce.

El grupo de edad con mayor porcentaje de aceptación fueron de 31-40 años, con un 29.7% de aceptación; lo cual pudiera ser debido a que este producto integral fue más atractivo este grupo de edad, que está entrando a la edad adulta, se empiezan a preocupar y a cuidar su peso y la salud (Figura 6).

En cuanto a las diferencias en aceptación entre los productos evaluados, no se encontraron diferencias significativas entre el nivel de aceptación por sexo, siendo en promedio 5.9 ± 0.95 para hombre y 6.1 ± 0.90 para mujeres, en una escala de aceptación de 7, con relación a los productos ofrecidos.

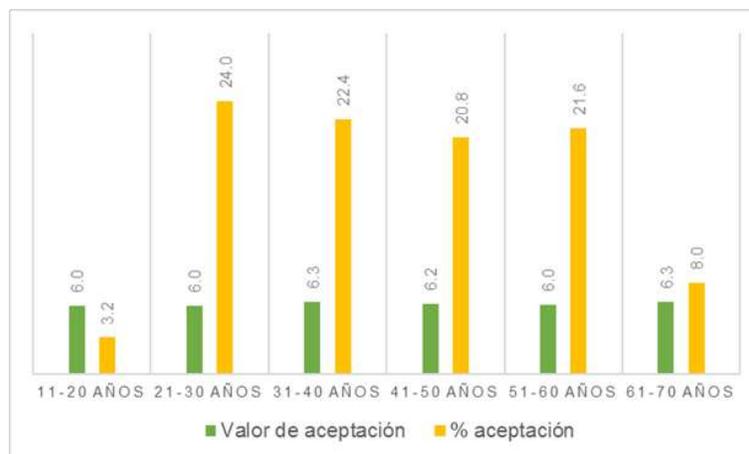


Figura 4. Valor de aceptación y porcentaje de aceptación por grupos de edades de la galleta dulce con avena y *S. rebaudiana*.



Figura 5. Porcentajes de aceptación de la galleta integral (tipo palitos) con *S. rebaudiana*

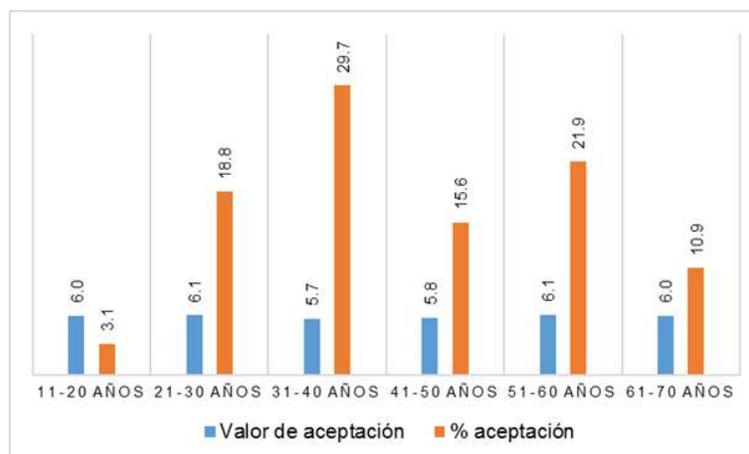


Figura 6. Valor de aceptación y porcentaje de aceptación por grupos de edades de la galleta integral (tipo palito) con *S. rebaudiana*

Sin embargo, se encontraron diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$) en la aceptación entre la hoja seca y galleta dulce de avena, no así entre la galleta integral (palito) y estarían en el nivel 6 de aceptación en la escala hedónica, que equivale a me gusta mucho, como lo muestra el Cuadro 1.

Cuadro 1: Nivel de aceptación entre la hoja seca y las galleta elaboradas con hojas molidas de *S. rebaudiana*.

Número de panelistas	PRODUCTO	NIVEL DE ACEPTACIÓN
61	Hoja de <i>S. rebaudiana</i> (seca)	5.7 ±0.825 ^b
125	Galleta dulce con avena	6.1 ±0.953 ^a
64	Galleta integral tipo “palito”	5.9 ±0.814 ^{ab}

Distintas literales indican diferencia estadística entre renglones de cada variable (P<0.05)

El menor nivel de aceptación de la hoja seca comparado con las galletas puede deberse a que no fue muy apetecible para los panelistas, ya que al consumirla directamente se percibe muy dulce y deja un resabio amargo, no así la estevia ya está incorporada y dosificada en los otros productos ofrecidos.

Las galletas fueron iguales entre ellas con una aceptación considerada como buena, lo cual es semejante a otros productos alimenticios elaborados estevia. Grupos de investigadores han realizado productos alimenticios como dulces y panes encontrando resultados diversos. Aranda *et al.*, (2015) reportaron un nivel de aceptación de 8 (en una escala de 10) en dulces tipo gomitas elaborados con extractos de hojas de estevia; sin embargo, contrasta con los trabajos de Ruiz *et al.*, (2015) el cual sustituyó hasta un 50% de azúcar en panes, encontrando un menor nivel de aceptación que los encontrados en las galletas, ya que la sumatoria de las escalas 6 “Me gusta” y 7 “Me gusta mucho” en los panes, fue 46.24% mucho más bajo que lo encontrados en las galletas que fueron 79.2 % y 76.5% para la galleta dulce de avena y la galleta integral tipo “palito” respectivamente.

Las galletas elaboradas con las hojas secas molidas de estevia, permite puede ofrecer al público consumidor un producto íntegro y natural, sin edulcorantes artificiales. Existen en el mercado diversas versiones de productos alimenticios con estevia; sin embargo, la mayoría utilizan los cristales purificados perdiendo las propiedades benéficas a la salud que aportan los otros constituyentes de la hoja, como los fitoquímicos que proporcionan diversas propiedades nutraceuticas. Muchos consumidores de esta planta defienden que éste es el único modo de consumir el producto con todas sus propiedades y con el menor impacto ambiental.

CONCLUSIONES

Las galletas elaboradas con hojas de estevia molidas tuvieron una alta aceptación entre los panelistas no percibiéndose el resabio amargo de la hoja, lo cual es característico de la estevia. Esto permitirá utilizar la hoja entera en productos de alto consumo en México y que serían bien aceptados en un rango amplio de edades desde gente joven hasta personas adultas, contribuyendo a ofrecer en el mercado productos con bajo contenido de azúcares, reducir las calorías y obtener las ventajas de los componentes bioactivos de la estevia lo cual aporta propiedades nutraceuticas importantes para mantener una buena salud de los consumidores.

LITERATURA CITADA

- Aranda G.I, Tamayo D.O., Barbosa M.O., Segura C.M., Moguel O.Y. y Betancur A.D. Desarrollo de una golosina tipo “gomita” reducida en calorías mediante la sustitución de azúcares con *Stevia rebaudiana* B Nutr Hosp. 2015;31(1):334-340
- Carrera L. A., Moguel O.Y. and Segura C.M. 2017. *Stevia rebaudiana* Bertoni: A Natural Alternative for Treating Diseases Associated with Metabolic Syndrome. J. of Medicinal Food.20(10):933-943.
- Hough,G y Fiszman S. 2005. Estimación de la vida sensorial de los alimentos. Primera edición. Editorial Programa CYTED, España 2005. Pp:13-23.
- Ramírez J. G., Avilés B, W., Moguel O.Y., Góngora G, S., May L, C., 2011. Aportaciones al Conocimiento del Cultivo de Estevia *Stevia rebaudiana* Bertoni, en México. Publicación Especial. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Sureste. Mérida, Yucatán. 86 p.
- Ruiz R.J., Moguel O.Y., Matus B.M., and Segura C.M, 2015. Nutritional, amyolytic enzymes inhibition and antioxidant properties of bread incorporated with *Stevia rebaudiana*. Int J Food Sci Nutr, Early Online: 1–8

DETERMINACIÓN DEL COLOR DE LAS MIELES TABASQUEÑAS DETERMINATION OF THE COLOR OF HONEY FROM TABASCO'S STATE

¹ López-González MM, ²Moo-Huchín VM, ²Sauri-Duch E, ¹Zaldívar Cruz JM

¹Colegio de Postgraduados. Campus Tabasco. Periférico Carlos A. Molina Km. 3.5 s/N. Carretera Cárdenas-Huimanguillo. C.P. 87500. H. Cárdenas, Tabasco, México.

²Instituto Tecnológico de Mérida. Av. Tecnológico km. 4.5 S/N. C.P. 97118. Mérida, Yucatán.

Autor para correspondencia: zaldivar@colpos.mx

RESUMEN

Se analizaron las coordenadas de color $L^* a^* b^*$ [CIE (Commission Internationale de l'Eclairage)] por medio de espectrofotometría y las unidades Pfund mediante un colorímetro Hanna, de seis muestras de mieles de cinco diferentes regiones fisiogeográficas del estado de Tabasco, México. El método CIELAB mostró valores de L^* comprendidos entre 36.96 y 42.90 unidades CIELAB, mientras que para la intensidad del color rojo-verde (a^*) y amarillo-azul (b^*) estuvieron entre 5.01 ± 0.11 a 8.52 ± 0.03 y 16.36 ± 0.75 a 26.07 ± 0.17 unidades CIELAB, respectivamente. Estos valores indican que las mieles del estado de Tabasco presentan una gran proporción de colores rojo y amarillos. Por otro lado, empleando el colorímetro Hanna, el color varió desde 46.66 hasta 68 mm Pfund y las muestras se clasificaron en 2 grupos: ámbar extra claro y ámbar claro, según el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA).

Palabras clave: color, miel, comparador Pfund, CIE $L^* a^* b^*$, Tabasco

INTRODUCCION

La miel es un producto natural, una mezcla compleja de carbohidratos y de compuestos minoritarios (Bertoncelj *et al.* 2007). La composición química de la miel depende en gran medida de los tipos de flores utilizados por las abejas, así como de las condiciones regionales y climatológicas que prevalecen en los sitios donde se encuentran localizados los apiarios (Ciappini *et al.* 2013). La producción de miel en México es de una gran tradición (Viuda-Martos *et al.* 2010). México es el quinto productor de miel en el mundo, después de China, Argentina, EE.UU. y Turquía, con una producción anual de 55 mil 500 ton, de las cuales se exporta aproximadamente el 44%. El estado de Tabasco en México produce 235.5 toneladas y sus apicultores diferencian sus mieles solo por el área de colecta (INEGI, 2017). El color de la miel es uno de los atributos más variables y es un criterio de clasificación para las mieles. Desde el punto de vista comercial tiene gran importancia, ya que su precio y el grado de aceptación por el consumidor dependen del mismo. Por ejemplo, consumidores de Norteamérica prefieren mieles claras, de tonos agua, extra blanco y blanco (entre 0 y 34 mm Pfund), mientras que los europeos consumen mieles más oscuras, con tonos ámbar extra claro, ámbar claro, ámbar y ámbar oscuro (entre 34 y 114 mm Pfund) (Delmoro *et al.* 2010). Por otro lado, el color está relacionado con el origen botánico y la composición del néctar, con el proceso de obtención, la temperatura y el tiempo de almacenamiento (Bogdanov *et al.* 2004, Terrab *et al.* 2004, Delmoro *et al.* 2010). En la actualidad existen dos procedimientos para medir color: sensorial e instrumental (Terrab *et al.* 2004). Los métodos más utilizados se basan en la comparación óptica, usando simples instrumentos como el colorímetro Pfund, propuesto por Sechrist (1925) (Fell 1978) o el comparador Lovibond, adoptado por la AOAC (2000) (Aubert y Gonnet 1983).

Los valores de estos comparadores dan una medida de la intensidad del color, pero sólo a lo largo del tono de color ámbar normal de la miel (Bogdanov *et al.* 2004).

Los métodos de triestímulo (por ejemplo, el espacio CIELAB) proporcionan más información sobre el color de la miel que el grado Pfund (Aubert y Gonnet 1983, Terrab *et al.* 2003, Bogdanov *et al.* 2004, Bertoncelj *et al.* 2007; González-Miret *et al.* 2007). El primer intento de utilizar la colorimétrico coordenadas CIELAB para evaluar el color de la miel era la de Aubert y Gonnet (1983). Llegan a la conclusión de que este método debe ser un sistema de investigación estándar para una clasificación más precisa de las mieles; Sin embargo, el índice de Pfund podría permanecer, debido a su facilidad en el uso práctico, como la referencia comercial. El color es la primera propiedad sensorial percibida por los consumidores, que podría determinar si van a comprar el producto o no. Sin embargo, hay poca información acerca de la aceptabilidad del color de los consumidores de miel. El objetivo de este

trabajo fue: caracterizar el color de las mieles tabasqueñas mediante dos métodos diferentes; Escala Pfund y CIE L* a* b*.

-

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del área de estudio.

Un conjunto de seis muestras fue seleccionado de las cinco diferentes regiones fisiogeográficas del estado de Tabasco (Pantanos, La Chontalpa, La Sierra, Los Ríos y Centro). Las mieles fueron proporcionadas por apicultores profesionales y colectadas entre enero a diciembre del 2017 (Tabla 1) y almacenadas en oscuridad hasta su análisis e identificación.

Medición de color

Para la medición del color se emplearon dos equipos diferentes:

Colorímetro Hanna. Se utilizó un colorímetro digital Hanna Honey Color 221 (Woonsocket, USA) con lectura directa en mm Pfund. El equipo se calibró con glicerina y las lecturas de color se realizaron por cuadruplicado en mieles líquidas y sin burbujas.

Espectrofotómetro. Las características de color fueron medidas por el Método CIE L*a*b*, donde la luminosidad L* y las dos coordenadas de color, a* y b* fueron definidas por medio de un espectrofotómetro X-Riteserie SP-62. Se tomaron 40 ml de muestra de miel y se guardaron en una caja de Petri de vidrio cubriendo una altura de 10 mm. Los parámetros L*, a* y b* fueron medidos contra un fondo blanco y se obtuvieron directamente del equipo. Además, la intensidad del color fue determinada mediante la medición espectrofotométrica. Las mediciones se realizaron por cuadruplicado en mieles líquidas y sin burbujas en diferentes zonas de la caja.

Análisis estadístico. Todos los análisis se llevaron a cabo por cuadruplicado y los datos fueron expresados como medias \pm desviación estándar (DS). Se obtuvieron correlaciones entre los dos métodos mediante el coeficiente de Correlación de Pearson (r) en correlaciones lineales de dos variables.

Tabla 1. Localización de los apiarios

Apiarios	Municipios	Región	Longitud E	Latitud N
Campo Experimental (Km 21)	Cárdenas	Chontalpa	438466.5´	1988122.71´
José Mercedes Gamas 2da. Sección	Huimanguillo	Chontalpa	440247.04´	1961510.09´
Plátano y Cacao 1ra. Sección	Centro	Centro	482705.61´	1986197.97´
Francisco I. Madero 2da. Sección	Tacotalpa	Sierra	531896.42´	1922355.86´
CBTA 82	Balancán	Ríos	656284.18´	1970872.42´
Nuevo Centla	Centla	Pantanos	550043.00´	2059098.10´

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Medición de color utilizando el Colorímetro Hanna.

Los resultados obtenidos con este equipo mostraron que el color de las mieles tabasqueñas varió desde 46.66 hasta 68.00 mm Pfund (Tabla 2). El menor valor se obtuvo para las mieles de Huimanguillo (46.66 ± 0.58 mm Pfund) ubicado en la Región de la Chontalpa, mientras que el mayor valor fue para la muestra del municipio Centro (68.00 ± 0.00 mm Pfund), ubicado en la Región Centro (Tabla 2). Según el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA), la escala de colores Pfund se divide en rangos de color, que permiten clasificar a las mieles mediante diferentes denominaciones (Tabla 3). De acuerdo con este parámetro, las mieles del estado de Tabasco se clasificaron en 2 grupos: ámbar extra claro y ámbar claro (Tabla 2).

Tabla 2. Color de las mieles identificadas de acuerdo a los estándares del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) con equivalencias en mm Pfund.

Muestra	Color (mm Pfund)	Color identificado
Balancán	$57,66 \pm 0,577$	Ámbar claro
Cárdenas	$67,66 \pm 0,577$	Ámbar claro
Centla	$53,66 \pm 0,577$	Ámbar claro
Centro	$68,00 \pm 0,00$	Ámbar claro
Tacotalpa	$59,00 \pm 0,00$	Ámbar claro
Huimanguillo	$46,66 \pm 0,58$	Ámbar extra claro

Los valores representan el promedio de cuatro repeticiones \pm la desviación estándar.

Tabla 3. Rango de color para clasificar las mieles según el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA).

Escala Internacional ¹	mm Pfund
Blanco agua	0-8
Extra blanco	8-17
Blanco	17-34
Ámbar Extra Claro	34-48
Ámbar Claro	48-83
Ámbar	83-114
Ámbar Oscuro	Más de 114

Medición de color utilizando la escala CIEL*a*b*.

El color de la miel es un parámetro fisicoquímico que juega un papel crucial durante la elección del producto (Perna *et al.* 2013). En este estudio, se reportan las características colorimétricas de mieles de diferentes sitios de colecta en el estado de Tabasco, México. Los resultados medidos por el método CIEL*a*b*, mostraron que se tuvieron valores de L* comprendidos entre 36.96 ± 0.39 y 42.90 ± 0.14 unidades CIELAB y no se encontraron diferencias significativas con respecto a este parámetro entre ellas (p<0.05). La mayor luminosidad se obtuvo para la miel de Huimanguillo, localidad situada en la región de la Chontalpa (42.90 ± 0.14 unidades CIELAB), mientras que la miel del Centro, de la región del mismo nombre, presentó el menor valor (36.96 ± 0.39 unidades CIELAB). Tomando en cuenta la luminosidad, González-Miret *et al.*, (2005) clasificaron las mieles en dos grupos, mieles claras con L* > 50 y mieles oscuras con L* < 50, por lo que las mieles de Tabasco bajo estos criterios se clasificaron en mieles oscuras con L* (38.11, 36.96, 38.59, 40.92, 4.21, 42.90 unidades CIELAB, respectivamente) (Tabla 4). Estos valores son similares a los obtenidos por Tuberoso *et al.* (2014) para mieles monoflorales europeas de *Fagopyrum esculentum* L. y *Mentha spp.* (41.3 ± 2.7, 44.2 ± 7.5 unidades CIELAB, respectivamente), pero menores a los de Perna *et al.* (2013) para mieles de diferentes áreas del sur de Italia (L* = 59.94). Los parámetros a* (rojo-verde) y b* (amarillo-azul) de la miel, pueden interpretarse como un índice deseable de la riqueza de pigmentos tales como carotenoides, xantofilas y antocianos de las especies que aportan el polen a la miel (Frankel *et al.* 1998, Al-Mamary *et al.* 2002 y Antony *et al.* 2000). Para las coordenadas que miden la intensidad del (a*) y (b*), los valores obtenidos estuvieron entre 5.01 ± 0.11 a 8.52 ± 0.03 y 16.36 ± 0.75 a 26.07 ± 0.17 unidades CIELAB, respectivamente. Estos valores indican que las muestras de mieles del estado de Tabasco mostraron una gran proporción de colores rojo y amarillos, que son similares a los obtenidos por Rodríguez *et al.* (2012) para mieles de otras regiones de México.

Tabla 4. Color identificado de acuerdo a los parámetros colorimétricos CIE L*, a*, b* expresado en un ángulo de tono °Hue.

Muestra	L*	a*	b*	Hue
Balancán	40,92 ± 0,49	6,74 ± 0,12	24,50 ± 0,19	74,6 ± 0,32
Cárdenas	38,11 ± 0,09	8,52 ± 0,03	19,35 ± 0,18	66,2 ± 40,13
Tacotalpa	42,21 ± 0,17	7,08 ± 0,04	25,40 ± 0,24	74,43 ± 0,16
Huimanguillo	42,90 ± 0,14	5,19 ± 0,03	26,07 ± 0,17	78,75 ± 0,10
Centro	36,96 ± 0,39	8,02 ± 0,20	16,36 ± 0,75	63,88 ± 0,56
Centla	38,59 ± 0,33	5,01 ± 0,11	18,25 ± 0,38	74,66 ± 0,14

Los valores representan el promedio de cuatro repeticiones ± la desviación estándar

Relación estadística entre escala Pfund y parámetros CIEL*a*b*.

La Tabla 5 muestra la correlación entre las mediciones de color efectuadas con el comparador Pfund y CIEL*a*b*. Los datos se adecuan a una correlación lineal, con un coeficiente de determinación igual a (r = 0.731, r=0.923, r=-0.633, r=0.947), indicando que ambos instrumentos permiten obtener resultados similares, estos resultados son similares a los obtenidos por Galleguez *et al.* (2012), para mieles de Argentina. A pesar de las significancias obtenidas en la correlación entre la escala Pfund y CIEL*a*b*, la escala Pfund no toma en cuenta la tonalidad del color de las muestras si no que solo clasifica en ámbar y no difieren en su tonalidad por lo tanto la escala Pfund no es suficiente para caracterizar el color de la miel.

Tabla 5. Matriz de correlación de los parámetros investigados (coeficiente de correlación de Pearson) expresado con un nivel de confianza del 95%.

	L	Pfund
L		0.731**
a*	-0.500**	0.923**
b*	0.967**	-0.633**
°Hue	0.841**	-0.947**

CONCLUSIONES

Las mieles del estado de Tabasco se clasificaron según el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) y la escala de colores Pfund en 2 grupos: ámbar extra claro y ámbar claro cuando se utilizó el colorímetro Hanna. Mientras que cuando se empleó el Método CIEL*a*b* y la clasificación de González-Miret *et al.*, (2005) se determinó que todas las mieles del estado de Tabasco son mieles oscuras. Por otro lado, la escala Pfund no es suficiente para caracterizar el color de la miel, ya que solamente las separa en ámbar y sus tonalidades, mientras que el método CIEL*a*b* permite conocer tonalidades de color en las mieles.

AGRADECIMIENTOS

Martha María López-González fue becaria del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y egresada de la Maestría en Ciencias en Producción Agroalimentaria en el Trópico del Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. Los autores agradecen al Instituto Tecnológico de Mérida las facilidades prestadas para el desarrollo de la Investigación por el uso de su laboratorio.

LITERATURA CITADA

- Al-Mamary, M., Al-Meeri, A., Al-Habori, M. (2002). Antioxidant activities and total phenolics of different types of honey. *Nutritional Research*. 22: 1041-1047.
- Antony, S.M., Han, I., Rieck, J.R., Dawson, P.L. (2000) Antioxidative effect of Maillard reaction products formed from honey at different reaction time. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 48: 3985-3989.
- Aubert, S. and Gonnet, M. (1983). Mesure de la couleur des miels. *Apidologie*, 14: 105–118.
- Bertoncelj, J., Doberšek, U., Jamnik, M. and Golob, T. (2007). Evaluation of the phenolic content, antioxidant activity and colour of Slovenian honey. *Food Chemistry*, (105): 822-828
- Bogdanov, S., Ruoff, K. and Persano, L. (2004). Physicochemical methods for the characterisation of unifloral honeys: A review. *Apidologie* 35, S4–S17.
- Fell, R.D. (1978). The color grading of honey. *Am. Bee J.* 18: 782–789.
- Frankel, S., Robinson, G.E., Berenbaum, M.R. (1998). Antioxidant capacity and correlated characteristic of 14 unifloral honeys. *Journal of Apicultural Research*. 37: 27-31.
- González-Miret, M.L., Terrab, A., Ayala, F., Terrab A., Echavarri J. F., Negueruela, A. I. and Heredia, F. J. (2007). Simplified method for calculation color of honey by application of the characteristic vector method. *Food Research International* 40: 1080-1086
- González-Miret, M.L., Terrab, A., Herranz, D., Fernández-Recamales, M.A. & Heredia, F.J. (2005). Multivariate correlation between color and mineral composition of honeys and by their Botanical origin. *J. Agric. Food Chem*, 53: 2574-2580
- INEGI (2017) Anuario Estadístico de Tabasco. Instituto Nacional de Estadística y Geográfica. http://www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/integracion/pais/aepef/2013/aegpef_2013.pdf. Fecha de consulta 5 diciembre de 2017.
- Perna, A., Simontti, A., Intaglietta, I., and Gambacorta, E. (2013). Antioxidant properties, polyphenol content and colorimetric characteristics of different floral origin honeys from different of southern areas Italy. *Journal of Life Sciences*. 7 (4): 428-436
- Rodríguez, B.A., Mendoza, S., Iturriga, M.H., & Castaño-Tostado, E. (2012). Quality parameters and antioxidant and antibacterial properties of some Mexican honeys. *Journal of Food Science*, 71, C121-C127.

- Terrab, A., and Heredia, F.J. (2003). Palynological, physicochemical and color characterization of Moroccan honeys. II. Orange (*Citrus sp.*) honey. *International Journal of Food Science and Technology* 38 (4): 395-402.
- Terrab, A., González-Miret, L. and Heredia, F.J. (2004). Colour characterisation of thyme and avocado honeys by diffuse reflectance spectrophotometry and spectroradiometry. *Eur. Food Res. Technol.* 218, 488–492.
- Tuberoso, C. I. G., Jerkovic, I., Sarais, G., Congiu, F., Marijanovic, Z., Kus, P. M. (2014). Color evaluation of seventeen European unifloral honeys types by means of spectrophotometrically determined CIE L* C*_{ab} h° chromaticity coordinates. *Food Chemistry*. 145 pp 284-291.
- USDA. 1985. *United States Standards for Grades of Extracted Honey*, USDA, Washington, DC.

DETECCIÓN DE HONGOS EN MAICES DESTINADOS AL CONSUMO HUMANO DETECTION OF FUNGI IN MAIZES FOR HUMAN CONSUMPTION

¹Arellano Galicia LJ, ¹Zaldívar Cruz JM, ¹del Rivero Bautista N, ¹Hernández Nataren E, ²Zúñiga Aguilar JJ

¹ Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. Periférico Carlos A. Molina S/N Carr. Cárdenas-Huimanguillo Km. 35. H. Cárdenas, Tabasco, México. 9371421830

² Instituto Tecnológico Superior de los Ríos. KM. Villahermosa, C.P., Carr. A Balancán 3, El Carmen, 86930 Balancán, Tabasco.

Autor para correspondencia: zaldivar@colpos.mx

RESUMEN

El maíz es el cultivo más representativo de México por su importancia económica, social y cultural. El grano es almacenado en diversas condiciones inadecuadas que favorecen la proliferación de hongos. En el presente trabajo se caracterizaron las poblaciones de hongos que colonizan los granos de maíz comercializado en diferentes locales del municipio de Cárdenas, Tabasco. Se recolectaron muestras de maíz de 8 establecimientos que comercializan diversos granos y se obtuvieron 81 Unidades Formadoras de Colonias (UFC) de hongos después de un periodo de incubación de 72 a 120 horas. Se realizó una caracterización morfológica macro y microscópica la cual permitió identificar 1 especie de *Cunninghamella* y 3 especies de *Aspergillus*, el cual es un género asociado a la producción de micotoxinas.

Palabras claves: *Aspergillus*, morfología, caracterización, granos almacenados.

INTRODUCCIÓN

En México el maíz es el cultivo más representativo por su importancia económica, social y cultural (SAGARPA, 2017). Cada mexicano cuenta para su consumo con poco más de 0.5 kg día⁻¹, considerando diferentes presentaciones como son harinas, tortillas y botanas, entre otras (INEGI, 2014). La producción de maíz grano se divide en blanco (87%) y amarillo (24%), destinados al consumo humano y a la industria para la producción pecuaria, respectivamente (SAGARPA, 2017).

El volumen y la calidad de producción de maíz en nuestro país es limitado principalmente por 3 factores: extrínsecos (temperaturas, tipo de suelo y humedad relativa); factores intrínsecos (composición química y propiedades físicas de los granos); factores tecnológicos (Contenedores, el tiempo y las condiciones de almacenamiento). Durante el almacenamiento los granos, frecuentemente sufren cambios (aspectos nutricionales y físicos) debido a la interacción de varios factores (Olakojo y Akinlosotu, 2004; Neethirajan *et al.*, 2007; Castellari *et al.*, 2015; Ramos y Meza, 2017). Entre ellos, el fenómeno de la respiración, causada por el propio grano, dando origen a actividades metabólicas de los microorganismos presentes, produciendo energía y agua, que tienden a acumularse en el contenedor, formando focos de calentamiento que son los primeros indicios de un proceso de deterioro del producto almacenado (Alabadan y Oyewo, 2005). La SAGARPA reporta una pérdida aproximada del 4% en la producción de maíz e importaciones (SIAP, 2010). Contar con un almacén en condiciones óptimas evitará daños en los granos, lo que permite reducir la pérdida económica (Laopongsit y Srzednicki, 2010). Cuando las condiciones ambientales y de almacén son favorables para la invasión de plagas y enfermedades, principalmente por hongos, los granos se convierten en un peligro potencial para los animales y seres humanos que lo consumen, debido a que estos producen micotoxinas que ocasiona efectos adversos a la salud (Mngadi *et al.*, 2008; Moreno y González, 2011; Jędryczka, 2014). Blancas (2007) clasifica a los hongos de acorde al momento en el que estos invaden los granos de maíz y los divide en hongos de campo y de almacenamiento:

- Campo: viven en la tierra e invaden plantas en crecimiento, pueden vivir en raíces, tallos, hojas y semillas; en algunos casos causan enfermedades a las plantas. hongos: *Fusarium*, *Cladosporium* y *Alternaria*.
- Almacenamiento crecen en condiciones más secas de las que pueden soportar los hongos de campo, como ejemplos son los géneros *Aspergillus* y *Penicillium*. *Aspergillus* por su condición de contaminante y patógeno de las semillas (Lezcano, Martínez y Alonso, 2015).

No obstante, esta clasificación no es estricta, ya que hongos considerados de almacenamiento pueden contaminar la planta antes de la cosecha y viceversa (Blancas, 2007). Los hongos son

microorganismos eucarióticos y heterótrofos caracterizados por la formación de hifas, que son estructuras filamentosas y su conjunto se denomina micelio, muchos hongos tienen un ciclo de vida característico con diferentes formas de reproducción que pueden presentarse como organismos separados con diferente morfología (pleomorfismo). Las formas de reproducción sexual se conocen como teleomorfos y las asexuales como anamorfos. El organismo en conjunto se conoce como holomorfo. La clasificación de los hongos se ha basado tradicionalmente en la morfología de sus estructuras fértiles (Guarro, 2012), constituyen un grupo de organismos diversos, que incluye mohos, setas y levaduras. Se han descrito aproximadamente 100 000 especies de hongos y se estima que podrían existir hasta 1.5 millones de especies (Madigan *et al.*, 2009). El objetivo de este estudio fue caracterizar las poblaciones de hongos, que colonizan los granos de maíz comercializados en diferentes locales del municipio de Cárdenas, Tabasco a través de identificación macro y microscópica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestreo

El estudio se realizó en el municipio de Cárdenas, Tabasco, se visitaron los 8 establecimientos que venden diversos granos, y se compró 1 kg de maíz en cada uno de ellos. Las muestras fueron etiquetadas con la fecha y el sitio muestreado (establecimiento) y se trasladaron al Laboratorio de Alimentos del Colegio de Postgraduados. Para cumplir con el objetivo de la presente investigación se realizó el siguiente trabajo experimental.

Desinfección de los granos

Se tomó una submuestra de 100 g de cada muestra y se desinfectó con alcohol etílico mediante una inmersión de 2 minutos y posteriormente se llevaron a cabo dos lavados con agua estéril durante, luego se hizo una inmersión en hipoclorito de sodio al 1% durante 2 minutos y se lavó dos veces con agua destilada.

Preparación del medio

La preparación del medio de cultivo se realizó siguiendo las indicaciones del fabricante. El medio empleado fue Agar Dextrosa Sabouraud (BD *Difco*TM) el cual se esterilizó a 121°C durante 15 minutos. Posteriormente se distribuyó en cajas de Petri, refrigerándolas hasta su utilización.

Inoculación de los granos

Se inocularon las cajas con 10 granos de maíz (Figura 1), tomados de las submuestras desinfectadas y por triplicado, las cajas se sellaron con cinta parafilm y se incubaron a 36°C por un periodo de 72 a 120 horas, con observaciones diarias a partir de las 48 horas.



Figura 1. Granos de maíz inoculados en Agar Sabouraud

Conteo en placa

Posteriormente se realizó el conteo en placa de acuerdo a la NOM-111- SSA1-1994 (Tabla 1). Las cepas se aislaron en agar Dextrosa Sabouraud y se incubaron por un periodo de 72 a 120 horas para posteriormente realizar la técnica de microcultivo acorde a lo descrito por Bonifaz (2012).

Identificación morfológica macroscópica

Se observaron las características macroscópicas para la identificación de las especies fúngicas aisladas, los aspectos tomados en cuenta fueron: el color de la colonia en el anverso y el reverso, la textura y forma del micelio.

Identificación microscópica

Mediante la técnica de microcultivo se procedió a observar las estructuras microscópicas de los hongos, a partir de tejido micelial teñido con lactofenol blanco y azul de lactofenol. Para la observación de las estructuras y la toma de fotos se empleó con un microscopio de contraste de fases con cámara digital aoplada (Marca: Motic, Modelo: BA310). Para la identificación de los hongos se emplearon referencias bibliográficas, fotografías y claves taxonómicas (Abarca, 2000; Pitt y Hocking, 2009; Washington, *et al.*, 2008).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir de las 24 muestras de maíz recolectadas de los 8 establecimientos se obtuvieron 81 Unidades Formadoras de Colonias (UFC) después de un periodo de 72 a 120 horas (Tabla 1). De las cuales se aislaron los hongos para poderlos identificar mediante sus características macroscópicas, principalmente la textura y coloración del micelio y sus estructuras microscópicas (Figuras 2-5).

Cuadro 1. Unidades Formadoras de Colonias (UFC) de hongos en maíz.

1	12
2	9
3	12
4	11
5	11
6	9
7	12
8	9
TOTAL	81

A continuación, figuran las descripciones de las colonias cuando crecen en agar dextrosa de Sabouraud (en un periodo de 72 a 120 horas).

Especie de *Cunninghamella*.



Figura 2. Especie de *Cunninghamella* (A) Colonia en agar Sabouraud, 72 horas, 35°C. (B) Microfotografía de la estructura de fructificación de especies de *Cunninghamella*, teñida con azul de lactofenol, observados a 40X. Que muestra la esporangiola esférica a partir de la superficie globular de la columela.

- Características macroscópicas: Las colonias en agar Dextrosa Sabouraud cubren toda la placa de Petri en un periodo de 72 horas, la colonia es dispersa y algodonosa, y de color blanquecino a beige, con un reverso incoloro con tonalidades amarillas.
- Características microscópicas: Se observa esporas esféricas especializadas, denominadas esporangiolas, una columela grande y globulosa. Cada esporangiola está adherida a la columela por una estructura diminuta, similar a un pelo, que se denomina dentículo.

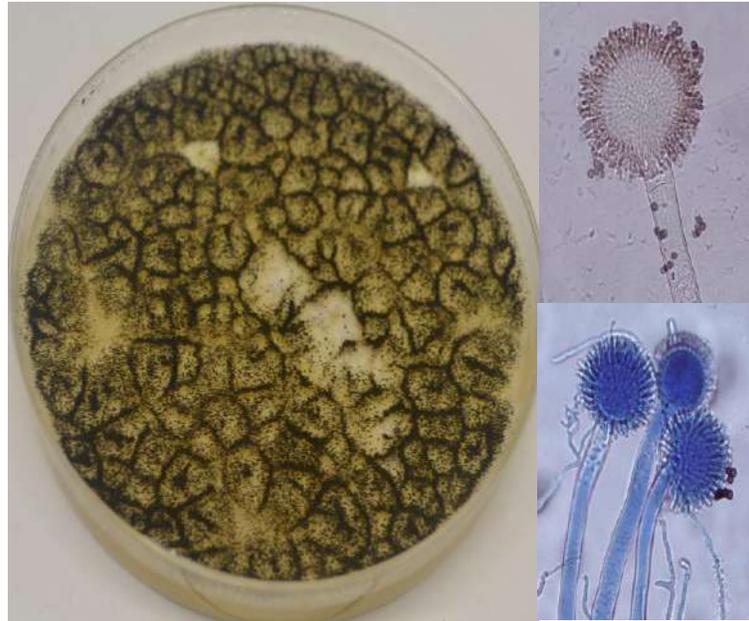


Figura 3. Especie de *Aspergillus* (A) Colonia en agar Sabouraud, 72 horas, 35°C. (B) Conidióforo teñido con lactofenol blanco, observado a 40x. (C) Conidióforos teñidos con azul de lactofenol, observado a 40x

Especie de ***Aspergillus***

Características macroscópicas: colonia plana, con una superficie suave y aterciopelada que en la parte superior es pulverulenta. El micelio es de color blanco en un inicio y con el paso del tiempo apenas logra ser visible a medida que fue cambiando hasta obtener una coloración amarilla con una pigmentación oscura y densa. Reverso generalmente amarillo con surcos radiales.

- Características microscópicas: Cabezas conidiales biseriadas y radiales; estipes de paredes gruesas, lisos e hialinos. Vesícula casi esférica con métulas y fiálides que ocupan toda la superficie de la vesícula.

Especie de ***Aspergillus***

Características macroscópicas; colonias algodonosas y pigmentación verde en el centro, colonias con bordes irregulares.

Producción de una sola hilera de fiálides sobre la mitad superior de la vesícula, conidios dispuestos en cadenas largas, conidióforos hialinos, hifas sin septos

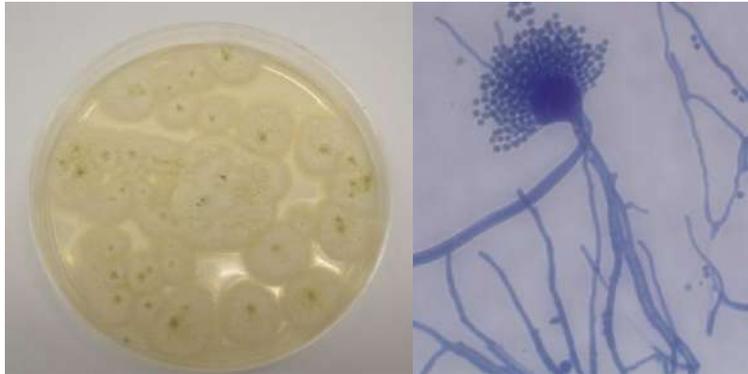


Figura 4. Especie de *Aspergillus* (A) Colonia en agar Sabouraud, 72 horas, 35°C. (B) Conidióforo teñido con azul de lactofenol, observado a 40x.

Especie de *Aspergillus*

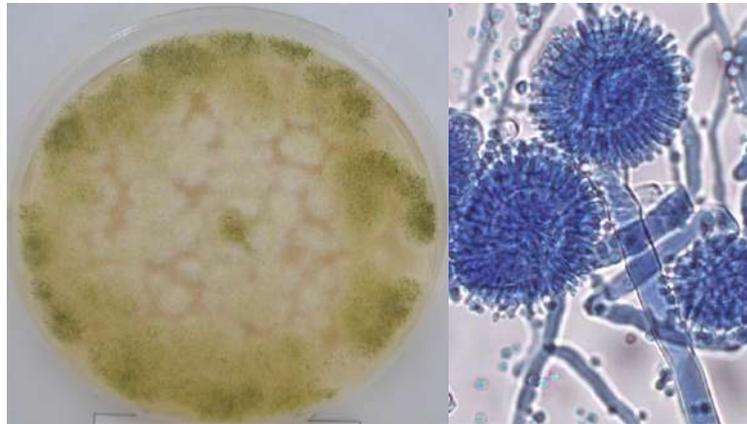


Figura 5. Especie de *Aspergillus* (A) Colonia en agar Sabouraud, 72 horas, 35°C. (B) Conidióforos teñidos con azul de lactofenol, observado a 40x.

- Características macroscópicas: Las colonias vellosas y pulverulentas, de rápida proliferación, con bordes irregulares. Micelio de color blanco con una pigmentación verde.
- Características microscópicas: Las fiálides y conidios presentan una disposición de pétalos de margarita, biseriadas que recubre la circunferencia completa de una vesícula esférica. El conidióforo es relativamente largo con una parte que presenta una rugosidad.

El maíz y sus derivados son muy propensos a la contaminación por hongos del género *Fusarium* y *Aspergillus* (Karami-Osboo *et al.*, 2012). En Panamá se reportan casos de contaminación mayor al 50% de las muestras analizadas para maíz sin procesar, en Panamá (Rojas, Martín y Quinzada, 2000) y en Venezuela hasta el 90% (Chavarri *et al.*, 2017). En Argentina se reportan casos de proliferación de Géneros como *Fusarium*, *Aspergillus*, *Penicillium* aislados de muestras de granos de maíz en silos bolsa, en Argentina (Castellari *et al.*, 2015). En Kenia contaminación en maíz, harinas de maíz y derivados (Kilonzo *et al.*, 2014). Y también en Ghana, los cereales para desayuno a base de maíz suelen estar contaminados por toxinas de hongos (Blankson y Mill-Robertson, 2016).

Se han reportado la presencia de hongos no solamente en maíz, sino también en granos de café (*Coffea arabica*) almacenado (Luna, Lozada y Trigos, 2010), semillas de *Leucaena Leucocephala* (Lezcano, Martínez y Alonso, 2015), alimentos balanceados y granos de uso pecuario (Flores, Hernández y Vázquez, 2006), maní, pistacho, nueces (Requena, Saume y León, 2005).

Lodoño-Cifuentes y Martínez Miranda (2017) mencionan que los países subdesarrollados presentan una mayor incidencia de hongos y sus toxinas, debido a un mal manejo poscosecha de los granos, infraestructura inadecuada, falta de normativas y condiciones climáticas que favorecen la proliferación de hongos. Por lo que los resultados obtenidos en este trabajo son similares a los reportados por dichos autores.

CONCLUSIONES

La caracterización morfológica macro y microscópica realizada en este estudio permite concluir que se identificaron 3 especies de *Aspergillus* y 1 especie de *Cunninghamella* asociadas a los granos de maíz comercializados en Cárdenas Tabasco.

AGRADECIMIENTOS

Al Laboratorio de Fitopatología del Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco.

Luis Javier Arellano Galicia, es Estudiante de la Maestría en Ciencias en Producción Agroalimentaria en el Trópico y becario del CONACYT (619166).

LITERATURA CITADA

- Abarca, Ma. (2000). Taxonomía e identificación de especies implicadas en la aspergilosis nosocomial. *Revista Iberoamericana de Micología*. 17: 79-84.
- Alabadian, B., y Oyewo, O. (2005). Temperature variations within wooden and metal grain silos in the tropics during storage of maize (*Zea mays*). *Leonardo Journal of Sciences*: 6(1), 59-67.
- Blancas, M. (2007). Manejo de granos en almacenamiento, causas de deterioro y prevención. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*. 15(1): 180–184.
- Blankson, G. y Mill-Robertson, F. (2016). Aflatoxin contamination and exposure in processed cereal-based complementary foods for infants and young children in greater Accra, Ghana. *Food Control*. 64: 212-7.
- Bonifaz, A. (2012). *Micología Médica Básica* (4ta ed.). México: MC-GRAW HILL. Pp. 600.
- Castellari, C., Cendoya, Ma., Marcos, F., Barrera, V. y Pacin, A. (2015). Factores extrínsecos e intrínsecos asociados a poblaciones fúngicas micotoxigénicas de granos de maíz (*Zea mays* L.) almacenados en silos bolsa en Argentina. *Revista Argentina de Microbiología*. 47(4): 305-359.
- Chavarri, M., Barroyeta, J., Ochoa, Y., Rumbos, N. y Alezones, J. (2017). Detección de fusarium verticillioides y fumonisinas en granos de maíz blanco provenientes de los estados Yaracuy y Guárico, Venezuela. *Nova scientia*. 9(19): 171-184.
- Flores, C., Hernández, L. y Vázquez J. (2006). Contaminación con micotoxinas en alimentos balanceados y granos de uso pecuario en México en el año 2003. *Técnica Pecuaria en México*, 44 (2): 247-256.
- Guarro, J. (2012). Taxonomía y biología de los hongos causantes de infección en humanos. *Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica*. 30(1): 33-39.
- INEGI, 2014. ENCUESTA NACIONAL AGROPECUARIA (ENA) 2014. INFORMACIÓN RELEVANTE. BOLETÍN DE PRENSA NÚM. 328/15. Recuperado de: http://www.inegi.org.mx/saladeprensa/boletines/2015/especiales/especiales2015_08_8.pdf.
- Jędryczka M. 2014. Aeromycology: studies of fungi in aeroplankton. *Folia Biologica et Oecologica*. 10(1): 18– 26.
- Karami-Osboo, R., Mirabolfathy, M., Kamran, R., Shetab-Boushehri, M., y Sarkari S. (2012). Aflatoxin B1 in maize harvested over 3 years in Iran. *Food Control*. 23(1): 271-4.
- Kilonzo, RM., Imungi, JK., Muiro, WM., Lamuka, PO. Y Njage, PMK. (2014). Household dietary exposure to aflatoxins from maize and maize products in Kenya. *Food Additives & Contaminants: Part A*. 31(12):2055-62.
- Laopongsit, W. y Srzednicki, G. (2010). "Early detection of insect infestation in stored grain based on head space analysis of volatile compounds" 10th International Working Conference on Stored Product Protection. Food Sciences and Technology, School of Chemical Sciences and Engineering, The University of New South Wales, Sydney, Australia.
- Lezcano, J., Martínez, B. y Alonso, O. (2015). Caracterización cultural y morfológica e identificación de especies de *Aspergillus* asociadas a semillas de *Leucaena leucocephala* cv. Perú. *Pastos y forrajes*. 38(2): 176-181.
- Londoño-Cifuentes, E. y Martínez-Miranda, M. (2017). AFLATOXINAS EN ALIMENTOS Y EXPOSICIÓN DIETARIA COMO FACTOR DE RIESGO PARA EL CARCINOMA HEPATOCELULAR. *Biosalud*, 16(1), 53-66.
- Luna, M., Lozada, Y. y Trigos, Á. (2010). Aislamiento de cepas de *Aspergillus niger*, productoras de ocratoxina A, en café verde (*Coffea arabica*) almacenado. *Revista mexicana de micología*, 32: 63-68.

- Madigan, M., Martinko, J., Dunlap, P., y Clark, D. (2009). Brock Biología de los microorganismos (Duodécima ed.). España: PEARSON EDUCACIÓN.
- Moreno, L., y González, S. (2011). Efecto antifúngico de extractos de gobernadora (*Larrea tridentata* L.) sobre la inhibición in vitro de *Aspergillus flavus* y *Penicillium sp. Polibotánica*: 32, 193-205.
- Mngadi, P., Goviden, R. y Odhav, B. (2008). Co-occurring mycotoxins in animal feeds. *African Journal of Biotechnology*: 7(13), 2239-2243.
- Neethirajan, S., Karunakaran, C., jayas, D., y White, N. (2007). Detection techniques for stored-product insects in grain. *Food Control*: 18(2), 157-162.
- Norma Oficial Mexicana NOM-111-SSA1-1994. Bienes y Servicios. Método para la cuenta de mohos y levaduras en alimentos. Diario Oficial. México. 4p.
- Olakojo, S., y Akinlosotu, T. (2004). Comparative study of storage methods of maize grains in South Western Nigeria. *African Journal of Biotechnology*: 3(7), 362-365.
- Pitt, J. y Hocking, A. (2009). Fungi and Food Spoilage (3era edición). Springer US. Pp.519.
- Ramos, R. y Meza, V. (2017). Efectos de algunos factores meteorológicos sobre la concentración de esporas de hongos en la Plaza San Martín de Lima. *Ecología Aplicada*. 16(2): 143-149.
- Requena, F., Saume, E. y León, A. (2005). Micotoxinas: Riesgos y prevención. *Zootecnia Tropical*. 23(4): 393-410.
- Rojas, V., Martin, M. y Quinzada, M. (2000). Aflatoxinas en maíz recién cosechado en Panamá. *Revista médica de Panamá*. 25: 4-7.
- SAGARPA. (2017). Planeación Agrícola Nacional 2017-2030. Maíz blanco y amarillo mexicano. México. Pp. 25.
- SIAP. (2010). Balanza mensualizada de disponibilidad-consumo. Cultivo: maíz blanco. México, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA).
- Washington, C., Stephen, D., William, M., Koneman, E, Gary, W., Paul C. y Gail, L. (2008). Koneman. Diagnóstico microbiológico. Texto y Atlas en color (6ta edición). PANAMERICANA. Pp. 1696.
- Adams, M. 1995. Fundamentos de química de suelos. Universidad Central de Venezuela Consejo de Desarrollo Científico y Humanismo.
- Barbezan, M. 1998. Análisis de plantas, y síntomas visuales de deficiencia de nutrientes. Facultad de Agronomía. Universidad de la Republica Montevideo-Uruguay.
- Lindsay, W.L. y Norvell, W.A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Science Society of America Journal*. 42: 421-428.
- Phytomonitor. 2015. Análisis de Fertilidad de suelos y niveles de suficiencia. Reportes de Laboratorio. Culiacán Sinaloa.
- Ratto, S.E. y Miguez, F.H. 2006. Zinc en el cultivo de maíz, deficiencia de oportunidad. *Informaciones Agronómicas* Núm. 63. Instituto de la Potasa y el Fósforo. INPOFOS A.S. Quito Ecuador. p (8-15).
- Buffa, E.V. y Ratto, S.E. 2005. Disponibilidad de zinc, cobre, hierro y manganeso extraíble con DTPA en suelos de Córdoba (Argentina) y variables edáficas que lo condicionan. *Ciencia del Suelo*. 23, 2. Buenos aires.

REFERENCIAS INFORMATICAS

- SIAP, 2013. <http://www.siap.gob.mx/> (consultado el 18 de marzo de 2018).

**COMPOSICIÓN BROMATOLÓGICA Y DETERMINACIÓN DE LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE
DE DOS ACCESIONES DE YUCA *Manihot esculenta* Crantz DE TABASCO**
BROMATOLOGICAL COMPOSITION AND DETERMINATION OF ANTIOXIDANT ACTIVITY OF
YUCA ACCESIONS *Manihot esculenta* Crantz FROM TABASCO

¹Felix Ocaña SP, ²Martínez-Herrera J, ²López-López R, ³Jiménez-Martínez C, ⁴Sánchez Chino XM

¹Instituto Tecnológico Superior de Macuspana. Avenida Tecnológico s/n, Lerdo de Tejada 1ra Secc. CP. 86719, Macuspana, Tabasco.

²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Huimanguillo, Km 1 Carr. Huimanguillo-Cárdenas, Huimanguillo Tabasco ZIP 86400.

³Escuela Nacional de Ciencias Biológicas Unidad Zacatenco. Dirección: Av. Wilfrido Massieu, Esq. Calzada Miguel Stampa s/n, Del. Gustavo A. Madero 07738 Cd. de México.

⁴Cátedra-CONACyT, Departamento de Salud, El Colegio de la Frontera Sur-Villahermosa. Carretera a Reforma Km. 15.5 s/n. Ra. Guineo 2da. Sección. C.P. 86280, Villahermosa, Tabasco, México.

Autor de correspondencia: martinez.jorge@inifap.gob.mx

RESUMEN

La yuca (*Manihot esculenta* Crantz) es un tubérculo cuyo principal uso es en la alimentación, es un ingrediente principal de guisos tradicionales y regionales, se consume como botana y para la elaboración de harina, su principal componente son los carbohidratos, destacando el contenido de almidón, así como baja proporción de proteínas, lípidos y minerales; también contiene metabolitos secundarios, que la planta sintetiza como mecanismo de defensa contra agresores medioambientales, se sabe que estos compuestos pueden actuar como agentes antioxidantes. El objetivo de este trabajo fue determinar la composición bromatológica de la yuca de dos accesiones del estado de Tabasco y evaluar su actividad antioxidante, con el fin de evidenciar las propiedades funcionales del alimento. Las colectas del tubérculo fue en el Ejido Chicoacán y Ranchería Tierra Nueva, Huimanguillo, Tabasco, este se molió hasta la obtención de harina. El contenido de humedad (M), proteína (P), cenizas (A), lípidos (L) y almidones totales (TS) se determinaron por los métodos descritos en la AOAC. Los resultados de la caracterización bioquímica de la variedad "Criolla" fueron P = 0.85 ± 0.06, L = 0.41 ± 0.01; A = 2.73 ± 0.03 (%), M = 67.87% y TS 76.2%; para la variedad "Sabanera" fue P = 1.15 ± 0.06, L = 1.64 ± 0.06, A = 1.87 ± 0.01, M = 60.27% y TS 78.1%. La actividad antioxidante del extracto etanólico de yuca, frente al radical ABTS, fue de 119.2 y 87.6 mg eq de Trolox/mg de Yuca para la variedad sabanera y criolla respectivamente. Conclusiones: Las variedades de yuca estudiadas son ricas en almidón, y son deficientes en proteínas, minerales y lípidos, además contienen compuestos con actividad antioxidante, destacando la variedad sabanera por su composición nutricional y potencial antioxidante, por lo que su consumo regular podría conferir beneficios a la salud

Palabras clave: *composición bromatológica, almidón, extracto etanólico, capacidad antioxidante*

INTRODUCCION

Los tubérculos, como la papa (*Solanum tuberosum*), el camote (*Ipomea batatas*), la yuca (*Manihot esculenta*), el ñame (*Dioscorea* sp.) y la malanga (*Colocasia esculenta*) son alimentos característicos del trópico y forman parte de la dieta diaria de las personas que viven en estas regiones, se incorporan a platillos tradicionales como el puchero de res (guisado de carne acompañado de verduras de la región), o se consumen fritos, asados o tostados como botana, en la industria se aprovecha su alto contenido de almidón para obtener harina e incorporarla a diferentes productos (Vargas-Aguilar, 2012). La harina rica en almidón tiene amplio campo de aplicaciones ya sea como espesante, confiere textura a los alimentos, mejora propiedades sensoriales, así como puede formar papeles, adhesivos y empaques biodegradables. Debido a que el almidón es el polisacárido más utilizado como ingrediente funcional (espesante, estabilizante y gelificante) Hernández-Medina, 2008) en la industria alimentaria, es necesario buscar nuevas fuentes de extracción que sean de bajo costo y que sean benéficos para la salud. De hecho, en la actualidad existe una fuerte tendencia a la búsqueda de una alimentación saludable, y aumento en la preferencia a los alimentos que confieran propiedades funcionales (además de nutrir, tengan efecto fisiológico) entre estos efectos destaca la actividad antioxidante ya que está estrechamente relacionada con la prevención de ciertas

enfermedades crónicas tales como algunos tipos de cáncer, enfermedades cardiovasculares, enfermedades neurodegenerativas, etc. Los alimentos que destacan por su poder antioxidante son los de origen vegetal, donde sus pigmentos son los principales responsables (fenólicos, taninos, antocianinas etc) (Morillas-Ruiz y Delgado-Alarcón, 2012).

En el estado de Tabasco se puede encontrar la yuca en los supermercados, mercados, huertos y parcelas, una de las bondades de este alimento es que además de ser un cultivo de fácil adaptación a las condiciones climatológicas de muchas regiones (Aristizábal *et al.*, 2007). Su ciclo de crecimiento desde la siembra hasta la cosecha depende de las condiciones ambientales y de la gestión agronómica que se esté implementando tiene una gran capacidad para crecer en suelos ácidos, de baja fertilidad, con lluvias esporádicas o largos períodos de sequía, por otro lado, no tolera el encharcamiento ni la salinidad. Según las estimaciones, en América Latina y el Caribe la expansión de la producción ha dado un impulso a la utilización de la yuca tanto para el consumo humano como para concentrado animal. De acuerdo al SIAP, se reportó que para el 2016 la superficie nacional destinada para la producción de yuca ascendió a 1 712 Ha, de las que se cosechó el 100 % con una producción total del 20 978 T (12.25 T/Ha) y con un valor de producción de poco más de 75 MDP (SIAP, 2016).

En Tabasco destaca la producción de dos variedades: la criolla y la sabanera que está destinada a suelos de la sabana de Huimanguillo; presenta un hábito de crecimiento ramificado y el color de su tallo es gris, supera en rendimiento de follaje y de raíz a la variedad criolla; además es tolerante a las principales enfermedades de la región, como el tizón bacteriano, causado por *Xanthomonas manihotis* y "superalargamiento" producido por *Sphaceloma manihoticola* (Sánchez, 1999). La variedad criolla "ceiba", es de porte mediano (2-2.5 metros), aunque en suelos fértiles puede alcanzar alturas superiores a los tres metros. El tallo es de color gris con un hábito de crecimiento erecto, aunque emite de uno a tres tallos por planta. Las hojas son de color verde intenso, aunque opaco. Es susceptible a las principales plagas y enfermedades del cultivo, pero llega a producir aceptables rendimientos cuando escapa a estos problemas en forma natural (Sánchez, 1999).

El objetivo de este trabajo fue caracterizar químicamente la yuca de diferentes accesiones del estado de Tabasco, conocer sus propiedades antioxidantes y dilucidar sus posibles aplicaciones.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales. Se utilizaron tubérculos de yuca de las variedades Criolla y Sabanera colectadas en el ejido Chicoacán y Tierra Nueva del municipio de Huimanguillo, Tabasco. Para la preparación de las muestras, se pesaron 100 g de cada una de las variedades previamente peladas. Inmediatamente se secaron en una estufa a 75° C durante 24 h. Después de este tiempo, fueron pesadas para determinar el contenido de materia seca y humedad. Finalmente, se molieron con la ayuda de un mortero de porcelana para obtener la harina y se colocaron en bolsas herméticas tipo "ziploc®". El análisis bromatológico incluyó: humedad, proteínas, lípidos, cenizas y almidón se llevó a cabo de acuerdo con la metodología propuesta por la Official Methods of Analysis International (AOAC, 2005).

Para determinar el contenido de almidones totales, se utilizó el método de Fehling; establecido en la norma NMX-F-277 y la actividad antioxidante por medio del atrapamiento del radical ABTS⁺ de acuerdo con el método reportado por Re *et al.*, (1999) con las modificaciones descritas por Kuskoski *et al.*, (2004); las muestras se leyeron en un espectrofotómetro Shimadzu UV-1800, una longitud de onda 734 nm de, en el Laboratorio de Ecofisiología Vegetal y Sistemas Agroforestales-ECOSUR. Para ello previamente se obtuvieron los extractos etanolicos de la harina de yuca en una relación 1:10 a temperatura ambiente durante 16 h en un agitador orbital, protegiendo las muestras de la luz. Concluido el tiempo de la agitación, las muestras se centrifugaron 5000 rpm durante 30 min, recuperándose el sobrenadante. Los valores de absorbancia se interpolaron en una curva tipo de Trolox (ácido 6-hidroxi-2, 5, 7,8-tetrametilcroman-2-carboxílico).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el cuadro 1, se muestra el porcentaje de materia seca (MS) y humedad de 100 g de yuca fresca de las dos variedades estudiadas (criolla y sabanera). La materia seca fluctúa entre 34 y 38%, estos resultados son similares los reportados por otros autores (Buitrago y Ospina, 2001; Ospina y Ceballos, 2002).

En el cuadro 2, se muestran los resultados del análisis químico proximal realizado en harina de yuca, variedad criolla y sabanera, se observó que, la diferencia en los valores está asociada con la variedad, y posiblemente con los factores medioambientales. El contenido de proteína cruda (PC) mostró

algunas diferencias entre las variedades; destacando la sabanera con el 1.15 g/100g d proteína, mientras que la variedad criolla contenía 0.85 g/100g de proteína cruda. Ambas muestras tuvieron menor concentración de proteína que las variedades colombianas estudiada por Gil y Buitrago (2002) que reporta un intervalo entre 2.7- 3.19%, sin embargo, se han identificado contenidos similares en variedades colectadas en Paraguay de alrededor de 1.0% (Fretes y Mendoza, 2010).

Cuadro 1: Porcentaje de materia seca y humedad de dos variedades de yuca fresca (%)

(%)		
Variedades	Materia seca	Humedad
Criolla	32.03	67.87
Sabanera	39.73	60.27

** Promedio de tres repeticiones

Paralelamente en el contenido de lípidos se observó diferencias entre ambas variedades. La criolla tuvo una concentración de 1.23% mayor que la sabanera; Este bajo contenido de lípidos es una característica general de los tubérculos, Barriada-Bernal, (2017), reportaron que la yuca de la variedad mixteca contiene 1.7% de lípidos totales; las fracciones principales son el ácido palmítico, oleico y esteárico.

Cuadro 2: Análisis químico proximal de la harina de dos variedades de yuca

	Var. Criolla	Var. Sabanera
g/100 g de yuca		
Proteína	0.85±0.06	1.15±0.06
Lípidos	0.41±0.1	1.64±0.06
Cenizas	2.73±0.03	1.87±0.01
Humedad	2.6±0.03	2.26±0.08
Almidón	66.52±0.1	68.10±0.2

** promedio de tres repeticiones ± EE

En cuanto a los resultados de cenizas, se encontró que existe una diferencia entre las variedades criolla, 2.73% y sabanera de 1.87%; Techeira *et al.* (2014) reportaron un contenido de ceniza de 2.03%; y Ceballos (2002) del 2%. Barriada-Bernal (2017), reportan que los minerales contenidos en la yuca son: Ca, Mg, Fe, Na y K y que la yuca puede suplir parcialmente las necesidades dietarias de dichos minerales en la alimentación. El contenido de humedad en la harina de yuca obtenida de las variedades estudiadas, indicó una diferencia de 0.34%, con la variedad Criolla que tiene el contenido de humedad más alto; estudios realizados por Techeira *et al.*, (2014) reportaron un contenido de humedad de 5.93%; demostrando que los resultados obtenidos fueron inferiores a los informados en nuestro trabajo de investigación; es importante mantener un contenido de humedad por debajo del 10% en las harinas para que alargan la vida de anaquel y no ser atacados por microorganismos y hongos.

La fracción mayoritaria en los tubérculos son los carbohidratos ya que es la principal fuente de almacenamiento de energía en los vegetales, destacando el almidón que estructuralmente, consiste de dos polisacáridos químicamente distinguibles: la amilosa y la amilopectina. En las muestras de estudio este compuesto representa el 66.52 y 68.19% para las variedades Criolla y Sabanera, respectivamente. Zinn y DePeters (1991), reportaron, un contenido de almidón de entre 72.9 y 87.9% de almidón en yuca. Otros autores han reportado un 77.49- 87.8 % (Techeira *et al.*, 2014., Vearsilp y Mikled 2001) Hernández-Medina *et al.*, (2008), reportan una concentración de almidón del 83% que corresponde a amilopectina y el restante 17% a la amilosa.

Actividad antioxidante

En el cuadro 3. Se muestra la actividad antioxidante del extracto etanólico de yuca, frente al radical ABTS, fue mayor en la variedad sabanera (119.2 mg eq de Trolox/mg de Yuca), este valor fue 48% mayor a la actividad presentada por la variedad criolla que fue de 57.6 mg eq de Trolox/mg de yuca, aun no existen evidencias de actividad antioxidante en yuca, sin embargo Sandoval-Vegas *et al.*, (2018) reportan que la papa (el tubérculo de mayor consumo a nivel mundial) aporta carotenoides, (violaxantina, anteraxantina, luteína, neoxantina, beta-criptoxantina, zeaxantina y beta-carotenos) que

son capaces de inhibir la lipoperoxidación en hígado de animales de experimentación. Por otro lado, como se mencionó anteriormente el tubérculo, tuvo un proceso de secado a una temperatura de 75°C por lo que es probable que algunos de los compuestos con actividad antioxidante, la perdiera.

Cuadro 3. Determinación de la Actividad Antioxidante equivalente a Trolox, en muestras de yuca por el método ABTS.

VARIETADES	TEAC
Criolla	57.6 ± 1.19
Sabanera	119.2 ± 1.5

TEAC: actividad antioxidante equivalente a Trolox (Mg eq. Trolox/g yuca).

CONCLUSIONES

La caracterización bromatológica de las dos variedades de yuca evidencio que el principal componente es el almidón, y que ambas variedades podrían servir para la obtención de dicho compuesto, por lo que podría generar beneficios para el productor para su comercialización y proporcionar un valor económico. Además, tiene mayor actividad antioxidante que, aunque es baja en comparación con otros alimentos, podría actuar en sinergia con otros compuestos. Se propone caracterizar química y funcionalmente los almidones para generar oportunidades en el consumo y las aplicaciones de este tubérculo.

AGRADECIMIENTOS

A CONACYT por su apoyo financiero al proyecto "Generación de Tecnología para la producción sustentable y uso integral de malanga y yuca en Tabasco y Veracruz, México" No. 1153. Al Laboratorio de Ecofisiología Vegetal y Sistemas Agroforestales (LEVSA), de ECOSUR unidad Villahermosa, por facilitar sus instalaciones y equipos para la determinación de la actividad antioxidante

LITERATURA CITADA

Aristizábal, J.S.T. 2007. Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación (FAO). Roma.

Barriada-Bernal G, Aquino-González V, Leticia Méndez-Lagunas L, Rodríguez-Ramírez J Sandoval-Torres S. 2018. Physical and nutritional characterization of yucca fruits (*yucca mixteca*). *Agrociencia*, 52: 347-359.

Buitrago, A.J.A; Gil, J.L.; Ospina, B. 2001. La yuca en la alimentación avícola. Cuadernos Avícolas Federación Nacional de Avicultores-Fondo Nacional Avícola (FENAVI-FONAV), N. 14:47.

Ceballos, H. 2002. La Yuca en Colombia y el mundo: Nuevas perspectivas para un cultivo milenario. Cali, CO, CIAT. In. La Yuca en el Tercer Milenio: Sistemas Modernos de producción, procesamiento y comercialización. Cali, CO, CIAT.

Fretes F. y Mendoza C. 2010. Mandioca una opción industrial. Agencia del Gobierno de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID). Paraguay.

Morillas-Ruiz, J. M., and Delgado-Alarcón, J. M. (2012). Análisis nutricional de alimentos vegetales con diferentes orígenes: Evaluación de capacidad antioxidante y compuestos fenólicos totales. *Nutr. clín. diet. hosp*, 32(2), 8-20.

Official Methods of Analysis of AOAC. 2005. International; Association of Analytical Chemist: Washington, DC USA.

Hernández-Medina, M., Torruco-Uco, J. G., Chel-Guerrero, L., & Betancur-Ancona, D. (2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Food Science and Technology*, 28(3), 718-726.

Ospina B. y Ceballos H. 2002. La yuca en el tercer milenio: sistemas modernos de producción, proceso, utilización y comercialización. Centro internacional de agricultura tropical. Colombia.

Re, R.; Pellegrini, N.; Proteggente, A.; Pannala, A.; Yang, M.; Rice-EVANS, C. 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radic. Biol. Med.*, 26:1231-1237.

Sánchez, E.D., Acosta, E.J., Rodríguez, C.M., Olivera de los Santos, A. 1999. Manual para producir follaje de yuca *Manihot esculenta* Crantz, en Tabasco. Centro Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Huimanguillo, Tabasco. México.

- Sandoval-Vegas, M., Huamán-Gutiérrez, O., Oré-Sifuentes, R., Loli-Ponce, A., & Ayala-Pío, S. (2010, July). Efecto antioxidante y citoprotector del *Solanum tuberosum* (papa) en la mucosa gástrica de animales de experimentación. In *Anales de la Facultad de Medicina*, 71, (3), 147-152).
- Techeira, N., Sívoli, L., Perdomo, B., Ramírez, A., y Sosa, F. (2014). Caracterización fisicoquímica, funcional y nutricional de harinas crudas obtenidas a partir de diferentes variedades de yuca (*Manihot esculenta* Crantz), batata (*Ipomoea batatas* Lam) y ñame (*Dioscorea alata*), cultivadas en Venezuela. *Interciencia*, 39(3).
- Vargas-Aguilar y Hernández-Villalobos. 2012. Harinas y almidones de yuca, ñame, camote y ñampí: propiedades funcionales y posibles aplicaciones en la industria alimentaria. *Tecnología en Marcha*. 25 (6), 37-45.
- Vearsilp T. y Mikled C. 2001. Site and extent of cassava starch digestion in ruminants. International Workshop on Current Research and Development on Use of Cassava as Animal Feed. Khon Kaen, University Thailand.
- Zinn R.A. y DePeters E. J. 1991. Comparative feeding value of tapioca pellets for feedlot cattle. *J. Anim Sci*. 69:4726-33.

REFERENCIA INFORMÁTICAS

- Servicio de Información, Agroalimentaria y Pesquera. SIAP. 2016. http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/identidad/index.jsp.

Sección F:
Socioeconomía y
desarrollo rural

ANÁLISIS DE LA SUSTENTABILIDAD DEL SISTEMA DE RIEGO POR EXUDACIÓN EN EL CULTIVO DE CHILE HABANERO EN PETÉN, GUATEMALA

SUSTAINABILITY ANALYSIS OF THE IRRIGATION SYSTEM BY EXUDATION IN THE CULTIVATION OF HABANERO PEPPER IN PETÉN, GUATEMALA

^{1,2}Martínez Cuestas MA, ¹Luna Jiménez AL, ¹González Cortés N, ²Milián Vicente BA

¹Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica Multidisciplinaria de los Ríos. Carretera Tenosique-Estapilla, km 1. Col. Solidaridad, C.P.86901. Tenosique, Tabasco, México.

²Universidad de San Carlos de Guatemala, Centro Universitario de Petén, Parque las Estelas, Santa Elena, C.P.17001, Flores, Petén, Guatemala.

Autor por correspondencia: marco27879@gmail.com

RESUMEN

En la agricultura moderna, los sistemas de riego tecnificados han mejorado la eficiencia en el uso del agua para la producción de alimentos. Sin embargo, se desconocen indicadores de sustentabilidad, por ello; se hizo necesario evaluar en la presente investigación la sustentabilidad del sistema de riego por exudación en el cultivo de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) en Petén, Guatemala. Se realizó un análisis de varianza de bloques completamente al azar, con dos tratamientos (exudación y goteo) y cuatro repeticiones, presentando el sistema de riego por exudación mayor eficiencia en la dimensión ambiental con un índice ponderado de 0.98 mientras el sistema de riego por goteo mostró un índice de 0.87. En la dimensión económica, se evaluaron cuatro indicadores: la adsorción de elementos esenciales por la planta, el rendimiento del cultivo, la rentabilidad y la relación beneficio-costo; presentando el riego por exudación un índice ponderado mayor de 0.99 mientras que el riego por goteo tuvo un 0.86. El riego por exudación generó una rentabilidad del 77.91 % y por goteo el 68.68 %, con una mayor relación beneficio-costo el riego por exudación (3.53) que el riego por goteo (2.19). En el aspecto social el riego por exudación mostró un índice de 0.88 mientras que el riego por goteo un 0.93. A partir de los resultados obtenidos se concluye que el riego por exudación representa una agrotecnología sustentable para su uso en la agricultura con un índice de sustentabilidad global de 0.95.

Palabras clave: *eficiencia, rentabilidad, agricultura.*

INTRODUCCION

Hacia el año 2050, se estima que la agricultura tendrá que producir un 60 % más de alimentos a nivel mundial y un 100 % más en los países emergentes (ONU, 2015). En muchas regiones, el cambio climático se traducirá en sequías frecuentes, por lo que menos lluvia creará necesidades mayores de irrigación (Bourzac, 2013).

Para alcanzar un desarrollo agropecuario sustentable, es necesario implementar una gestión adecuada en el uso de los recursos; siendo el hídrico uno de los más importantes. La erosión hídrica es la primera causa de degradación de los suelos en México y en el resto del mundo por lo que constituye uno de los problemas ambientales más graves a los que se enfrenta el mundo (Cruz, Magaña y Hernández, 2016).

En este contexto, es necesario el diseño de sistemas de riego que cada vez sean más eficientes en el uso del recurso hídrico para que los agricultores puedan lograr el objetivo de obtener mayor ecoeficiencia en sus sistemas productivos, contribuyendo al desarrollo agropecuario sustentable.

Uno de los sistemas de riego localizado con mayor uso en el mundo y con alta eficiencia es el riego por goteo, sin embargo; su uso ocasiona las siguientes problemáticas para los agricultores:

- Puntos de descarga de agua constante, lo que provoca acidificación y erosión en los suelos.
- Uso de productos químicos para evitar el taponamiento de los goteros, alto consumo de energía y uso de mano de obra especializada; lo cual incrementa los costos de operación.
- El material con que se fabrican las mangueras de riego no es degradable y presenta corto tiempo de vida útil, lo que ocasiona un impacto negativo ambiental.

En resumen, el sistema de riego por goteo a pesar de ser eficiente presenta un impacto ambiental negativo en el uso de los recursos, por lo que de continuar con esta tendencia no se alcanzará el desarrollo sustentable deseado.

Debido a la necesidad de implementar nuevas tecnologías de riego eficiente y sustentable, se hace imprescindible la búsqueda de alternativas que cumplan con estos criterios, como el sistema de riego por exudación.

Según el fabricante PORITEX (2016), el sistema de riego por exudación presenta las siguientes ventajas:

- Funciona a baja presión sin bombas o dispositivos, por lo que el consumo de energía se reduce al mínimo.
- Esponja y oxigena el suelo gracias a su aporte de hidratación permanente, controlada y uniforme.
- No requiere el uso de agroquímicos para la limpieza de su estructura.
- También posibilita su instalación en forma superficial o enterrada lo que prolonga su vida útil.
- Es resistente al clima, permanece inalterable en su longitud y uniformidad en su superficie.

De acuerdo con lo anterior, el riego por exudación presenta características que lo perfilan como un sistema de riego ecológico, con consumo eficiente de agua y energía. Por lo que, en la presente investigación se evaluó la sustentabilidad del sistema de riego por exudación en el cultivo de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) durante los meses de abril a septiembre del año 2017; debido a la adaptabilidad, demanda y rentabilidad que tiene el cultivo en el departamento de Petén, Guatemala y en el sureste de México.

Se realizó la comparación con el sistema de riego por goteo; considerando que este sistema es el más utilizado debido a su alta eficiencia en función a otros sistemas de riegos convencionales, que se utilizan actualmente en la agricultura.

La relevancia de evaluar la eficiencia de un sistema de riego se debe a la necesidad de una gestión de recursos orientada a alcanzar un desarrollo agropecuario sustentable de la región.

Con los resultados de esta investigación se busca aportar nuevos conocimientos sobre:

- La viabilidad del sistema de riego por exudación en el cultivo del chile habanero en la región de Petén, Guatemala. Aunque existen diferentes estudios e investigaciones sobre el sistema de riego por exudación en países como Perú, Colombia, Ecuador, etc.; particularmente en la localidad objeto, existe la necesidad de validar dichos resultados bajo condiciones sociales, económicas y ambientales distintas que presenta la región de estudio, depurando algunas técnicas de medición, utilizando diferentes indicadores y con un enfoque sustentable.
- Que esta tecnología pueda ser transferida, replicada y adoptada al sector agrícola de Guatemala y el sureste de México.
- La eficiencia de ambos sistemas de riego. Presentando esta comparación alta confiabilidad de los resultados, como efecto directo de los tratamientos evaluados y no de agentes externos o casuales ajenos a la investigación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El área experimental se encuentra en suelos que se clasifican taxonómicamente en el orden de los alfisoles y suborden udalfs (Ld), son suelos con un horizonte interno con alto contenido de arcilla en relación a los superficiales y altas saturación de bases (mayores a 35 %). Suelos maduros con un contenido alto de humedad durante todo el año, son muy productivos para la agricultura con relieves suaves y ofrecen buen potencial para la producción forestal en relieves ondulados (Tobías y Lira, 2000).

En la investigación se realizó un control estricto de los factores externos, para descartar o minimizar los errores sistemáticos que pudieran afectar los resultados en cualquiera de las variables en estudio.

Diseño Experimental

Para la búsqueda de variaciones inherentes al efecto de los tratamientos se utilizó un análisis de varianza combinatorio mediante un diseño experimental con un arreglo de bloques completamente al azar, con dos tratamientos y cuatro repeticiones (Figura 1). El factor de bloqueo lo representó la eficiencia de distribución del riego a través de la tubería principal, debido a que la distancia de la entrada principal de riego afecta la distribución de agua al cultivo a lo largo de la tubería de distribución.

El modelo estadístico (adaptado de Little y Hills, 1987) que describe el efecto de los tratamientos sobre la variable respuesta es el siguiente: $Y_{ij} = \mu + T_i + B_j + \varepsilon_{ij}$. Al momento de encontrarse diferencias significativas entre los sistemas de riego para las variables en estudio, se sometieron a

una prueba de medias utilizando el procedimiento de diferencias honestamente significativas (HSD) de Tukey.

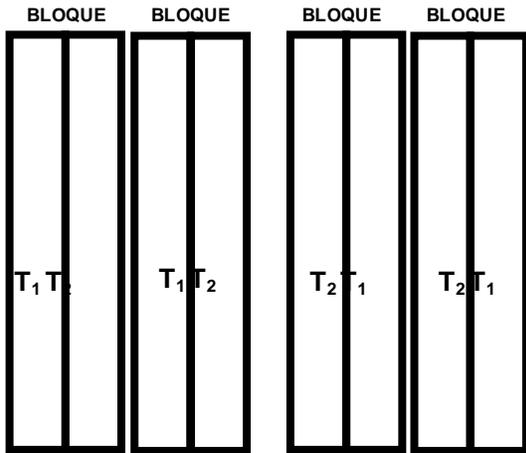
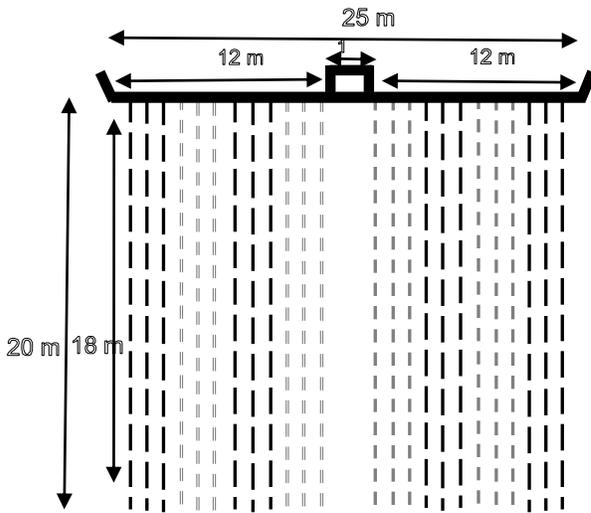


Figura 1. Diseño de los bloques en el área de

El tamaño de la parcela experimental fue de 3 m de ancho por 20 m de largo constituida cada parcela por tres surcos, con una parcela neta de 18 m² la cual se encontró formada por un surco central dejando un metro de borde en cada lado de la cabecera de los surcos; el área total del ensayo fue de



520 m², como se aprecia en la Figura 2.

Figura 2. Diseño de la distribución espacial de la investigación.

Variables evaluadas

Para la evaluación del sistema de riego por exudación se midieron 10 variables considerando las tres dimensiones de la sustentabilidad: económico, social y ambiental. En el Cuadro 1; se presentan las variables con sus respectivas dimensiones, indicadores, unidad de medida, descripción y el modelo matemático empleado para su análisis.

Para los fines de la presente investigación se contemplaron cuatro variables inmersas en la dimensión ambiental, cuatro en lo económico y dos en la dimensión social.

Estas variables se sometieron a un análisis ponderado para determinar los índices de eficiencia para cada sistema de riego por dimensión y así con ello, calcular el índice global de sustentabilidad que presenta cada sistema de riego, en el Cuadro 2 se muestra la descripción y el modelo matemático utilizado para su cálculo.

Cuadro 1. Operacionalización de variables e indicadores evaluados.

Variables a evaluar	Dimensión	Indicador	Unidad de medida	Descripción	Modelo matemático
Volumen de agua aplicado	Ambiental	Agua aplicada por área	m ³ ha ⁻¹	Aforo del reservorio de agua.	$Aforo = Q_1 - Q_2$
Coefficiente de uniformidad de caudal	Ambiental	Eficiencia de distribución de riego	%	Seis mediciones durante el ciclo del cultivo, mediante el modelo de Merriam y Keller, 1978.	$CUC = \frac{\bar{Q}^{25\%}}{\bar{Q}^n} \times 100$
Coefficiente de uniformidad de presión	Ambiental	Eficiencia de presión de riego	%	Seis mediciones durante el ciclo del cultivo, mediante el modelo de Merriam y Keller, 1978.	$CEP = \frac{\bar{P}^{25\%}}{\bar{P}^n} \times 100$
Erosión hídrica del suelo	Ambiental	Reducción de capa superficial de suelo	t ha ⁻¹	Método mejorado de clavos y roldanas.	
Absorción de elementos esenciales	Económico	Ahorro de fertilizantes	U.S.\$ ha ⁻¹	Análisis foliar a la cosecha.	Laboratorio de la FAUSAC
Rendimiento	Económico	Análisis económico	t ha ⁻¹	Determinación en función de lo producido y el precio de venta durante el tiempo.	Flujo de efectivo
Rentabilidad	Económico	Análisis de ingresos y utilidades	%	Cociente entre las utilidades y el ingreso total por 100.	$R = (U/I) \times 100$ Relación B C ⁻¹
Relación beneficio costo	Económico	Análisis de costos y utilidades	a dimensional	Cociente entre la utilidad y el costo de producción.	
Número de empleos	Social	Empleos por hectómetro cúbico de agua de riego.	Empleos hm ³	Relación entre el empleo y el agua consumida por el cultivo (Hussain et al. 2007, p.101)	$X = \frac{J/288}{10,000 \left(\frac{LR}{EC}\right) / 1,000,000} = \frac{25(J)EC}{72LR}$
Productividad laboral	Social	Trabajo realizado por hora	h t ⁻¹	Horas requeridas para producir una tonelada de fruto del chile habanero (Hussain et al. 2007, p.101)	$Y = \frac{8j}{RF}$

Fuente: Adaptación de Hussain et al., 2007.

Cuadro 2. Descripción sistemática del cálculo de los índices de sustentabilidad para los sistemas de riego evaluados.

Dimensión	Índice	Simbología	Descripción	Modelo matemático
Ambiental	Ponderado	<p>I_p = índice ponderado de la dimensión.</p> <p>D_y = Dimensión en estudio.</p>	Se considera los indicadores para cada dimensión por tratamiento, luego se divide cada uno de los menores entre los mayores para posteriormente realizar la sumatoria, la cual se divide dentro del número de indicadores por dimensión.	$I_{p_i} = \frac{\sum_{j=1}^{D_y} \left[\frac{P}{K} \right]}{n}$ <p>en donde P ≤ K</p>
Económico	Ponderado	<p>P = Indicador menor o igual en la dimensión.</p> <p>K = Indicador mayor o igual en la dimensión.</p>		En donde P ≤ K
Social	Ponderado	n = Número total de indicadores en la dimensión.		
Sustentabilidad Global	Global	ISG = Índice sustentable global	Se determina mediante el promedio de los índices de cada dimensión.	$ISG = \frac{\sum IP_x}{3}$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Esta investigación tuvo como objetivo evaluar la sustentabilidad del sistema de riego por exudación en el cultivo de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) en el departamento de Petén, Guatemala. Para ello, se definieron indicadores de medición por cada una de las tres dimensiones de la sustentabilidad. A continuación, en el Cuadro 3 se presenta el resumen de los resultados del análisis estadístico realizado a las variables de cada una de las dimensiones.

Cuadro 3. Resumen de los análisis de varianza realizados para las variables evaluadas en las dimensiones de la sustentabilidad.

F.V.	Gl.	Cuadrado medio de las variables respuesta por dimensión									
		Ambiental				Económica				Social	
		LHA	CUC	CUP	EHS	N	P	K	t ha ⁻¹	Empleos Hm ⁻³	H t ⁻¹
Sistemas de riego	1	0.001**	5.33N.S.	355.01**	5.66N.S.	0.12N.S.	0.00N.S.	0.01N.S.	32.04**	4.50**	946.12**
Bloque	3	0.017	1.93	1.15	0.21	0.10	0.0001	0.17	13.14	57.5	167.79
Error	3	0.0002	2.93	2.16	1.18	0.19	0.0001	0.16	1.12	0.17	55.46
Total	7										
C.V.		4.56%	1.87%	1.59%	22.62%	10.40%	7.30%	12.00%	8.15%	2.86%	9.35%

N.S.: No existen diferencias significativas.

** : Diferencias altamente significativas

Dimensión ambiental

En la dimensión ambiental se consideraron las siguientes variables de estudio: volumen de agua aplicado (LHA), coeficiente de uniformidad de caudal (CUC), coeficiente de uniformidad de presión (CUP) y erosión hídrica del suelo (EHS). En los resultados del Cuadro 3 se muestra que existieron diferencias altamente significativas entre los sistemas de riego evaluados a un nivel de significancia del 95 % para las variables de volumen de agua aplicado y el coeficiente de uniformidad de presión.

En lo que respecta a la lámina de humedad aprovechable, el riego por exudación actúa por efecto de capilaridad. Durante los primeros 20 minutos de riego su comportamiento es en forma lineal y directamente proporcional al tiempo, aplicando una lámina de humedad aprovechable igual a 0.395 cm. A partir del minuto 21 el sistema de exudación interrumpe el riego debido a la saturación del suelo, manteniendo la misma lámina durante todo el tiempo de riego (Figura 3).

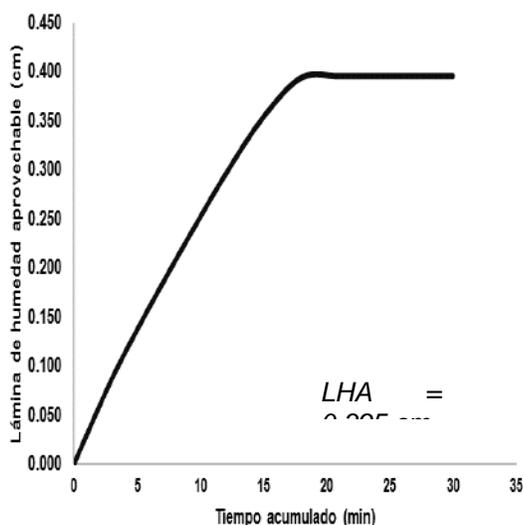


Figura 3. Curva de descarga de riego por exudación.

El riego por goteo manifiesta un comportamiento lineal durante todo el tiempo de riego, aplicando una lámina de humedad total de 0.470 cm, utilizando mayor recurso hídrico para fines de riego agrícola (Figura 4).

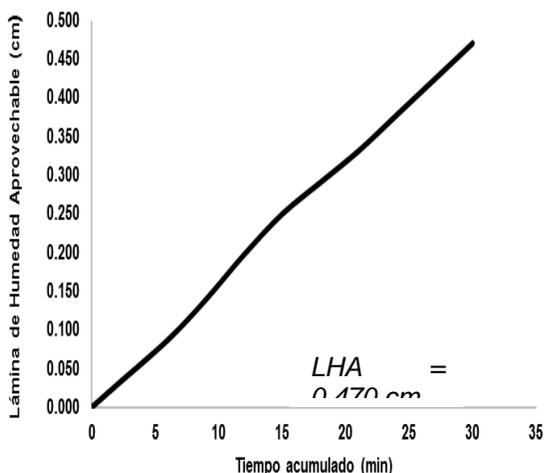


Figura 4. Curva de descarga de riego por goteo.

Para la variable que mide el coeficiente de uniformidad de presión (CUP), se realizó la respectiva comparación de medias adyacentes, observando que el riego por exudación presentó una eficiencia significativa con una media del 98.26 % superior a la media del sistema de riego por goteo que fue de 87.38 %.

Estos resultados difieren de los obtenidos por Granda y López (2009); quienes evaluaron sistemas de riego localizados en el cultivo de lechuga bajo invernadero en Ecuador. Sin embargo, es necesario señalar que uno de los inconvenientes que definieron el efecto de las variables planteadas en el estudio realizado por Granada y López (2009), fue la profundidad a la que fueron enterrados los sistemas subterráneos (goteo y exudación) siendo a 25 centímetros, lo que incide en los resultados. Mientras que en la presente investigación el riego por exudación se enterró a 10 centímetros.

Después del análisis obtenido en la dimensión ambiental se concluye que los resultados obtenidos muestran que el sistema de riego por exudación fue superior al riego por goteo en esta dimensión con un índice ambiental ponderado de 0.98, mientras que goteo presentó un índice de 0.87.

Dimensión Económica

En la dimensión económica se consideraron cuatro variables de estudio: absorción de nutrientes esenciales, rendimiento, rentabilidad y relación beneficio-costos. Según los resultados obtenidos se presentaron diferencias altamente significativas únicamente para la variable rendimiento con un nivel de significancia del 95%, mostrando superioridad el riego por exudación con un promedio de 15 Ton ha⁻¹, mientras que el riego por goteo presentó 11 t ha⁻¹.

Para el análisis económico, se determinaron los ingresos, costos y utilidad en dólares americanos; así como también la rentabilidad y la relación beneficio-costos (B C-1) de cada sistema de riego (Cuadro 4).

A partir del análisis realizado se concluye que el sistema de riego por exudación muestra una mayor rentabilidad en su implementación con un 77.91 %. Por su parte, el riego por goteo presentó una rentabilidad del 68.68 %; estos resultados tienen un efecto en la relación beneficio costo de cada sistema de riego.

Confirmando que, la mayor rentabilidad obtenida en el cultivo se presentó en el sistema de riego por exudación, con una relación B C⁻¹ de 3.53. Esto se interpreta que por cada dólar invertido en el cultivo por hectárea se obtiene 3.53 dólares de ganancia o utilidad, mientras que el riego por goteo presentó una relación B C⁻¹ de 2.19.

Cuadro 4. Indicadores económicos en forma comparativa de los sistemas de riego evaluados.

Sistema de riego	Ingreso total (\$ usd)	Costo de producción (\$ usd)	Utilidad (\$ usd)	Rentabilidad	Relación B C ⁻¹
Exudación	51 372.72	11 345.77	40 026.95	77.91 %	3.53
Goteo	37 694.21	11 807.41	25 886.80	68.68 %	2.19

Estos resultados son muy similares a los encontrados en Colombia por Legarda, Gómez y Gamboa (2009); donde se estudiaron las necesidades económicas de agua para riego mediante el sistema del tubo geotextil exudante, como una alternativa de manejo rentable y sostenible en cultivos de frijol, tomate y melón. Los resultados confirman que este sistema es más fácil de operar y requiere bajo mantenimiento, permitiendo realizar fertirrigación con altos niveles de eficiencia; a diferencia del riego por goteo.

Se obtuvo como resultado que el sistema de riego por exudación fue superior al riego por goteo en esta dimensión con un índice económico ponderado igual a 0.99, mientras que el riego por goteo presentó un índice de 0.86.

Dimensión social

En la dimensión social se consideraron dos variables de estudio: el número de empleos por hectómetro cúbico de agua para riego y la productividad laboral. Para obtener su medición se utilizó el modelo matemático propuesto por Hussain et al. (2007).

El análisis de varianza realizado para la variable del número de empleos generados por hectómetro de agua aplicado en el riego, mostró diferencias altamente significativas entre ambos sistemas. El sistema de riego por exudación fue superior en el ámbito social definido por esta variable, con un promedio de 15 empleos por hectómetro cúbico de agua para uso en el riego agrícola. Por su parte el riego por goteo presentó una media de 13 empleos por hectómetro cúbico.

La segunda variable medida en la dimensión social fue la productividad laboral, obteniéndose al medir las horas laborales necesarias para producir una tonelada de chile habanero. En el resumen del análisis de varianza presentado en el Cuadro 3 muestra que existen diferencias estadísticamente significativas entre ambos sistemas de riego evaluados.

El riego por goteo presentó superioridad, mostrando una media laboral de 90.5 horas de trabajo requeridas para producir una tonelada de chile habanero, mientras que el riego por exudación únicamente requiere de 68.75 horas lo cual indica una menor utilización de mano de obra.

Concluyendo los resultados de esta dimensión, se obtuvo que el sistema de riego por goteo fue superior al riego por exudación, presentando un índice social ponderado de 0.93, mientras que el riego por exudación presentó un índice de 0.88.

Análisis de la sustentabilidad

Considerando las tres dimensiones de la sustentabilidad aplicada para los sistemas de riego evaluados, se determinaron los índices ponderados de eficiencia para cada dimensión y al mismo tiempo se determinó el índice global que representa la sustentabilidad de cada sistema de riego evaluado, considerando las variables en estudio.

En la Figura 5 se observa que el riego por exudación presentó mayores índices ponderados en la dimensión ambiental y económica con 0.98 y 0.99 respectivamente. En contraste, el riego por goteo presentó índices de 0.87 y 0.86, mientras que en la dimensión social el riego por goteo fue superior con un índice de 0.93 sobre el riego por exudación con 0.88.

CONCLUSIONES

Esta investigación tuvo como objetivo evaluar la sustentabilidad del sistema de riego por exudación en el cultivo de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.), en el departamento de Petén, Guatemala. Para ello, se establecieron indicadores en las tres dimensiones de la sustentabilidad que permitieron evaluar la eficiencia del sistema de riego por exudación.

En la dimensión ambiental a partir de los resultados obtenidos en los cuatro indicadores: volumen de agua aplicado, coeficiente de uniformidad de caudal, coeficiente de uniformidad de presión y erosión hídrica del suelo; se concluye que el sistema de riego por exudación presentó mayor eficiencia con un índice de 0.98; mientras que el riego por goteo presentó un índice de 0.87.

En lo que respecta a la dimensión económica se evaluaron cuatro indicadores: absorción de elementos esenciales por la planta, rendimiento del cultivo, rentabilidad y relación beneficio-coste; encontrando que el riego por exudación presentó un índice superior de 0.99 mientras que el riego por goteo mostró un índice de 0.86.

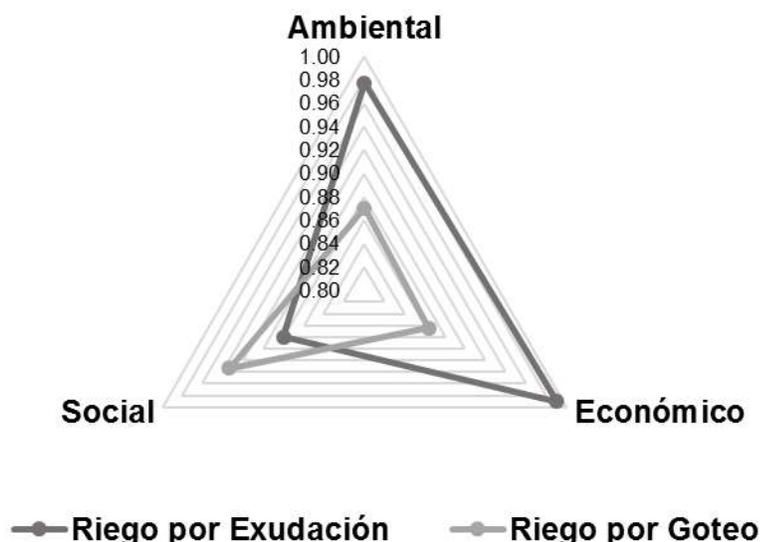


Figura 5. Índices de la sustentabilidad para los sistemas de riego evaluados.

En el análisis económico realizado, el sistema de riego por exudación mostró mayor rentabilidad con un 77.91 % sobre el sistema de riego por goteo de 68.68 %. Se presentó una relación beneficio-coste de 3.53 en riego por exudación, esto significa que por cada dólar invertido por hectárea en la producción de chile habanero bajo condiciones de riego por exudación se obtiene 3.53 dólares de utilidades; superior a lo obtenido en el riego por goteo que presentó una relación beneficio-coste de 2.19.

En el aspecto social se evaluaron dos indicadores: el número de empleo por hectómetro cúbico de agua y la productividad laboral. El análisis realizado mostró que el índice social para el riego por goteo fue de 0.93 siendo superior al del riego por exudación que presentó un índice de 0.88.

En el análisis de la sustentabilidad global se determinó un índice de 0.95 para el sistema de riego por exudación, superando al índice de 0.89 que presentó el riego por goteo. A partir de estos resultados se concluye que el sistema de riego por exudación tiene un efecto significativo en cuanto a indicadores de sustentabilidad en el cultivo de chile habanero en el departamento de Petén, Guatemala.

Con los resultados obtenidos se recomienda la utilización del sistema de riego por exudación como una agrotecnología sustentable en el cultivo de chile habanero, contribuyendo al desarrollo agropecuario de la región, bajo las condiciones agroclimáticas de la región.

Es recomendable realizar nuevas evaluaciones sobre el sistema de riego por exudación, considerando cultivos semi-perennes o perennes, para medir la durabilidad del material de fabricación de la manguera exudante y con mayores requerimientos hídricos y nutricionales; considerando también diferentes épocas del año (seca y lluviosa) para continuar midiendo el impacto sostenible del sistema de riego.

LITERATURA CITADA

- Bourzac, K. (2013). Water: The flow of technology. *Nature*, 501(7468), S4-S6. doi:10.1038/501S4a.
- Hussain, I., Turrall, H., Molden, D. et al. (2007). Measuring and enhancing the value of agricultural water in irrigated river basins. *Irrigation Science*, 25(3), 263-282. doi:10.1007/s00271-007-0061-4.
- Little, M. y Hills F. (1987). Métodos estadísticos para la investigación en agricultura. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. México: Editorial Trillas.

Tobías, H. y Lira, E. (2000). Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA). Primera Aproximación al Mapa de Clasificación Taxonómica de los Suelos de la República de Guatemala, a escala 1: 250,000 -Memoria técnica- Guatemala. pp. 44.

REFERENCIAS INFORMATICAS

- Cruz, F., Magaña, J. y Hernández, J. (2016). *Metodología para uso de agua en actividades agrícolas*. México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros_html/metodologia-para-estimar/files/assets/common/downloads/publication.pdf (Consultado el 12 noviembre 2017).
- Granda, J. E. y López, C. S. (2009). *Estudio de los sistemas de riego localizado por goteo y exudación, en el rendimiento del cultivo de lechuga (Lactuca sativa L. var. alface stella), bajo invernadero*. (Tesis de licenciatura, Pontificia Universidad Católica del Ecuador). <http://dspace.pucesi.edu.ec/handle/11010/236> (Consultado el 15 marzo de 2016).
- Legarda, L., Gómez, W. y Gamboa, I. D. (2009). *El Riego por exudación: Descripción, características y ventajas del sistema*. *Revista Ciencia Agrícolas*, 356-361. <file:///F:/TESIS/bibliografía%20utilizada/Legarda,%20Gomez,%20Gamboa;%202009.pdf> (Consultado 15 de marzo de 2016).
- ONU. (2015). *Agua para un Mundo Sostenible. Resumen Ejecutivo. Informe de las Naciones Unidas Sobre los Recursos Hídricos en el mundo*. Recuperado de sitio de internet de World Water Assessment Programme (WWAP) United Nations: <http://unesdoc.unesco.org/images/0023/002322/232272s.pdf> (Consultado el 12 de mayo de 2017).
- PORITEX (2016). Poritex Texbor, S.L. http://www.aprchile.cl/pdfs/1_Riego_por_goteo_exudante_subteraneo.pdf (Consultado el 10 de mayo de 2017).

PROBLEMÁTICA ECONOMICA Y SOCIAL DE LOS POBLADORES DE SAN JOSE DEL CARMEN, MUNICIPIO DE SAN CRISTOBAL DE LAS CASAS, CHIAPAS
ECONOMIC AND SOCIAL PROBLEMATIC OF THE PEOPLE OF SAN JOSE DEL CARMEN, MUNICIPALITY OF SAN CRISTOBAL DE LAS CASAS

¹Salinas Cruz E; ¹Martínez Sánchez J, ²Morales Guerra M, ³Vásquez Ortiz R, ³Noriega Cantú DH, Contreras Hinojosa JR²

¹Campo Experimental Centro de Chiapas Km 3 Carretera internacional Ocozocoautla-Cintalapa, Ocozocoautla de Espinosa Chiapas, INIFAP.

²Campo Experimental Valles Centrales, Oaxaca. INIFAP.

³Campo Experimental Iguala, Guerrero, INIFAP.

Autor de correspondencia: salinas.eileen@inifap.gob.mx

RESUMEN

La marginación es uno de los temas que se han estudiado a lo largo de los años, esto por la inquietud de conocer la dinámica económica y social de los pobladores que viven en esa situación, además de poder establecer medidas que puedan ayudar a salir de esa condición. Los estados con mayor población que vive en situación de pobreza son Chiapas, Guerrero y Oaxaca, si bien el gobierno mexicano ha realizado varios programas de apoyo para impulsar social y económicamente a los pobladores que se encuentran en esta situación, no han sido suficientes o no han sido los más aptos para poder lograrlo. San José del Carmen, se ubica en el estado de Chiapas, en el municipio denominado San Cristóbal de las Casas, ubicado en una de las regiones que se destaca por el movimiento zapatista de 1991, que a través de él se dieron cambios significativos el desarrollo de los pueblos. Sin embargo, no se ha logrado en su totalidad que la situación de sus pobladores cambie de manera radical. El cambio podría darse a través de los pobladores con bajos vínculos al comercio a un comercio más justo y que este pueda generarle un ingreso que permita tener un mejor nivel de vida. Para lograrlo es necesario conocer su situación actual a través de realizar una línea base y así detectar cual sería esa actividad económica- productiva que ayude a lograrlo. El presente trabajo como una primera fase describe la situación actual de los pobladores de San José del Carmen, describiendo su forma de vida y la vinculación al mercado.

Palabras clave: *Pobreza, ingresos, línea base, marginación.*

INTRODUCCION

El combate a la pobreza en México, siempre ha sido un tema relevante en el gobierno mexicano y es a través de programas gubernamentales que se ha tratado de disminuir la tasa de población en niveles de pobreza. Sin embargo, esta medida no ha sido la más viable ya que actualmente la población en niveles de pobreza es mayor que en el 2010, ya que según datos del CONEVAL (2017) la población en situación de pobreza fue de 52.8 millones para el 2010 mientras que para 2016 esta fue de 53.4 millones de personas, lo que deriva en un aumento de 1.12%, en donde la población en situación de pobreza moderada presenta el mayor aumento pasando de 39.8 millones de personas a 44 millones en esa situación, siendo el 9.5 en porcentaje la diferencia.

Dada esta situación es necesario no solo valerse de los programas de apoyo social a comunidades vulnerables sino realizar proyectos donde las capacidades de los pobladores de zonas con mayor pobreza con el objetivo de mejorar la producción de alimentos e ingreso para incentivar la economía local y lograr de una manera integral el bienestar social, económico y ambiental tanto de las familias como de su entorno.

Dentro de los estados que abarcan esta investigación (Chiapas, Guerrero y Oaxaca), se localiza la población con mayor índice de pobreza

Y es a través del desarrollo de tres ejes: el incremento de la producción de cultivos básicos (maíz y frijol), el fomento de la diversidad y cantidad de huertos familiares el incremento del ingreso a través de planes de negocios y la organización legal de grupos en figuras asociativas que se trata de desarrollar nuevas alternativas para el desarrollo de localidades con índice de pobreza alto y niveles de marginación.

Para ello es necesario presentar un panorama inicial de la situación actual de cada localidad en donde se desarrolle el proyecto, esto para con la finalidad de poder medir un antes y un después y establecer

si las acciones realizadas conllevaron a un impacto en la producción e ingresos de las familias participantes.

MATERIALES Y MÉTODOS

A) Describir el proceso de selección del área de trabajo

Uno de los criterios considerados para la selección del área de trabajo en el estado de Chiapas fue trabajar en localidades que estuvieran incluidos en la Cruzada Nacional contra el hambre y en la clasificación de la pobreza extrema, además que debería de contar con seguridad de acceso y circulación, y que la población tuviera deseos de participar conjuntamente con organizaciones locales para establecer alianzas de trabajo.

B) Contacto con los actores (promoción del proyecto en la población y aliados).

Una vez seleccionado la localidad de trabajo en donde se desarrolla el proyecto, se realizó una reunión con los integrantes de Misión Integral para el Desarrollo de México, principal organización aliada, los cuales establecieron trabajos previos en la localidad de San José del Carmen.

C) Línea base (Encuestas, análisis y redacción)

La línea base se estableció como parte previa al desarrollo de las actividades e innovaciones, el cual serviría como punto de partida y de medición con la implementación de cada una de las tecnologías para mejora en sus procesos de producción y entender la problemática de la población a atender.

Se realizó una cedula de entrevista con 90 preguntas, con el objetivo de recabar información pertinente en aspectos de producción agropecuaria, forestal, vivienda, gastos y alimentación en el hogar, migración y actividades económicas que generan ingresos, y se aplicó en un censo general a la población objetivo.

Una vez aplicada la encuesta en campo se llenó una base de datos por cedula de entrevista y productor encuestado y se prosiguió a la obtención de estadísticas básicas a través del programa SPSS, en donde se generaron cuadros de salida y graficas que permitirían interpretar y analizar los datos, los cuales permitieron la realización del documento línea base que servirá como herramienta de medición para establecer el panorama inicial de los pobladores.

D) Integración de grupos de trabajo

Se realizó una reunión con los pobladores de la localidad de San José del Carmen, para explicar el objetivo del proyecto y los alcances que se pretenden lograr, así como la importancia de su participación para la ejecución e implementación de las innovaciones, además de los posibles beneficios a futuro. El proyecto contempla la participación mínima de 30 productores cooperantes.

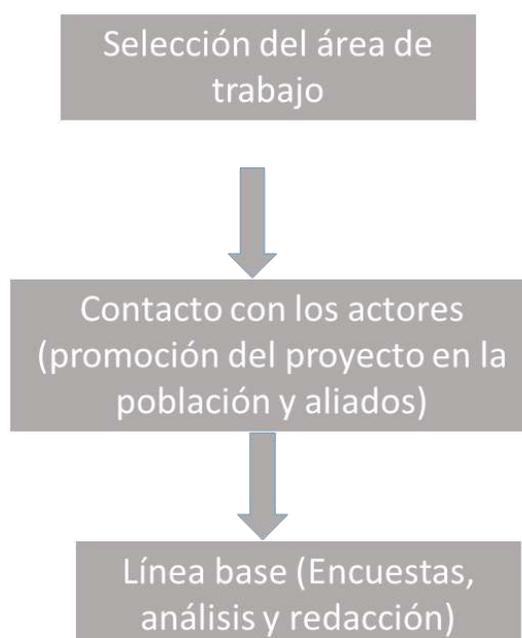


Figura 1. Proceso metodológico

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características socioeconómicas de los participantes

En la localidad del total de encuestados, dieciséis son hombres dando un total porcentual de 94.12% y una mujer con el 5.88% (Figura 2). Con una edad promedio de 35 años.

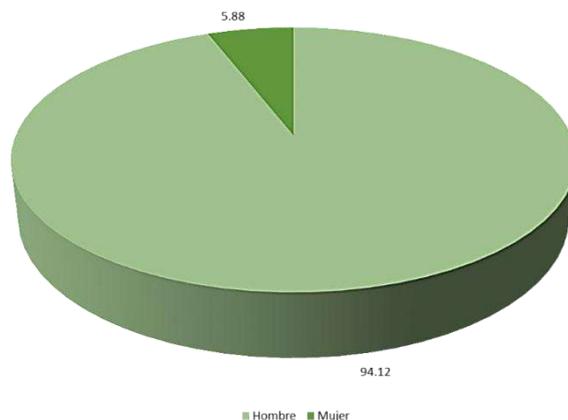


Figura 2 Porcentaje de Hombres y mujeres encuestados.

El grado de escolaridad no supera la primaria, dado a los escasos recursos que presenta la comunidad y el poco ingreso que se obtiene evita que se desarrollen escolarmente y puedan continuar sus estudios. Estadísticamente se tiene una media de 2.71 años estudiados para las personas encuestadas. La localidad solo cuenta con primaria y es el tercer año en donde se tiene el máximo grado de estudios, en la actualidad ningún habitante de San José del Carmen asiste a otra escuela para terminar su preparación escolar.

Para el caso de tenencias de tierras el 100% de las personas confirmo que cuenta con tierras propias y de propiedad privada, dando una media estadística de 2.24 hectáreas. Donde la producción se basa en maíz, frijol y en algunos predios la producción de haba o papa.

El tipo de vivienda de los productores de la localidad, es propia, las paredes son principalmente de madera con un 76.47% y el resto con un 23.53% es de tabique y los techos de las casas son de lámina galvanizada (94.12%) y un solo productor con el 5.88% cuenta con techo de concreto.

Los pisos de las viviendas en su mayoría son de tierra (82.35%), debido a que solo el 17.65% de los encuestados menciona tener piso de concreto.

El 100% de las familias cuentan con acceso a luz y agua, el 94.12% de los productores cuenta con servicio sanitario, solo el 5.88% que representa un productor no cuenta con servicio sanitario, y drenaje solo 2 productores que representan el 11.76% cuentan con ese servicio (figura 4). Los beneficios que reciben las familias de la sociedad civil ya sea municipal o externo es del 100% para capacitación y proyectos agrícolas, 23.53% de los productores recibe apoyo de salud y el resto otros tipos de apoyos (figura 3).



Figura 3 Beneficios que reciben las familias de la sociedad civil por parte de San Cristóbal de las Casas, Chiapas.

Incremento en los ingresos

Ingresos de la unidad familiar (mensual y anual). La actividad principal en la comunidad es la albañilería y la producción de tostadas, para realizar estas los habitantes se trasladan principalmente a la cabecera municipal de San Cristóbal de las casas (76.47% de los productores) mientras el 23.53% se mantiene dentro de la comunidad. Los ingresos provenientes de las actividades ejercidas no son constantes, debido a que la venta de tostadas es disminuida en épocas de frio, ya que el consumidor prefiere el consumo de otros sustitutos, la parte de albañilería es mermada por la falta de contratación. Y son los meses de mayo, junio, julio y noviembre donde tienen menos ingresos durante el año (figura 4).

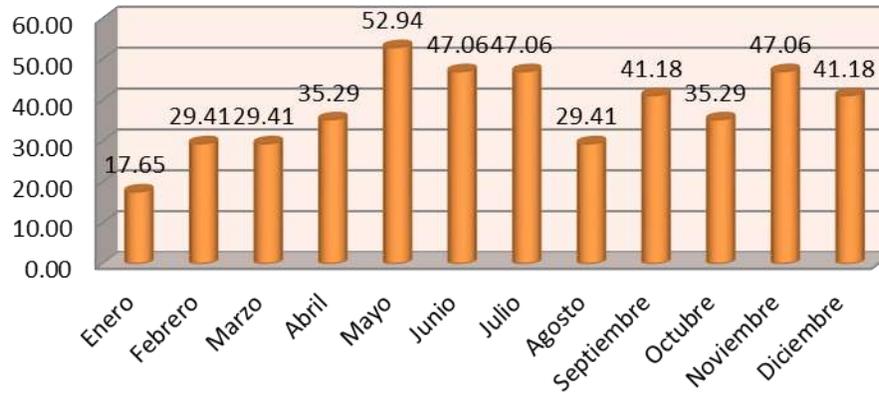


Figura 4 Meses en el cual los ingresos de los productores son menores en la localidad de San José del Carmen, San Cristóbal, Chiapas.

La mayoría de los hombres de la comunidad se dedican a parte de la agricultura a la albañilería como parte de las actividades que les generan ingresos, le dedican seis días a la semana con un costo por jornada de \$200 pesos/día, y su trabajo es casi todo el año, sin embargo, a veces escasea según la temporada, esta actividad se realiza principalmente en la cabecera municipal de San Cristóbal de las Casas. La producción de tostadas es realizada por algunas mujeres de la comunidad, su venta es en la cabecera municipal, y se realiza tres veces a la semana, principalmente en el mercado denominado José Castillo, a la venta se realiza en bolsas de diez pesos con veinte tostadas, en promedio venden de 30 a 40 bolsas por día, siendo un total de 90 a 120 por semana, lo que genera un ingreso de \$900 a \$1200 pesos. El 100% de los productores que representan a los 17 encuestados ahorra parte de sus ingresos, del cual el 94.12% lo da a grupos de auto ahorro y préstamos, y el 5.88% lo ahorra en su casa, la frecuencia de ahorro es semanal. El 41.18% tienen prestamos con grupos de ahorros, mientras que el 52.94% se mantiene fuera de los prestamistas. La inversión de sus ahorros es altamente significativa en la gráfica ya que observa que el 100% lo invierte en alimentación (figura 5).

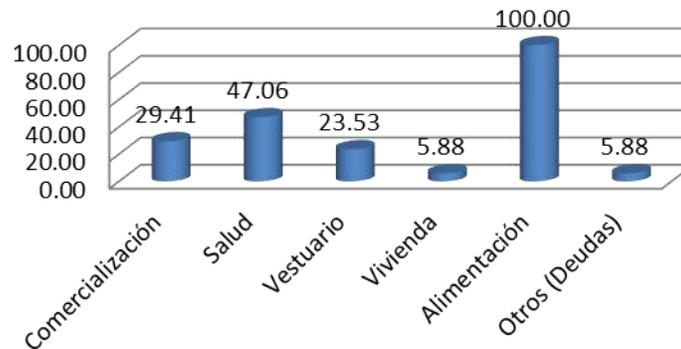


Figura 5 Inversión de sus ahorros de los productores en la localidad de San José del Carmen, San Cristóbal, Chiapas.

En el caso de los productores que obtienen por medio de préstamos el dinero, el 41.18% lo destina en alimentación, el 29.41% pagos de deudas y con el 5.88% para producción

Gastos de la unidad familiar (Mensual y anual)

Los productores basan su producción en frijol y maíz; un 82.35% siembran ambos cultivos, y solo el 17.65% indico solo producir ya sea maíz o frijol, que comúnmente es destinado a autoconsumo. Dentro del manejo pos cosecha se tiene que para consumo en maíz en promedio por familia es de 218.82 kilos y solo venden alrededor de 29 kilos, es decir el 98% de su producción es para consumo y solo una pequeña parte es para vender. En cuanto al frijol se consume en promedio 58 kilos y se venden 75 kilos.

El 17.64 % de los productores son consumidores directos de su producción, el resto vende a intermediarios. De los encuestados solo el 11.76% le da un valor agregado al maíz, para el resto de maíz el 5.88% no le da valor agregado de igual manera que en frijol con un 11.76% (figura 6).

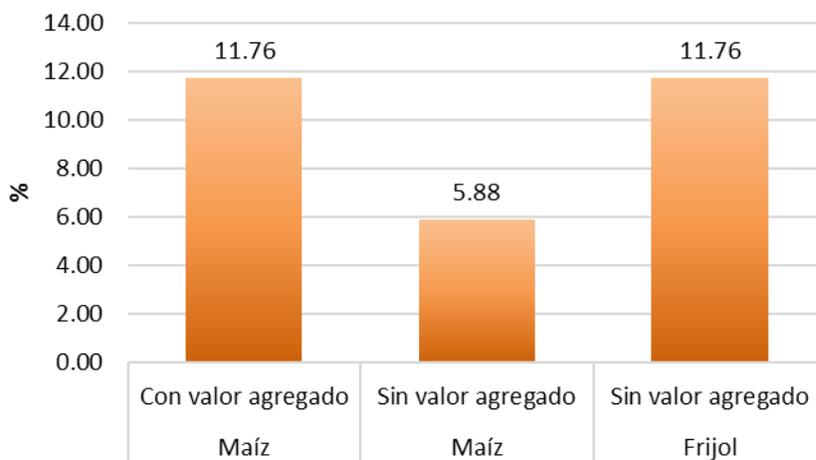


Figura 6 Forma en la que venden su producción en la localidad de San José del Carmen, San Cristóbal, Chiapas.

En la alimentación familiar el mes más representativo en donde los productores argumentan que no cuenta con suficiente alimento es en el mes de mayo con un 88.24% (figura 7), el motivo por el cual no es suficiente alimentación se debe al aumento de precios y pocos ingresos, lo que hace que su poder adquisitivo disminuya.

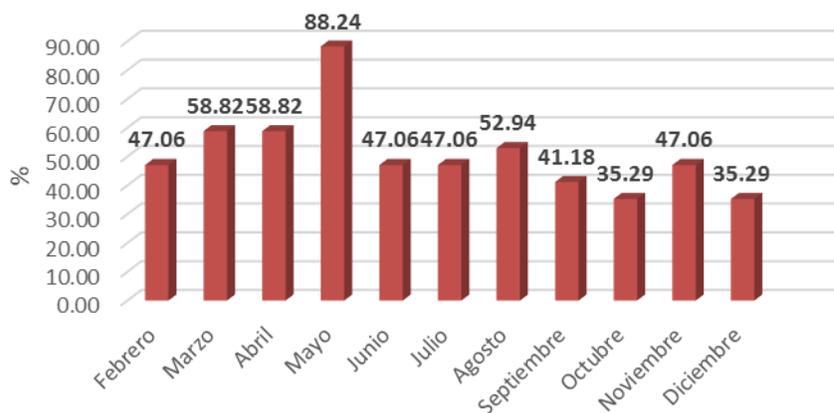


Figura 7 Meses con los que no cuentan con suficientes alimentos en la localidad de San José del Carmen, San Cristóbal, Chiapas.

Dada la circunstancia que en meses donde no cuentan con suficientes alimentos, ellos tienen que buscar opciones para poder subsistir, entre los cuales el 88.24% de los encuestados menciona que un

familiar tiene que salir fuera para trabajar y tener mayores ingresos, seguido por la venta de animales con un 35.29%.

La dieta familiar se basa en granos principalmente maíz y frijol; algunas pastas como sopas, y semillas de avena, arroz en menores frecuencias (11.76% del consumo total) y en menores porcentajes de consumo está el pan y la papa (5.88%).

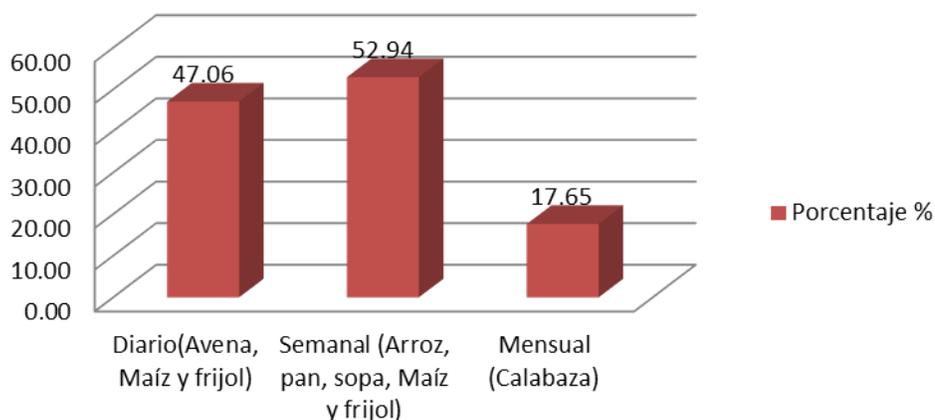


Figura 8 Frecuencia con la que consumen granos y semillas sin capacidad productiva en la localidad de San José del Carmen, San Cristóbal, Chiapas.

Sin embargo, cuando la capacidad productiva disminuye, la dieta de los pobladores es de un 52.94% en el consumo de manera semanal arroz, pan, sopa, maíz y frijol, además del consumo de productos de origen animal es huevo con un 100% seguido del consumo de las aves (gallinas) y de un bajo porcentaje queso y carnes rojas (Figura 8).

El consumo de origen animal en donde el productor tiene capacidad productiva se observan en la figura 9, y este es de manera mensual consumiendo principalmente gallinas (70.59%).

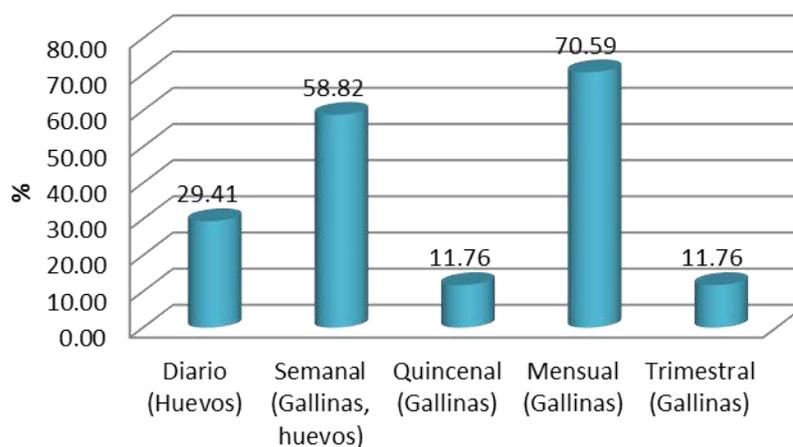


Figura 9 Frecuencia con la que consumen productos de origen animal con capacidad productiva en la localidad de San José del Carmen, San Cristóbal, Chiapas.

Las hortalizas/ legumbres/ tubérculos que más se consumen en la comunidad es tomate y cebolla con un 88.24%, seguido de chile con un 82.35% como se puede observar en la gráfica de abajo (figura 10) y quedando en último lugar, pero igual siendo consumida la planta de mostaza con un 5.88%.

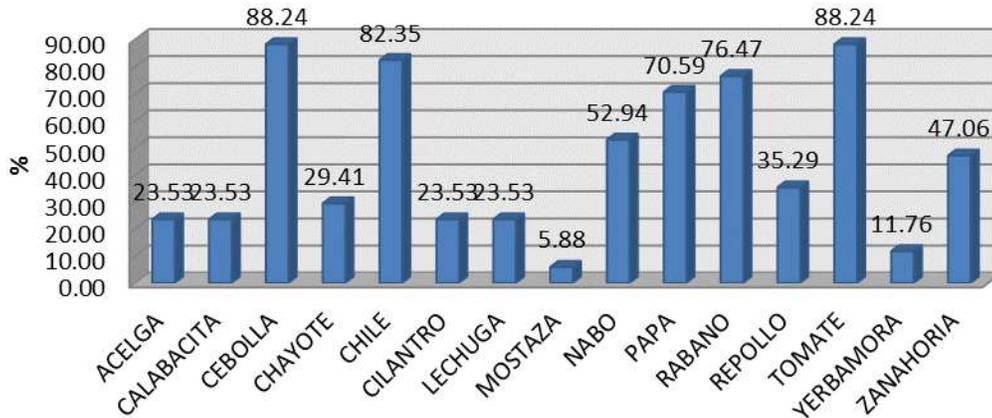


Figura 50 Hortalizas/ legumbres/ tubérculos que se consumen en la localidad de San José del Carmen, San Cristóbal, Chiapas.

De acuerdo al poder adquisitivo de los habitantes el consumo en hortalizas es de manera diaria lo que más consumen es chile con un 23.53%, quincenalmente lechuga, rábano, repollo, tomate y zanahoria con un 17.65% y mensualmente acelga, cilantro, lechuga, nabo, rábano, repollo y tomate. Las frutas que más se consumen en la localidad son plátano con el 94.12%, seguido de un 82.35% con naranjas y mango con un 52.94%, durazno con el 41.18%, en menos escala de consumo están la manzana, melón, papaya, piña y sandía en más bajo consumo como se observa en la figura (11).

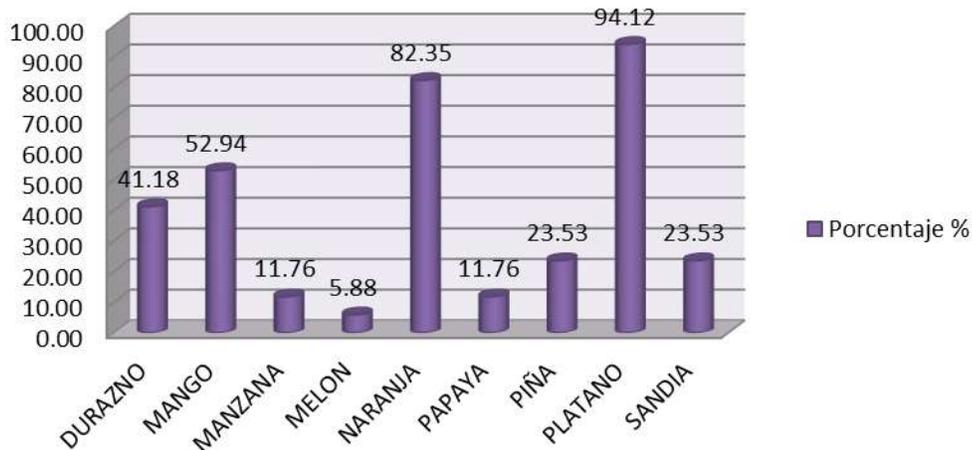


Figura 61 Frutas que se consumen en la localidad de San José del Carmen, San Cristóbal, Chiapas.

La frecuencia con la que consumen frutas sin capacidad productiva es para naranja con 5.88% quincenalmente, mensualmente consumen plátano con 5.88% y anualmente durazno con el 41.18%.

CONCLUSIONES

- La producción en la comunidad de San José del Carmen, está basada en maíz, frijol y algunas hortalizas. Donde la producción de maíz no supera ni me media tonelada.
- El nivel de escolaridad es por debajo de los 3 años de primaria, lo cual hace vulnerable la situación de los habitantes.
- El comercio es una parte importante como aportadora de ingresos, esta actividad es básicamente de mujeres en donde se comercializa pozol, tostados y algunos productos recolectados.
- La situación de la comunidad es de marginación alta, donde los habitantes tienen viviendas de madera, techo de lámina y pisos de tierra en su mayoría, además de que sus ingresos son de la

venta de productos en los mercados locales de la cabecera municipal y la albañilería desarrollada principalmente por los hombres.

- Cuentan servicios básicos luz, y es a través de programas realizados por ONG´s que construyen baños secos y tinacos para la captación de agua de lluvia principalmente.

LITERATURA CITADA

Consejo Nacional de Evaluación de la Política de desarrollo social (CONEVAL). Medición de la Pobreza, Estados Unidos Mexicanos. Estimaciones del CONEVAL con base en el MCS-ENIGH 2010, 2012, 2014 y el MEC 2016 del MCS-ENIGH.

CARACTERÍSTICAS SOCIOECONOMICAS DE LOS AGRICULTORES DE SANDIA EN CAMPECHE, MÉXICO

SOCIOECONOMIC CHARACTERISTICS OF WATERMELON FARMERS IN CAMPECHE, MEXICO

¹Uzcanga-Pérez N, ¹Cano-González A, ²Ramírez Silva JH

¹ INIFAP-C. E. Mocochoá, Km. 25 Antigua Carretera Mérida-Motul, Mocochoá Yucatán. México. C.P. 97454 Yuc. México.

²Centro de Investigación Regional del Sureste del INIFAP calle 6 #398 Av. Correa Racho, Col. Díaz Ordaz, C.P. 97130 Mérida, Yuc. México.

Autor de correspondencia: uzcanga.nelda@inifap.gob.mx

RESUMEN

El estudio se realizó en el estado de Campeche en México a una muestra de 127 agricultores de sandía que fueron entrevistados durante el ciclo productivo otoño-invierno para identificar sus principales características ya que en nueve de los 11 municipios que conforman el Estado, se cultiva sandía, aunque con rendimientos por debajo de la media nacional de 25.82 ton ha⁻¹. Los agricultores dedicados a este cultivo, son jóvenes (35-39 y 45-49 años), con ocho años de experiencia pero con baja escolaridad (4 años) y más de la mitad utiliza mano de obra familiar de hogares con cinco integrantes en promedio. También siembran otros cultivos como maíz. La composición de sus ingresos se valorizó principalmente por sus ingresos por el trabajo remunerado, valor de su vivienda o terrenos propios y del obtenido por los programas de gobierno, estimado en \$4,996.88 mensuales, encima del valor de bienestar mínimo para zonas rurales. La mayoría de la producción se comercializó a través de un intermediario, cuyas principales exigencias de compra fueron peso y tamaño. La producción estatal se distribuyó a diferentes centrales de abasto como Ecatepec en la Ciudad de México, Mérida en Yucatán, Francisco I. Madero en Hermosillo, Sonora, Tuxtla Gutiérrez, Chipas y Chihuahua. El resto se comercializó en el mercado municipal y ambulante y solo se exportó el 1.04%. El ingreso proveniente de la producción se utilizó para pagar el crédito de los agroinsumos, cuidado de la salud y bienes de consumo.

Palabras clave: socioeconomía, diagnóstico, agricultores de sandía

INTRODUCCION

La sandía por su frescura y sabor es un producto cotizado en casi todo el año. Su comercio depende de manera directa de las preferencias del consumidor final, lo que ha impulsado su producción pero también ha fomentado la competencia entre los países productores (ASERCA, 1999).

México es el primer exportador de sandía en el mundo (ASAGARPA, 2013) seguido por España, Estados Unidos, Irán y Países Bajos (FAO, 2011). En México las exportaciones de frutas como la sandía, melón, y papaya se estimó en 2017, ventas por 48,991 miles de dólares (<http://www.banxico.org.mx>).

La producción promedio anual nacional de sandía del 2008 a 2016 fue de 790,619 t, destacando la zona norte-centro que contribuye con el 54.87% de la producción total equivalente a 433,852 t siendo el Estado de Sonora el principal productor con 231,753 t. En segundo lugar se encuentra la región del Pacífico con una participación total de la producción del 22.98%, equivalente a 181,716 t, y la entidad que mayor contribuye a ese porcentaje es Jalisco con 118,484 t. En tercer lugar se ubica la región Golfo con 9.88% y 62,973 t, sobresaliendo el estado de Tamaulipas con 31,235 t. La región Centro contribuye con 7.35% y 58,140 t, provenientes principalmente de Nayarit y Sinaloa. En último lugar se ubica la región Península de Yucatán con una participación de 6.85% y una producción de 54,118 t (Figura 1).

La fruta se comercializa en fresco y las variedades de tamaño pequeño y mediano se empaquetan por lo general en cajas con cuatro u ocho frutos. Las variedades más grandes se comercializan a granel en piezas de entre 3kg y 8kg, aunque la fruta puede llegar a pesar hasta 15kg o 20kg.

En el estado de Campeche se siembra desde el 2008 al 2016 una superficie promedio de 1,594 ha, con una producción de 42,359 t valoradas en \$134,532,000.00, donde el municipio de Hopelchén es el que aporta el 60.5% de dicha producción de la entidad (Figura 2)



Figura 7. Regiones productoras de sandía bajo riego en México.Elaboración propia con datos del Anuario estadístico de producción agrícola del SIAP: 2008-2016

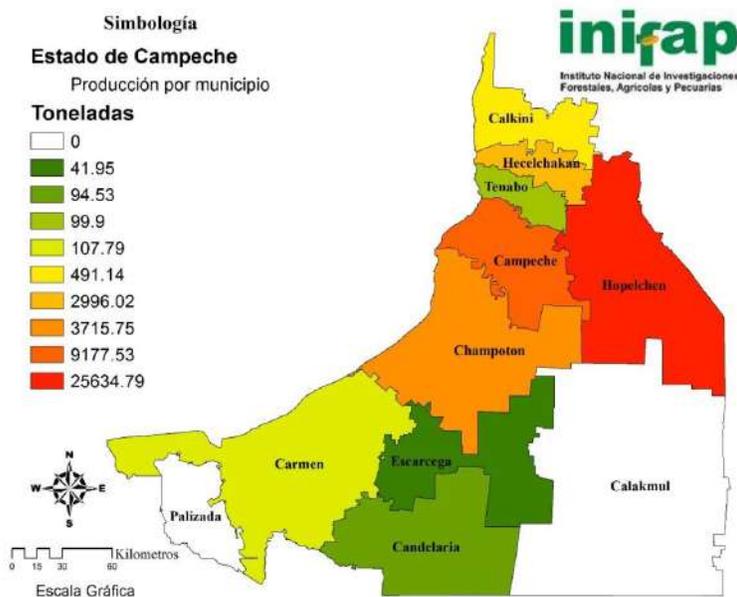


Figura 2. Producción municipal de sandía bajo riego en Campeche. Elaboración propia con datos del anuario estadístico de producción agrícola del SIAP de 2008-2016

La importancia del cultivo de sandía de riego en el Estado se debe a que es el sustento de aproximadamente 150 productores (Uzcanga *et al.*, 2015) con rendimientos estatales de 19.49 ton ha⁻¹ que se ubican por debajo del promedio nacional de 25.82 ton ha⁻¹.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la recolección de la información se diseñó un cuestionario estructurado y se tomó como marco de muestreo a 150 productores empadronados por el Comité de Sanidad Vegetal de Campeche. Se seleccionó una muestra estratificada por el número de superficie cultivada con sandía de tal modo que se tuvieron dos estratos de productores: 1) integrado por productores cuya superficie sembrada fue de menos de una hectárea y hasta 15 ha ($n_1=110$) y 2) constituido por productores cuya superficie sembrada fue igual o mayor a 16 ha ($n_2=17$). De estos estratos se obtuvo el tamaño de muestra con

distribución proporcional, para lo que se siguió la metodología de Taro (1967), con una precisión del 5% y una confianza del 95%, utilizando las siguientes ecuaciones:

$$n = \frac{N \sum_{i=1}^k N_i s_{ni}^2}{N^2 D^2 + \sum_{i=1}^k N_i s_{ni}^2} \dots \dots \dots 1$$

Dónde:

$$D^2 = \frac{d_e^2}{z^{\alpha/2}} \dots \dots \dots 2$$

$$d_e = PRO * \bar{x}_e \dots \dots \dots 3$$

$$\bar{x}_e = \frac{\sum_{i=1}^k N_i \bar{x}_{ni}}{N} \dots \dots \dots 4$$

$$n_i = \frac{N_i}{N} n \dots \dots \dots 5$$

Los datos fueron tabulados y analizados con el paquete estadístico *Predictive Analytical Software and Solut* (PASS) versión 21.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se identificó que el 75.59% de los productores campechanos empadronados en el Servicio de Sanidad Vegetal del Estado, indicaron haber sembrado sandía en otoño invierno, el 12.59% no sembró por diferentes razones como precio bajo de la fruta y falta de capital para invertir y 11.81% emigraron a otras regiones (Figura 3).



Figura3. Entrevistas con productores de sandía en el estado de Campeche

Entre las principales características sociodemográficas de estos productores sobresalen la experiencia en el cultivo, pues se estimó que en promedio tienen ocho años sembrando sandía, sin embargo la gran mayoría (88.54%), también se dedica a otras actividades como la agricultura entre la que sobresale el cultivo de maíz. A pesar de considerarse productores con experiencia, presentan condiciones de baja escolaridad, debido a que no culminaron sus estudios de enseñanza básica, en promedio cuentan con cuatro años de escolaridad. En cuanto a la eficiencia en el trabajo podemos afirmar que el grueso de los productores se clasifica en edad productiva según Chalita (1968), pues la mayor parte de las edades se registró entre la clase 35-39 años y 45-49 años (Figura 4).

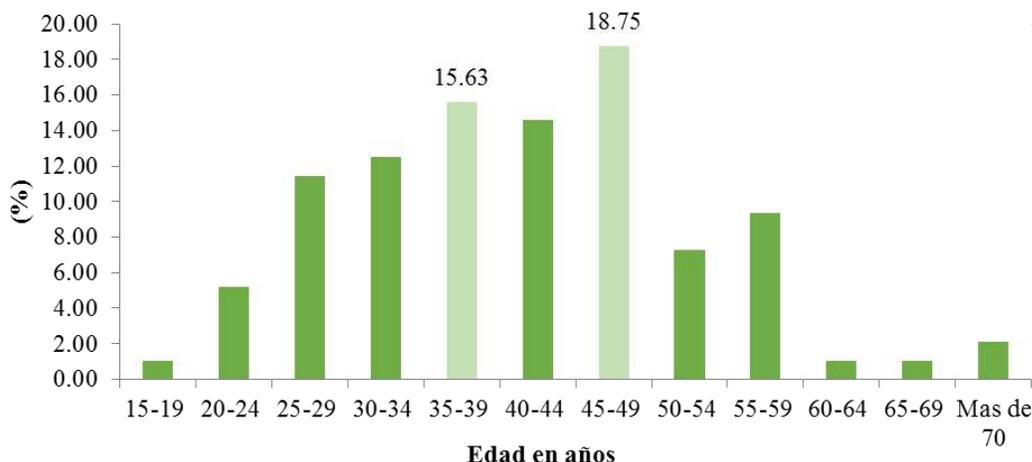


Figura 4. Rango de edad en años de los productores de sandía de Campeche

El 81.25% de los productores manifestó que realiza sus compras insumos agrícolas a crédito, solo el 8.33% tienen conocimiento de los riesgos de su actividad y aseguran su producción. Por otra parte, 27.08% participa en registros de contrato anticipado de compra venta. En estos contratos el productor asegura la venta de su cosecha a un precio piso (call) y el vendedor tiene un precio tope (pat) lo que facilita la comercialización de su cosecha en épocas y regiones en que se presentan excedentes de producción, que para el caso particular de la sandía es de febrero a marzo (Cuadro 1).

Cuadro 1. Porcentaje de productores con crédito, seguro o contrato

Tipo	Si (%)	No (%)
Crédito	81.25	18.75
Seguro	8.33	91.67
Agricultura por contrato	27.08	72.92

Más de la mitad de los productores (64.58%), utiliza mano de obra familiar para la realización de sus actividades de producción, que en promedio son cinco integrantes por hogar. Estos hogares son de tipo nuclear (hogar familiar conformado por el jefe(a) y cónyuge; jefe(a) e hijos(as); jefe(a), cónyuge e hijos(as)) (INEGI, 2005).

La mayor parte de la producción de sandía de la entidad se comercializa a través de intermediarios, otra parte es enviada a la Central de abastos de Ecatepec en el Estado de México, Central de abastos de Mérida, Yucatán, Central de abastos de Francisco I. Madero en Hermosillo, Sonora, Central de abastos de Tuxtla Gutiérrez, Chipas y Central de abastos de Chihuahua. El resto de la producción se distribuye en el mercado municipal y ambulante y solo el 1.04%, de la producción local se exporta (Figura 6).

Hasta el año 2013, solo estaba registrada una empresa campechana en el directorio de agroexportadores mexicanos, la cual enviaba sandía a Miami bajo el nombre de "Unión de Agricultores Herpin" (SAGARPA, 2013).

Entre las condiciones de compra frecuentemente solicitadas y en orden de importancia son: peso (29.86%), tamaño (27.96%), color (18.48%) y forma (18.01%) (Figura 7). Condiciones estrechamente ligadas a los parámetros de calidad establecidos en las normas para la comercialización, que desde los 90's, tomaron como referencia el peso y tamaño de la fruta para su comercialización además de otros como consistencia, sabor, color, aroma, limpieza y sanidad (Canales, 2003; SAGARPA-BANCOMEX-SE-CALIDAD SUPREMA MEXICO, 2006).

Hoy en día estos atributos cambian conforme a las preferencias de los consumidores, antes la sandía era grande y jugosa y ahora son pequeñas y con el mínimo de pepitas posible. El tamaño de la fruta se verifica con la norma NMX-FF-008 y NMX-FF-009 y el empaque se realiza según las especificaciones del cliente. En la Figura 7 se puede apreciar también que el transporte de la fruta es

un aspecto de poco interés del productor, pues por lo general el intermediario es quien realiza esta actividad (Figura 8).

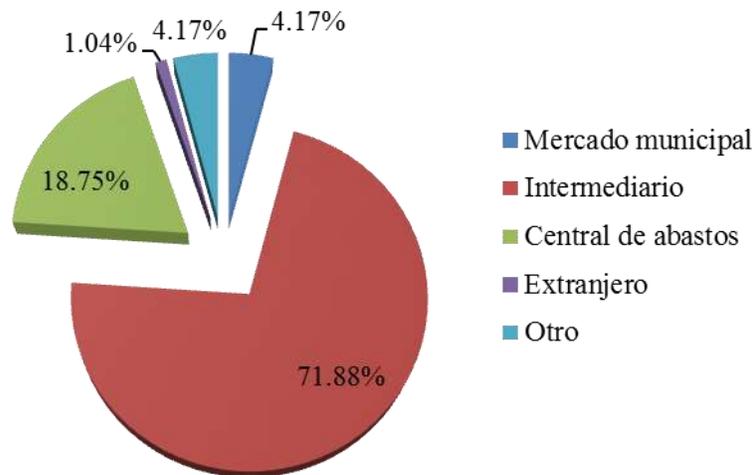


Figura 6. Principales mercados de la sandía proveniente de Campeche

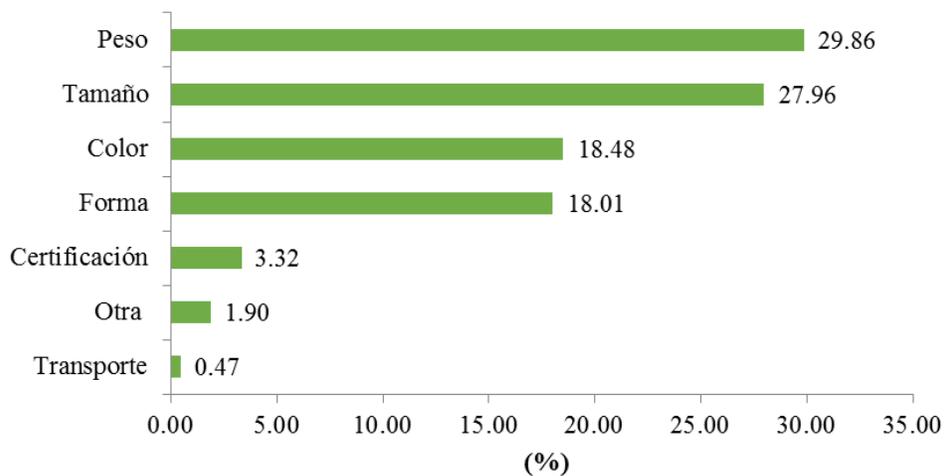


Figura 7. Principales condiciones de compra para la comercialización de sandía proveniente de Campeche



Figura 8. Acarreo y transporte de sandía en Campeche

Con relación al ingreso mensual de los productores campechanos a precios corrientes del 2012, se observaron diferencias entre aquellos productores que sembraron menos de 15 hectáreas y los que sembraron más de 16 hectáreas. Para el primer grupo, el ingreso mensual se estimó en \$4,578.81 y para el segundo grupo en \$7,958.33. La media del ingreso fue de \$4,996.88, valor que se encuentra por encima valor mensual per cápita para el bienestar mínimo que contempla, solo la canasta alimentaria y es fijado en \$823.95 para las zonas rurales y \$1,158.60 para la zona urbana a precios corrientes del 2012 (CONEVAL, 2013).

A pesar de que el ingreso medio de los productores de sandía se ubicó por encima de los requerimientos mínimos de bienestar fijados por el CONEVAL, estos se ubicaron en el segundo de diez deciles, ordenados de menor a mayor ingreso, por el INEGI (2013). Si comparamos los ingresos de los productores campechanos, con el ingreso corriente total promedio trimestral para los hogares de México, ubicados en el segundo decil durante el 2012, se observó que sus ingresos se ubicaron por debajo del rango establecido, tanto para localidades de 2,500 y más habitantes (ingreso \$11,867) como para las localidades de menos de 2,500 habitantes (ingreso \$11,689) (INEGI, 2013), existiendo un déficit para satisfacer sus necesidades.

Con respecto a la estructura del ingreso corriente de los productores de sandía se encontró que está conformado (41.98%), por el ingreso del trabajo remunerado (sueldo, salario, jornales y destajo, horas extras, reparto de utilidades y aguinaldos), (21.73%) del ingreso proveniente del valor estimado del alquiler de vivienda o casa propia, (13.33%) de transferencias (becas, programas de gobierno, regalos en especie), (9.38%) del trabajo independiente (negocios industriales y maquila, comerciales, prestación de servicios, negocios agrícolas, cría, explotación y productos derivados de animales y recolección de productos forestales y tala de árboles), (6.91%) otros ingresos. (4.20%) de la renta de la propiedad (ingreso proveniente de sociedades, cooperativas y empresas, y arrendamientos de activos tangibles y financieros), y (2.47%) de otros ingresos del trabajo (Figura 9).

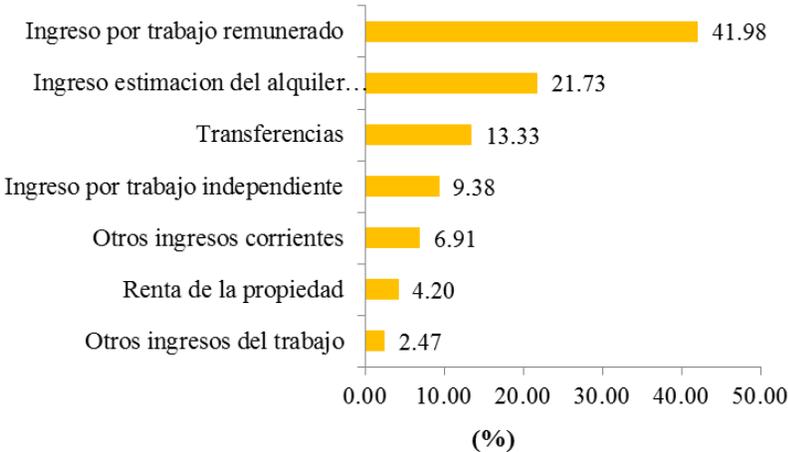


Figura 9. Estructura del ingreso corriente monetario de los productores de sandía en Campeche

El 20.48% del ingreso de los productores campechanos se destina para gastos relacionados a los cuidados de la salud, lo que coincide con el INEGI (2013), quienes afirman que los hogares ubicados en el segundo decil, invierten un 0.5% más de sus ingresos en salud, que los del decil más bajo. El segundo rubro de importancia (14.92%), está integrado por gastos de autoconsumo tales como: alimentos, bebidas y tabaco, seguido (13.09%), para vestido y calzado, otro porcentaje (11.41%), para vivienda y servicios de conservación, energía eléctrica y combustibles así como (14.7%) para la adquisición de otros servicios como transporte y comunicaciones entre otros (Figura 10).

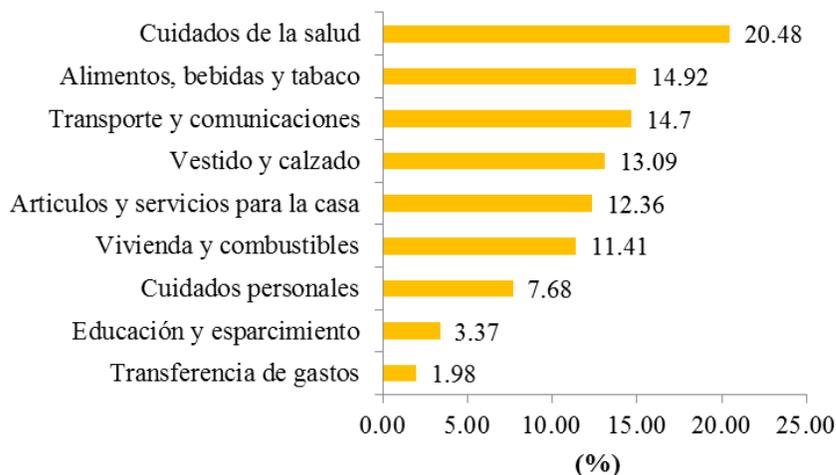


Figura 10. Estructura del gasto corriente monetario de los productores de sandía en Campeche

Al comparar el análisis del gasto para localidades rurales realizado por el INEGI (2013), se observaron coincidencias con el tipo de gasto que realizaron los productores de Campeche, ya que la mayor parte de sus ingresos se destinó a dos rubros principalmente: alimentos, bebidas y tabaco y transporte y comunicaciones.

CONCLUSIONES

Las características socioeconómicas que predominan en los agricultores de sandía es que son jóvenes productores de baja escolaridad y baja inversión con superficies cultivadas que oscilaron entre siete y 20 ha, donde participa activamente la mano de obra familiar. La producción está orientada al mercado nacional donde los principales requerimientos de compra fueron el peso y tamaño de la fruta.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Fundación Produce Campeche (FUPROCAM) por el financiamiento del proyecto Validación de tecnología para el cultivo de sandía en altas densidades en el Estado de Campeche de donde se derivó la presente publicación y al Comité de Sanidad Vegetal de Campeche (CESAVECAM) por el padrón de productores de sandía.

LITERATURA CITADA

- Apoyos y Servicios a la Comercialización Agropecuaria (ASERCA) 1999. La Sandía una Tradición Exportadora. México D.F. Claridades Agropecuarias. Editorial Abriendo Surcos. No. 75. 3-32pp.
- Canales, R. y Sánchez, B. 2003. Cadena Agroalimentaria de Sandía: Caracterización de los Eslabones de la Cadena e Identificación de los Problemas y Demandas Tecnológicas. Informe Técnico. INIFAP-FUPROCAM. 103p.
- Chalita, T.L.1968. Planificación agrícola en una región ejidal. Tesis de maestría en ciencias en economía agrícola. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. 80 p.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2013. Directorio de Agroexportadores Mexicanos. México. MexBest-Consejo Nacional Agropecuario (CNA). 8ªEdición. 32pp.
- Uzcanga, P. N., Cano, G. A. y Ramírez, S. J. 2015. Diagnóstico socioeconómico del cultivo de sandía en el estado de Campeche, México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Vol. 6 (6):1331-1344.

REFERENCIAS INFORMATICAS

- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL). 2013. Líneas de bienestar en México enero 2004 a marzo de 2013. Valores mensuales a precios per cápita en <http://www.coneval.gob.mx>.

- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) 2011. Trade and Exports: Countries by Commodity: watermelon en www.faostat.org
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2005. II Conteo de Población y Vivienda. Características de los hogares: hogares por tipo y clase de hogar, 1950 a 2005. <http://www.inegi.org.mx> (Consultado el 28 de febrero del 2011).
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2013. Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares en <http://www.inegi.org.mx>.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2013. Sistema de Cuentas Nacionales de México. Cuentas de corto plazo y regionales. Fuentes y metodologías en http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/cn/pibe/doc/scnm_metodologia_03.pdf (Consultado Julio 2017).

**DESARROLLO DE UNA EMPRESA INTEGRADORA COMO CADENA PRODUCTIVA
FORESTAL A NIVEL REGIONAL**
DEVELOPMENT OF AN FOREST INTEGRATING ENTERPRISE AS A PRODUCTIVE CHAIN AT A
REGIONAL LEVEL

¹Stern L, ²Quintanar Olguin J

¹Consultor independiente. Rancho Morovia, Tlahuapan, Puebla.

²C. E. San Martinito, CIRGOC-INIFAP. Km. 56.5 Carretera Federal México-Puebla. San Martinito,
Puebla.

Autor para correspondencia: stern.comsul@gmail.com

RESUMEN

En el presente estudio el concepto cadena productiva se entiende como el conjunto de agentes (o fracciones de agentes) económicos que contribuyen directamente a la producción, procesamiento y distribución, hasta el mercado de consumo, de un mismo producto. A nivel forestal, la aplicación del modelo inicia con la identificación de actores, que aun cuando algunas de las empresas participantes tienen injerencia en varias etapas del proceso productivo, su presencia principal en el eslabón de industrialización de la madera, por lo que las funciones básicas son de carácter individual y el alcance de sus decisiones sólo son sobre la empresa y no sobre el eslabón de la cadena, por lo que se requiere de la participación de un mayor número de actores en cada uno de los eslabones a fin de enriquecer las funciones de cada eslabón. En relación al “mapeo” se analizó de forma descriptiva los eslabones y su función, los actores involucrados y los productos que se entregan en cada eslabón. Finalmente, se procedió a identificar los cinco principales problemas críticos que obstaculizan el desarrollo competitivo de la cadena, así como sus causas.

Palabras clave: Cadena forestal, mapeo, problemas críticos.

INTRODUCCION

Tradicionalmente el término cadena productiva describe la sucesión de las operaciones que partiendo de una materia prima, finaliza después de diversos niveles de procesamiento y valorización, en uno o varios productos acabados para el consumidor (Fabre, 1994). Por tanto, cadena productiva es un instrumento de conocimiento y una técnica de organización de información que permite un entendimiento integral de los actores, los flujos de intercambio y las relaciones entre ellos. De acuerdo con la Ley de Desarrollo Rural Sustentable, el termino cadena productiva se utiliza como sinónimo del concepto sistema producto y se define como “el conjunto de elementos y agentes concurrentes de los procesos productivos de productos agropecuarios, incluidos el abastecimiento de equipo técnico, insumos productivos, recursos financieros, la producción primaria, acopio, transformación, distribución y comercialización” (DOF, 2001). Sin embargo, en la Ley para el Desarrollo de la Competitividad de la Micro, Pequeña y Mediana empresa (PYME), cadena productiva se define como los “sistemas productivos que integran conjuntos de empresas que añaden valor agregado a productos o servicios a través de las fases del proceso económico” (DOF, 2002).

Por lo tanto, el termino cadena productiva en sentido estricto es “El conjunto de agentes (o fracciones de agentes) económicos que contribuyen directamente a la producción, procesamiento y distribución, hasta el mercado de consumo, de un mismo producto. Esto es, una concatenación de procesos donde intervienen diferentes actores, quienes establecen una serie de relaciones y ejecutan una serie de acciones que permiten orientar una actividad productiva a mercados específicos, en un espacio territorial determinado.

Desafortunadamente en el sector forestal, el término cadena productiva se ha utilizado como sinónimo de conceptos como: Integradora para la comercialización, Sociedad de Producción Rural de Responsabilidad Limitada de Capital Variable (S. P. R. de R. L. de C. V.); Sociedad Anónima de Capital Variable (S. A. de C. V.); Asociación Civil (A. C.); ejido que produce un bien o una empresa social o particular que ofrece un producto. Por lo que, las estrategias diseñadas para promover el desarrollo forestal, dirigidas sólo a alguno de los segmentos de las cadenas, sin implicar al resto de los “eslabones” (como se ha realizado hasta hoy), obstaculizan el surgimiento del clima y la “urgencia” que los “actores” deben percibir en su propia actividad productiva para construir la competitividad de la cadena global forestal (Kaplinsky y Morris, 2000).

Así, todo participante de una cadena productiva, debe entender lo que significa la palabra “integrarse” desarrollando su actividad actual para alcanzar economías de escala, para aprovechar nuevos compromisos comerciales, no del mercado local sino de participación en mercados globales (Louman, 2003). Los beneficios de integrarse en una cadena productiva, están asociados a la comercialización conjunta de los productos individuales, compra conjunta de insumos, compartir pedidos e información de mercados, posibilidad de uso de equipo especializado e intercambio de conocimientos prácticos. Con el fin de analizar el comportamiento espacial de la actividad forestal, el objetivo del presente estudio es analizar bajo la óptica de cadena productiva para observar el comportamiento local de la producción forestal.

MATERIALES Y MÉTODOS

El proceso metodológico para caracterizar la evaluación de la cadena forestal a nivel regional es del tipo exploratorio-descriptivo de carácter cualitativo-cuantitativo con base en la realización de una revisión y análisis de documentación y aplicada a una empresa integradora que intento constituirse y registrarse en CONAFOR como cadena productiva para acceder a los beneficios del programa sectorial de integración de cadenas productivas. La metodología de aplicación desarrollada en el presente estudio consta de dos fases y dos etapas en cada una de ellas:

FASE I. Identificación y caracterización de los diferentes actores y grupos productivos forestales en la región.

Etapas 1. Descripción de los grupos productivos y los actores que los conforman.

Etapas 2. Descripción de los procesos productivos estratégicos que desarrollan los grupos productivos.

FASE II. Identificación de la problemática limitante para el desarrollo de la cadena.

Etapas 1. Elaboración del “mapa” de la cadena productiva

Etapas 2. Identificando los factores críticos con mayor impacto en el desempeño de la cadena.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las actividades vinculadas al sector forestal y específicamente a la madera en la región de la Sierra Norte de Puebla, por su larga tradición y situación actual, constituyen uno de los pilares de la economía regional. La relevancia económica y social de la industria de la primera transformación (aserrío), segunda transformación (carpintería y muebles) y de las actividades de comercialización, conforman en la zona una cadena de actividades, cuya integración es una pieza clave para el desarrollo económico sostenible y la generación de empleo (Mota, 2002)

Aun cuando la propuesta de aplicación del modelo es muy amplia, la primera parte consistió en precisar el concepto de cadena productiva a los miembros integrantes del grupo para que se sintieran identificados con el proceso y lo asumieran como propio, mediante su colaboración en talleres participativos. De esta manera, el grupo es la columna vertebral para lograr la concreción de la aplicación del modelo.

En relación con la aplicación de la primera fase del modelo relacionada con la identificación de actores, aun cuando algunas de las empresas participantes en el grupo tienen injerencia en varias etapas del proceso productivo forestal en general, su presencia actual es en el eslabón de industrialización de la madera, quedando incompleta la descripción de los eslabones y sus funciones (Cuadro 1). Esto genera que las funciones básicas sean de carácter individual y el alcance de sus decisiones sólo son sobre la empresa y no sobre el eslabón de la cadena (Cuadro 2), por lo que se requiere de la participación de un mayor número de actores en cada uno de los eslabones a fin de enriquecer las funciones de cada eslabón.

Cuadro 1. Eslabones y sus funciones básicas en la cadena productiva integradora.

Producción	Transformación	Comercialización
Funciones: Producción de planta (Vivero)	Funciones: Aserrío Diferenciación del producto (Madera aserrada por medidas) Valor agregado (Muebles y Tarimas)	Funciones: Ventas (contacta compradores, negocia precio y condiciones de venta y entrega del producto al cliente).

Cuadro 2. Análisis funcional de la cadena productiva integradora.

Actividades basicas	Pasos tecnicos	Agente	Producto
Cultivo del bosque	Producción de planta en vivero	Propietarios	Plantula
Transformación primaria	Aserrado Dimensionado en largo Clasificado Apilado	Aserrador / dueño aserradero	Tablas Tablones Polines
Transformación secundaria	Fabrica de muebles Fabrica de tarimas	Cepillado Dimensionado Ensamblado Terminado (barnizado) Dimensionado Ensamblado	Muebles
	Aserradero	Ventas	Tarima
Comercializacion	Fabrica	Ventas	Encargado se Madera aserrada Dueño Mueble

“Mapeo” de la cadena productiva

Una vez identificados los actores y su situación funcional, se construyó un mapa de cadena, que incluye a los eslabones complementarios desde los abastecedores de insumos hasta los consumidores, esquematizando la ruta que sigue el producto, de acuerdo al tipo de consumidor al que está orientado (Gutiérrez *et al*, S/F). Esto permite tener una visualización del flujo del producto desde su estado primario, pasando por su transformación y distribución hasta llegar al consumidor.

Los diversos eslabones de la cadena productiva forestal se entremezclan en sus tendencias productivas y comerciales, por lo que en el “mapeo” se busca analizar patrones, concentrándose en la producción, comercialización y utilización de madera aserrada, según uso final de la misma (Cuadro 3), representando un mapa descriptivo de los eslabones y su función, los actores involucrados y los productos que se entregan en cada eslabón

Cuadro 3. Mapa descriptivo de la cadena productiva Integradora.

ESLABONES DE LA CADENA	FUNCION	ACTORES	"PRODUCTOS"
Producción primaria	Producción de plántulas	Dueño	Plántula forestal
Procesamiento	Transformación	Industriales	Madera aserrada Cajas de empaque Tarimas Muebles
Comercialización	Ventas	Aserradero Dueño fabrica muebles	Madera aserrada Cajas de empaque Tarimas Muebles

Identificación de la problemática limitante para el desarrollo de la cadena

Una vez realizado el análisis funcionales de los actores y su participación en los eslabones, así como el mapeo de los procesos productivos de la cadena, se procedió a identificar los problemas críticos que obstaculizan el desarrollo competitivo del grupo, tomando en consideración los factores clave determinados en base a la información generada en procesos anteriores de investigación participativa e información recolectada durante los talleres participativos. En el cuadro 4, se presentan los cinco principales problemas existentes en el área de influencia de la cadena productiva y que inciden directamente en su desarrollo, así como las causas de dichos factores limitantes.

Cuadro 4. Problemática crítica y las causas, que limitan el desarrollo de la región y de la cadena productiva Integradora.

Problemática limitante	Causas
Competencia desleal y contrabando	<ul style="list-style-type: none"> • Burocracia. • Desempleo. • Pérdida de valores humanos. • Incremento de capacidad instalada. • Falta de canales de comercialización. • Tardanza de trámites legales. • Existen consumidores de madera clandestina
Falta de organización e individualismo	<ul style="list-style-type: none"> • Desconfianza. • Egoísmo. • Cultura negativa. • Falta de continuidad en iniciativas. • Aplicación de políticas erráticas. • Honestidad y pérdida de tiempo • Individualismo arraigado. • Falta de capacitación. • No existe confianza entre productores, industriales y autoridades. • No hay comunicación entre productores y prestadores de servicios y autoridades. • Indiferencia para trabajar en equipo.
Importación de madera chilena	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo precio. • Falta de abasto interno (precio competitivo). • Seguridad en el abasto. • Mercado indiferenciado de productos. • Falta de tecnología adecuada. • Impuestos cómodos para importación. • No se aprovechan condiciones naturales de la región. • Retraso tecnológico. • Producimos productos de baja calidad.
Falta de capacitación y desarrollo tecnológico	<ul style="list-style-type: none"> • Ausencia histórica de apoyos financieros. • Falta de espíritu empresarial. • Falta de asistencia técnica. • Conformismo. • Orientación de las dependencias. • Falta de visión • Desinformación. • Desorganización. • Falta de capital. • Falta de continuidad en los programas públicos.
Falta de protección a los productos nacionales contra los de importación	<ul style="list-style-type: none"> • Malinchismo de los consumidores. • No se equilibran los precios. • Corrupción. • Actualización tecnológica. • Poca competitividad. • Corrupción aduanera. • Trato inequitativo entre nacionales y extranjeros. • Falta del incremento de la calidad.

CONCLUSIONES

La organización de cadenas productivas debe seguir la lógica de los negocios rentables que proviene de la correcta combinación de oportunidades de mercado, recursos naturales disponibles, capacidad tecnológica instalada, capacidad de financiamiento de la cadena, y competencias laborales y

empresariales. Impulsar y desarrollar todas las formas posibles de cooperación interempresarial (horizontales y verticales), ya que ésta acción es el punto de partida para el encadenamiento productivo, con aplicación continua en el tiempo.

LITERATURA CITADA

- DOF. 2001. Ley de Desarrollo Rural Sustentable. Publicada el 7 de diciembre de 2001 en el Diario Oficial de la Federación. México, D. F. pp. 132-174.
- DOF. 2002. Ley para el desarrollo de la competitividad de la micro, pequeña y mediana empresa. Publicada el 30 de diciembre de 2002 en el Diario Oficial de la Federación. México, D. F. 11 p.
- Fabre, P. 1994. Nota de Metodología general sobre el análisis de cadenas: Utilización del análisis de cadenas para el análisis económico de las políticas. Documentos de capacitación para la planificación agrícola 35. Food and Agriculture Organization. Roma, Italia. 105 p.
- Gutiérrez V. H., Silva J., Arias J. y Pinaya G. S/F. Estudio de identificación, mapeo y análisis competitivo de la cadena de maderas y manufacturas en Bolivia. Programa Andino de Competitividad. Corporación Andina de Fomento. PAC/CAF/ANAPO. La Paz, Bolivia. 100 p.
- Kaplinsky, R. y Morris, M. 2000. A handbook for value chain research. International Development Research Centre. Ottawa, Canadá. 113 p.
- Louman B. 2003. Cadena forestal: ¿cuándo funciona y por qué no funciona siempre?. *In*: Memorias del Seminario Internacional: Cadenas de Producción para el desarrollo económico local y el uso sostenible de la Biodiversidad. Managua, Nicaragua. 234 p.
- Mota V., J. L. 2002. Estudio de caso de integración horizontal. Asociación de Ejidos y técnicos forestales de la sierra norte de Puebla, S. A. de C. V. /Unión de ejidos sierra norte de Puebla. Documento para el Banco Interamericano de Desarrollo. México, D. F. 105 p.

TRANSFERENCIA DE UN MODELO PREDICTIVO PARA LA PRODUCCIÓN DE RESINA DE PINO EN EL EJIDO JORGE DE LA VEGA DOMÍNGUEZ, CINTALAPA, CHIAPAS
TRANSFER OF A PREDICTIVE MODEL FOR THE PRODUCTION OF PINE RESIN IN EJIDO JORGE DE LA VEGA DOMÍNGUEZ, CINTALAPA, CHIAPAS

¹Cadena-Iñiguez P, ¹Reynoso-Santos R, ¹López-Báez W, ²Hernández-Ramos J, ³Muñoz-Flores HJ, ⁴Cruz-Santos E

¹ Campo Experimental Centro de Chiapas, Centro de Investigación Regional Pacífico Sur, INIFAP.

² Campo Experimental Chetumal, Centro de Investigación Regional Sureste, INIFAP.

³ Campo Experimental Uruapan, Centro de Investigación Regional Pacífico Centro, INIFAP.

⁴ Centro Académico Regional Chiapas, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

Autor para correspondencia: cadena.pedro@inifap.gob.mx

RESUMEN

El proyecto denominado "Modelos predictivos para la producción de productos forestales no maderables: Resina de pino" surge de la necesidad de mejorar el aprovechamiento de la resina con técnicas cuantitativas que permitan determinar la producción potencial por unidad de superficie a partir de variables fácil medición. Derivado de lo anterior, con la disponibilidad del Ejido Jorge de la Vega Domínguez de Cintalapa para ser partícipe, y en respuesta a esta falta de herramientas prácticas que faciliten la estimación de las existencias reales de la resina de pino, el INIFAP con la Comisión Nacional Forestal CONAFOR llevaron a cabo la transferencia de tecnología de un modelo que coadyuvara a tal fin. El principal objetivo es que los productores forestales del Ejido Jorge de la Vega sean capacitados en un método que permita la generación de un modelo para predecir la producción de resina por árbol que permita estimar el potencial de producción por unidad de superficie. A través de eventos de difusión y capacitación, impartidos a los productores forestales y técnicos, los cuales consideran la participación incluyente de jóvenes, adultos y mujeres, se establecieron parcelas demostrativas (sitios de resinación), los cuales se utilizaron para estimar la resina producida por cara y árbol. Se llevó a cabo la capacitación para agentes de cambio en el sitio de estudio y el análisis en el Campo Experimental Centro de Chiapas del INIFAP. La capacitación consistió en sesiones teórico-prácticas siguiendo la metodología de las escuelas de campo.

Palabras clave: *bosques de coníferas, manejo forestal, no maderables, Pinus oocarpa, transferencia.*

INTRODUCCION

Los productos forestales no maderables consisten en bienes de origen biológico distintos de la madera, procedentes de los bosques, de otros terrenos arbolados y de árboles situados fuera de los bosques (FAO, 1999). En la última década los productos forestales no maderables (PFNM) han sido reconsiderados como elementos relevantes del manejo integral de los ecosistemas forestales, debido a que su recolecta contribuye a disminuir la presión sobre las comunidades arbóreas y en consecuencia son factor importante en la conservación de las mismas (Zamora *et al.*, 2009). En México la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), dentro de su Plan Estratégico de Comercialización incluye como PFNM de mayor importancia a los siguientes: resina de pino, palma camedor (*Chamaedorea elegans* Mart.), candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc.), orégano (*Origanum vulgare* L.), lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.), hongos silvestres comestibles, jojoba (*Simmondsia chinensis* Link, C.k.schneid.), chicle (*Manilkara zapota* L. P.Royen.) y guayule (*Parthenium argentatum* A.Gray.) (CONAFOR, 2006). El aprovechamiento de resina de pino a nivel mundial asciende a poco más de 1 millón de toneladas siendo los principales productores: China, Brasil e Indonesia, juntos alcanzando una producción de 1, 200,000 toneladas por año, representando el 92% de la producción mundial (Cunningham, 2009b). La producción mundial se concentra principalmente en tres especies: *Pinus massoniana* Lamb., *P. elliotti* Engelm y *P. merkusii* Jungh. & de Vriese., (Cunningham, 2009a). La resinación en México en bosques de pino se ha practicado desde la época precortesiana; los náhuatl, toltecas y mayas empleaban la resina como adhesivo de diversos objetos ceremoniales, y la "trementina" en antorchas usadas en la iluminación nocturna (Mas y Prado, 1981). El aprovechamiento de resina de pino con fines comerciales se ha venido realizando desde 1920, es el principal producto forestal no maderable que se aprovecha en el país ya que representa el 43% y 47% del valor y volumen de producción forestal no maderable nacional respectivamente

excluyendo tierra de monte (NOM-026-SEMARNAT, 2005). En México las especies de mayor producción resinera son: *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl., *P. devoniana* Lindl., *P. pringlei* Shaw., *P. montezumae* Lamb., *P. leiophylla* Schltdl. & Cham., *P. teocote* Schltdl. & Cham., *P. douglasiana* Martínez., *P. lawsonii* Roezl ex Gordon., *P. pseudostrabus* Lindl y *P. herrerae* Martínez. La resina se produce en la región central del país en los estados de Michoacán, Jalisco, Estado de México y hacia el sur en Oaxaca; destaca la producción resinera de Michoacán que compone un poco más del 90% de la producción nacional (CONAFOR, 2013).

En Chiapas el aprovechamiento de la resina de pino ha tenido poca importancia debido al desinterés de los dueños de los bosques, aunado al poco o nulo conocimiento de los beneficios que brinda esta actividad productiva; a pesar de existir indicios en los municipios de Cintalapa y Jiquipilas que, en años anteriores, se ha practicado esta actividad. La resina de pino como todo producto proveniente de un recurso natural, su deficiente manejo para su aprovechamiento o sobre explotación de los bosques para esta actividad, puede ocasionar el deterioro de este importante recurso, por lo que es menester que la autoridad en la materia vigile que su aprovechamiento se lleve de acuerdo a la normatividad correspondiente y al potencial productivo del bosque de pino. Con el establecimiento de dos empresas en Chiapas, una en operación y otra en proceso de establecimiento, da expectativas a los productores que su materia prima contará con el mercado para su comercialización. Existe en la zona de la Frailesca las comunidades que son pioneras en esta actividad, entre estos están los ejidos: California, Nueva Esperanza, Tres Picos, Josefa Ortiz de Domínguez, Sombra de la Selva, Francisco I. Madero, que son ejemplo para predios y ejidos en la región y en el estado de Chiapas. El objetivo de la presente propuesta fue “Transferir tecnología para el desarrollo de un modelo matemático para predecir la producción de resina por árbol de *Pinus oocarpa* en el ejido Jorge de la Vega Domínguez, Cintalapa, Chiapas”; en respuesta a la falta de herramientas prácticas que faciliten la estimación de las existencias reales de la resina de pino.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ejido Jorge de la Vega Domínguez, municipio de Cintalapa, Chiapas, se encuentra en la región socioeconómica II Valles Zoque, donde la mayor parte de las áreas arboladas se encuentran en un grado de conservación aceptable; quizás debido a que la actividad preponderante en los últimos diez años ha sido el aprovechamiento de los recursos forestales maderables. Sin embargo, existe una fuerte presión hacia estas áreas por la necesidad de espacios para actividades agropecuarias (agrícola-pecuario-café); en virtud de lo anterior, el ejido cuenta con una superficie de 142.381 hectáreas dedicadas para ese fin. Sin embargo, los ejidatarios desean continuar con el manejo forestal para poder aprovechar el arbolado de pino y encino, propiciando así la entrada de recursos económicos para las necesidades básicas del núcleo familiar y la conservación de las áreas boscosas del ejido, con la premisa que la “conservación de los recursos naturales, no se concibe sin la necesidad de producir para el sustento familiar de los dueños de estos recursos, siempre y cuando los impactos ambientales negativos que se causen sean de las menores consecuencias posibles”. La superficie forestal es de: 2,448.10 hectáreas, donde se llevan a cabo diferentes actividades, que permiten el aprovechamiento integral del uso del suelo del predio, con actividades como: aprovechamiento forestal maderable, aprovechamiento forestal no maderable, aprovechamientos de servicios ecosistémicos del bosque, etc. mediante mecanismos como: el manejo forestal maderable y no maderable, protección y fomento de los recursos forestales y faunísticos, etc.

La economía de los habitantes del Ejido Jorge de la Vega Domínguez se basa principalmente en la producción forestal maderable, seguido de la producción de café, producción de maíz y producción pecuaria, estas tres últimas actividades en baja escala. La producción y comercialización de café, se vio reducida drásticamente por la falta de producción por unidad de superficie debido a la roya anaranjada *Hemileia vastatrix*, a la falta de apoyos económicos y asistencia técnica por parte de las instancias de gobierno encargadas de este sector productivo. Lo que ocasionó el abandono de este cultivo por parte de los productores; para lograr la manutención de sus familias los productores enfocaron sus esfuerzos a otros cultivos y a las actividades ganaderas que les genere recursos económicos, lo que puede repercutir en la pérdida de la cobertura forestal arbórea en estas áreas y otras que han dedicado para la conservación y producción forestal. El carbón vegetal, aunque no lo transforman los ejidatarios directamente, es una fuente de ingreso, tomando en cuenta, que hasta el momento se da la comercialización del árbol de encino en pie, sin embargo, se han adentrado poco a poco en la producción de carbón vegetal.

Sin duda, la extracción de resina, aunque actualmente no ha sido una fuente constante de ingresos, de la misma forma que el carbón, sería de esta forma fuente de empleos e ingresos para los ejidatarios. Este Ejido contó con autorización para el aprovechamiento forestal maderable del primer ciclo de corta, expedido por la SEMARNAT mediante oficio No. SGPA/UARRN/0252/2006, de fecha 31 de enero de 2006, para una superficie de producción de 1,808.3090 hectáreas. Superficie que con relación a la actual propuesta de 1,315.514 hectáreas, bajó en 492.795 hectáreas, debido a que se segregaron de la propuesta de aprovechamiento 477.730 hectáreas de producción de reserva, que a intereses de los ocupantes de estas áreas (el terreno se encuentra parcelado en forma interna por acuerdo de la comunidad), no desearon participar en este ciclo de corta. Actualmente cuenta con autorización para un segundo ciclo de corta, según oficio No. 127DF/SGPA/UARRN/DSFS/0406/2015 de fecha 26 de enero de 2015, expedido por la SEMARNAT. Para una superficie de producción a intervenir de 1,315.48 hectáreas, y un volumen de extracción de 39,913.43 m³ volumen total árbol, para las especies de pino, encino y liquidámbar.

La estrategia para transferir la tecnología y el modelo predictivo se realizó de la siguiente manera. Se realizaron sesiones teórico-prácticas mediante las escuelas de campo, herramienta metodología ampliamente desarrollada y operacionalizada por Gallagher (2003), Morales y Galomo (2006), Morales (2007), Morales (2008), Cadena *et al.* (2015), Cadena (2016) y Morales *et al.* (2016). A través de eventos de difusión y capacitación, impartidos a los productores forestales y técnicos, se dio prioridad la participación de jóvenes, adultos y mujeres. Se establecieron parcelas demostrativas (sitios de resinación), los cuales fueron utilizados para estimar la resina producida por cara y árbol, y a la vez como un lugar para capacitar a las personas antes mencionadas. Las parcelas de dimensiones variables para la obtención de datos dasométricos y producción de resina.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Para la creación del modelo predictivo se consideraron los siguientes pasos y en consecuencia también las sesiones de las escuelas de campo versaron sobre los siguientes tópicos.

Definición del área de estudio, 2. Diseño de muestreo y tamaño de muestra, 3. Toma de datos dasométricos, 4. Proceso de los árboles bajo resinación, con el método pica de corteza, 5. Peso de la resina, 6. Base de datos, 7. Generación del modelo predictivo de resina de pino, y 8. Tablas de producción de resina de pino.

Cuadro 1. Sesiones de escuelas de campo realizadas para transferir cada uno de los componentes del modelo predictivo para la extracción de resina en *Pinus oocarpa*, en el ejido Jorge de la Vega Domínguez, Cintalapa, Chiapas.

Actividad/Escuela de campo	Evidencias
1. Capacitación en el tema predicción de la producción de resina: Modelos predictivos para la producción de productos forestales no maderables: resina de pino	Listas de asistencia del ejido. Se llevó a cabo una presentación del proyecto a todo el ejido con las actividades a desarrollarse.
2. Capacitación en el tema predicción de la producción de resina: Modelos predictivos para la producción de productos forestales no maderables: resina de pino	Listas de asistencia del ejido. Se llevó a cabo una presentación del proyecto a todo el ejido con las actividades a desarrollarse
3. Capacitaciones agentes de cambio: Modelos predictivos para la producción de productos forestales no maderables: resina de pino"	2 agentes de cambio capacitados.
4. Capacitación para la medición de variables en sitios de resinación: "modelos de producción de resina". Sitios de monitoreo de producción de resina de <i>Pinus oocarpa</i> para la generación de un modelo de predicción.	Listas de asistencia, y memoria fotográfica
5. Caracterización dasométrica de los árboles seleccionados	Base de datos de los sitios de medición

6. Establecimiento de parcelas demostrativas: Generación de un modelo de predicción de la producción de resina monitoreo de la producción de resina de <i>Pinus oocarpa</i> para la generación de un modelo de predicción	2 parcelas demostrativas establecidas.
7. Estimación de la producción de resina por cara y árbol en los sitios de resinación	Base de datos.
8. Evento demostrativo	Lista de asistencia del evento y satisfacción del usuario demandante

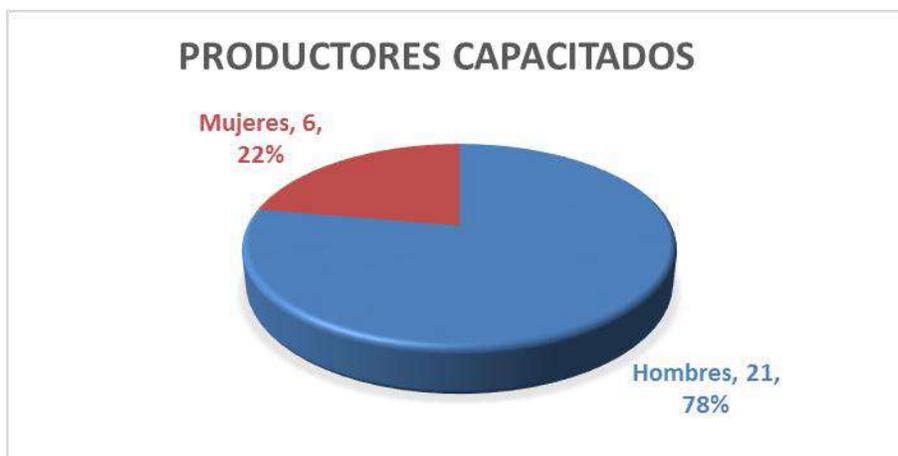


Figura 1. Porcentajes de productores capacitados (n=31) en las escuelas de campo para determinar el modelo predictivo para la extracción de resina en *Pinus oocarpa* en el Ejido Jorge de la Vega Domínguez, Cintalapa, Chiapas 2018. INIFAP.

- Los resultados del proyecto de transferencia de tecnología, permitieron a la población participante y a todos los beneficiarios poseedores de los recursos forestales cuantificar el potencial de producción y comercialización de resina de pino, lo que en forma directa beneficia a la población, ya que contribuye a mejores condiciones de vida.
- Los resultados del proyecto, permitieron cuantificar el volumen de producción de resina de pino. Lo anterior, permitirá concentrar la producción forestal por unidad de superficie y reducir la presión de los bosques naturales.
- A través de la aplicación del modelo será posible incrementar los ingresos económicos de los productores mediante la venta de un volumen de resina cuantificado durante cada año. Asimismo, se reducirá la presión del bosque por un valor agregado de la madera.
- A través del proceso de transferencia de tecnología a productores (hombres, mujeres, niños), técnicos y de todos los usuarios en general, del sector forestal, logró que los actores involucrados aprendieran del uso de la metodología para el desarrollo del modelo, así como la cuantificación de resina.

En este sentido, se alcanzaron los siguientes objetivos:

- a) El ejido Jorge de la Vega Domínguez cuenta con un modelo matemático que le permite predecir la producción de resina por árbol, superficie y rodal. Los productores del ejido que recibieron la transferencia de la tecnología, así como el prestador de servicios técnicos forestales (PSTF) y el promotor forestal quedaron capacitados en el proceso para estimar la producción de resina producida por individuo y por unidad de superficie.
- b) El ejido posee la habilidad para aplicar el modelo en su forma matemática y a través de tablas de producción de resina. La estimación del potencial total de resina se obtendrá cuando el PSTF analice los datos del inventario total del ejido contenidos en el Programa de Manejo Forestal. El

INIFAP carece de los datos del inventario con el cual se desarrolló el Programa de Manejo Forestal.

- c) Existen 11 productores capacitados en diferentes aspectos de la metodología, los cuales abarcan el establecimiento de sitios de medición, medición de variables dasométricas, cuantificación de resina y aplicación del modelo predictivo.
- d) Se establecieron dos parcelas demostrativas en donde se han desarrollado diversos cursos de capacitación.
- e) Se realizó un encuentro entre productores de los ejidos aledaños a Jorge de la Vega.
- f) Se tienen tres agentes de cambio capacitados los cuales pueden servir como formadores de otras personas en la metodología para la obtención del modelo.

Se espera que los pobladores y tenedores del recurso forestal puedan visualizar el potencial que esta actividad tiene sin menoscabo del futuro aprovechamiento forestal de madera en rollo, y que además el Ejido Jorge de la Vega Domínguez, se pueda considerar como una localidad modelo dentro del municipio y región chiapaneca, que además sea una fuente de trabajo y de ingresos alterna a las ya existentes en la localidad.

CONCLUSIONES

1. Se alcanzaron los objetivos propuestos dado que se llegó a la puesta en marcha del modelo predictivo para estimar la producción de resina a partir de *Pinus oocarpa*.
2. Los productores se han apropiado de la metodología para la explotación de las caras extractoras de resina en cada árbol productor
3. Con el intercambio de experiencias entre productores y con la capacitación de los agentes de cambio oriundos de la localidad es posible la continuidad una vez que el equipo de intervención se retire.
4. El potencial existente para la extracción de productos no maderables permite acercarse a mejores condiciones de vida en una actividad que antes no se realizaba en la localidad.

LITERATURA CITADA

- Cadena-Iñiguez, P.; Camas-Gómez, R.; Rodríguez-Hernández, R.F.; Berdugo-Rejón, J.G.; Ayala-Sánchez, A.; Zambada-Martínez, A.; Morales-Guerra, M.; Espinosa-Paz, N.; y López-Báez, W. 2015. Contribuciones del INIFAP al extensionismo en México y la gestión de la innovación. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Vol.6 Núm.4 16 de mayo - 29 de junio, 2015. ISSN 2007-0934 pp: 883-895
- Cadena, I. P. 2016. Las Escuelas de Campo (ECA): una estrategia de trabajo para zonas de alta marginación en México. En: Modelos alternativos de capacitación y Extensión Comunitaria. Edits. Jorge Aguilar Ávila y Vinicio Horacio Santoyo Cortés. Clave Editorial, Universidad Autónoma Chapingo. ISBN: 978-607-437-351-6. México D.F. pp: 141-160
- Cunningham, A. 2009a. Estudio de mercado de los productos resinosos: Colofonia y aguarrás; y el potencial de la miera Ibérica de la Comarca del Izana para diferentes usos industriales. Mancomunidad de Bienes y Servicios del Rio Izana. 66 P.
- Cunningham, A. 2009b. Estado actual de la resinación. Trabajo presentado en el XIII Congreso Forestal Mundial. Buenos Aires, Argentina. 7 p.
- FAO. 1999. Hacia una definición uniforme de los productos forestales no madereros. Unasylva 50 (198):63-64.
- Gallagher, K. 2003. Elementos fundamentales de una Escuela de Campo. LEISA. Aprendiendo con las ECAS 19 (1): 4-7
- Mas P., J. y A. Prado. 1981. Comparación del método de resinación de pica de corteza con estimulantes contra el método francés. INIF. Edición: 2. Boletín Técnico. No. 35. 20 p.
- Morales, G. M; Galomo R. T. 2006. Escuelas de Campo. Experiencia de Desarrollo de Capacidades para la Transferencia de Tecnología en Comunidades Indígenas. Centro de Investigación Regional Pacífico Sur. Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca. Santo Domingo Barrio Bajo, Etlá, Oaxaca. 172 p.
- Morales-Guerra, M. 2007. Manual de Escuelas de Campo para la capacitación y transferencia de tecnología. Centro de Investigación Regional Pacífico Sur. Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca. Santo Domingo Barrio Bajo, Etlá, Oaxaca. Libro técnico Núm. 10. 48 p.

- Morales-Guerra, M. 2008. Manual de Escuelas de Campo; guía metodológica. Centro de Investigación Regional Pacífico Sur. Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca. Santo Domingo Barrio Bajo, Etlá, Oaxaca. Libro Técnico Núm. 8. 48 p.
- Morales, G. M; Hernández Galeno, C.A. y Vásquez, O.J.A. 2016. Escuelas de Campo. Un modelo de capacitación y acompañamiento técnico para productores agropecuarios. Centro de Investigación Regional Pacífico Sur. Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca. Santo Domingo Barrio Bajo, Etlá, Oaxaca. Folleto técnico Núm. 48. ISBN: 978-607-37-0492-2. 37 p.
- Zamora-Martínez, M.C., E. Velasco B., A. González H., C. Nieto de Pascual P., F. Moreno S., M.E. Romero S. y A. Flores G. 2009. Modelos Predictivos para la Producción de Productos Forestales No Maderables: Hongos. Manual Técnico Núm. 1. CENID-COMEF. INIFAP, México, D.F. México. 58 p.

**GRANDES ACTORES Y SU POTENCIAL CONTRIBUCIÓN A LA SOBERANÍA ALIMENTARIA
EN EL SUR DE MÉXICO; UN ANÁLISIS DE LAS REDES SOCIALES EN EL PROYECTO
GRANOS DEL SUR**
GREAT PLAYERS AND THEIR POTENTIAL CONTRIBUTION TO FOOD SOVEREIGNTY IN
SOUTHERN MEXICO; AN ANALYSIS OF SOCIAL NETWORKS IN THE GRANOS DEL SUR
PROJECT

¹Cadena-Iñiguez P, ¹Camas-Gómez R, ¹Coutiño-Estrada BJ, ²Turrent-Fernández A

¹Investigadores del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, México.
Campo Experimental Centro de Chiapas. CP 29140, km 3 carretera Ocozocoautla-Cintalapa.
Ocozocoautla de Espinosa, Chiapas, México

²Investigador del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, México.
Campo Experimental Valle de México, Carretera Texcoco-los Reyes Km.13.5, Texcoco, Coatlínchan,
CP 56250 Texcoco, Estado de México.

Autor para correspondencia: camas.roberTony@inifap.gob.mx

RESUMEN

Durante el 2015-2016 se realizó el proyecto para la producción de maíz “granos del sur”, para las zonas de riego y Unidades Rurales de Riego (URDERALES) bajo el modelo del mismo Nombre. A partir de uno de los componentes del modelo, se realizó un foro de vinculación interinstitucional en el cual participaron 12 instituciones gubernamentales y privadas, representados por los titulares o personal con voz y voto para tomar decisiones. El objetivo fue analizar la potencial colaboración con recursos humanos, materiales y económicos entre las instituciones para impulsar el modelo para la producción de maíz bajo riego y su aportación para la seguridad alimentaria de México. Se encontró que, los vínculos existentes de conocimiento, trabajo, cooperación y asociación para apoyar a los productores de maíz bajo riego se ven severamente limitados a medida que se comprometen más recursos de una institución a otra debido a la normatividad interna de cada institución cualquiera que sea su origen, gubernamental o privada, sin embargo aun con las limitantes que pueda haber en la cantidad de insumos y cooperación interinstitucional o de apoyo a los productores, se demostró que es posible producir bajo condiciones de riego arriba de las 10 t ha⁻¹

Palabras clave: *seguridad alimentaria, análisis de redes, grandes actores*

INTRODUCCION

Existen al menos 53 millones de pobres en México de un total de 120 millones de habitantes, (CONEVAL, 2018), y de estos al menos 27 millones viven en el sureste de la república mexicana, todos ellos viven en zonas marginadas, produciendo el “sistema milpa” bajo condiciones de temporal, por lo que la producción nacional de maíz en México ha sido deficitaria. Esta aumentó de 1.86 millones de toneladas anuales en los años 1990-1994 a 4.37 millones de toneladas anuales en el período 1995-1999 y a 5.49 millones de toneladas en los años 2000-2002 (SIACON, 2003, citado por Turrent *et al.*, 2004). Por otro lado, está la gran paradoja de que México cuenta con 31 millones de hectáreas de tierra de labor, de las que 6.3 millones se manejan bajo riego y casi 25 millones son de temporal. El recurso anual de agua dulce es 1530 km³ de los que 147 km³ son retenidos en las presas, 410 km³ escurren al mar. El 67 % del escurrimiento ocurre en el sureste, con mínimo aprovechamiento en el riego, con un monto casi dos veces superior a lo que se retiene actualmente para riego en los distritos de riego del país. Durante los ciclos otoño-invierno 1996-1997, 1997-1998 y 1998-1999, se operó el proyecto “Granos del Sur” y se retomó en el año 2015-2016. La estrategia del proyecto consistió en realizar siembras de maíz en el ciclo otoño-invierno, en localidades representativas de la región sur-sureste que contaban con infraestructura de riego y como característica principal es que riegan por gravedad y se carece de nivelación del terreno y trazo de riego. Los objetivos fueron: impulsar la producción de maíz bajo riego con tecnología de producción de alto rendimiento, recomendada por el INIFAP. Uso eficiente de terreno subutilizado que presenta condiciones de fertilidad y agua para una producción superior a 10 t ha⁻¹ de maíz bajo riego con tecnología del INIFAP. Capacitar a productores y técnicos en la tecnología de producción de maíz bajo riego en el ciclo otoño-invierno. Transferir a productores tecnología de producción de maíz de alto rendimiento bajo riego. En México se cultivan anualmente 8.5 millones de hectáreas de maíz, con una

producción nacional de 22.5 millones de toneladas y una media de 2.8 t ha⁻¹. Sin embargo, cada año se importan siete millones de toneladas de grano entero de maíz amarillo y tres millones de grano quebrado, por lo que se requiere incrementar la producción de este tipo de maíz. Entre 2011-2012 México fue el segundo importador más grande, con 11 % de las importaciones mundiales (Márquez, *et al.*, 2014).

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de trabajo fue en la Depresión Central del estado de Chiapas, México. Se inició con un muestreo de suelo, para poder recomendar la dosis óptima de fertilización principalmente de macronutrientes, posteriormente se realizó una caracterización de productores, para conocer sus características sociales y productivas, en cuyos terrenos se establecieron 25 parcelas en tres municipios, donde se probaron Híbridos comerciales de INIFAP, dosis de fertilización sobre todo NPK, topología de siembra y tipos de riego.

Además del establecimiento de parcelas en terrenos de productores cooperadores, se impartieron cursos a productores mediante la metodología de Escuelas de Campo, ampliamente desarrollada por: (Gallagher 2003; Morales y Galomo, 2006; Morales, 2007; Morales, 2008; Cadena, *et al.*, 2013; Cadena, 2016 y Morales *et al.*, 2016). Se realizaron demostraciones de método y de resultados tanto a personal del servicio de extensión y a directivos del sector agropecuario, además de las demostraciones a productores, en este caso se invitó a productores de las 25 parcelas y directivos del sistema producto maíz estatal, para el intercambio de experiencias a través de un encuentro de productores y posteriormente un foro de vinculación interinstitucional de organismos del sector municipal, estatal y federal ligados con los apoyos a la producción del campo. Todas las acciones se encuentran comprendidas en el modelo para la producción de grano “granos del sur” desarrollado ampliamente en: (Cadena, *et al.*, 2009; Cadena, *et al.*, 2015; y Cadena *et al.*, (2018).

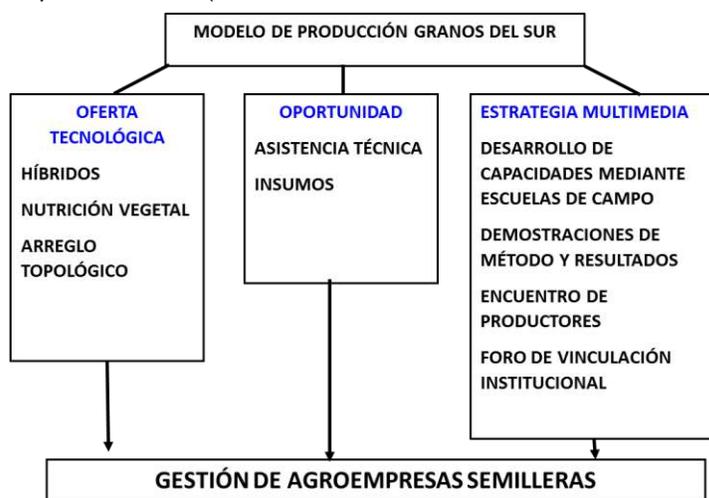


Figura 1. Modelo de producción de maíz de riego, “Granos del Sur”. Fuente: Cadena, *et al.*, 2018

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Del encuentro de saberes de los productores, y utilizando la herramienta metodológica del marco lógico con un facilitador para tal efecto, se encontró que: la escasez de lluvias en el ciclo primavera-verano del año 2016, ocasionó que el manto freático disminuyera, por tanto, los productores debían invertir en hacer más profundos sus pozos, aunado a lo anterior indicaron que las altas temperaturas condicionaron que la planta sufriera un mayor estrés y que debido a la sequía presentada se aplicaron un mayor número de riegos (temperatura alta menor fotosíntesis). Ello repercutió en el costo de producción, mayor incidencia y severidad de plagas y enfermedades. Por esta razón los productores determinaron que es muy necesario el apoyo de instituciones de Gobierno o privadas, para realizar eficiente trazo de riego, sin descartar que el análisis físico y químico del suelo es un factor importante para el logro de alto rendimiento con riego, las condiciones climáticas de esa época limitan la producción eficiente del maíz con riego bajo las condiciones artesanales de manejo de este sistema.

Por lo que es importante que el proyecto o el modelo “Granos del Sur” con la participación de otras instituciones del sector, que permitan solventar, problemas de infraestructura y equipo para riego eficiente, y control de plagas y enfermedades, sin descartar la asistencia técnica y la oportunidad de los insumos necesarios para la producción.

Uno de los elementos del modelo, es un Foro Institucional, al cual llegaron 40 asistentes (10% investigadores y 90% técnicos), además de los actores del sistema producto Maíz y una empresa semillera privada, todos vinculados en las diversas instituciones del Estado, el propósito fue presentar los resultados del “Proyecto de Maíz Granos del Sur 2015-2016”, y con ello reforzar la vinculación de los actores institucionales con el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y con ello poder concretar los potenciales apoyos que en el ámbito de sus competencias cada institución y/o actor de la cadena productiva pudieran brindar a los productores. En el ciclo agrícola otoño invierno 2015-2016, se establecieron 25 hectáreas de maíz, donde se validaron los híbridos H-561 blanco y H-380 amarillo, más los materiales testigos de los productores cooperantes, estas hectáreas fueron distribuidas en los municipios de Villaflores, Villa Corzo y La Concordia, para ello se usaron diferentes fuentes de agua para el riego, entre otras: represas, pozos norias, cárcamos y de la presa El Portillo. Los resultados potenciales esperados se vieron comprometidos por la disminución en el abasto del agua de riego, dado que se secaron las fuentes de agua, siete hectáreas no alcanzaron a ser cosechadas, ya que únicamente tuvieron agua disponible hasta la etapa de producción de elote. Aún con la problemática detectada el rendimiento promedio de grano en las 18 hectáreas cosechadas para los híbridos H-561 y H-380 fueron de 6,537 y 8,882 kg ha⁻¹, ambos híbridos uno blanco y el otro amarillo respectivamente. La relación beneficio/costo fue de 2.1 con el H-380, lo cual indica que es rentable la producción de grano de maíz bajo las condiciones establecidas.

La metodología de análisis de redes, indicada por Rovere (1999), se interrelacionaron las instituciones que participan en apoyos hacia el sector agropecuario y se realizó el estudio de grandes actores entre los participantes, en este punto es muy importante destacar que, de los asistentes al foro, 12 instituciones estuvieron encabezadas por su titular o segundo al mando. La metodología destacando cinco etapas de relación según Rovere (1999), las cuales indican lo siguiente: una red social, es un conjunto de actores (productores, empresas, instituciones públicas y privadas, y de otros actores), con una actividad, y con un objetivo en común, con funciones diferentes que se conjugan para proporcionar información, para así promover el desarrollo individual y colectivo.

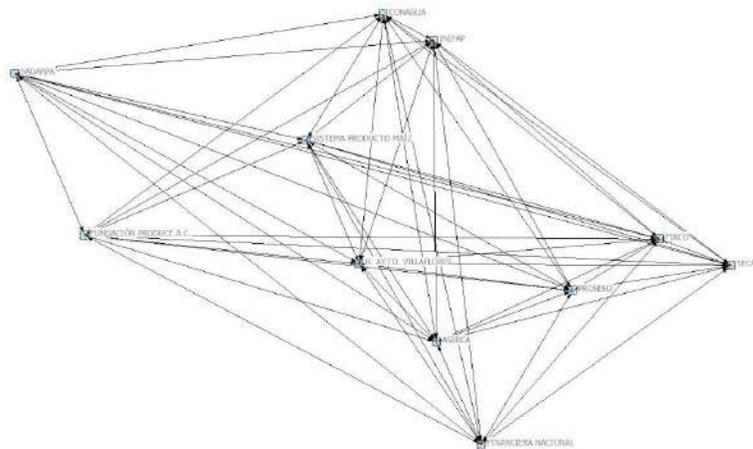


Figura 2. Nivel de relación “Reconoce” entre las instituciones participantes, Villaflores Chiapas, Fuente: elaboración propia a partir de Rovere (1999).

Existen niveles en la construcción de redes sociales, y en este proceso el conocimiento nos sirve para organizarnos, para monitorear los grados de profundidad de una red. Estos niveles podrían nombrarse como: reconocimiento, conocimiento, colaboración, cooperación y asociación, donde cada uno sirve de apoyo al siguiente. Las instituciones participantes fueron, del Gobierno Federal: El INIFAP, FIRCO, ASERCA, CONAGUA, SAGARPA, FINANCIERA RURAL y FIRA (Banco de México), del Gobierno

Estatad: SECAM, Gobierno Municipal: H. AYUNTAMIENTO DE VILLAFLORES, Iniciativa privada: FUNDACIÓN PRODUCE CHIAPAS, A.C.; SISTEMA PRODUCTO MAÍZ, A.C. y PROSESO. Con base en los niveles descritos por cada uno de ellos respecto al trabajo de los otros se encontró lo siguiente: En el nivel de reconocimiento donde cada uno de ellos reconoce a las otras instituciones se encontraron los siguientes niveles de relación:

En la figura 2, se puede observar que todos reconocen a la institución como tal y entienden su quehacer en el ámbito rural, este reconocimiento se da por los vínculos manifestados entre ellos y se nota un entramado muy denso. Para el caso del nivel de relación de “conoce”, el nivel de entramado y los vínculos son similares dado que todos conocen los objetivos, misión y mandatos de cada una de las instituciones que participaron, el entramado social se ve en la siguiente figura:

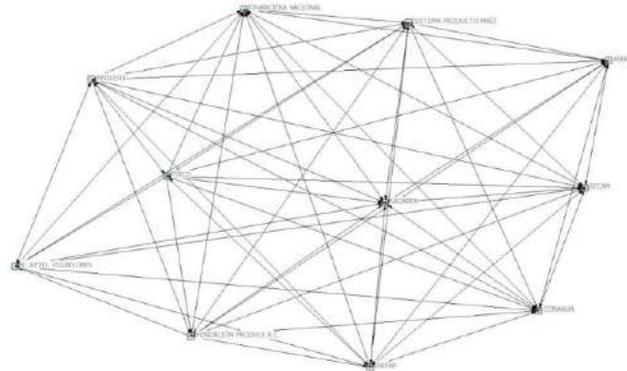


Figura 3. Nivel de relación “Conoce” entre las instituciones participantes, Villaflores Chiapas, Fuente: elaboración propia a partir de Rovere (1999).

Es claro que todos los actores conocen lo que cada uno hace en el ámbito de su mandato y que injerencias tienen dentro de las políticas públicas y comerciales. Por otro lado, parte de la metodología establece otro tipo de relación donde los actores de la red “colaboran” entre sí, lo cual fue manifestado por ellos y graficado en la siguiente figura:

En la figura se pueden observar que los vínculos entre las instituciones se empiezan a desvanecer, lo cual en teoría es normal dado que cada uno puede “colaborar” entre sí en el ámbito de su competencia, dado que son de diferentes niveles de gobierno, además de los particulares que se ven beneficiados con los programas, de las doce relaciones institucionales, solo dos están fuera, una de carácter federal y una empresa comercial, quienes solo tienen un vínculo con las demás instituciones, en tanto que los restantes 10, de alguna manera u otra colaboran en la operación de las políticas públicas dependiendo del nivel de gobierno al que se refiera.

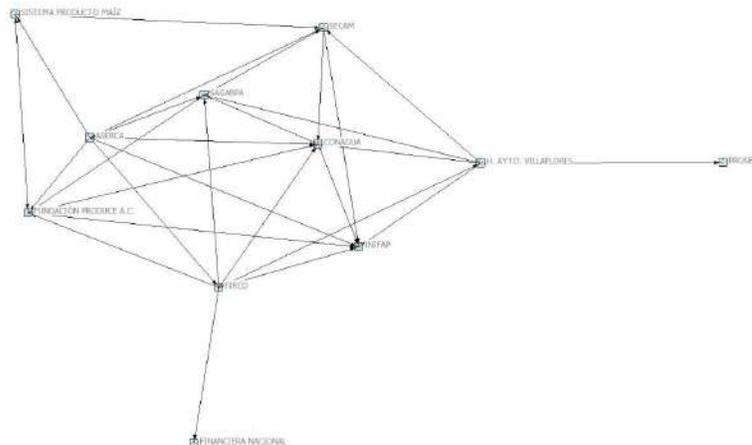


Figura 4. Nivel de relación “Colabora” entre las instituciones participantes, Villaflores Chiapas, Fuente: elaboración propia a partir de Rovere (1999).

Cuando se les pregunto si entre ellas “cooperan”; es decir que intercambian recursos y realizan actividades en conjunto, los vínculos fueron aún menos frecuentes, tal como se puede apreciar en la siguiente figura:

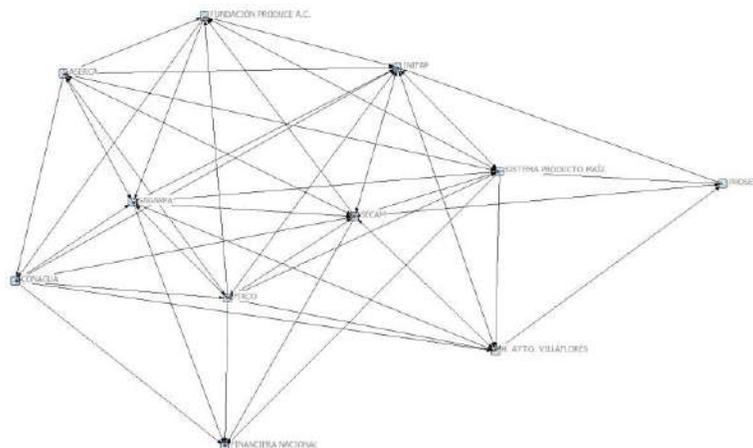


Figura 5. Nivel de relación “Coopera” entre las instituciones participantes, Villaflores Chiapas, Fuente: elaboración propia a partir de Rovere (1999).

El último de los vínculos referidos entre las instituciones fue el de “Asociarse” a lo que las instituciones dejan de hacerlo debido principalmente a la normatividad que cada una de ellas tiene y por el ámbito de su mandato, aunque todas intervienen en el mismo territorio, no todos pueden, aunque quisieran asociarse para poner tanto recursos materiales, financieros como humanos para el desarrollo de algunas actividades. En la siguiente figura, podemos observar que los vínculos entre instituciones son cada vez menos, y eso se debe a que existen normatividades internas diferentes que deben acatar cada una de los convocados.

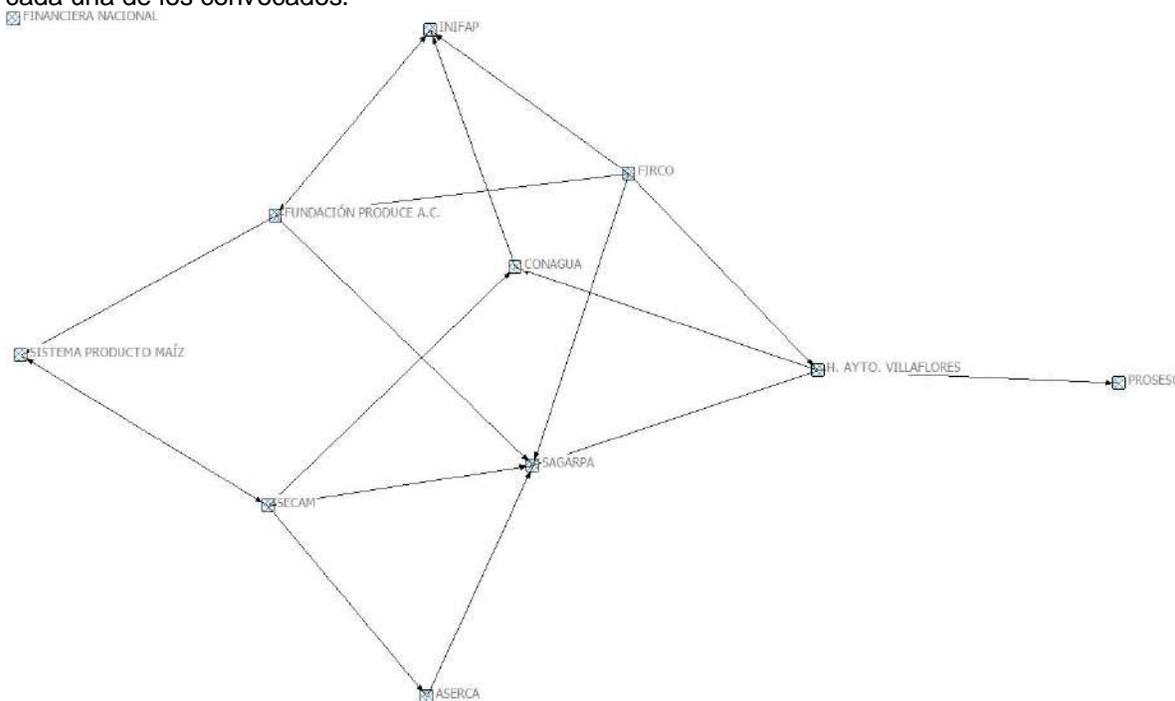


Figura 6. Nivel de relación “Asocia” entre las instituciones participantes, Villaflores Chiapas, Fuente: elaboración propia a partir de Rovere (1999).

Zambada, *et al.*, (2013), y Jácome, *et al.*, (2016), coinciden con los resultados finales de las interrelaciones encontradas en el estudio de grandes actores de Chiapas mostradas arriba. La

potencial participación de las instituciones se ve limitada por la normatividad interna de cada una, de los tres órdenes de gobierno en México. Por su parte, Aguilar, (2015), encontró al hacer una investigación en al menos seis estados del sur de México, que, para lograr niveles de adopción de tecnologías mediante un análisis de redes sociales encontró que: “se pasa por alto que los procesos de innovación agrícola no se dan de forma aislada, sino a través de la interacción de diferentes actores, es decir, la innovación está determinada por el patrón de interacciones que establece el productor con sus pares y otros actores. Por ello, existe la necesidad de investigar los procesos de adopción desde un enfoque de red...” (SIC); por su parte, Holmes, *et al.*, (2016), encontraron en Colombia al revisar trabajos de 50 artículos identificados, de la autoría de 28 instituciones diferentes: Los hallazgos de este estudio permiten concluir que los actores que generan conocimiento sobre extensión rural en Colombia presentan una escasa articulación intra e interinstitucional lo cual hace apremiante el fortalecer las políticas públicas y los incentivos para fomentar los relacionamientos entre los grupos de investigación y entre las instituciones. Por ello, los vínculos entre las instituciones y el entramado institucional tienen que ver con los potenciales apoyos que se pueden otorgar a los productores que participan en el proyecto granos del sur, el cual, como proyecto piloto en Chiapas, y de acuerdo a los resultados obtenidos en un año disímil, respecto a las características atípicas del temporal el cual tuvo sus repercusiones en la disminución de la “napa” freática, y con ello el abatimiento de las fuentes de aprovisionamiento de agua. Las instituciones representadas acordaron en su momento de intervención y estuvieron de acuerdo que, para poder apoyar a los productores actuales y potenciales de seguir produciendo grano de maíz en riego, punta de riego que es necesario: la organización de productores, los proyectos productivos para ser canalizados a las diferentes ventanillas que se abran para tales propósitos e inscribirse en los programas de apoyos a la comercialización.

CONCLUSIONES

Si bien se cumplió con la realización del Foro de Vinculación Institucional y se realizaron compromisos entre los principales actores; es también oportuno que de ello no quedo manifiesto alguno por escrito de tal manera que existieran compromisos tangibles en tiempo y espacio para planificar una segunda etapa del proyecto de producción de maíz, a una escala mayor y encabezada por los alcaldes municipales donde se probó y validó el modelo de producción de maíz granos del sur, de tal manera que se convierta en política pública y con ello el escalonamiento del proyecto mediante el modelo antes descrito, en el cual a todas luces se pudo observar que uno de sus elementos no se cumplió con la creación de las agroempresas dadas las condiciones inseguras de mercado para formarlas. La contribución en la seguridad agroalimentaria y su respectiva soberanía, tiene que ver no con el modelo en sí, sino con el escalonamiento de un programa a nivel sur sureste de la república

LITERATURA CITADA

- Aguilar-Gallegos, N. 2015. Análisis de redes sociales aplicado a los procesos de innovación agrícola. Tesis Doctor en Problemas Económico Agroindustriales. Universidad Autónoma Chapingo. Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial (CIESTAAM). Chapingo, Estado de México 176 p
- Cadena, I. P.; Morales, G. M.; González, C. M.; Berdugo, R. J. G. y Ayala, S. A. 2009. Estrategias de transferencia de tecnología, como herramientas del desarrollo rural. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). ISBN-978-607-425-200-2
- Cadena-Iñiguez, P.; Camas-Gómez, R.; Rodríguez-Hernández, R.F.; Berdugo-Rejón, J.G.; Ayala-Sánchez, A.; Zambada-Martínez, A.; Morales-Guerra, M.; Espinosa-Paz, N.; y López-Báez, W. 2015. Contribuciones del INIFAP al extensionismo en México y la gestión de la innovación. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Vol.6 Núm.4 16 de mayo - 29 de junio, 2015. ISSN 2007-0934 pp: 883-895
- Cadena, I. P. 2016. Las Escuelas de Campo (ECA): una estrategia de trabajo para zonas de alta marginación en México. En: Modelos alternativos de capacitación y Extensión Comunitaria. Edits. Jorge Aguilar Ávila y Vinicio Horacio Santoyo Cortés. Clave Editorial, Universidad Autónoma Chapingo. ISBN: 978-607-437-351-6. México D.F. pp: 141-160
- CONEVAL. 2018. Medición de la pobreza a nivel nacional 2016. https://www.coneval.org.mx/Medicion/MP/Paginas/Pobreza_2016.aspx revisado el 17 de abril de 2018.

- Gallagher, K. 2003. Elementos fundamentales de una Escuela de Campo. LEISA. Aprendiendo con las ECAS 19 (1): 4-7
- Jácome-Maldonado, S.M.; Zambada-Martínez, A.; Rodríguez-Hernández, R.F.; Cadena-Iñiguez, P.; Saucedo-Hernández, G. 2016. Estudio de competitividad de familias en pobreza extrema en San Andrés Tuxtla, Veracruz, México. *Agroproductividad* Vol 9, Núm. 9. ISSN 0188-7394. P67-72
- Márquez-Berber, S.; Khalil-Gardezi, A.; Ayala-Garay, A.V. y Almaguer-Vargas, G. 2014. Situación y perspectivas de la producción de maíz en México. En: *Seguridad y Soberanía alimentaria en México; análisis y propuestas de política*. Editores: Rita Schwentesius Rindermann y Alma Velia Ayala Garay. Plaza Valdés Editores S.A. de C.V. Primera edición, ISBN 978-607-402-745-7 México p 57.
- Morales, G. M; Galomo R. T. 2006. Escuelas de Campo. Experiencia de Desarrollo de Capacidades para la Transferencia de Tecnología en Comunidades Indígenas. Centro de Investigación Regional Pacífico Sur. Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca. Santo Domingo Barrio Bajo, Etlá, Oaxaca. 172 p.
- Morales-Guerra, M. 2007. Manual de Escuelas de Campo para la capacitación y transferencia de tecnología. Centro de Investigación Regional Pacífico Sur. Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca. Santo Domingo Barrio Bajo, Etlá, Oaxaca. Libro técnico Núm. 10. 48 p.
- Morales-Guerra, M. 2008. Manual de Escuelas de Campo; guía metodológica. Centro de Investigación Regional Pacífico Sur. Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca. Santo Domingo Barrio Bajo, Etlá, Oaxaca. Libro Técnico Núm. 8. 48 p.
- Morales, G. M; Hernández Galeno, C.A. y Vásquez, O.J.A. 2016. Escuelas de Campo. Un modelo de capacitación y acompañamiento técnico para productores agropecuarios. Centro de Investigación Regional Pacífico Sur. Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca. Santo Domingo Barrio Bajo, Etlá, Oaxaca. Folleto técnico Núm. 48. ISBN: 978-607-37-0492-2. 37 p.
- Rovere, M. 1999. Redes en salud; Un nuevo paradigma para el abordaje de las organizaciones y la comunidad, Rosario: Ed. Secretaría de Salud Pública/AMR, Instituto Lazarte. 113 pp
- Turrent, F.A.; Camas, G.R.; López, L.A.; Cantú, A.M.; Raíres, S.J.; Medina, M.J. y Palafox, C.A. 2004. Producción de maíz bajo riego en el Sur-Sureste de México: II. Desempeño financiero y primera aproximación tecnológica. *Agric.Tec. Mex. Mex. Mex.* 30 (2): 205-221.
- Zambada-Martínez, A.; Cadena-Iñiguez, P.; Ayala-Sánchez, A.; Sedas-Larios, L. E. I.; Pérez-Guel, R. O.; Francisco-Nicolás, N.; Meneses-Márquez, I.; Jácome-Maldonado, S. M.; Berdugo-Rejón, J. G.; Morales-Guerra, M.; Rodríguez-Hernández, R. F. y Rendón-Medel, R. 2013. Red de articulación institucional y organizacional para gestionar innovaciones en la región de Los Tuxtlas, Veracruz, México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo.* 10(4):442-458.

POTENCIAL CLIMÁTICO DE YUCA *Manihot esculenta* CRANTZ COMO ESPECIE DE INTERÉS PARA PRODUCCIÓN DE BIOPLÁSTICOS EN VERACRUZ, MÉXICO
CLIMATIC POTENTIAL OF CASSAVA *Manihot esculenta* CRANTZ AS A SPECIES OF INTEREST FOR PRODUCTION OF BIOPLASTICS IN VERACRUZ, MEXICO

¹Del Rosario Arellano JL, ¹Andrés-Meza P, ²Meneses Márquez I, ¹Leyva Ovalle OR, ³Bolio-López GI, ¹Aguilar Rivera N, ⁴Rivera Hernández B, ⁵Palma-López DJ, ¹Serna-Lagunes R, ²Sierra Macías M, ²Espinosa-Calderón A, ²Tadeo-Robledo M, ²Vázquez Carrillo MG, ¹Murguía-González J, ²Rosas Gonzales X, ²Becerra Leor EN

^{1*}Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (FACBA) de la Universidad Veracruzana. Región Orizaba-Córdoba. Camino antiguo Amatlán- Peñuela. Amatlán de los Reyes, Córdoba, Veracruz, México. CP. 94950.

²Campo Experimental Cotaxtla (CECOT) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Km 34, carretera federal Veracruz-Córdoba. Medellín de Bravo, Veracruz, México. C.P. 91700. 745.

³Universidad Popular de la Chontalpa (UPCH), carretera Cárdenas Huimanguillo, km. 2, R/a, Pazo y Playa, Cárdenas, Tabasco.

⁴Colegio de Posgraduados (CP), Campus Campeche, carretera Haltunchén- Edzná km 17.5, Sihochac, municipio de Champotón, Campeche. C. P. 24450. MÉXICO., Campeche.

⁵Colegio de Posgraduados (CP), Campus Tabasco, Periférico Carlos A. Molina, km. 3 Carretera Cárdenas Huimanguillo, Tabasco.

Autor para correspondencia: pandres272@gmail.com

RESUMEN

A nivel mundial se producen al año 280 millones de toneladas de plástico basados en petróleo, la consecuencia, una severa crisis ambiental derivado de su producción, consumo y disposición final. En respuesta, surgieron diversos bioplásticos elaborados de recursos renovables como el almidón. El estado de Veracruz, México, en 2018 se aprobó la iniciativa de ley relacionada con el manejo de residuos sólidos urbanos, que prohíbe el uso de bolsas plásticas y popotes de origen petroquímico, lo que brinda oportunidad en desarrollo e investigación de biopolímeros. Bajo este enfoque, el cultivo de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) se presenta como alternativa para obtención de materia prima (almidón), donde es necesario planificar con el uso de zonas potenciales. Se definió la aptitud óptima climática de temperatura y precipitación media anual del estado de Veracruz, por análisis de 67 estaciones climatológicas, además de la variable altura por su alto rango altitudinal. Se realizó el cálculo de isoclinas por interpolación, sobreposición, álgebra de mapas y cartografía con ArcMap v.15. La validación de la zonificación se realizó con la prueba de Kruskal-Wallis ($\alpha=0.05$) con el software Minitab. Los resultados mostraron que Veracruz presenta temperatura (≥ 20 a $\leq 29^{\circ}\text{C}$) y precipitación (≥ 1000 a ≤ 2500 mm) propicia para desarrollo y crecimiento de cultivo, con una superficie óptima de 5,945,940.22 y 5,617,923.56 ha para cada variable, sin embargo, en conjunto con altura (≤ 2000 msnm) son factores limitantes de distribución en la sierra de Zongolica, faldas del Cofre de Perote y Sierra de Huayacocotla. El potencial climático reveló una superficie del 73.65% de territorio estatal. El análisis no paramétrico demuestra fiabilidad de la metodología FAO para predecir zonas con aptitud óptima, además, los datos demuestran factibilidad climática para producir el tubérculo, por ende, almidón como materia prima potencial en la obtención de bioplásticos.

Palabras clave: zonificación, interpolación, aptitud óptima, Kruskal- Wallis

INTRODUCCION

Alrededor del mundo, se producen anualmente un aproximado de 280 millones de toneladas de plástico de origen fósil (Shaw y Sahni, 2014), donde casi el 30% se utiliza para fabricar plásticos de un solo uso, entre ellos, más de 35 millones de toneladas botellas de plástico y 500 mil millones de unidades bolsas, que por ligereza y durabilidad viajan largas distancias hasta culminar en ambientes terrestres, costas y el océano (Zbyszewski y Corcoran ,2011; Di Gregorio, 2012). Su uso y producción desmesurado encauzaron a problemas ambientales vertiginosos, situación que direccionó impulsar el uso de nuevos productos “los bioplásticos” (European Bioplastics, 2012; Iles y Martin, 2013), al compostarse y biodegradarse en un período de tiempo corto en comparación con sus homólogos

(>450 años), respetuosos con el medio ambiente y su producción utiliza menos energía sin subproductos tóxicos (Álvarez *et al.*, 2012; Paping *et al.*, 2014). El almidón, un recurso ampliamente disponible, de bajo costo y completamente biodegradable, con capacidad de gelificar, moldear y formar recubrimientos, le hacen una combinación atractiva para fabricar estos productos (Ahmed *et al.*, 2012; Paunonen, 2013; Andrade *et al.*, 2014; Laycock y Halley, 2014). Sin embargo, la explotación de un cultivo para un fin específico debe evitar competir con la producción alimentaria, de lo contrario puede conducir a impactos sociales cuestionables (Song *et al.*, 2011; Morone *et al.*, 2015).

La yuca (*Manihot esculenta* Crantz), es un cultivo cuyo contenido de almidón oscila entre el 74-80%, una de las cantidades más altas que otras raíces y tubérculos (Buitrago *et al.*, 2001); puede producirse en condiciones adversas donde otros cultivos amiláceos no logran completar su desarrollo, con un rendimiento promedio mundial de 12.8 t ha⁻¹, y bajo condiciones óptimas puede alcanzar 80 t ha⁻¹ (Fauquet y Tohme, 2004; Aerni, 2006; FAO, 2014). En México presenta un rendimiento promedio de 11.34 t ha⁻¹, con Veracruz como tercer productor, sin embargo, se encuentra sub explotado, encontrándose habitualmente en huertos familiares, cultivada con baja tecnología tipo tradicional y destinado principal para autoconsumo (Meneses *et al.*, 2014; SIAP, 2016).

Con lo anterior, el cultivo se presenta como alternativa para la obtención de materia prima (almidón), donde para lograr un mayor potencial productivo, es fundamental planificar el uso de la tierra a través del contraste de requerimientos del cultivo con condiciones que ofrece el medio, es decir, con una zonificación agroecológica (ZAE) (Suárez, 2014), definida como la división de la superficie de la tierra y clima en unidades más pequeñas, que tienen características similares relacionadas con su aptitud con la producción potencial y con el impacto ambiental en función de los requerimientos del cultivo (FAO, 1997). En la actualidad, se ha retomado la selección de requerimientos bioclimáticos para zonificar y determinar su potencial (Guevara, 2018). La importancia de estos estudios radica en la identificación de áreas potenciales que permiten practicar una agricultura con un nivel de riesgo menor y más productiva (Zamarripa y Díaz, 2008).

Al respecto, se han realizado estudios de zonificación con diferentes enfoques. En México se determinó el potencial productivo de 55 cultivos como auxiliar de planeación nacional/estatal de siembras e implementación de programas de desarrollo agrícola (Díaz *et al.*, 2012). Un estudio de zonificación en yuca reportó que el potencial climático (precipitación y temperatura) fue de 1, 474,490 ha en Tabasco, justificado por políticas de desarrollo rural e interés del gobierno. La metodología FAO combinado con escenarios climáticos para definir la distribución de ZAEs en China (Lin *et al.*, 2013), o en Tabasco, México para conocer la influencia en el rendimiento y adaptación de *Coffea canephora* P (Aceves *et al.*, 2018). Determinación de zonas óptimas (2,229,631 ha) para establecer el cultivo de *Jatropha curcas* L. como potencial para producir biocombustibles (Mancillas *et al.*, 2015). La validación estadística no es usual en este tipo de metodologías, no obstante Pérez y Geissert (2006) validaron el modelo de zonificación con datos de distribución de un sistema agroforestal con la generación de modelos lineales generalizados. El objetivo del presente trabajo fue definir las zonas con potencial climático para el cultivo de yuca en el estado de Veracruz, México, como fuente de materia prima para la producción de almidón y respectivo uso potencial para elaborar bioplásticos, con aplicación de la metodología FAO, justificado por la aprobación de iniciativa de ley relacionada con el manejo de residuos sólidos urbanos, que prohíbe el uso de bolsas plásticas y productos homólogos de origen fósil en el estado, con pauta en el desarrollo e investigación en biopolímeros (Gaceta Oficial del Estado, 2018).

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estado de Veracruz se localiza al este de la República mexicana y sur del Trópico de Capricornio, entre los paralelos 17°08'13" al 22°28'18" de latitud norte y los meridianos 93°36'29" al 98°40'54" de longitud oeste (Figura 1), con una superficie de 72 815 km², precipitación media anual de 1,500 mm y temperatura media anual variable entre 22 a 26°C (Soto y García, 1989; INEGI, 2016; CONAGUA, 2017).

Descripción general

Se tomó como referencia la metodología de Zonificación Agroecológica (ZAE) propuesto por la FAO (1981). La escala de trabajo fue de 1:3,000,000 debido a las dimensiones del estado.

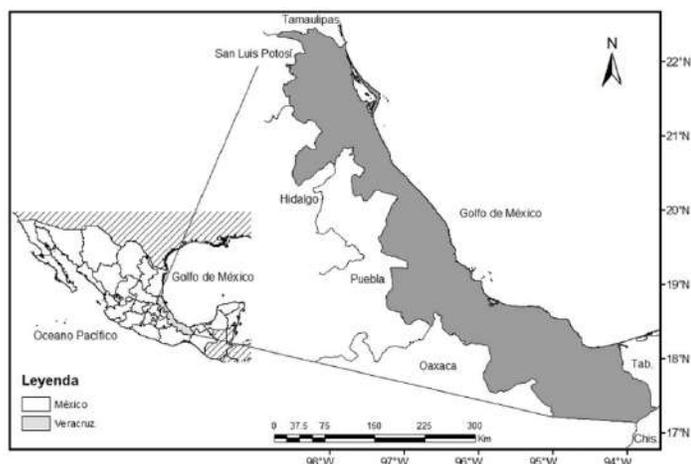


Figura 1. Ubicación geográfica del estado de Veracruz en la República mexicana.

Selección de requerimientos bioclimáticos del cultivo de yuca

Se consideró al clima como para determinar zonas con mayor potencial por guardar relación directa con el rendimiento de cultivos, además de la variable altura por el amplio rango en el estado. En el Cuadro 1, se resumen dos elementos climáticos: temperatura y precipitación media anual en conjunto con altura en diversas aptitudes (ECOCROP, 2014).

Cuadro 1: Requerimientos climáticos por niveles de aptitud para definir zonas de alto potencial en Veracruz.

Variables	Aptitud			
	Marginal	Óptima	Adecuada	Marginal
Temperatura media anual (°C)	≤10	≥20 a ≤29	≥29.1 a ≤35	>35.1
Precipitación media anual (mm)	≤500	≥1000 ≤2500	≥2501 a ≤5000	>5000
Altura (msnm)	-	0 a 2000	-	-

Manejo de base de datos

Para la selección de información climática se consultaron bases de datos diarios de temperatura máxima/ mínima y precipitación de la Comisión Nacional del Agua en 322 estaciones meteorológicas en el estado de Veracruz (CONAGUA, 2017). Se analizaron de manera visual, se seleccionaron y descargaron aquellas con datos diarios de entre 1981-2015 con un periodo mínimo de 15 años, otro criterio fue la ubicación geográfica en el estado. Mediante regresión lineal se calculó datos faltantes de temperatura, cuyo coeficiente de determinación fue superior a 0.70 para el cálculo. Datos faltantes de precipitación (variable discreta) se estimó por el promedio ponderado por la distancia de al menos tres estaciones cercanas (método geográfico) (Aceves *et al.*, 2018). Se diseñaron tablas dinámicas y fórmulas para calcular valores promedio. De las estaciones seleccionadas se elaboró la base de datos de clima (Cuadro 2).

Para el inventario climático se consideraron las divisiones climáticas mayores (FAO, 1981), definiéndose con respecto a los requerimientos térmicos del cultivo (Cuadro 1), con su respectivo trazo de isolíneas.

Cartografía y álgebra de mapas

El Sistema de Información Geográfica que se utilizó fue ArcMap versión 10.3.1 (ESRI, 2015). Para el análisis espacial se elaboraron mapas individuales de cada variable (temperatura, precipitación y altura), mediante la base de datos climáticos, se almacenaron, y sometieron a interpolación espacial para el cálculo de isolíneas por el método de Kriging, debido a que asocia el término de Mejor Predictor Lineal Inssegado (MPLI) y es el más adecuado en el sentido de que minimiza la varianza del error en la predicción (Castro *et al.*, 2010). El resultado fue rediseñado y reclasificado, se realizó la sobreposición y álgebra de mapas, con su respectiva clasificación de aptitudes (Jiménez *et al.*, 2004). Además, se sobrepuso capas de zonas urbanas (119,482.25 ha) y áreas naturales protegidas (235,202.98 ha) con el fin de restar su superficie a las zonas óptimas (CONABIO, 2012; INEGI, 2014).

Cuadro 2: Ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas veracruzanas seleccionadas para zonificación agroclimática de yuca.

Municipio	Estación	Latitud	Longitud	Altura (m)
Acajete	La Joya	19.611	-97.027	2175
Actopan	Actopan	19.500	-96.600	250
	La Mancha	19.450	-96.544	146
	El Diamante	19.596	-96.384	20
	Los Ídolos	19.408	-96.526	100
Álamo Temapache	Sombrerete	20.889	-97.810	48
Ángel R. Cavada	Ángel R. Cavada	18.597	-95.447	28
Catemaco	Coyame	18.438	-95.026	342
Chalma	Los Hules	21.218	-98.248	75
Chicontepec	Terrerillos	21.038	-98.141	138
Coatepec	Coatepec	19.456	-96.944	1188
Comapa	El Coyol	19.172	-96.696	545
Cosamaloapan de Carpio	Ciudad Alemán	18.188	-96.094	35
	Paraíso Novillero	18.258	-95.942	8
Cosautlan de Carvajal	Cosautlan	19.333	-96.994	1274
Coscomatepec	Coscomatepec	19.066	-97.041	1530
Coyutla	Coyutla (CFE)	20.256	-97.644	132
Emiliano Zapata	El Carrizal	19.363	-96.658	242
	Emiliano Zapata	19.362	-96.657	924
	Rancho Viejo	19.447	-96.784	914
Fortín	Naranjo	18.814	-96.962	697
Huatusco	Centro Regional Huatusco	19.147	-96.950	1186
Huayacocotla	Palo Bendito	20.509	-98.504	2266
Hueyapan de O. Isla	Cuatotolopa	18.144	-95.296	20
	Garro	18.271	-95.557	20
	La Ceibilla	18.230	-95.445	10
Ixhuatlán del Café	Ixhuatlán del Café	19.055	-96.976	1350
	Jalcomulco	19.330	-96.762	335
	Santa María Tetetla	19.273	-96.713	282
Jesús Carranza	Jesús Carranza	17.437	-95.030	33
	Las Perlas	17.417	-94.914	22
	Azueta	18.075	-95.700	21
Las Choapas	Tancochapa	17.904	-94.105	13
Las Minas	Las Minas	19.690	-97.148	1415
Las Vigas de Ramírez	Las Vigas	19.639	-97.110	2426
Lerdo de Tejada	Naranjal	18.617	-95.516	10
Martínez de la Torre	Martínez de la Torre	20.079	-97.064	89
Mecayapan	Minzapan	18.136	-94.727	48
Medellín	El Copital	18.967	-96.205	14
	El Tejar	19.067	-96.158	10
Misantla	Libertad	19.932	-96.848	59
Naolinco	Almolonga	19.588	-96.784	730
Nautla	El Raudal	20.156	-96.721	10
Ozuluama	La Laja	21.682	-97.694	5
de Mascareñas				
	Panuco	El Olivo	21.832	-98.504
	Presa Paso de Piedras Chicayan	21.743	-98.161	40
Papantla	El Remolino	20.388	-97.243	119
	Joloapan	20.238	-97.279	47
Paso de Ovejas	Puente Julia	19.196	-96.344	63
Paso del Macho	Mata Anona	18.972	-96.726	214
Perote	Los Pescados	19.561	-97.148	2395
Platón Sánchez	Platón Sánchez	21.272	-98.373	57
Poza Rica de Hidalgo	Poza Rica	20.541	-97.473	50
Puente Nacional	Puente Nacional	19.325	-96.482	87
San Andres Tuxtla	Sihuapan	18.439	-95.178	264
San Juan Evangelista	San Juan Evangelista	17.883	-95.146	18
Tamiahua	Tamiahua	21.315	-97.444	5
Tempoal	Cardón	21.414	-98.483	101
	Tempoal de Sánchez	21.519	-98.410	34
Teocelo	Teocelo	19.386	-96.974	1188
Totutla	Totutla	19.213	-96.964	1446
Uxpanapa	Cedillo	17.250	-94.613	68
	La Laguna	17.272	-94.506	83
	Rio Grande	17.276	-94.374	72
	Oxtlapa	19.432	-97.092	2111
Xico	Tembladeras	19.512	-97.118	3102
	Tecuanatepec	20.141	-97.535	322

La validación se obtuvo por el análisis de varianza no paramétrico denominado Kruskal-Wallis (Kruskal y Wallis, 1952), para lo cual se consultaron 40 datos georreferenciados de presencia de la especie en

Veracruz (Meneses *et al.*, 2014), mismos que se superpusieron sobre el mapa de cada variable con su consecuente conteo de presencias y ausencias respecto a zonas con alto y bajo potencial, por el software estadístico Minitab v. 16.2.3 (Minitab, 2012).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estaciones climatológicas utilizadas

Se seleccionaron 67 estaciones climatológicas por la calidad de su información, distribución geográfica en territorio veracruzano y longitud de la serie histórica (15 años), al respecto es posible trabajar con series de hasta 10 años como lo efectuaron Pérez y Geissert (2006). El análisis climático mostró que la temperatura promedio anual de las 67 estaciones climatológicas selectas fluctúan entre 8.92 a 26.12°C, mismas que inciden en la determinación de áreas óptimas para cultivar yuca, similar ocurre con la precipitación de 591.23 a >3726 mm, lo que resalta la variabilidad climática en el estado. En la Figura 2, se observa la distribución espacial de temperaturas promedio cuyo rango de aptitud óptima ($\geq 20^{\circ}\text{C}$ a $\leq 29^{\circ}\text{C}$) se distribuye en 5, 945,940.22 ha, cual representa el 86.08% de territorio veracruzano, similar con 89.57% según el reporte de Soto *et al.* (1996). Un déficit térmico se observa en las zonas montañosas de la provincia fisiográfica del Eje Neo volcánico y Sierra Madre Oriental, mismo que se atribuye al relieve, al ejercer un cambio del patrón de distribución de la temperatura en estas zonas, similar a lo reportado por Soto *et al.* (2001), al mencionar que esta variable climática guarda relación inversa con la altura. Por otro lado, temperaturas superiores a lo requerido, no son una limitante para el cultivo, ya que El-Sharkawy *et al.* (1993) reportan que el rango óptimo de temperatura en la hoja de yuca es de 25 a 35°C.

En la figura 3, se muestra que el estado cuenta con un área óptima de 5,617,923.56 ha, es decir, el 81.33% del territorio, similar a lo reportado por Soto *et al.* (1996) con 84.94% del territorio, valor que se aproximaría al suprimir las áreas urbanas y las áreas Naturales Protegidas. Esta variable restringe menos zonas que temperatura, principalmente en la provincia de la Sierra Madre Oriental en los municipios de Huayacocotla, Zacualpan y Texcatepec, así como en la subprovincia de la Sierra de Chiconquiaco en Actopan, Alto Lucero, Emiliano Zapata, Úrsula Galván y Puente Nacional con precipitaciones >999 mm. Los máximos de precipitación corresponden a su vez una aptitud adecuada en la Sierra de los Tuxtlas (Pérez y Geissert, 2006; Ruiz *et al.*, 2010), y en los límites con Tabasco, Oaxaca y Chiapas, en los municipios de Las Choapas, Minatitlán e Hidalgotitlán, resultado que coincide con Rivera *et al.* (2012) al encontrar altas precipitaciones en la parte norte del estado de Tabasco, mismos que superan los 2,500 mm de lluvia considerados aun adecuados para el desarrollo y crecimiento de la yuca con ≥ 2501 a ≤ 5000 mm según ECOCROP (2014).

La altura (Figura 4), muestra 6, 452,764.19 ha (93.42%) como óptimas para el desarrollo de la yuca. Rangos superiores a 2000 msnm se ubican en la parte serrana de la región centro del estado, específicamente en alrededores del Parque Nacional Cofre de Perote en los municipios de Perote, Jalacingo, Ayahualulco, Xico y Parque Nacional Pico de Orizaba (aunque por la escala de trabajo no se logra visualizar este último). Al igual en los municipios de Aquila, Cd. Mendoza, Acultzingo, Soledad Atzompa, Tlaquilpan, Astacinga y Tehuipango en la Sierra de Zongolica, cuyas altitudes superan los 2500 msnm, lo que concuerda con Soto y Geissert (2011).

Con el uso del software ArcMap se realizó el álgebra de mapas y se obtuvo zonas con alto potencial climático al sobreponer temperatura, precipitación y altura (Figura 5). Las variables se comportan como factores limitantes de distribución en la sierra de Zongolica, rededores del Cofre de Perote y pico de orizaba, correspondiente a la parte oeste de la zona centro del estado; así mismo la Sierra de Huayacocotla, que según Soto y García (1989), corresponden al clima templado (12 a 18°C), semifrío (5 a 12°C) y frío o muy frío (<-2 a 5°C); la Reserva de la Biosfera de los Tuxtlas, aunque presenta condiciones óptimas de temperatura, tiene precipitación pluvial superior al óptimo, similar condición ocurre en la porción sureste con lluvias que sobrepasan los 2501 mm anuales. De tal manera, se disminuye la superficie a 5, 087,011.61 ha, equivalente al 73.65% de aptitud óptima climática en Veracruz.

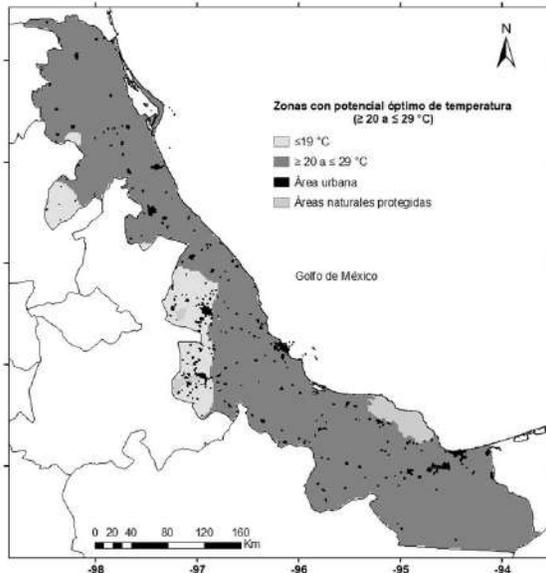


Figura 2. Temperatura óptima para el cultivo de *M. esculenta* Crantz., en Veracruz México.

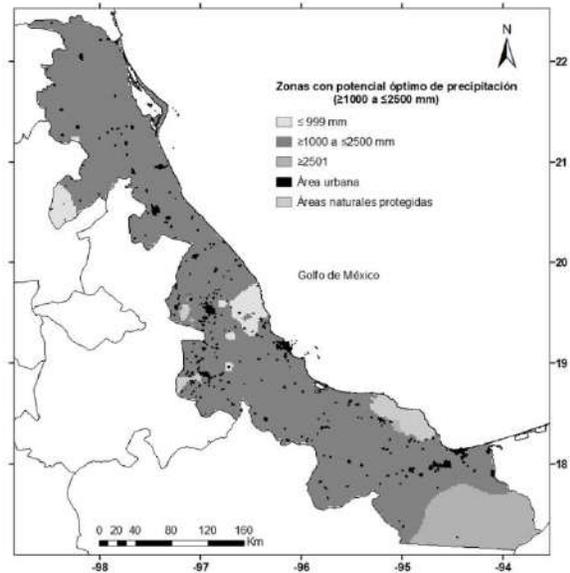


Figura 3. Precipitación óptima para el cultivo de *M. esculenta* Crantz., en Veracruz México.

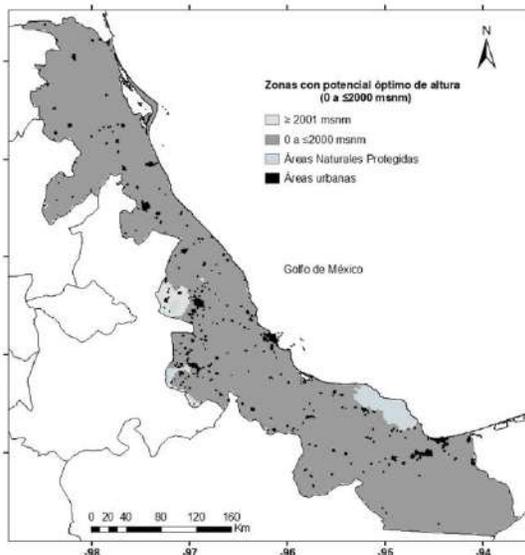


Figura 4. Altura óptima para el cultivo de *M. esculenta* Crantz., en Veracruz México.

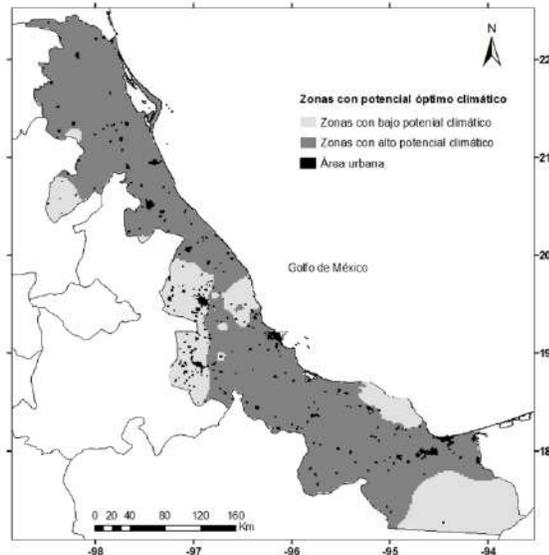


Figura 5. Zonas con aptitud óptima climática para cultivar yuca en Veracruz, México.

Validación

La validación de propuestas de zonificación por lo regular no ha sido realizada en estudios de zonificación (Pérez y Geissert, 2006) con esta metodología. En el cuadro 3, se observa que el rango promedio de presencias de yuca difiere del rango promedio de ausencias, a su vez que está por encima de la mediana general, además existe diferencia significativa en el número de presencias/ausencias para el tipo de validación, se puede decir que se debe a la alta cantidad de presencias en las zonas geográficas óptimas delimitadas por las variables temperatura y altura, al restringir menos superficie en comparación con la precipitación. Hasta el momento el análisis por Kruskal-Wallis (1952), demuestra que es factible predecir zonas potenciales con base a presencias reales de la especie.

Cuadro 3: Análisis por Kruskal- Wallis en datos de presencia real de yuca en Veracruz.

Validación	GL	Mediana	Ranking	Z	Valor H	P
Ausente	1	1	2	-1.96		0.043*
Presente		4.5	5	1.96		
Total			3.5			

*diferencia estadística

CONCLUSIONES

Se determinaron zonas con aptitud óptima climática para cultivar yuca a partir de temperatura y precipitación con el uso de un SIG, que en conjunto con la altura, se detectaron 5,087,011.61 ha, equivalente al 73.65% de territorio veracruzano, sin embargo, esta última puede no ser considerada para delimitar zonas por su inclusión dentro de las anteriores. Además, es posible validar el modelo por estadística no paramétrica con Kruskal- Wallis, cuya referencia son datos reales de presencia de la especie. Para delimitar zonas específicas regionales o municipales, se recomienda incluir información edafológica y uso de suelo

LITERATURA CITADA

- Aceves Navarro, L. A., Rivera Hernández, B., López Castañeda, A., Palma López, D. J., González Mancillas, R., & Juárez López, J. F. 2018. Áreas potenciales y vulnerabilidad del cultivo de café tipo robusta (*Coffea canephora* P.) al cambio climático en el estado de Tabasco, México. *Nova Scientia*, 10(1), 369–396.
- Aerni, P. 2006. Mobilizing science and technology for development: The case of the Cassava Biotechnology Network (CBN).
- Álvarez-Castillo, A., García-Hernández, E., Domínguez-Domínguez, M. M., Granandos-Baeza, J., Aguirre-Cruz, A., & Morales-Cepeda, A. 2012. Aprovechamiento integral de los materiales lignocelulósicos. *Rev Iberoam Polim*, 13(4), 140-50.
- Buitrago A, J. A., Gil Llanos, J. L., & Ospina Patiño, B. 2001. La yuca en la alimentación avícola.
- Castro, F. D. S., Pezzopane, J. E., Cecílio, R. A., Pezzopane, J. R., & Xavier, A. C. 2010. Avaliação do desempenho dos diferentes métodos de interpoladores para parâmetros do balanço hídrico climatológico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi*, 14(8).
- Díaz, P. G., Guajardo, P. R. A., Medina, G. G., Sánchez, C. I., Soria, R. J., Vázquez, A. M. P., ... & Ariel, R. C. J. 2012. Potencial productivo de especies agrícolas de importancia socioeconómica en México. INIFAP. Publicación especial, (8).
- Di Gregorio, B. E. 2012. Tracking Plastic in the Ocean. *Earth*, 28–35. 91 pp.
- El-Sharkawy, M. A. 2007. Physiological characteristics of cassava tolerance to prolonged drought in the tropics: Implications for breeding cultivars adapted to seasonally dry and semiarid environments. *Braz. J. Plant Physiol.* 19: 257-286.
- ESRI. 2015. ArcGIS Desktop: Release 10.3.1. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.
- European Bioplastics. 2012. Market drivers. from European Bioplastics.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1997. Zonificación agroecológica. Guía general, boletín No. 73. Roma, Italia.
- FAO. 1981. Report on the Agro- Ecological Zones Project. Vol. 1: Methodology and Results for Africa. Food and Agriculture Organization of the United Nations World Soils Report No. 48. Rome, Italia, 158 p.
- FAO. 2014. Biannual report on global food markets. Fasuyi.
- Fauquet, C. M., & Tohme, J. 2004. The global cassava partnership for genetic improvement.
- González Mancillas, R., Juárez López, J. F., Aceves Navarro, L. A., Rivera Hernández, B., & Guerrero Peña, A. 2015. Zonificación edafoclimática para el cultivo de *Jatropha curcas* L., en Tabasco, México. *Investigaciones Geográficas*, 0(86), 25–37. <https://doi.org/10.14350/rig.39936>.
- Gómez P. A. 1978. Ecología de la vegetación del estado de Veracruz, CECSA/INIREB, Xalapa, Ver.,
- Guevara, L., Gerstner, B. E., Kass, J. M., & Anderson, R. P. 2018. Toward ecologically realistic predictions of species distributions: A cross-time example from tropical montane cloud forests. *Global change biology*, 24(4), 1511-1522.

- Iles, A., & Martin, A. N. 2013. Expanding bioplastics production: sustainable business innovation in the chemical industry. *Journal of Cleaner Production*, 45, 38-49.
- INEGI. 2016. Anuario estadístico y geográfico de Veracruz de Ignacio de la Llave 2016.
- Jiménez Córdoba, A., Vargas Tristán, V., Salinas Castillo, W. E., & Aguirre Bortoni, Manuel de Jesús; Rodríguez Cabrera, D. 2004. Aptitud agroecológica para el cultivo de la caña de azúcar en el sur de Tamaulipas, México. *Investigaciones Geográficas, Boletín Del Instituto de Geografía, UNAM*, 53, 58–74.
- Kruskal, W. H., & Wallis, W. A. 1952. Use of ranks in one-criterion variance analysis. *Journal of the American statistical Association*, 47(260), 583-621.
- Laycock, B. G., & Halley, P. J. 2014. *Starch Applications: State of Market and New Trends. Starch Polymers: From Genetic Engineering to Green Applications*. Elsevier B.V. Ley N° 847. 2018. Ley de Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial para el Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave. Artículo 1, fracciones XIII y XIV. Mayo del 2018.
- Lin, Y., Liu, A., Ma, E., & Zhang, F. 2013. Impacts of future climate changes on shifting patterns of the agro-ecological zones in China. *Advances in Meteorology*, 2013. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53730-0.00026-9>.
- Mancillas, R. G., López, J. F. J., Navarro, L. A. A., Hernández, B. R., & Peña, A. G. 2015. Zonificación edafoclimática para el cultivo de *Jatropha curcas* L., en Tabasco, México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 2015(86), 25-37.
- Meneses M, I; Vázquez H, A; Rosas G, X; Becerra L, E. N. 2014. Colecta y conservación *ex situ* de germoplasma de yuca en el estado de Veracruz. *In XXVI reunión científica-tecnológica forestal y agropecuaria tabasco 2014 y III simposio internacional en Producción agroalimentaria tropical*, 6 y 7 de noviembre, Villahermosa, Tabasco, México (pp. 391–396).
- Minitab, I. N. C. 2012. MINITAB statistical software. Minitab Release, 16.
- Morone, P., Tartiu, V. E., & Falcone, P. 2015. Assessing the potential of biowaste for bioplastics production through social network analysis. *Journal of Cleaner Production*, 90, 43-54.
- Papong S, Malakul P, Trungkavashirakun R, Wenunun P, Chom-in T, Nithitanakul M, Sarobol E. 2014. Comparative assessment of the environmental profile of PLA and PET drinking water bottles from a life cycle perspective. *J Clean Prod*; 65:539–50.
- Pérez-Portilla, E., & Geissert-Kientz, D. 2006. Zonificación agroecológica de sistemas agroforestales: El caso café (*Coffea arabica* L.)-palma camedor (*Chamaedorea elegans* Mart.). *Interciencia*, 31(8), 556-562.
- Rivera-Hernández, B., Aceves-Navarro, L. A., Juárez-López, J., Palma-López, D. J., González-Mancillas, R., & González-Jiménez, V. 2012. Zonificación agroecológica y estimación del rendimiento potencial del cultivo de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en el estado de Tabasco, México. *Avances en investigación agropecuaria*, 16(1). pp: 29- 47.
- Ruiz B. A., Tejeda M. A., Miranda A. S., Flores Z. R. H. 2010. Climatología. In J. Florescano, Enrique; Ortiz (Ed.), *Atlas del patrimonio natural, histórico y cultural de Veracruz*. Universidad Veracruzana. Gobierno del Estado de Veracruz. Comisión del Estado de Veracruz para la Conmemoración de la Independencia Nacional y la Revolución Mexicana. p. 79- 122.
- Shaw, D. K., & Sahni, P. 2014. Plastic to oil. *Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 46-48.
- Song, X., Chen, Y., Xu, Y., & Wang, C. 2014. Study on tough blends of polylactide and acrylic impact modifier. *BioResources*, 9(2), 1939-1952.
- Soto Esparza, Margarita; Geissert, K. 2011. Contexto físico, geografía. In *La biodiversidad en Veracruz*. pp. 31–34.
- Soto, M. y E. García. 1989. Atlas climático del Estado de Veracruz, Instituto de Ecología, Xalapa, Ver., 125 pp.
- Soto, M., Gama, L., & Gómez, M. 2001. Los climas cálidos subhúmedos del estado de Veracruz, México. *Foresta Veracruzana*, 3(2), 31-40.
- Soto, M., L. Giddings y M. Gómez. 1996. Algunos usos de BIOCLIMAS: Un Sistema Especializado de Información Geográfica. *Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, núm. especial 4, pp. 63-84.
- Suárez Venero, G. M. 2014. Revisión bibliográfica apuntes sobre la zonificación agroecológica de los cultivos. Particularidades en Cuba. *Cultivos Tropicales*, 35(4), 36–44.

- Zamarripa, C. A., & Díaz, P. G. 2008. Áreas de potencial productivo de piñón *Jatropha curcas* L., como especie de interés bioenergético en México. Boletín electrónico del Comité Nacional Sistema Producto Oleaginosa.
- Zbyszewski, M., & Corcoran, P. L. 2011. Distribution and degradation of fresh water plastic particles along the beaches of lake Huron, Canada. *Water, Air, & Soil Pollution*, 220(1), 365–372.

REFERENCIAS INFORMATICAS

- CONABIO. 2012. http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/anp_agosto12gw.xml?_httpcache=yes&_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html.xsl&_indent=no (consultado el 7 de abril de 2018).
- CONAGUA. 2017. <http://smn.cna.gob.mx/es/informacion-climatologica-ver-estado?estado=ver> (consultado el 18 de noviembre del 2017).
- ECOCROP. 2014. <http://ecocrop.fao.org/ecocrop/srv/en/crop> (consultado el 12 de diciembre del 2017).
- Gaceta Oficial del Estado de Veracruz. 2018. Ley de prevención y gestión integral de residuos sólidos urbanos y de manejo especial para el estado de Veracruz de Ignacio de la Llave, <http://www.veracruz.gob.mx/gobiernover/gaceta-oficial/> (consultado el 20 de junio de 2018).
- INEGI. 2014. http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geoestadistica/m_g_0.aspx. (Consultado el 13 de abril del 2018).
- SIAP. 2016. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/> (consultado el 25 de abril de 2018).

CARACTERIZACIÓN DEL AEROSOL BIOGÉNICO, EN LA CAMPAÑA SLOPE II EN SIERRA NEVADA, ESPAÑA
CHARACTERIZATION OF BIOGENIC AEROSOL IN THE SLOPE II CAMPAIGN IN SIERRA NEVADA, SPAIN

¹Uresti-Durán D, ²Cariñanos-González P, ³Lyamani H, ⁴Alados-Arboledas L

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Carretera Federal Veracruz – Córdoba, Medellín de Bravo, Veracruz, México.

² Facultad de Farmacia, Universidad de Granada, Granada, España.

^{3,4}Centro Andaluz del Medio Ambiente. Avenida del Mediterráneo, Granada, España.

Autor Correspondencia: uesti.diana@inifap.gob.mx

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivos identificar y cuantificar los tipos polínicos presentes en Sierra Nevada y su comparativa con los registrados en la ciudad de Granada, estudiando el posible transporte entre el valle y la montaña. El área estudiada corresponde a la zona de influencia de la Sierra Nevada y la ciudad de Granada, España. Del 15 de junio al 27 de septiembre del 2016 se registró diariamente el tipo y concentración del polen utilizando captadores volumétricos tipo Hirst. Los datos obtenidos se consideran representativos ya que se logró analizar entre el 12 y 13% de la muestra, lo cual es superior al 10% recomendado. El coeficiente de absorción de los aerosoles se estimó a partir de datos medidos con un Aetalómetro y fue posteriormente convertido a concentraciones de BC. La altura de la PBL y su evolución se estimó utilizando los perfiles verticales de temperatura de la columna atmosférica obtenida con un radiómetro de microondas. Se identificaron 22 taxones en Sierra Nevada y 14 en Granada. En Sierra Nevada el polen de *Pinus* presentó la mayor concentración con un total acumulado de 1788 granos/m³, seguido por *Artemisia* con 1526 y *Olea* con 1109 granos/m³, respectivamente. El resto de taxones presentaron concentraciones entre 755 y 2 granos/m³. En Granada el polen de *Olea* tuvo la mayor concentración con un total acumulado de 4476 granos/m³, seguido por el polen de *Poaceae* y *Parietaria* con 412 y 344 granos/m³, respectivamente. El resto de taxones presentaron concentraciones entre 250 y 2 granos/m³. En general, los taxones presentes corresponden con la vegetación local, sin embargo, en Sierra Nevada el polen detectado de *Olea* podrían deberse a su transporte desde Granada o sus alrededores. La variación diaria de los seis principales taxones (*Pinus*, *Olea*, *Poaceae*, *Artemisia*, *Parietaria*, y *Quercus*), indica que en Sierra Nevada las concentraciones pico se presentaron alrededor de medio día, mientras que en Granada se presentan durante la tarde-noche, excepto el taxón *Quercus* que su pico máximo se presentó en las horas de la madrugada. A medida que la PBLH aumentó, también se incrementó la concentración de polen, por lo que se podría inferir que la PBLH tiene intervención en el transporte de polen hacia la Sierra. Específicamente se encontró una buena correlación entre la concentración de polen de *Olea* y la PBLH, evidenciado así que la presencia de *Olea* en Sierra Nevada se debe a su transporte por la PBL.

Palabras clave: *Polen, Taxón, Olea, Pinus, PBL, Sierra Nevada, Granada*

INTRODUCCION

Hay cinco principales constituyentes de los aerosoles atmosféricos: Especies inorgánicas, especies orgánicas, carbón negro, polvo mineral y partículas biológicas primarias, entre las que se encuentra el polen que se introduce en la atmósfera como partícula primaria. Según el IPCC (2013), los componentes que contribuyen a la carga total de los aerosoles atmosféricos, son por orden de importancia debido a sus cantidades y efectos radiativos: carbono negro con efecto positivo; sulfato, componentes orgánicos, polvo mineral y nitrato con efecto negativo. Nótese que las partículas biológicas primarias, como el polen, no son consideradas en esta estimación y aunque no se dan explicaciones, se asume que pudiera ser por su baja participación en la carga total de los aerosoles atmosféricos. Sin embargo, Young et al., (2013) encontraron que durante los eventos de máxima emisión de polen en la ciudad de Gwangju en Corea, la carga relativa de polen respecto a la carga total de los aerosoles atmosféricos, varió entre el 2 y 34%, lo que muestra que la influencia del polen puede ser importante en la carga, composición y propiedades ópticas de los aerosoles atmosféricos. Además del efecto que el polen pudiera tener sobre el forzamiento radiativo de la Tierra, éste está

asociado a varias enfermedades alérgicas, como el asma y la rinitis alérgica (Bachert et al., 2004). La concentración del polen en un lugar determinado no solo depende de las emisiones locales sino que también está relacionada con la situación meteorológica, la evolución de la capa límite planetaria (PBL, por sus siglas en inglés) así como el transporte regional y de larga escala. El polen, pueden jugar un papel importante para neutralizar parte del calentamiento global a través de su efecto negativo en la fuerza radiativa terrestre, sin embargo se desconoce su magnitud. Más aún, como aerosol, se conoce poco sobre sus propiedades ópticas y los mecanismos que regulan su emisión, transporte y concentración en un área dada. El presente trabajo forma parte de la campaña Sierra Nevada Lidar AerOsol Profiling Experiment II (SLOPE II) y tiene como objetivos identificar y cuantificar los tipos polínicos presentes en Sierra Nevada y su comparativa con los registrados en la ciudad de Granada, estudiando el posible transporte entre el valle y la montaña. El área estudiada corresponde a la zona de influencia de la Sierra Nevada y la ciudad de Granada, España.

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante el período del 15 de junio al 27 de septiembre del 2016, se registraron diariamente la concentración del polen en Sierra Nevada y Granada. Para la captura de polen se utilizaron captadores volumétricos tipo Hirst (Hirst, 1952) colocados a 2500 y 680 m s. n. m. en Sierra Nevada y la Facultad de Ciencias en Granada, respectivamente. Este equipo es actualmente utilizado en todas las estaciones de muestreo adscritas a la Red Española de Aerobiología (REA). Cada muestra fue analizada siguiendo el protocolo propuesto por la Red Española de Aerobiología (Domínguez et al., 1992, Galán et al., 2007) y la normativa de la European Aeroallergen Network. Para identificar los diferentes tipos polínicos se utilizó como bibliografía de referencia el Atlas Aeropalinológico de España (Trigo et al., 2008) y el Atlas polínico de Andalucía occidental (Valdés et al., 1987). Los datos obtenidos se consideran representativos ya que se logró analizar entre el 12 y 13% de la muestra, lo cual es superior al 10% recomendado. La concentración diaria de polen se expresó en granos de polen/m³ de aire/día, la variación horaria se expresó en porcentaje con relación a la concentración total diaria de polen.

Los datos para calcular el coeficiente de absorción de los aerosoles se obtuvieron diariamente en la estación de fondo urbano IISTA mediante un Aetalómetro en siete longitudes de onda de 370 nm, 470 nm, 520 nm, 590 nm, 660 nm, 880 nm y 950 nm con una resolución temporal de 1 min. Posteriormente los coeficientes de absorción de aerosoles medidos a 530 nm fueron convertidos en concentraciones de BC.

La altura de la PBL y su evolución se estimó utilizando los perfiles verticales de temperatura de la columna atmosférica obtenida por el radiómetro de microondas instalado en el IISTA-CEAMA. Para ello se utilizó un algoritmo que combina el Método de la Parcela para determinar la PBL en situaciones convectivas y el Método del Gradiente para condiciones estables.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de los Taxones Encontrados en Sierra Nevada y Granada.

En la Figura 1 se muestra la evolución temporal de la concentración diaria de granos de polen total (granos/m³) registrada desde el 15 de junio hasta el 27 de septiembre del 2016 en Sierra Nevada y Granada. Como se puede observar, la concentración de polen muestra una gran variación temporal y espacial. De hecho, la concentración diaria de polen en Sierra Nevada varía entre 2 y 454 granos/m³ con un valor medio de 18±21 granos/m³ y en Granada varía entre 2 y 609 granos/m³, con un valor medio de 58±109 granos/m³. Esta gran variabilidad se debe en gran parte a la diferente cobertura de vegetación existente en ambas zonas, con incidencia sobre las concentraciones, pero también se debe a la variabilidad en las condiciones meteorológicas y sinópticas. Las altas concentraciones de polen en Sierra Nevada se han registrado durante el mes de julio y la primera mitad del mes de agosto, alcanzándose la máxima concentración diaria el tres de julio con 454 granos/m³. En Granada las altas concentraciones de polen se han registrado durante el mes de junio, y la concentración máxima se registró el 19 de junio con 609 granos/m³. En ambos sitios, a partir de la segunda mitad de agosto se observa una disminución significativa en la concentración de polen hasta alcanzar el mínimo de 2 granos/m³ a finales de septiembre.

Se identificaron 22 tipos polínicos (taxones) en Sierra Nevada y 14 en Granada como se muestra en la Figura 2. En Sierra Nevada el polen de *Pinus* presentó la mayor concentración con un total acumulado de 1788 granos/m³, seguido por *Artemisia* con 1526 y *Olea* con 1109 granos/m³, respectivamente. El

resto de taxones presentaron concentraciones entre 755 y 2 granos/m³. En Granada el polen de *Olea* tuvo la mayor concentración con un total acumulado de 4476 granos/m³, seguido por el polen de *Poaceae* y *Parietaria* con 412 y 344 granos/m³, respectivamente. El resto de taxones presentaron concentraciones entre 250 y 2 granos/m³.

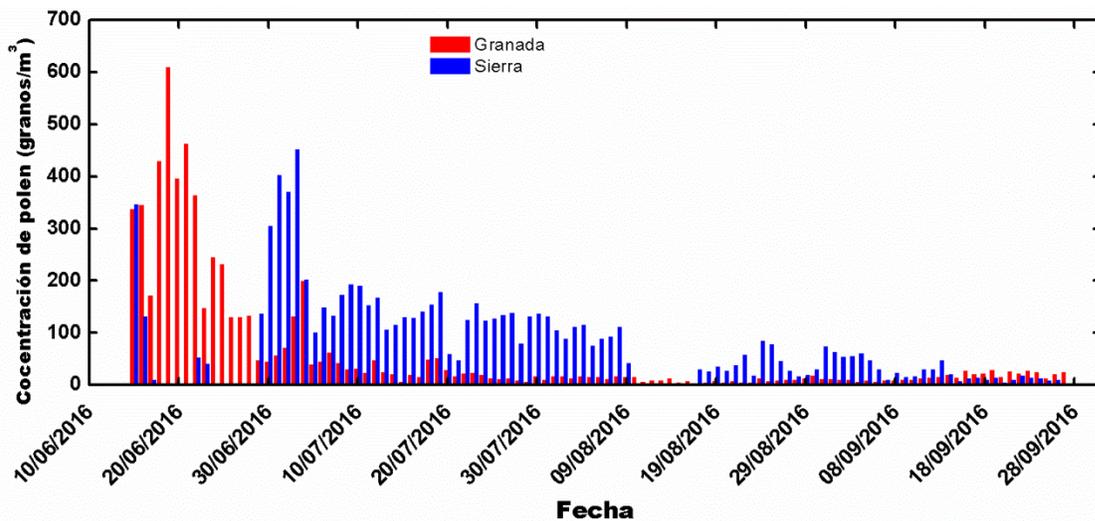


Figura 1. Evolución temporal de la concentración diaria de polen (granos/m³) registrada del 15 de junio al 27 de septiembre del 2016 en Sierra Nevada y Granada.

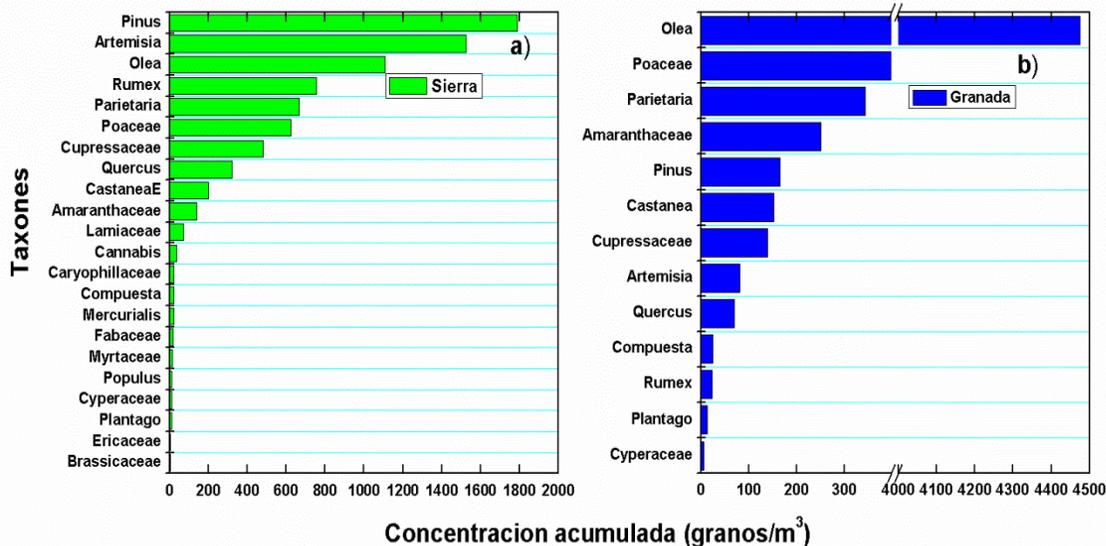


Figura 2.

Concentración de granos de polen por taxón encontrados: (a) en Sierra Nevada y (b) Granada. Las concentraciones han sido obtenidas a partir del acumulado de las concentraciones diarias del 15 de junio al 27 de septiembre del 2016

En general, en ambos sitios los taxones presentes corresponden con la vegetación local, sin embargo, en Sierra Nevada el polen detectado de *Olea* podrían deberse a su transporte desde Granada o sus alrededores. La variación diaria de los seis principales taxones (*Pinus*, *Olea*, *Poaceae*, *Artemisia*, *Parietaria*, y *Quercus*), indica que en Sierra Nevada las concentraciones pico se presentaron alrededor de medio día, mientras que en Granada se presentan durante la tarde-noche, excepto el taxón *Quercus* que su pico máximo se presentó en las horas de la madrugada.

Influencia de la PBL en el transporte del polen: caso especial

En la Figura 3 se muestra la evolución de la PBLH y la concentración de polen total así como la concentración de carbono negro (BC) registrados en la sierra, durante el día 22 de julio en el cual se registró una concentración alta de 124 granos/m³. La relación entre la concentración de polen total, el BC y la PLBH mostró una relación directamente proporcional, es decir, a medida que la PBLH aumentó, también se incrementó la concentración de polen y el BC y viceversa, por lo que se podría inferir que la PBLH tiene intervención en el transporte de polen y BC hacia la Sierra. Esta correlación es positiva moderada con una R² de 0.5

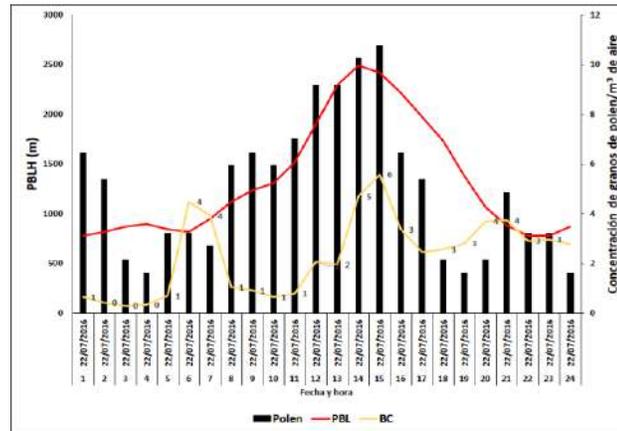


Figura 3. Concentración de polen, BC y la evolución de la PBL, para el día 22 de julio del 2016.

Específicamente se encontró una buena correlación entre la concentración de polen de *Olea* y la PBLH esta correlación fue positiva con una R² de 0.7 como se observa en la Figura 4, evidenciado así que la presencia de *Olea* en Sierra Nevada se debe a su transporte por la PBL desde el valle.

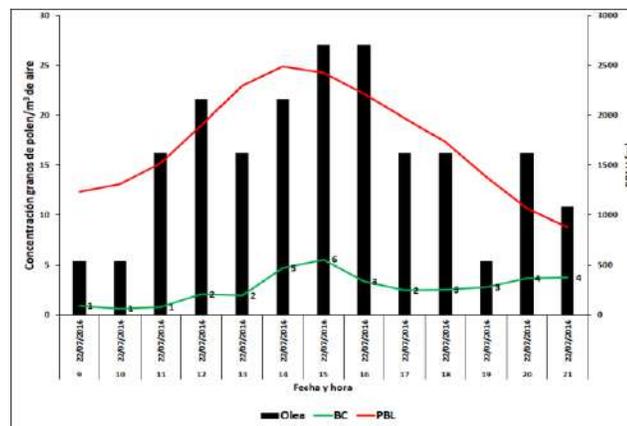


Figura 4. Concentración de polen de *Olea* BC y la evolución de la PBL en el día 22 de julio.

CONCLUSIONES

1. La mayor parte del espectro polínico presente en Sierra Nevada está dominado por tipos polínicos procedentes de especies de plantas ampliamente representadas en la zona de estudio, con prevalencia de las especies arbóreas, grandes emisoras de polen, sobre las herbáceas. De los 22 tipos polínicos identificados en Sierra Nevada, las máximas concentraciones corresponden a *Pinus*, seguido de *Artemisia*, *Olea* y *Poaceae*.
2. El polen de *Olea* también ha sido registrado en Sierra Nevada con cierta frecuencia y con concentraciones relativamente altas, pero dado que sus fuentes emisoras no se encuentran en las

- proximidades del captador de la sierra, se puede concluir que fue transportado desde el valle donde se localiza la mayor fuente de este polen.
3. En el caso de *Olea* en Sierra Nevada, las concentraciones elevadas de polen se registraron coincidiendo con las alturas más altas de la PBL, lo cual se podría suponer que esta tiene influencia sobre la concentración de polen, transportándolo a alturas más elevadas como es Sierra Nevada.
 4. De manera general podemos decir que las concentraciones de los taxones muestran un claro ciclo circadiano con valores bajos durante la noche y valores máximos entre 10 y 16 GMT. En general, en la sierra, los picos de concentración más altos se registraron en las primeras horas del día, mientras que en la ciudad los registros más altos se registraron por la tarde. Los valores altos registrados en Sierra Nevada en las horas centrales del día pueden atribuirse a las intensas emisiones polínicas de fuentes cercanas favorecidas por la alta intensidad de la radiación solar en estas horas del día.
 5. Los resultados de este trabajo permiten explicar los datos polínicos que suelen registrarse en la ciudad de Granada durante el verano, estación en la que aún pueden medirse concentraciones de polen suficientes como para causar síntomas en la población alérgica. Las condiciones climáticas favorables en la sierra para la floración de plantas, y el posterior transporte de las emisiones de polen a la ciudad, favorecen que el contenido polínico de la atmósfera siga siendo bastante elevado. Entre los principales tipos polínicos que se registran en el entorno urbano, se encuentran los de *Parietaria*, *Artemisia*, *Poaceae* y *Cupressaceae*, cuyas especies sólo florecen en la sierra durante este periodo.

LITERATURA CITADA

- Bachert, C., Vignola, A. M., Gevaert, P., Leynaert, B., Van Cauweberge, P., y Bousquet, J., 2004. Allergic rhinitis, rhinosinusitis, and asthma: one airway disease, *Immunol. Allergy Clin. N. Am.*, 24, 19–43
- Domínguez, E., C. Galán, F. Villamandos & F. Infante. 1992. Handling and evaluation of the data from the aerobiological sampling. Monografías REA/EAN N° 1. Editado por el Departamento de Biología Vegetal y Ecología, Universidad de Córdoba. (D.L.: CO-476-1992)
- Galán, C., Alcazar, P., Domínguez, E., Villamandos, F., Infante, F. 1994. Airborne pollen grain concentrations at two different heights. *Aerobiología, International Journal of Aerobiology* 11(1995) 105-109.
- Hirst, J. M., 1952. An automatic volumetric spore-trap. *Annals of Applied Biology*, 38, 257–265.
- IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physics Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stoker, T., Qin D., Kasper, P.G., Tignor, M.M., Allen, S., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V. and Midgle, P. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Trigo, M. M., Fernandez-Gonzalez, D., Jato, V., & Galan, C., 2008. Atlas aeropalínológico de España (Aeropalynological Atlas of Spain). Red Española de Aerobiología: Editorial de la Universidad de León, 111.
- Valdés, B., Díez, M. J., & Fernández, I., 1987. Atlas polínico de Andalucía occidental. Instituto de Desarrollo Regional, Universidad de Sevilla, Excma. Diputación de Cadiz.
- Young m. N., Muller, D., Hanlim, L., Tae, J. C., 2013. Influence of biogenic pollen on optical properties of atmospheric aerosols observed by lidar over Gwangju, South Korea. *Atmospheric Environment* 69 (2013) 139-147.

POTENCIAL DEL RAQUIS DE HOJAS Y RACIMOS DE PALMA DE ACEITE *Elaeis guineensis* Jacq. PARA LA PRODUCCIÓN DE FIBRAS LIGNOCELULÓSICAS
POTENTIALS OF LEAF RAKES AND BUNCHES OF OIL PALM *Elaeis guineensis* Jacq. FOR LIGNOCELLULOSIS FIBERS PRODUCTION

¹Muñoz Ríos JC, ²Cámara-Córdova J, ²Cantú Garza RA

¹ Estudiante de la Maestría en Agronegocios; División Académica de Ciencias Agropecuarias (DACA) de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT); Villahermosa, Tabasco, México.

² Profesor-Investigador adscritos al Núcleo Académico Básico de las Maestrías en Agronegocios y en Seguridad Alimentaria; DACA/UJAT.

Autor para correspondencia: jcamaracordova@yahoo.com

RESUMEN: El cultivo de la palma de aceite *Elaeis guineensis* Jacq., representa una alternativa de producción para las regiones tropicales, debido a sus altos rendimiento superior a los cultivos oleaginosos y su aumento en la utilización en diversas actividades económicas. En México, a nivel nacional existen alrededor de 90,118 ha sembradas con un rendimiento promedio de 12.8 t y una producción de 755,222 t de fruta fresca hasta el 2016, con proyecciones para el año 2030 un aumento acumulado porcentual anual del 2.77% con una producción estimada de 1'136,460 t para ese año. En Tabasco son 10,982 ha de palma de aceite las que se encuentran en producción y 5,276 en etapa de desarrollo en nueve municipios. Actualmente se están generando grandes volúmenes de subproductos durante el proceso de extracción del aceite mismo que son utilizados en su gran mayoría como fuente de energía para la generación de vapor durante el proceso del desfrutado. De revisiones de literatura encontradas acerca de la factibilidad técnica del aprovechamiento del raquis de hojas y de racimos vacíos de palma de aceite, para extracción de fibras lignocelulósicas; así como trabajo de campo realizado en plantaciones de palma de aceite, centros de acopio y plantas de extracción de aceite en los municipios de Balancán, Emiliano Zapata y Teapa; se encontró que el volumen generado de residuos es de más de 140 mil t anuales susceptibles de ser destinados a la producción de lignocelulósicos de donde, considerando el valor comercial de pulpa de celulosa en el mes de abril, de US\$875.00 dólares americanos por t, se podría obtener 128,461.77 t de celulosa, con un valor de US\$112,404,048.80.

Palabras clave: *Elaeis guineensis*, celulosa.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de palma de aceite o palma africana *Elaeis guineensis* Jacq., se ha visto incrementado tanto en área como en su distribución, debido a la importancia económica de sus aceites de gran calidad, que se obtienen tanto de la pulpa como de la semilla (Sánchez et al., 2014). Actualmente el cultivo de palma representa una alternativa de producción con perspectiva favorable para las regiones tropicales, debido a su alto rendimiento superior a los cultivos oleaginosos y su aumento en la utilización en diversas actividades económicas. Sus productos son empleados tanto para la alimentación humana y animal, así como materia prima para la producción de biodiesel (Subsecretaría de Fomento a los Agronegocios, 2010).

Representa casi el 25 % de la producción de aceites vegetales en el mundo, por lo que es considerado como el segundo aceite más ampliamente producido y sólo superado por el aceite de soya. Pero tiene un rendimiento por hectárea superior al de las demás oleaginosas: para producir el aceite de una hectárea de palma, se necesitan sembrar nueve de girasol y 10 de soya. Es de gran importancia económica ya que provee la mayor cantidad de aceite vegetal y sus derivados a nivel mundial (Borrero, 2017).

En la República Mexicana hasta 2016, existían 90,118 hectáreas (ha) sembradas, con un rendimiento promedio de 12.8 toneladas (t) y una producción de 755,222 t de fruta fresca; con proyecciones para llegar al año 2030, con un aumento acumulado porcentual anual del 2.77% y una producción estimada de 1'136,460 t (SAGARPA, 2017a).

El manejo de los residuos del cultivo de la palma de aceite, desde la siembra hasta la producción de aceite, incluye el reciclaje o disposición final de hojas, tallos, racimos de frutos vacíos, la torta de palmiste, el cuesco y aún, los residuos líquidos con una gran cantidad de nutrientes provenientes del prensado de la fruta y la limpieza del aceite (Sierra et al., 2017).

Un problema ambiental y agrotecnológico que los autores identifican, es la inmovilización del nitrógeno durante el proceso de degradación de estos residuos y su posterior mineralización como materia orgánica edáfica, junto con la generación de grandes cantidades de residuos de cosecha en la plantación y en la planta industrializadora. De estos dos problemas, el más visible es la utilización de cierta parte de estos volúmenes de residuos, como fuente de energía en calderas para la generación de vapor durante el proceso del desfrutado, ocasionando problemas de contaminación ambiental por la emisión de partículas al aire, así como por la acumulación de los residuos en las plantaciones y en áreas de cercanas a las plantas de proceso, dejando de aprovechar su potencial productivo como la obtención de fibras que le da un valor agregado como subproducto (Contreras et al., 2011). Aquí se presenta la revisión de literatura acerca de la factibilidad técnica del aprovechamiento del raquis de hojas y de racimos de palma de aceite, para extracción de fibras lignocelulósicos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó una búsqueda en la base de datos del Consorcio Nacional de Recursos de Información Científica y Tecnológica, de la Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal y otras páginas electrónicas, de donde se obtuvo el material científico y tecnológico para la preparación de este documento. Con muestreos en campo en plantaciones de palma de aceite, centros de acopio de racimos con fruta (RF) y plantas de extracción de aceite en Balancán, Emiliano Zapata y Teapa, los autores determinaron en mayo de 2018, los pesos promedio del raquis y el peciolo de 52 hojas (H) de palma de aceite, 180 racimos con fruta (RF) y de 50 raquis de racimos, a los que ya se les quitaron los coquitos, es decir, raquis vacíos (RV; cuadro 1).

Cuadro 1: Determinación del peso promedio de hojas y racimos frutales de la palma de aceite en Tabasco (mayo de 2018)

Variable	Valor	unidades	Proceso de cálculo
Superficie en producción	10,982	ha	De estadísticas publicadas
Cosecha de Racimos con Fruta (RF)	12.8	t/ha/año	De estadísticas publicadas
Peso promedio de RF	13.31	kg	Peso en muestreo de campo
Peso promedio del raquis de los racimos ya sin frutas (RV)	5.9	kg	Peso en muestreo de campo
Peso promedio del peciolo y raquis de hoja de palma	7.62	kg	Peso en muestreo de campo
Número de RF por ton	75.13	racimo	(1 t/peso promedio de racimos
RF·ha·año	961.66	racimo	$(RF \cdot t^{-1}) * (12.8 t \cdot ha^{-1})$
Raquis de racimos ya sin fruta o "vacíos" (RV·ha·año)	961.66	raquis	$(RV \cdot t^{-1}) * (12.8 t \cdot ha^{-1})$
Hojas de RF cosechados·ha·año	961.66	hoja	Cada RF se desarrolla en la axila de una hoja de palma de aceite

RESULTADOS Y DISCUSIÓN: La palmicultura en Tabasco. En 2017 se reportaron 10,982 ha de plantaciones de palma de aceite en producción y 5,276 en desarrollo en nueve municipios (SAGARPA, 2017b). Las plantaciones productivas de palma de aceite en nuestro país, generan 12.8 t·ha⁻¹ de fruta fresca (SAGARPA, 2017a).

La producción de residuos. Lo anterior significa que en Tabasco, se generan más de 140 mil t·año⁻¹ de residuos de palma de aceite (Cuadro 2), susceptibles de ser destinados a la producción de lignocelulósicos.

Cuadro 2: Biomasa residual anual de la palmicultura en Tabasco (considerando 12.8 ton·ha⁻¹ de fruto cosechado y 10,982 ha en producción)

Estructura	Cantidad por ha	Peso promedio (kg)	Volumen anual en kg·ha ⁻¹	Volumen anual en Tabasco (t)
Raquis de hojas de RF cosechados	961.66	7.62	7,323.41	80,425.70
Raquis de RV	961.66	5.90	5,673.79	62,309.61
		Total:	12,997.20	142,735.30

La producción comercial de celulosa a partir de madera. Boeykens (2006) describe que la transformación de madera en celulosa, tiene un rendimiento del 50 al 95% de celulosa por tonelada de madera procesada, ya sea que se obtenga de coníferas o árboles de hoja caduca, respectivamente.

El potencial del aprovechamiento de los residuos de palma de aceite para la producción lignocelulósica. La revisión de literatura indica que de los residuos de los racimos sin la fruta fresca de palma de aceite, se puede obtener hasta el 90% de celulosa, el 5 % de hemicelulosa y el 4% de lignina después de su tratamiento químico y mecánico (Jonoobi et al., 2011).

Angarita, Díaz y Lozano (2009) encontraron que la adición de cantidades variables pulpa a la soda de residuos astillados y molidos de hojas de palma de aceite (15 a 50%), mejoraron las propiedades de resistencia a la compresión de cartones reciclados, mejorando sus propiedades mecánicas estructurales, aumentando su vida útil y aplazando la disposición final de estos embalajes en los rellenos sanitarios. Concluyeron que “el valor agregado dado a los residuos de la palma de aceite a través de esta aplicación alternativa, puede contribuir a la competitividad de la cadena productiva del aceite de palma”.

CONCLUSIONES: Se demuestra el potencial del raquis de hojas y racimos de palma de aceite para la producción lignocelulósica:

Considerando las 142,735.30 t-año⁻¹ y un rendimiento del 90% de celulosa (Jonoobi et al., 2011), puede estimarse una producción anual de 128,461.77 t de celulosa en Tabasco,

Parafraseando a Angarita, Díaz y Lozano (2009), el valor agregado de los residuos de la palma de aceite e Tabasco, puede contribuir a la competitividad de la cadena productiva del aceite de palma y demostrar su factibilidad económica, ya que se podrían obtener 128,461.77 t de celulosa, con un valor de US \$875.00 por t.

LITERATURA CITADA

- Angarita M, J.D., Díaz D., D.I., Lozano U., L.A.. 2009. Fibra de palma africana (*Elaeis guineensis*) para mejorar las propiedades mecánicas del carton reciclado. Revista ION, 22(1):63-71.
- Boeykens, S. 2006. Procesos para la producción de papel y pulpa: De la naturaleza a la mesa. Disponible en <http://repositorioubasibsi.uba.ar>. Consultado el 17 de noviembre de 2017.
- Borrero, C.A. 2017. Cultivo de la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.). Disponible en http://www.infoagro.com/herbaceos/oleaginosas/palma_aceite.htm. Consultado el 13 de diciembre de 2017.
- Indxmundi. 2018. Pulpa de celulosa Precio Mensual - Dólares americanos por tonelada métrica. <https://www.indexmundi.com/es/precios-de-mercado/?mercancia=pulpa-de-celulosa>. Consultado el nueve de junio de 2018.
- Jonoobi, M., Khazaeian, A., Tahir P.M., Azry, S.S., Oksman, K. 2011. Characteristics of cellulose nanofibers isolated from rubberwood and empty fruit bunches of oil palm using chemo-mechanical process. Cellulose, 18:1085–1095.
- Mazariegos Sánchez, A.; Águila González, J.M.; Martínez Chávez, J.; Arévalo Lozano, O. 2014. La industria de la palma de aceite en Acapetahua, Chiapas: el caso de PROPALMA. Revista Mexicana de Agronegocios, 35: 1052-1064.
- Ramírez Contreras, N.E., Silva Ramírez, A.S., Garzón González, E.M., Yáñez Angarita, E.E. 2011. Caracterización y manejo de subproductos del beneficio del fruto de palma de aceite. Boletín técnico No. 30. Bogotá: Centro de Investigación en Palma de Aceite – Cenipalma. 46 pág.
- SAGARPA. 2017a. PALMA DE ACEITE Mexicana. Ser. Planeación Agrícola Nacional 2017-2030. Disponible en https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257081/Potencial-Palma_de_Aceite.pdf. Consultado el 19 de noviembre de 2017.
- SAGARPA. 2017b. Palma de Aceite, un área de oportunidad que en el campo tabasqueño se impulsa desde la delegación de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), en Tabasco. <http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/tabasco/Boletines/Paginas/B0482017.aspx>. Consultado el dos de mayo de 2018.
- SEMARNAT. 2016. Anuario estadístico de la producción forestal 2016. Disponible en <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/282951/2016.pdf>. Consultado el nueve de

junio de 2018.

Sierra Márquez, J., Sierra Márquez, L., Olivero-Verbel, J. 2017. Potencial económico de la palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq). *Agron. Mesoam.* 28(2):523-534.

Subsecretaría de Fomento a los Agronegocios. 2010. Palma de aceite. Ser. Monografía de cultivos. Disponible en <http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Documents/pablo/Documentos/Monografias/Palma.pdf> f. Consultado el 24 de octubre de 2017

Sección G:
**Manejo y conservación
de los recursos naturales**

**MODELO PARA ESTIMAR ALTURA TOTAL E ÍNDICE DE ESBELTEZ A PARTIR DEL
DIÁMETRO PARA *Bursera simaruba* (L.) Sarg. EN QUINTANA ROO, MÉXICO**
HEIGHT-DIAMETER MODEL AND SLENDERNESS INDEX FOR *Bursera simaruba* (L.) Sarg. IN
QUINTANA ROO, MEXICO

¹Hernández-Ramos J, ¹García-Cuevas X, ²Hernández-Ramos A, ³Tamarit Urias JC, ⁴Buendía-Rodríguez E, ⁵Reynoso-Santos R

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)-Campo Experimental (CE) Chetumal.

²INIFAP-CE Saltillo.

³INIFAP-CE San Martinito.

⁴INIFAP-Campo Experimental Valle de México.

⁵INIFAP-CE Centro de Chiapas.

Autor de correspondencia: forestjonathanhdez@gmail.com

RESUMEN

En los inventarios forestales el diámetro normal (d) es la única variable que se mide en su totalidad dentro de la unidad de muestreo, mientras que la altura total (At) puede ser medida en una sub-muestra del sitio, haciendo un promedio de ella por estrato o especie, sin ser específica para cada individuo. El objetivo fue ajustar modelos para estimar de forma confiable la altura total y el índice de esbeltez (At/d, IE) para *Bursera simaruba* (L.) Sarg. en Quintana Roo, México. Con información de At-d y dt-IE de 201 árboles levantados en los municipios de Othon P. Blanco, Bacalar y Felipe Carrillo Puerto, se ajustaron tres modelos de altura y dos de IE en SAS ® 9.3 a través del procedimiento *Model* y la técnica de máxima verosimilitud. La selección del mejor modelo se realizó mediante un sistema de calificación donde se consideró los valores de la suma de cuadrados del error, raíz del cuadrado medio del error, el coeficiente de determinación ajustado y el Log Likelihood, además se verificó el sesgo (\bar{E}) y la diferencia agregada en porcentaje (DA%). El mejor modelo de At-d fue el de

Gompertz: $At = e^{(2.9422981.20847e^{-0.06238d})}$ y para el IE el modelo alométrico:

$IE = 4.485639dt^{-0.61234}$. Los modelos tuvieron una $R^2_{ajustado}$ de 0.5375 y 0.7434, respectivamente, y un sesgo de -0.00017 m en el caso de la At y de -0.00027 m/cm para el IE, además de DA% de -0.00123 y -0.0425, respectivamente. Las expresiones mostraron ser confiables para predecir la At y el IE de *B. simaruba* en los bosques tropicales de esta región, debido a que las tendencias de las estimaciones concuerdan con los datos observados, por lo que pueden ser empleados de forma confiable en la elaboración de planes de manejo para esta especie.

Palabras clave: *Alometría, aprovechamiento forestal, bosques tropicales, inventarios forestales.*

INTRODUCCION

El adecuado y completo levantamiento de datos en campo para un inventario forestal es la base fundamental en la elaboración de un programa de manejo que describa las condiciones actuales de los bosques templados o tropicales (FAO, 2017). Sin embargo, medir en su totalidad la altura del arbolado dentro de una unidad de muestreo es impráctico debido a los tiempos y costos invertidos, por lo que se recomienda tomar una sub-muestra por estrato o especies para extrapolar la información en gabinete y con ello, determinar las existencias reales por unidad de superficie, situación que ocasiona una incertidumbre en el cálculo del volumen (m^3) (Barena y Llerena, 1988).

Por tal motivo, en años recientes se han realizado trabajos para poder tener mayor certidumbre en estos cálculos al emplear la altura total estimada mediante un modelo alométrico y reducir los tiempos y costos en el levantamiento de la información de un inventario forestal. Ejemplo de ello, son el empleo de ecuaciones locales de At-d (Corral-Rivas *et al.*, 2014; García-Cuevas *et al.*, 2016) o el IE para representar la relación alométrica entre estas dos variables dendrométricas (Hernández-Ramos *et al.*, 2017).

Debido a ello y a que Quintana Roo ocupa el quinto lugar a nivel nacional en aprovechamiento de madera proveniente de especies tropicales comunes ($36,311 m^3r$) (SEMARNAT, 2016), se planteó el objetivo de ajustar modelos para estimar la altura total y el índice de esbeltez (At, IE) para *Bursera simaruba* (L.) Sarg. en Quintana Roo, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en las áreas forestales de los municipios de Othon P. Blanco, Bacalar y Felipe Carrillo Puerto, Quintana Roo, México. Las topofórmulas donde se obtuvo la información corresponden al tipo lomeríos bajos y llanura rocosa. El clima es cálido sub-húmedo (Aw) con una temperatura media anual mayor a 22 °C y una precipitación media anual de 1300 mm, con suelos de tipo Litosol y Rendzina, localizados a una altitud que va de los 10 a los 200 m (SEMARNAT-CONAFOR, 2014).

Se emplearon datos de At-d e IE-dt de 201 árboles para ajustar tres modelos de crecimiento y dos alométricos en SAS 9.3 ® mediante la técnica de máxima verosimilitud (Statistical Analysis System Institute Inc., 2016) (Kiviste *et al.*, 2002) y dos modelos de IE (Cuadro 1). Se realizó la verificación de los supuestos de normalidad, homocedasticidad de la varianza y autocorrelación de los errores con los test de Shapiro-Wilk (SW), Breusch-Pagan (BP) y Durbin-Watson (DW), respectivamente (Martínez-González *et al.*, 2006), la selección del mejor modelo se realizó considerando la significancia de los parámetros ($p < 0.05$) y a través de un sistema de calificación donde se integraron los valores de la suma de cuadrados del error (SCE), raíz del cuadrado medio del error (RCME), el coeficiente de determinación ajustado ($R^2_{ajustado}$) y el Log Likelihood (LL), asignando valores ascendentes de acuerdo al mejor criterio de selección, el modelo con la menor calificación fue considerado como el mejor.

Cuadro 1. Modelos de altura-diámetro e índice de esbeltez evaluados para árboles de *B. simaruba* en Quintana Roo.

Modelo	Nombre	Forma
1	Alométrico	$At = ad^b$
2	Schumacher	$At = ae^{(-bd^{-1})}$
3	Gompertz	$At = e^{a-be^{-cd}}$
4	Alométrico	$IE = adt^b$
5	Polinómico	$IE = a + bdt + cdt^2$

Dónde: At: altura total (m), d: diámetro normal (cm), dt: diámetro de tocón, IE: índice de esbeltez (At/d) y a, b y c: parámetros a estimar.

La evaluación de la precisión de las estimaciones se realizó a través del sesgo (\bar{E}) y la diferencia agregada en % (DA) (Lencinas y Mohr-Bell, 2007), además de la prueba gráfica entre los datos observados contra los estimados para el caso del IE, y las tendencias de las estimaciones con cada modelo para las expresiones de crecimiento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El ajuste estadístico mostró que en todos los modelos se obtuvieron parámetros significativos ($p < 0.05$), además de un adecuado comportamiento de los estadísticos de calificación (Cuadro 2), resultando ser los mejores modelos de acuerdo al sistema de calificación el de Gompertz y el alométrico para estimar la At y el IE, respectivamente.

Cuadro 2. Ajuste estadístico y sistema de calificación de los modelos para estimar la At y el IE para árboles de *B. simaruba* en Quintana Roo.

Modelo	SCE	RCME	$R^2_{ajustado}$	LL	Parámetros	Estimación	Eea	Valor t	Pr> t	Calificación
1	803.5	2.0094	0.5348	-424.4688	a	4.2074	0.4079	10.31	<0.0001	8
	(2)	(2)	(2)	(2)	b	0.384463	0.0299	12.87	<0.0001	
2	833.5	2.0466	0.5175	-428.1507	a	20.52351	0.5735	35.79	<0.0001	12
	(3)	(3)	(3)	(3)	b	8.071104	0.6078	13.28	<0.0001	
3	794.9	2.0036	0.5375	-423.381	a	2.942298	0.0799	36.83	<0.0001	4
	(1)	(1)	(1)	(1)	b	1.208476	0.2026	5.97	<0.0001	
					c	0.062388	0.0196	3.19	0.0017	
4	1.8958	0.0976	0.7434	183.4925	a	4.485639	0.3903	11.49	<0.0001	5
	(1)	(1)	(1)	(2)	b	-0.61234	0.0295	-20.76	<0.0001	

5	2.1747	0.1048	0.7042	169.6957	a	1.392269	0.0447	31.13	<0.0001	
	(2)	(2)	(2)	(1)	b	-0.04199	0.00371	-11.33	<0.0001	7
					c	0.000461	0.00007	6.54	<0.0001	

Dónde SCE: suma de cuadrados del error, RCME: raíz del cuadrado medio del error, $R^2_{ajustado}$: coeficiente de determinación ajustado, LL: Log Likelihood y Eea: error estándar aproximado.

Los bajos valores obtenidos en el $R^2_{ajustado}$ tanto en los modelos de crecimiento como en los de IE, concuerdan con lo reportado por Arias (2004), Adame *et al.* (2005), Quiñonez *et al.* (2012) y Corral-Rivas *et al.* (2014), al ajustar modelos de este tipo en diferentes especies forestales, y donde este valor es un reflejo de la gran variabilidad que pueden presentar las especies en la relación alométrica de altura-diámetro. La evaluación gráfica de los test de Shapiro-Wilk (SW), Breusch-Pagan (BP) y Durbin-Watson (DW) muestran el cumplimiento de los supuestos de regresión (Martínez-González *et al.*, 2006), por lo que pueden ser empleados de forma confiable (Figura 1).

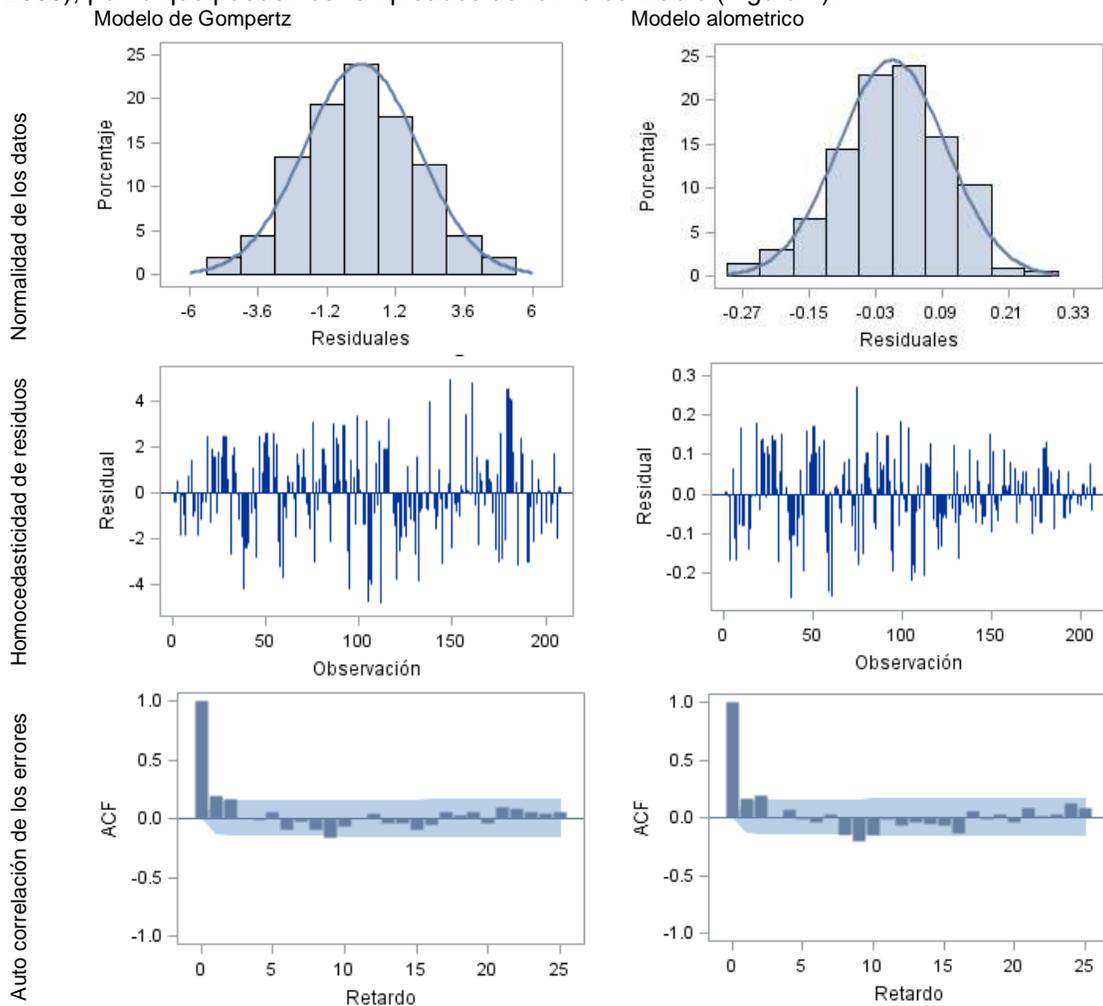


Figura 1. Pruebas de cumplimiento de los supuestos de regresión para los dos mejores modelos seleccionados para árboles de *B. simaruba* en Quintana Roo.

La evaluación en la precisión de las estimaciones se muestra en un sesgo de -0.00017 m en el caso de la altura y de -0.00027 m/cm para el índice de esbeltez, además de DA% de -0.00123 % y -0.04251 %, respectivamente. Esta situación se ratifica al evaluar de forma gráfica los resultados, ya que el modelo de crecimiento seleccionado describe correctamente la tendencia de los datos observados (Figura 2a), mientras que al contrastar los valores estimados contra los observados en el modelo de IE, la tendencia hacia la línea recta es adecuada (Figura 2b), además en este último modelo al sobreponerlo a los datos observados, se observa una tendencia lógica donde el valor decrece con

forme el árbol incrementa sus dimensiones haciéndolo mecánicamente más estable y resistente a los fenómenos meteorológicos como huracanes que son característicos de esta región (Figura 2c).

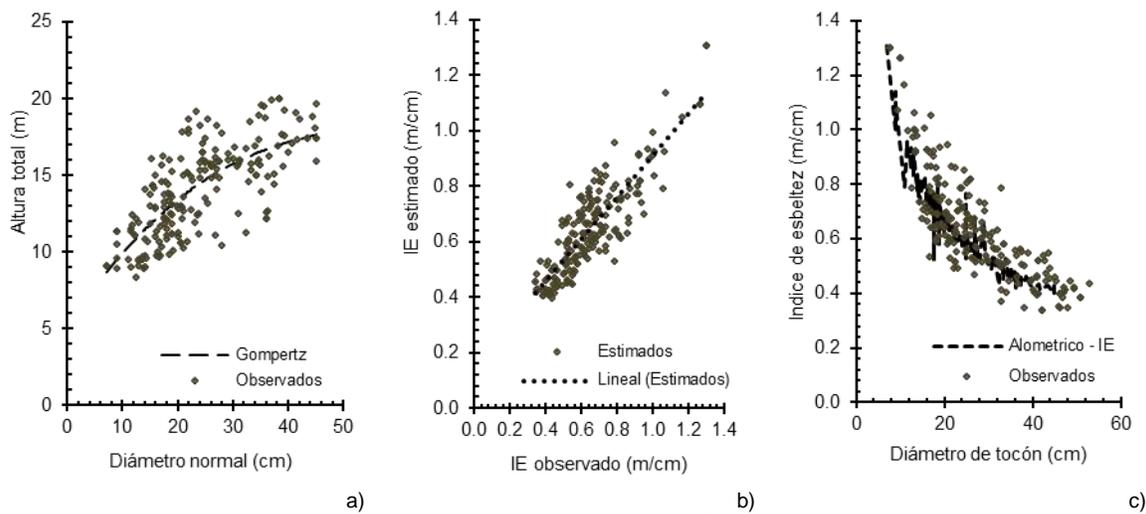


Figura 2. Comportamiento de las estimaciones a través de los modelos seleccionados para altura total e índice de esbeltez para árboles de *B. simaruba* en Quintana Roo.

CONCLUSIONES

El modelo de crecimiento de Gompertz podrá ser utilizado de forma confiable para estimar la altura total de los árboles de *Bursera simaruba* que crecen de forma natural en los bosques tropicales de los municipios de Othon P. Blanco, Bacalar y Felipe Carrillo Puerto, en Quintana Roo, México; además de que podrá ser base en el cálculo de las existencias volumétricas (m^3) y la elaboración de planes de manejo forestal en la Región.

El modelo alométrico propuesto de índice de esbeltez representa de forma confiable la relación alométrica entre la altura total y el diámetro normal de *Bursera simaruba* y podrá ser empleado ya sea para estimar la altura total sin el problema de la autocorrelación de las variables o para evaluar cortas clandestinas cuando el único dato posible de medir es el diámetro de tocón, ya que esta última funciona como variable independiente dentro de la expresión, además de que se puede ver como un indicador de la estabilidad y resistencia mecánica de la especie a la presencia de los vientos.

LITERATURA CITADA

- Adame, H.P., Cañellas I. y Del Río M. 2005. Modelo de la relación altura-diámetro para Rebollares en Castilla y León. In: Actas del IV Congreso Forestal Español. Zaragoza, España. 8 p.
- Arias, A.D. 2004. Estudio de las relaciones altura-diámetro para seis especies maderables utilizadas en programas de reforestación en la zona sur de Costa Rica. Kurú: *Revista Forestal (Costa Rica)*, 1(2), 1-11.
- Barrena, A.V. y Llerena P.C. 1988. Influencia de los errores de estimación de la altura en el cálculo del volumen. *Revista Forestal Perú*, 15(1), 1-11.
- Corral-Rivas, S., Álvarez-González, J.G., Crecente-Campo, F., and Corral-Rivas, J.J. 2014. Local and generalized height-diameter models with random parameters for mixed, uneven-aged forests in Northwestern Durango, Mexico. *Forest Ecosystems*, 1, 1-9.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) (2017). Conjunto de Herramientas para la Gestión Forestal Sostenible (GFS). Fecha de acceso: 31 de mayo de 2018. <http://www.fao.org/sustainable-forest-management/toolbox/modules/silviculture-in-natural-forests/basic-knowledge/es/>
- García-Cuevas, X., Herrera-Ávila, V., Hernández-Ramos, J., García-Magaña, J.J. y Hernández Ramos, J. 2016. Ecuaciones para predecir el diámetro normal en función del diámetro del tocón para *Abies religiosa* (Kunth) Schlttdl. et Cham. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 7, 95-103.

- Hernández-Ramos, J., De los Santos-Posadas, H.M., Valdéz-Lazalde, J.R., Tamarit-Urias, J.C., Ángeles-Pérez, G., Hernández-Ramos, A., Méndez-López, B. y Peduzzi, A. 2017. Estimación del volumen comercial en plantaciones de *Eucalyptus urophylla* con modelos de volumen total y de razón. *Agrociencia*, 51, 561-580.
- Kiviste, A., Álvarez, J.G., Rojo, A., y Ruiz, A.D. 2002. Funciones de crecimiento de aplicación en el ámbito forestal. INIA. Madrid, España. 190 p.
- Lencinas, J.D. y Mohr-Bell, D. 2007. Estimación de clases de edad de las plantaciones de la provincia de Corrientes, Argentina, con base en datos satelitales Landsat. *Bosque*, 28(2), 106-118.
- Martínez-González, M.A., Sánchez-Villegas, A. y Faulin-Fajardo, J. 2006. Bioestadística amigable. 2ª Edición. Barcelona, España: Editorial Díaz de Santos. 919 p.
- Quiñonez B. G., Cruz C.F., Vargas L.B. y Hernández F.J. 2012. Estimación del diámetro, altura y volumen a partir del tocón para especies forestales de Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 3(9), 23-39.
- Statistical Analysis System Institute Inc. 2016. SAS/ETS(R) 9.3 User's Guide. http://support.sas.com/documentation/cdl/en/etsug/63939/HTML/default/viewer.htm#model_toc.htm
- SEMARNAT-CONAFOR (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Comisión Nacional Forestal). 2014. Inventario Estatal Forestal y de Suelos – Quintana Roo 2013. Colección de inventarios estatales forestales y de suelos 2013-2014. Jalisco, México: Editorial Prometeo. 125 p.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2016. Anuario estadístico de la producción forestal 2015. México, D.F.: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 228 p.

**MODELOS DE RAZÓN CON INCLUSIÓN DE EFECTOS ALEATORIOS PARA ESTIMAR
VOLUMEN COMERCIAL DE *Pinus pseudostrabus* EN MICHOACÁN**
MERCHANTABLE VOLUME RATIO EQUATIONS WITH RANDOM EFFECTS FOR ESTIMATING
MERCHANTABLE VOLUME OF *Pinus pseudostrabus* IN MICHOACÁN

¹Hernández-Ramos J, ²García-Espinoza GG, ³García-Magaña JJ, ¹Hernández-Ramos A, ¹García-Cuevas X, ¹Martínez-Ángel L

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

²Universidad Autónoma de Nuevo León.

³Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Autor de correspondencia: forestjonathanhdez@gmail.com.

RESUMEN

La estimación de volumen fustal o comercial en los bosques es indispensable para la administración de los recursos forestales. El cálculo del volumen comercial (V_c) es un indicador de la distribución de productos que permite proyectar el rendimiento económico del aprovechamiento del bosque. El objetivo fue generar un sistema de volumen comercial (SVC) compuesto por un modelo de volumen fustal (V_f) y uno de razón de volumen (R_v) con inclusión de efectos aleatorios para *Pinus pseudostrabus* Lindl. en la Comunidad Indígena de San Juan Nuevo Parangaricutiro, Michoacán. La base de datos proviene de 79 árboles con mediciones de diámetro de tocón (dt), diámetro normal (d), altura total (H) y diámetros y alturas parciales sobre el fuste (di y hi). El SVC se ajustó mediante *Proc nlmixed* en SAS 9.3, con inclusión de los efectos aleatorios en diferentes parámetros para cada árbol. La selección del mejor sistema se realizó mediante los valores de Verosimilitud -2Log, Criterio de Información de Akaike y Criterio de Información Bayesiano, además del sesgo absoluto. De acuerdo con los criterios de evaluación, el SVC que incluyó los efectos aleatorios en el parámetro relacionado con la ecuación de V_f y en el primer parámetro en la ecuación de R_v , presentó la eficiencia estadística superior y la expresión es la siguiente: $V_c = [0.07661 + 0.03444(d^2 H / 1000)] [e^{(16.7418) * ((di/dn) / 1000)} e^{(5.2099 * (di/dn))}]$.

Palabras clave: aprovechamiento forestal, bosques templados, distribución de productos, inventarios forestales, modelos mixtos.

INTRODUCCION

Determinar el valor financiero de un aprovechamiento forestal maderable a través de la distribución de productos por unidad de superficie es una manera factible de conocer la rentabilidad de un programa de manejo forestal (Castedo-Dorado *et al.*, 2016). La estimación del volumen de fuste (V_f) o de fuste limpio (V_{fl}), la modelación del ahusamiento de los árboles y la posterior estimación de manera indirecta del volumen comercial (V_c), además de la construcción de sistemas compatibles de ahusamiento-volumen comercial ($di-V_c$) o de razón de volumen (R_v) son formas confiables de realizar tablas de distribución de productos o proyecciones financieras del aprovechamiento maderable en un bosque bajo manejo (Prodan *et al.*, 1997).

La razón de volumen es la relación proporcional entre el V_c a distintas secciones del fuste (V_i) y el V_f de un árbol, la cual se representa mediante el cociente de esta dos (V_i/V_f) y ha sido empleada en los últimos años como una herramienta confiable en el manejo de los bosques y/o plantaciones forestales comerciales (Hernández-Ramos *et al.*, 2017; Hernández-Ramos *et al.*, 2018) con la finalidad de tener un aprovechamiento sostenible a largo plazo a través de actividades silvícolas acorde a las condiciones actuales de cada especie. Debido a lo anterior y a que, para las condiciones particulares del área de estudio, la información sobre el rendimiento de los bosques no considera el uso de sistemas de volumen comercial basados en modelos de razón de volumen, se planteó el objetivo de generar un sistema de volumen comercial (SVC) compuesto por un modelo de volumen fustal (V_f) y uno de razón de volumen (R_v) con inclusión de efectos aleatorios para *Pinus pseudostrabus* Lindl. en la Comunidad Indígena de San Juan Nuevo Parangaricutiro, Michoacán. Con lo anterior se reducirán los sesgos en las estimaciones causados por la variabilidad existente entre las zonas de crecimiento de cada individuo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en rodales forestales de la Comunidad Indígena de San Juan Nuevo Parangaricutiro, Michoacán. El clima es templado húmedo, con temperatura media anual de 18 °C y la precipitación media anual de 1,600 mm. Los tipos de suelo presentes son Andosoles, Regosoles y Feozems. La vegetación dominante corresponde a bosques de pino-encino, en el componente arbóreo destacan *Pinus devoniana* Lindl., *P. montezumae* Lamb., *P. douglasiana* Martínez, *P. leiophylla* Schl. & Cham., *P. pseudostrobus* Lindl., *Quercus laurina* Humb et Bonpl., *Q. castanea* Muhl., *Q. rugosa* Neé, *Abies religiosa* Kunth Schltld. et Cham., *Arbutus xalapensis* Kunth, *Cornus disciflora* Sessé & Moc., *Tilia mexicana* Schltld., *Alnus acuminata* H.B.K., y *Alnus jorullensis* Humboldt, Bonpland & Kunth (Velázquez *et al.*, 2003).

Con datos de diámetro del tocón (*dt cm*), diámetro normal (*d cm*), altura total (*H m*) y diámetros a diferentes alturas (*di* y *hi*) de 79 árboles de *P. pseudostrobus* (1,324 pares de datos), se ajustó un SVC mediante *Proc nlmixed* con el método de optimización FIRO en SAS 9.3 ® (SAS Institute Inc., 2011). Para reducir los sesgos en las estimaciones causados por la variabilidad existente entre las zonas de crecimiento se incluyeron efectos aleatorios en un SVC, donde se utilizó un modelo de *Vf* y uno de *Rv* que al multiplicarse estiman el *Vc* y que además pueden ser empleados de forma independiente (Balzarini *et al.*, 2005). El SVC se ajustó la inclusión de los efectos aleatorios en cada uno de los parámetros, para obtener un estimador para cada árbol (Cuadro 1). La formulación de los sistemas asume parámetros fijos (promedios) y aleatorios (árbol), que en conjunto forman los parámetros de efectos mixtos.

Cuadro 1. Formas de inclusión de los efectos aleatorios en el sistema de volumen comercial (SVC) propuesto para árboles de *P. pseudostrobus* de la Comunidad Indígena de San Juan Nuevo Parangaricutiro, Michoacán.

SVC	Parámetros con efectos	Forma
1	b	$Vt = a + (b^{+u1}) * (d^2H/1000)$
	c	$Rv = e^{-(c+u2)^{((d/d)/1000)}} * e^{(t^*(d/d))}$
2	a	$Vt = a^{+u1} + (b) * (d^2H/1000)$
	c	$Rv = e^{-(c+u2)^{((d/d)/1000)}} * e^{(t^*(d/d))}$
3	b	$Vt = a + (b^{+u1}) * (d^2H/1000)$
	d	$Rv = e^{-(c)^{((d/d)/1000)}} * e^{(t^*(d/d+u2))}$
4	a	$Vt = a^{+u1} + (b) * (d^2H/1000)$
	d	$Rv = e^{-(c)^{((d/d)/1000)}} * e^{(t^*(d/d+u2))}$

Vt: volumen fustal. *Rv*: razón de volumen comercial. *d*²*H*: variable combinada. a, b, c y d: parámetros a ser estimados. *u1* y *u2*: efectos aleatorios por individuo. e: base de los logaritmos neperianos.

Los criterios de selección del mejor modelo se basaron en la significancia de los parámetros y los menores valores de Verosimilitud -2Log, Criterio de Información de Akaike (CIA) y Criterio de Información Bayesiano (CIB) (García y Rapelli, 2011; Gómez-García *et al.*, 2016). Para evaluar la precisión de las estimaciones, se obtuvo el sesgo de cada ecuación (Quevedo *et al.*, 2010) de *Vf* y *Rv* y el sesgo como sistema para el *Vc*. Además, se incluyó el coeficiente de determinación (*R*²) estimado con los valores residuales de las ecuaciones ajustadas (Pece, 1994).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El ajuste estadístico mostró que en todos los modelos incluidos en el SVC (*Vf* y *Rv*) los parámetros fueron diferentes de cero, con un nivel de significancia de *p*<0.01, además de que la inclusión de los efectos fue adecuada en las diferentes formulaciones del SCV, debido a que los valores de los parámetros referidos a la desviación estándar de efectos aleatorios (*su1* y *su2*) y el correspondiente a la desviación estándar de los residuos en el sistema (*se*) cumplieron con la condición de significancia de *p*<0.05 (Cuadro 2).

Cuadro 2. Parámetros, estimadores y errores estándar de los sistemas de volumen comercial para *P. pseudostrobis* de la Comunidad Indígena de San Juan Nuevo Parangaricutiro, Michoacán.

SVC	Parámetro	Estimador	Error estándar	Valor t	Pr> t	Intervalo -	Intervalo +	Gradiente
1	a	0.07661	0.03074	2.49	0.0149	0.01539	0.1378	0.004647
	b	0.03444	0.000904	38.11	<0.0001	0.03264	0.03624	0.130324
	c	16.7418	1.9849	8.43	<0.0001	12.7893	20.6942	-0.0002
	d	5.2099	0.1078	48.32	<0.0001	4.9952	5.4247	-0.00226
	se	-0.1945	0.004089	-47.58	<0.0001	-0.2027	-0.1864	-0.00394
	su1	-0.00517	0.00055	-9.4	<0.0001	-0.00626	-0.00407	0.145707
	su2	6.4752	1.5164	4.27	<0.0001	3.4557	9.4947	0.000156
	2	a	0.1801	0.0598	3.01	0.0035	0.06103	0.2992
b		0.03262	0.000702	46.49	<0.0001	0.03122	0.03402	0.006067
c		17.4271	2.1331	8.17	<0.0001	13.1796	21.6746	-0.00002
d		5.1842	0.1104	46.95	<0.0001	4.9644	5.4041	0
se		-0.194	0.004062	-47.76	<0.0001	-0.2021	-0.1859	-0.00347
su1		-0.31	0.02708	-11.45	<0.0001	-0.364	-0.2561	-0.0017
su2		6.8909	1.6004	4.31	<0.0001	3.7041	10.0777	0.000023
3		a	0.07703	0.03109	2.48	0.0154	0.01513	0.1389
	b	0.0346	0.000924	37.44	<0.0001	0.03276	0.03644	-0.07957
	c	16.0496	1.6534	9.71	<0.0001	12.7573	19.3419	-0.00005
	d	5.3777	0.1002	53.67	<0.0001	5.1782	5.5772	-0.00045
	se	-0.195	0.004077	-47.82	<0.0001	-0.2031	-0.1869	0.032791
	su1	0.00533	0.000548	9.73	<0.0001	0.004239	0.006422	0.542991
	su2	0.5698	0.07821	7.29	<0.0001	0.4141	0.7256	-0.00225
	4	a	0.1893	0.06163	3.07	0.0029	0.06659	0.312
b		0.03262	0.000727	44.86	<0.0001	0.03117	0.03407	-0.01975
c		16.3991	1.7081	9.6	<0.0001	12.9978	19.8004	-0.00014
d		5.3654	0.1006	53.33	<0.0001	5.165	5.5657	-0.00196
se		-0.1946	0.00406	-47.94	<0.0001	-0.2027	-0.1866	0.000876
su1		-0.323	0.02766	-11.68	<0.0001	-0.3781	-0.2679	0.000736
su2		-0.5723	0.07558	-7.57	<0.0001	-0.7228	-0.4218	-0.00121

a, b, c y d: parámetros de efectos fijos; su1 y su2: desviación estándar de efectos aleatorios; Ds: desviación estándar de los residuos en el sistema Pr>|t|: probabilidad.

Los resultados del ajuste mostraron valores cercanos entre las variaciones en la inclusión del efecto aleatorio para los diferentes parámetros del SVC. García y Rapelli (2011) describieron los procedimientos para seleccionar el mejor modelo de efectos mixtos y al no poder definir con claridad cuál fue el mejor modelo (Cuadro 3), se decidió elegirlo mediante el menor sesgo absoluto de las estimaciones con respecto a los datos observados (Cuadro 4).

Cuadro 3. Estadísticos de ajuste de las diferentes inclusiones del efecto aleatorio en los sistemas de volumen comercial (SVC).

Estadístico/SVC	1	2	3	4
Verosimilitud -2 Log	-178.2	-173.1	-147.4	-139.6
AIC	-164.2	-159.1	-133.4	-125.6
AICC	-164.1	-159	-133.3	-125.5
BIC	-147.6	-142.5	-116.8	-109

El sesgo por ecuación (Vf y Rv) y por SVC muestra que el sistema (1) donde la inclusión de los efectos aleatorios por individuo en el parámetro relacionado con la variable combinada en la ecuación de Vf y en el primer parámetro en la ecuación de Rv, es el mejor, ya que tiene las menores diferencias en las estimaciones, además de tener un mayor R² al comparar los valores estimados vs los observados en el Vf, Rv y Vc (Cuadro 4).

Cuadro 4. Sesgo por variable independiente en cada sistema de volumen comercial para árboles de *Pinus pseudostrabus* Lindl. en la Comunidad Indígena de San Juan Nuevo Parangaricutiro, Michoacán.

Sistema de volumen / Variable	Sesgo		
	Vf m ³	Rv m ³ /m ³	Vc m ³
1	-0.0416 R ² = 0.9661	0.0542 R ² = 0.9272	0.0846 R ² = 0.9398
2	-0.0035 R ² = 0.9661	0.0578 R ² = 0.9263	0.1187 R ² = 0.9389
3	-0.0545 R ² = 0.9661	0.0692 R ² = 0.9217	0.1189 R ² = 0.9367
4	-0.0127 R ² = 0.9661	0.0713 R ² = 0.9209	0.1505 R ² = 0.9352

Los resultados estadísticos del ajuste obtenidos concuerdan con los reportados por Quevedo *et al.* (2010) quienes analizaron los modelos de Vf bajo el enfoque de efectos mixtos para *Tabebuia rosea* (Bertol.) en Venezuela y Gómez-García *et al.* (2016) al desarrollar una función de perfil para *Pinus sylvestris* L. en Turquía, donde señalan la estabilidad de estas estructuras para el cálculo del Vc. Además, coinciden con las diferencias mostradas por Pece (1994) en *Eucalyptus pellita* en Brasil, Hernández-Ramos *et al.* (2017) y Hernández-Ramos *et al.* (2018) para *Eucalyptus urophylla* Blake y *Swietenia macrophylla* King en México, respectivamente. Al utilizar los modelos Rv para estimar el Vc, por lo cual estos resultados son confiables para estimar el Vf, la Rv y el Vc, además de poder ser empleadas en la elaboración de planes de manejo forestal.

CONCLUSIONES

El sistema propuesto, el cual está basado en la razón de volumen empleando el diámetro a distintas secciones sobre el fuste, es confiable para estimar el volumen fustal al emplear la primera parte de la ecuación y la razón de volumen al emplear la segunda parte, mientras que al combinarlas se utiliza para estimar el volumen comercial de árboles de *Pinus pseudostrabus* Lindl. en la Comunidad Indígena de San Juan Nuevo Parangaricutiro, Michoacán.

Con este sistema se podrán construir tablas de distribución de productos para proyectar los rendimientos maderables de áreas bajo aprovechamiento forestal acorde a las condiciones actuales de los bosques tropicales de estas especies, sin menoscabo de subestimar o sobreestimar los volúmenes a aprovechar los recursos forestales los bosques templados de la región.

AGRADECIMIENTOS

Los autores manifestamos un agradecimiento a la Comunidad Indígena de San Juan Nuevo Parangaricutiro (CISNP), Michoacán, México por las facilidades brindadas para la colecta de la información de campo.

LITERATURA CITADA

- Balzarini, M., Macchiavelli R. y Casanoves F. 2005. Aplicaciones de modelos mixtos en agricultura y forestería. Notas de Clase. Curso Internacional Aplicaciones de Modelos Mixtos en Agricultura y Forestería. CATIE. Turrialba, Costa Rica. Mimeo. 189 pp.
- García, M. del C. y Rapelli C. 2011. Selección de un modelo lineal mixto de niveles múltiples para modelos el crecimiento de la soja. Revista FABICIB 15: 11-22.
- Gómez-García, E., Diéguez-Aranda U., Özçelik R., Sal-Cando M., Castedo-Dorado F., Crecente-Campo F., Corral-Rivas J.J. y Arias-Rodil M. 2016. Desarrollo de una función de perfil mediante modelos mixtos para *Pinus sylvestris* en Turquía: Selección de parámetros fijos a expandir. Bosque 37(1): 159-167.
- Hernández-Ramos, J., H. De los Santos-Posadas M., Valdéz-Lazalde J.R., Tamarit-Urias J.C., Ángeles-Pérez G., Hernández-Ramos A., Méndez-López B. y Peduzzi A. 2017. Estimación del volumen comercial en plantaciones de *Eucalyptus urophylla* con modelos de volumen total y de razón. Agrociencia 51: 561-580.

- Hernández-Ramos, J., Hernández-Ramos A., García-Cuevas X., Tamarit-Urías J.C., Martínez-Ángel L. y García-Magaña J. 2018. Ecuaciones de volumen total y de razón para estimar el volumen comercial de *Swietenia macrophylla* King. Colombia Forestal, 21(1), 34-46
- Pece, R., M. 1994. Tabla de volumen comercial para *Eucalyptus pellita* utilizando el método de la razón volumétrica. Quebracho 2: 54-63.
- Prodan, M., Peters R., Cox F. y Real P. 1997. Mensura Forestal. Serie Investigación y Educación de Desarrollo Sostenible. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA)/BMZ/GTZ. San José, Costa Rica. 561 p.
- Quevedo, A., Jerez M., Moret A.Y. y Noriega O. 2010. Ecuaciones de volumen y calidad de forma para *Tabebuia rosea* (Bertol.) en plantaciones en líneas. Barinas, Venezuela. Revista Forestal Venezolana 54(2): 195-205.
- SAS Institute Inc. 2011. SAS/STAT® 9.3 User's Guide. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA. 106 p.
- Velázquez, A., Bocco G., Torres A. y Cortés G. 2003. La vegetación, sus componentes y un análisis jerárquico del paisaje. In: Las Enseñanzas de San Juan. Alejandro Velázquez, Alejandro Torres y Gerardo Bocco (compiladores). INE-SEMARNAT, México, DF. pp. 201-234.

**GENERACIÓN DE UN DIAGRAMA PARA MANEJAR LA DENSIDAD BASADO EN REINEKE
PARA *Pinus patula***
GENERATION OF A STAND DENSITY MANAGEMENT DIAGRAM BASED ON REINEKE FOR *Pinus
patula*

¹Tamarit Urias JC, ²Quiñonez Barraza G, ³De los Santos Posadas HM, ⁴Castañeda Mendoza A,
¹Ordoñez Prado C

¹Centro de Investigación Regional Golfo Centro del INIFAP km. 56.5 Carretera Federal México-
Puebla, C.P. 74100 San Martinito, Tlahuapan, Puebla, México,

²Centro de Investigación Regional Norte Centro del INIFAP km 5 Carretera Durango-El Mezquital, C.P.
43000 Durango, Durango, México,

³Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo. Texcoco, Estado de México, México,

⁴Consultor y Asesor Forestal Independiente. Puebla, Puebla, México.

Autor para correspondencia: tamarit.juan@inifap.gob.mx

RESUMEN

Un diagrama para manejar la densidad (DMD) es una herramienta técnica para aplicar silvicultura cuantitativa que contribuye a mejorar el manejo técnico de los bosques; sin embargo, a pesar de su alta importancia, su desarrollo es incipiente en México. El objetivo fue generar un diagrama para manejar la densidad con base en el índice de densidad de rodal de Reineke en bosques coetáneos de *Pinus patula* en Puebla, México. Se procesó una muestra compuesta por 252 sitios de muestreo para inventario seleccionados en estado de máxima densidad que cubrió todas las condiciones de crecimiento y rango de edad. La información de densidad (N) y diámetro cuadrático (Dq) se procesaron mediante regresión estadística ajustando la relación funcional tamaño-densidad de Reineke. Se comparó la técnica de mínimos cuadrados ordinarios contra la de regresión frontera estocástica en sus modalidades de modelo semi-normal, modelo normal truncado y modelo normal exponencial. Una evaluación de la calidad de ajuste estadística y gráfica evidenció que la técnica de regresión frontera en su modalidad semi-normal fue superior, por lo que se seleccionó para determinar la línea de autoaclareo. El índice de densidad máximo fue de 1,078 árboles ha⁻¹ para un Dq de referencia de 20 cm. El DMD se generó definiendo las diferentes zonas de crecimiento de Langsaeter. El DMD es útil para gestionar y prescribir la intensidad de aclareos como tratamientos silvícolas intermedios en términos del número de árboles por hectárea a remover y su equivalente en área basal por hectárea para rodales coetáneos.

Palabras clave: Rodal coetáneo, pino pátula, índice de densidad del rodal, regresión frontera estocástica, aclareos.

INTRODUCCION

Pinus patula Schiede ex Schl. (pino pátula, pino llorón) es una especie maderable endémica de México, conforma rodales coetáneos puros o llega a ser la especie dominante en bosques mixtos de clima templado; los árboles alcanzan un diámetro normal de 50 a 90 cm y altura de 30 a 35 m. Dada su abundancia, productividad y calidad de los bosques, su madera es ampliamente utilizada con importancia comercial e industrial para el aserrío y se ha utilizado para establecer plantaciones forestales comerciales (Perry, 1991; Martínez, 1992; Velázquez *et al.*, 2004). Debido a su importancia económica es necesario que se actualicen y generen diferentes modelos alométricos y de crecimiento que constituyan herramientas para aplicar silvicultura cuantitativa, para con ello coadyuvar a planificar y mejorar su manejo técnico para fines de producción y aprovechamiento maderable.

Una de las principales herramientas para planear y realizar el manejo forestal, que brindan apoyo para el proceso de toma de decisiones al técnico encargado de este manejo, son los diagramas o guías para manejar la densidad (DMD) y prescribir aclareos a aplicarse como tratamientos silvícolas intermedios (Hernández *et al.* 2013; Corral-Rivas *et al.*, 2015), principalmente cuando los bosques se manejan aplicando un sistema de manejo regular como el método de desarrollo silvícola (MDS). La densidad es el principal factor que el silvicultor puede manipular para influir en el establecimiento y desarrollo de las especies forestales de interés, para mejorar la calidad de la madera, la tasa de crecimiento en diámetro e influir en la producción del volumen maderable al redistribuirse el potencial de crecimiento entre los individuos remanentes (Daniel *et al.*, 1979; Pretzsch, 2009).

La dinámica, desarrollo, grado de competencia y productividad potencial de un rodal se puede estudiar a partir de la relación definida entre la densidad o número de árboles (N) por unidad de superficie y su tamaño promedio (Jayaraman y Zeide, 2007; Weiskittel *et al.*, 2009). Para los silvicultores, es de interés conocer el grado de ocupación de un sitio para determinar el momento en que empieza el autoaclareo como resultado de la mortalidad por competencia extrema ante recursos escasos como espacio, agua, nutrimentos y luz solar; en esas condiciones, un incremento del tamaño promedio está asociado con una disminución progresiva de la densidad (Comeau *et al.*, 2010). En esta relación, el tamaño promedio puede expresarse en términos del diámetro cuadrático medio (D_q) calculado como $D_q = \sqrt{(40000/\pi)(AB/N)}$, donde AB es el área basal ha^{-1} y N el número de árboles ha^{-1} . Así, la relación queda definida por la función $N = \alpha D_q^{-\beta}$, donde α y β son parámetros a estimar por regresión y corresponden al intercepto y la pendiente de la línea de autoaclareo (de máxima densidad o de mortalidad inminente), respectivamente. Al predefinir un valor para el diámetro cuadrático de referencia (D_r), se llega a la expresión del índice de densidad de rodal (IDR) de Reineke, como una medida de la densidad relativa y de la ocupación del sitio, que se define como el número de árboles por hectárea para un diámetro cuadrático medio de referencia dado, que Reineke (1933) lo fijó en 25 cm.

Este índice expresa la relación entre el tamaño de los árboles y la densidad del rodal, se expresa por la función $IDR = N(D_q/D_r)^{-\beta}$, donde β , cuando se desconoce, puede tomar el valor teórico constante de 1.605 para cualquier especie (Reineke, 1933). Sin embargo, Pretzsch y Biber (2005), VanderSchaaf y Burkhardt (2007), Comeau *et al.* (2010) y Navarro *et al.* (2011), indican que el valor de la pendiente puede diferir significativamente entre especies por lo que se debe estimar para cada especie y región. El índice representa tanto la condición límite de sobrevivencia como la trayectoria de autoaclareo de rodales individuales, es independiente de la calidad de sitio y de la edad del rodal (Long, 1985). La densidad relativa definida como la razón entre la densidad actual de la masa y la densidad máxima definida por la línea de máxima densidad para un tamaño medio del árbol, para el caso del IDR se expresa con respecto a un D_q prefijado. En términos prácticos, el índice constituye una herramienta silvícola cuantitativa de utilidad para el administrador forestal, le permite diagnosticar el estado de rodales individuales con el propósito de manejar la densidad mediante la prescripción de aclareos en tiempo e intensidad de acuerdo al producto predefinido a obtener. La herramienta operativa que se genera a partir del IDR, es un diagrama para el manejo de la densidad del rodal, que da lugar a un método que permite comparar, evaluar y decidir de manera fácil y rápida diferentes regímenes alternativos de aclareos para su implementación en el manejo de rodales.

El valor del parámetro de la pendiente (β) varía en función de la especie, se han desarrollado diferentes técnicas de ajuste del modelo de Reineke para mejorar la definición de la línea de autoaclareo (Santiago-García *et al.*, 2013; Lopes *et al.*, 2016). Otro aspecto técnico importante a tomar en cuenta para ajustar el modelo es el origen y la selección de la información dasométrica a utilizar. En este contexto, el objetivo del presente trabajo fue generar un diagrama para el manejo de la densidad con base en el índice de densidad de rodal de Reineke en rodales coetáneos naturales de *Pinus patula* en Puebla, México, a partir de la evaluación de la calidad de ajuste del modelo tamaño-densidad por la técnicas de mínimos cuadrados ordinarios lineales y regresión frontera estocástica.

MATERIALES Y MÉTODOS

La información dasométrica que se utilizó fue colectada en predios forestales de la Unidad de Manejo Forestal (UMAFOR) 2108 en la región de Chignahuapan-Zacatlán localizada al norte del estado de Puebla, geográficamente se localiza entre los paralelos 20° 07' 06" y 19° 44' 18" de latitud Norte y entre los meridianos 97° 57' 18" y 97° 38' 42" de longitud Oeste; se ubica en la Región Hidrológica "RH27" de la cuenca del Río Tecolutla. Esta UMAFOR está constituida por la Asociación Regional de Silvicultores de Chignahuapan-Zacatlán A.C.

Se procesó una muestra compuesta por 252 pares de observaciones sobre el número de árboles y el diámetro cuadrático promedio, fue seleccionada a partir de un conjunto de sitios de muestreo levantados en los municipios Aquixtla, Chignahuapan, Ixtacamaxitlán, Tetela de Ocampo y Zacatlán, cada sitio fue circular con una superficie de 1,000 m². Se eligieron sitios en que *P. patula* conformó rodales coetáneos uniespecíficos y que además se encontraban en un estado de alta densidad y competencia. Las observaciones cubrieron todas las condiciones de crecimiento y rango de edad. Se generó una base de datos y se derivaron a nivel de hectárea las variables dasométricas densidad o

número de árboles (N) y el diámetro cuadrático (Dq), cuyos estadísticos básicos se presentan en el Cuadro 1. La base de datos fue auditada corroborando que las variables de interés presentarán comportamiento gráfico lógico en forma de jota inversa.

Cuadro 1: Estadísticos descriptivos básicos de las variables dasométricas analizadas.

Variable	Mínimo	Máximo	Media	D.E. ¹	C.V ²
N	17.00	7,466.67	689.44	1,232.08	178.71
Dq	4.48	71.00	30.28	13.38	44.20

¹Desviación estándar, ²Coficiente de variación.

La función tamaño densidad de Reineke expresada en forma lineal se ajustó por regresión estadística usando el método de mínimos cuadrados ordinarios (MCO) lineales, la estructura matemática linealizada del modelo de Reineke es de la forma $Ln(N) = \alpha - \beta Ln(Dq) + \varepsilon$, donde: Ln se refiere a la función logaritmo natural, ε es el término del error que se distribuye como $\varepsilon = \text{idd } N(0, \sigma^2)$. Por su parte, cuando la función se ajustó utilizando la técnica econométrica de regresión frontera estocástica (RFE), la estructura del modelo tomó la forma definida como $Ln(N) = \alpha - \beta Ln(Dq) - u + v$. En este caso, el componente de error se divide en 1) un componente de error asociado con la medición de las observaciones individuales (v_i) y, 2) un componente de error que se asume para dar cuenta de la ineficiencia técnica en los datos (u_i). v_i se asume como una perturbación simétrica distribuida independientemente de u_i , recoge las variaciones aleatorias en la producción debido a factores como errores aleatorios, errores en la observación y de medición de los datos, se asume que se distribuye en la forma $v = \text{idd } N(0, \sigma_v^2)$. u_i es un término asimétrico que recoge la ineficiencia técnica de las observaciones y se asume que se distribuye independientemente de v_i y de los regresores (Kumbhakar y Lovell, 2000; Bi, 2004; Zhang *et al.*, 2005; Pretzsch y Biber, 2005). Cuando en el ajuste estadístico se usó el enfoque de RFE, se probaron las modalidades de Modelo Semi-Normal (MSN), Modelo Normal Truncado (MNT) y Modelo Normal Exponencial (MNE).

La función de Reineke se ajustó por mínimos cuadrados ordinarios MCO utilizando el procedimiento Model del paquete estadístico SAS/ETS® (Statistical Analysis System Institute Inc., 2011) versión 9.3. Cuando se usó RFE, la función se ajustó mediante el procedimiento QLIM del mismo paquete estadístico y versión mediante máxima verosimilitud para estimar la frontera y el parámetro de la ineficiencia técnica de las observaciones (u_i). El resultado y la calidad del ajuste por MCO se compararon con los ajustes obtenidos al utilizar RFE, los estadísticos de bondad de ajuste usados fueron el valor del logaritmo de verosimilitud (logLik), el criterio de información de Akaike (AIC) y el criterio de Schwarz (SchC), así como la significancia de los parámetros y las varianzas de los componentes del error, sobre todo la razón de varianzas de los componentes del error (λ), además de la varianza total (σ) (Weiskittel *et al.*, 2009; Comeau *et al.*, 2010; Zhang *et al.*, 2013; Quiñonez-Barraza *et al.*, 2018). Adicionalmente, para reforzar el criterio de selección, también se realizó una comparación gráfica de las líneas de autoaclareo que generó cada una de las técnicas y modalidades de ajuste, se observó el comportamiento de la trayectoria de las líneas de autoaclareo superpuestas a los datos observados.

Con los valores de los parámetros del mejor ajuste seleccionado, sobre un gráfico en escala logarítmica, se delimitó la línea de autoaclareo que corresponde al número máximo de árboles que conforman un rodal sin autoaclareo que una hectárea puede soportar y que equivale al 100% del IDR. Posteriormente, tomando como base a esta línea (IDR máximo), se estimaron las líneas que definieron cuatro diferentes zonas de crecimiento de Langsaeter, que conforman fajas o bandas de densidades relativas (Langsaeter, 1941; Daniel *et al.*, 1979; Smith *et al.*, 1997; Gilmore *et al.*, 2005) sobre las cuales se deberá gestionar el manejo y crecimiento de los rodales orientados a cumplir el objetivo de producción maderable, quedando de esta manera construido el respectivo DMD. La zona 1 de subutilización se delimitó hasta el 25% con respecto del IDR máximo; la zona 2 de transición se definió entre el 25 y el 35%; la zona 3 que corresponde al máximo crecimiento del rodal por hectárea, se localizó entre el 35 y el 65%; la zona 4 que es la de autoaclareo o mortalidad inminente se ubicó del 65 al 100%. En la construcción del DMD y para la definición del IDR se utilizó un Dq de referencia de 20 cm.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El resultado del ajuste estadístico de la función de Reineke al usar MCO lineales y RFE en las modalidades de Modelo Semi-Normal (MSN), Modelo Normal Truncado (MNT) y Modelo Normal Exponencial (MNE), evidencia que en todos los casos los parámetros de la función son significativos (Cuadro 2). Sin embargo, puesto que para definir la línea de autoaclareo al usar MCO es necesaria la intervención manual posterior al ajuste, esto debido a que la línea ajustada corresponde al promedio de la nube de datos observados y no al límite superior absoluto, tal situación ocasiona que la determinación de la referida línea en la frontera superior de los datos sea ineficiente, ya que para modificar el valor del intercepto, se utiliza alguna metodología y enfoque subjetivo (Santiago-García *et al.*, 2013; Quiñonez-Barraza *et al.*, 2018). Además, MCO es sensible al conjunto de observaciones seleccionado a máxima densidad, ya que al ajustar el modelo se puede producir una línea de autoaclareo con pendiente inapropiada (Zhang *et al.*, 2005). Por estas razones, se decidió seleccionar la mejor calidad de ajuste entre las modalidades de RFE, lo que garantiza que se obtenga una línea del máximo absoluto en forma directa e inmediata y que técnicamente es el límite correcto; además que comparativamente RFE tiene como ventaja el hecho de que estima valores extremos (frontera) de un conjunto de datos en lugar de la media de una función que estima el método de MCO (Bi, 2004; Comeau *et al.*, 2010).

La evaluación comparativa y un sistema de calificación implementado para seleccionar la mejor calidad de ajuste entre las diferentes modalidades al usar RFE, revela que la modalidad de MSN fue superior, ya que presentó los valores más bajos en los estadísticos de ajuste que corresponden al criterio de información de Akaike (AIC) y al criterio de información de Schwarz (SchC), así como como los segundos mejores valores del logaritmo de verosimilitud (logLik), de la varianza total del error (σ) y de la razón de varianzas de los componentes del error (λ), aunado a la alta significancia de los parámetros (Cuadro 2 y 3). Adicionalmente, presentó la menor varianza del componente del error de medición (σ_v) y el segundo menor valor en la varianza del componente del error relativo al término de ineficiencia técnica de los datos observados (σ_u). Zhang *et al.* (2005) señala que esta modalidad de ajuste es el método de regresión más apropiado para estimar los coeficientes de la función de Reineke y la posterior línea de autoaclareo, siendo posible usar la totalidad de la información N-Dq disponible de parcelas o sitios que se localizan cerca de un límite superior. Burkhart y Tomé (2012) refieren que con esto se elimina la necesidad de construir de manera subjetiva la base de datos para estimar los valores extremos de la función tamaño-densidad; ha sido utilizada para ese propósito en diferentes especies de coníferas y de latifoliadas por Weiskittel *et al.* (2009), Comeau *et al.* (2010), Reyes-Hernandez *et al.* (2013), Zhang *et al.* (2013) y Lopes *et al.* (2016).

La prueba de Wald y de razón de verosimilitud demostró que el valor de la pendiente (β) del modelo tamaño-densidad, estimado por RFE-MSN, es estadísticamente diferente (con $\alpha=0.05$) del valor teórico propuesto por Reineke (1933) de -1.605. Esto coincide con lo reportado por Reyes-Hernandez *et al.* (2013) quienes usaron la misma técnica y modalidad de ajuste en rodales de *Picea glauca* de la región de Alberta, Canadá cuyo valor de la pendiente fue de 1.96. Sin embargo, es diferente a lo determinado por Santiago-García *et al.* (2013) para *P. patula* en la región de Zacualtipán, en donde el intervalo de confianza al 95% para el valor de la pendiente de -1.565 ± 0.208 si incluyó al valor teórico. En ese sentido, el intervalo al 95% de confianza aquí determinado para el parámetro en cuestión fue de -1.998 para el límite inferior y de -2.341 para el superior. Este intervalo también es diferente al determinado por Quiñonez-Barraza *et al.* (2018) de -1.714 a -1.910 quienes usaron la misma técnica y modalidad para un grupo de especies del género *Pinus* de Durango, México. En este contexto, se reafirma el argumento de que la pendiente (β) no siempre está cerca del valor teórico y puede diferir significativamente entre especies (Comeau *et al.*, 2010; Santiago-García *et al.*, 2013), lo cual se debe en parte a que distintas poblaciones presentan diferentes tasas de mortalidad en función de su densidad, hábitos de crecimiento, factores de la productividad del sitio e incluso la edad de la masa (Bi *et al.*, 2000; Weiskittel *et al.*, 2009; Reyes-Hernandez *et al.*, 2013). Lo anterior, conduce a la necesidad de desarrollar una alometría específica para cada especie de interés y región, con ello se evita que se presente errores al estimar y controlar la densidad (Pretzsch y Biber, 2005).

El IDR máximo estimado con el ajuste de RFE-MSN al utilizar un Dq de referencia de 20 cm fue de 1,078 árboles, el cual difiere del reportado por Santiago *et al.* (2013) de 1,662 para la misma especie creciendo en la región de Zacualtipán, Hidalgo, en donde determinaron que la mejor técnica de ajuste fue la de RFE en su modalidad de MNT; también es menor al determinado por García y Hernández (1995) en 1,602 árboles para *P. patula* en la región de Macuiltianguis, Oaxaca; es menor al estimado

por Monroy (1997) para la misma especie en la región de Huayacocotla, Veracruz, de 1,215 árboles con el Dq de referencia es de 20 cm, en donde la función fue ajustada en su forma no lineal por MCO.

Cuadro 2: Valores estimados de los parámetros y estadísticos de ajuste por MCO y por RFE.

Técnica de ajuste	Parámetro	Estimación	Error estándar	Valor de t	Significancia*
MCO	α	12.745700	0.302450	42.14	<.0001
	β	-2.189370	0.090730	-24.13	<.0001
	σ	0.57644			
RFE-MSN	α	13.502400	0.299869	45.03	<.0001
	β	-2.176169	0.088676	-24.54	<.0001
	σ_v	0.445702	0.059947	7.43	<.0001
	σ_u	1.006725	0.102813	9.79	<.0001
	logLik	-280.018350			
	AIC	568.036710			
	SchC	582.154420			
	σ	1.100980			
	λ	2.258740			
RFE-MNT	α	13.377648	0.312935	42.75	<.0001
	β	-2.179757	0.086509	-25.2	<.0001
	σ_v	0.486052	0.066158	7.35	<.0001
	σ_u	1.437639	0.851967	1.69	0.0915
	μ	-1.945217	4.316169	-0.45	0.6522
	logLik	-279.626350			
	AIC	569.252690			
	SchC	586.899840			
	σ	1.517580			
λ	2.957790				
RFE-MNE	α	13.291698	0.285911	46.49	<.0001
	β	-2.183796	0.084598	-25.81	<.0001
	σ_v	0.518719	0.050966	10.18	<.0001
	σ_u	0.564340	0.078648	7.18	<.0001
	logLik	-280.051220			
	AIC	568.102440			
	SchC	582.220150			
	σ	0.766520			
	λ	1.087950			

logLik: logaritmo de verosimilitud; AIC: Criterio de información de Akaike; SchC: criterio de Schwarz; σ : varianza del error estimado como $(\sigma_u^2 + \sigma_v^2)^{0.5}$; λ : estadístico de ajuste Lambda estimado como la razón de varianzas σ_u/σ_v . *Nivel de probabilidad 5% ($\alpha=0.05$).

Tomando como base la línea de máxima densidad generada del ajuste bajo el enfoque de RFE-MSN, se construyó el diagrama para el manejo de la densidad para rodales coetáneos y uniespecíficos de *P. patula*. El número de árboles estimados, que corresponden a los valores límites en porcentaje del IDR que define cada línea que delimita las zonas de crecimiento fueron 270, 380, 700 y 1,078 árboles ha⁻¹ para el 25%, 35%, 65% y 100%, respectivamente; que a su vez corresponden a las líneas de crecimiento libre (1), de transición (2), de máximo crecimiento por hectárea (3) y de autoaclareo (4).

Cuadro 3: Evaluación comparativa y calificación de los estadísticos de bondad de ajuste para las diferentes modalidades analizadas con la técnica de RFE.

Modalidad de ajuste	Calificación de los estadísticos de ajuste					Calificación total
	logLik	AIC	SchC	σ	λ	
RFE-MSN	2	1	1	2	2	8
RFE-MNT	1	3	2	3	3	12
RFE-MNE	3	2	3	1	1	10

logLik, AIC, SchC, σ y λ fueron definidos antes.

Partiendo del hecho de que el manejo de la densidad es el medio más eficiente de que dispone el silvicultor para alcanzar el objetivo de producción maderable de un rodal y bajo el supuesto de que la densidad inicial es el punto de partida para prescribir un régimen de aclareos y que después de practicar un aclareo no existe mortalidad debida a competencia, manteniéndose constante la densidad hasta un siguiente aclareo, a manera de ejemplo de la utilidad práctica y operativa del DMD, se ilustra la forma en que se genera un programa de aclareos partiendo de una densidad inicial (N) de 1,050 árboles/ha. Se asume que para cualquier densidad de un rodal existe un tamaño máximo promedio en D_q o su equivalente en área basal que puede ser alcanzado, por lo que antes de que se llegue a la zona 4 de mortalidad inminente, se aplica un primer aclareo, procurando que la densidad residual se ubique en el límite inferior de la zona de crecimiento 3. A partir de ese punto, se deja crecer la masa hasta que su crecimiento en D_q se ubique nuevamente en la vecindad de la línea de autoaclareo y requiera la práctica de un segundo aclareo (Figura 1).

Bajo los mismos criterios pueden aplicarse aclareos subsecuentes hasta alcanzar el crecimiento máximo posible en D_q y lograr la densidad óptima deseada. Para maximizar la producción, la densidad de la masa debe mantenerse durante la mayor parte del turno entre la zona 3 y el comienzo de la zona 4. En el Cuadro 3, para el ejemplo planteado, se presenta la intensidad de corta en cada aclareo, los respectivos valores de densidad y su equivalente en área basal a remover y residual en cada aclareo, calculada con la expresión $AB = (\pi/40000) (D_q^2 N)$.

De manera similar, con el DMD es posible prescribir un programa de aclareo para un rodal en particular en determinada etapa de desarrollo; para ello, con base en un sistema de crecimiento y rendimiento maderable o bien mediante sitios de muestreo para inventario maderable, se determina su densidad a nivel de hectárea y su correspondiente D_q , procediéndose a determinar el IDR en que se encuentra el rodal en cuestión o bien sobre el DMD se ubica el punto (N, D_q), en función de la zona de crecimiento en que este se localice, se define la necesidad o no de aplicar un aclareo. De esta forma, conforme a los criterios antes señalados, se analizan diferentes regímenes alternativos de manejo de la densidad y finalmente se define el más apropiado con base en los objetivos de manejo y producción.

Cuadro 4: Programa de aclareos en términos del número de árboles, diámetro cuadrático y área basal para *P. patula*.

Tratamiento silvícola	Densidad [§] (N ha ⁻¹)	D_q [†] (cm)	I [¶] (%)	Árboles					Área basal					
				1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
Preaclareo	1050 - 700	1 - 16	33	350	700	21.1	7.0	14.1						
Primer aclareo	700 - 400	16 - 20	43	300	400	22.0	9.4	12.6						
Segundo aclareo	400 - 250	20 - 25	38	150	250	19.6	7.4	12.3						
Tercer aclareo	250 - 150	25 - 32	40	100	150	20.1	8.0	12.1						

[§]Número de árboles antes y después de aplicar el aclareo; [†]Crecimiento del diámetro cuadrático al aplicar el aclareo; [¶]Intensidad de aclareo; 1 = Cantidad de árboles extraídos (N ha⁻¹); 2 = cantidad de árboles remanentes (N ha⁻¹); 3 = Área basal total (m² ha⁻¹); 4 = Área basal extraída (m² ha⁻¹); 5 = Área basal residual (m² ha⁻¹).

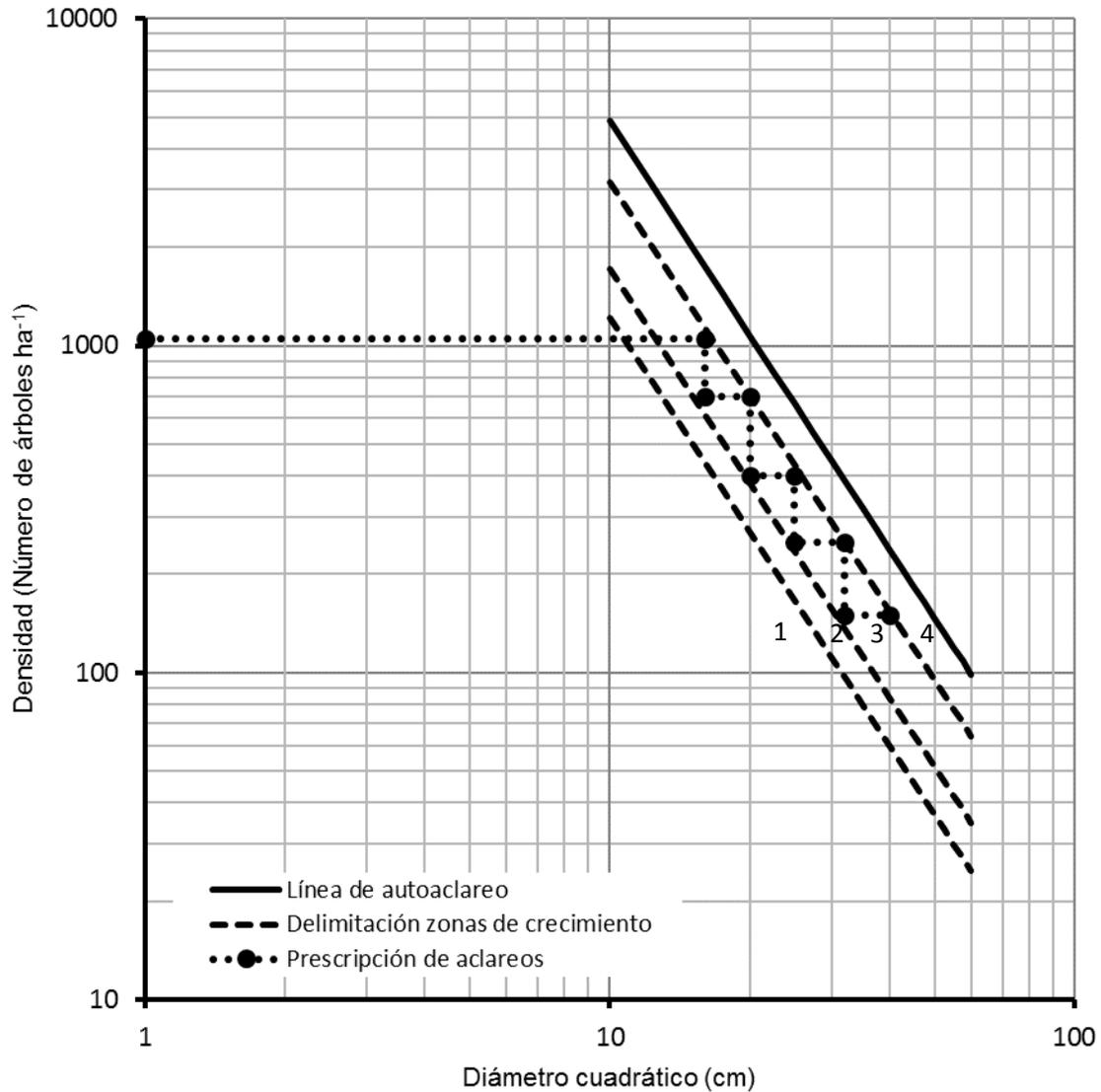


Figura 1. DMD basado en el IDR de Reineke para *P. patula* y ejemplo de prescripción de un programa de aclareos.

Se debe tener presente que a menor calidad de sitio, mayor tiempo le tomará a un rodal alcanzar la línea de autoaclareo. El incremento en volumen del fuste para un determinado rodal está cerca del máximo cuando la densidad relativa se encuentre en la zona 3, ya que los árboles aprovechan en forma más efectiva el espacio de crecimiento sin sufrir mortalidad por competencia. Para maximizar crecimiento e incremento en volumen, se debe mantener la densidad mediante la aplicación de aclareos, esto lleva a estimar un volumen inferior por unidad de superficie, pero con árboles de mayores diámetros y mejor conformados a edades más jóvenes, lo que incrementa su valor (Pérez y Kanninen, 2005; Comeau *et al.*, 2010). La frecuencia e intensidad de los aclareos debe ser un compromiso entre las partes silvícola y financiera, esto garantizará la obtención de árboles con las dimensiones y calidad requeridas, de acuerdo al uso industrial en el mínimo tiempo posible, además de que se tendrá la más baja inversión en el logro del objetivo maderable. En la aplicación práctica del DMD, es responsabilidad y criterio del técnico que realiza el manejo identificar los árboles a ser removidos con base a los objetivos maderables.

CONCLUSIONES

En el ajuste de la función tamaño-densidad de Reineke, la técnica de regresión frontera estocástica en la modalidad de Modelo Semi-Normal resultó estadísticamente mejor y superior que el método de mínimos cuadrados ordinarios, por lo que es una alternativa para estimar de forma eficiente el límite superior de la línea de autoaclareo. El diagrama para el manejo de la densidad generado con base en el índice de densidad de rodal de Reineke para *P. patula* en la región de Chignahuapan-Zacatlán de Puebla, México, permitirá gestionar en forma adecuada la densidad de los rodales de esta especie. El diagrama es una herramienta analítica para la silvicultura cuantitativa de aplicación práctica y operativa inmediata, brinda soporte al silvicultor para tomar decisiones de manejo técnico de los rodales con esta especie, ya que le permite diagnosticar y determinar la necesidad aplicar aclareos, así como la intensidad de aplicación en términos del número de árboles a remover y su equivalente en área basal.

LITERATURA CITADA

- Bi, H. 2004. Stochastic frontier analysis of a classic self-thinning experiment. *Austral Ecology*, 29(4): 408-417.
- Bi, H., Wan G., and Turvey, N.D. 2000. Estimating the self-thinning boundary line as a density-dependent stochastic biomass frontier. *Ecology*, 81(6): 1477-1483.
- Burkhart, H.E. and Tomé, M. 2012. Modeling forest trees and stands. Springer. New York, USA. 457 p.
- Comeau, P. G., White, M., Kerr, G., and Hale, S.E. 2010. Maximum density-size relationships for Sitka spruce and coastal Douglas-fir in Britain and Canada. *Forestry*, 83(1): 461-468.
- Corral-Rivas, S., Álvarez-González, J.G., Corral-Rivas, J.J., Wehenkel, C. y López-Sánchez, C.A. 2015. Diagramas para el manejo de la densidad en bosques mixtos e irregulares de Durango, México. *Bosque*, 36(3): 409-421.
- Daniel, T. W., Helms, J.A., and Baker, F.S. 1979. Principles of silviculture. Second Edition. McGraw-Hill. New York, USA. 500 p.
- García, R.F.T. y Hernández, V.E. 1995. Elaboración de dos guías de densidad para *Pinus patula* Schl. et Cham. en la región de Macuilianguis, Oaxaca. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales*, 1(1): 83-89.
- Gilmore, D.W., O'Brien, T.C., and Hoganson, H.M. 2005. Thinning red pine plantations and the Langsaeter hypothesis: a northern Minnesota case study. *Northern Journal of Applied Forestry*, 22(1): 19-26.
- Hernández, R.J., García, M.J.J., Muñoz, F.H.J., García, C.X., Sáenz, R.T., Flores, L.C. y Hernández, R.A. 2013. Guía de densidad para manejo de bosques naturales de *Pinus teocote* Schlecht. et Cham. en Hidalgo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 4(19): 62-76.
- Jayaraman, K. and Zeide, B. 2007. Optimizing stand density in teak plantations. *Journal of Sustainable Forestry*, 24(4): 1-22.
- Kumbhakar, S.C., and Lovell, C.A.K. 2000. Stochastic frontier analysis. Cambridge University Press. New York, USA. 333 p.
- Langsaeter, A. 1941. Om tynning i enaldret gran-og furuskog. *Meddelelser fra Det norske Skogforsøksvesen* 8: 131-216.
- Long, J.N. 1985. A practical approach to density management. *Forestry Chronicle*, 61(1): 23-26.
- Lopes, P.E., Calegario, N., Saraiva, N.G., de Almeida, M.E., and de Almeida, A.J. 2016. Estimate of stand density index for *Eucalyptus urophylla* using different fit methods. *Revista Árvore*, 40(5): 921-929.
- Martínez, M. 1992. Los pinos mexicanos. Tercera edición. Ediciones Botas. México. 361 p.
- Monroy, R., C. R. 1997. Evaluación de crecimiento y productividad de *Pinus patula* Schl. et Cham., en la región de Huayacocotla, Veracruz, México. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, México. 120 p.
- Navarro, C., Herrera, M.A. Drake, F. y Donoso P. 2011. Diagrama de manejo de densidad y su aplicación a raleo en bosques de segundo crecimiento de *Drimys winteri* en el sur de Chile. *Bosque*, 32(2): 175-186.
- Perry, J.P.Jr. 1991. The pines of Mexico and central America. Ed. Timber Press. Portland, Oregon, USA. 231 p.
- Pérez, D. and Kanninen, M. 2005. Stand growth scenarios for *Tectona grandis* plantations in Costa Rica. *Forest Ecology and Management*, 210: 425-441.

- Pretzsch, H., and Biber, P. 2005. A re-evaluation of Reineke's rule and stand density index. *Forest Science*, 51(4): 304-320.
- Pretzsch, H. 2009. *Forest dynamics, growth and yield: from measurement to model*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany. 664 p.
- Quiñonez-Barraza, G., Tamarit-Urias, J.C., Martínez-Salvador, M., García-Cuevas, X., de los Santos-Posadas, H.M., and Santiago-García, W. 2018. Maximum density and density management diagram for mixed-species forests in Durango, Mexico. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 24(1): 73-90.
- Reineke, L.H. 1933. Perfecting a stand-density index for even-aged forests. *Journal of Agricultural Research*, 46: 627-638.
- Reyes-Hernandez, V., Comeau, P.G. and Bokalo, M. 2013. Static and dynamic maximum size-density relationships for mixed trembling aspen and white spruce stands in western Canada. *Forest Ecology and Management*, 289: 300-311.
- Santiago-García, W., De los Santos-Posadas, H.M., Ángeles-Pérez, G., Valdez-Lazalde, J.R., Del Valle-Paniagua, D.H., y Corral-Rivas, J.J. 2013. Auto-aclareo y guías de densidad para *Pinus patula* mediante el enfoque de regresión de frontera estocástica. *Agrociencia*, 47: 75-89.
- SAS Institute Inc. 2011. *SAS/STAT® 9.3 User's Guide*. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Smith, D. M., Larson, B.C., Kelty, M.J., and Ashton, P.M.S. 1997. *The practice of silviculture: Applied forest ecology*. Ninth Edition. John Wiley & Sons, Inc. New York, USA. 537 p.
- VanderSchaaf, C.L., and Burkhart, H. E. 2007. Comparison of methods to estimate Reineke's maximum size-density relationship. *Forest Science*, 53(3): 435-442.
- Velázquez, A., Ángeles, G., Llanderal, T., Román, A., y Reyes, V. 2004. *Monografía de Pinus patula*. CONAFOR/SEMARNAT/COLPOS. Jalisco, México. 124 p.
- Weiskittel, A., Gould, P. and Temesgen, H. 2009. Sources of variation in the self-thinning boundary line for three species with varying levels of shade tolerance. *Forest Science*, 55(1): 84-93.
- Zhang, L., Bi H., Gove, J.H., and Heath, L.S. 2005. A comparison of alternative methods for estimating the self-thinning boundary line. *Canadian Journal of Forest Research*, 35(6): 1507-1514.
- Zhang, J., Oliver, W.W. and Powers, R.F. 2013. Reevaluating the self-thinning boundary line for ponderosa pine (*Pinus ponderosa*) forests. *Canadian Journal of Forest Research*, 43(10): 963-971.

MODELO PARA ESTIMAR EL CRECIMIENTO EN DIÁMETRO NORMAL DE *Pinus montezumae* EN PUEBLA, MÉXICO

DIAMETER AT BREAST HEIGHT GROWTH MODEL FOR *Pinus montezumae* IN PUEBLA, MEXICO

¹Tamarit Urias JC, ¹Ordoñez Prado C, ²Hernández-Ramos J, ²García-Cuevas X, ³Quiñonez Barraza G

¹Centro de Investigación Regional Golfo Centro del INIFAP km. 56.5 Carretera Federal México-Puebla, C.P. 74100 San Martinito, Tlahuapan, Puebla, México.

²Centro de Investigación Regional Sureste del INIFAP km 25 Carretera Chetumal-Bacalar, C.P. 77930, Chetumal, Quintana Roo, México,

³Centro de Investigación Regional Norte Centro del INIFAP km 5 Carretera Durango-El Mezquital, C.P. 43000 Durango, Durango, México

Autor para correspondencia: tamarit.juan@inifap.gob.mx

RESUMEN

En la administración forestal los modelos de crecimiento son la base científico-técnica que permiten planificar estrategias de manejo silvícola y realizar aprovechamientos maderables sostenibles en el tiempo. El diámetro normal es una de las principales variables de los árboles que tiene alta correlación con otros atributos del árbol y del rodal. El objetivo fue generar un modelo para predecir en función de la edad el crecimiento en diámetro normal de *Pinus montezumae*. Se usaron las variables diámetro normal y edad procedentes de análisis troncal de una muestra de 81 árboles colectados en la región "Ixta-Popo" en Puebla, México. El ajuste estadístico se evaluó por regresión de 16 modelos de crecimiento utilizando el método de máxima verosimilitud con información completa con el procedimiento Model del paquete estadístico SAS 9.3. El mejor modelo se seleccionó considerando la significancia de los parámetros estimados y los estadísticos de bondad de ajuste R^2_{adj} , RCME, sesgo, logLik y AIC, sobre estos estadísticos se aplicó un sistema de calificación relativa y para cada modelo se obtuvo una calificación total. El modelo de crecimiento de Korsun tuvo la mejor calidad de ajuste y fue seleccionado para predecir el crecimiento en diámetro normal. Los valores de los estadísticos de ajuste fueron de 0.9124, 4.9885, -1,959, 0.0041, 1,299.64, respectivamente. El ICA máximo ocurrió a los 15 años con un crecimiento de 0.96 cm año^{-1} , el turno técnico sucede a los 31.6 años (IMA máximo de 0.79 cm año^{-1} y Dn de 25 cm). La ecuación generada es una herramienta de silvicultura cuantitativa para determinar en forma objetiva la tasa de crecimiento en diámetro normal, los incrementos, los tiempos de paso por categoría diamétrica y el turno técnico o el ciclo de corta para esta especie, lo que contribuye a mejorar su manejo técnico y aprovechamiento en la región bajo estudio.

Palabras clave: Análisis troncal, diámetro normal, tasa de crecimiento, silvicultura, turno técnico.

INTRODUCCION

El crecimiento e incremento en las dimensiones de los árboles de las especies maderables comerciales se predice mediante modelos de crecimiento, éstos son la base científico-técnica que permiten planificar estrategias de manejo silvícola y realizar aprovechamientos sostenibles en el tiempo; por esta razón es necesario contar con instrumentos para generar información actualizada sobre el crecimiento e incremento de las especies forestales de interés y valor comercial.

El diámetro normal es una de las variables más comunes e importantes de los árboles que se mide para tener idea sobre su tamaño (Kjell y Lennart, 2005; Bueno y Bevilacqua, 2010), además de ser fácil de medir tiene alta correlación con otros atributos del árbol y del rodal (Bueno y Bevilacqua, 2013). Por lo anterior, es esencial modelarlo adecuadamente para generar conocimiento sobre el crecimiento e incremento y así tomar decisiones informadas al planear y ejecutar prácticas silvícolas.

Los modelos de crecimiento en diámetro de los árboles de una especie en particular son uno de los componentes básicos y esenciales de los sistemas de crecimiento y rendimiento maderable, de utilidad para la planeación del manejo y aprovechamiento forestal al simular el desarrollo y producción de los rodales bajo diferentes alternativas silvícolas (Corral y Nívar, 2005; Bolzan *et al.*, 2014; Xu *et al.*, 2014; Moreno *et al.*, 2017). Estos modelos permiten estimar el tiempo mínimo requerido para que los árboles alcancen un determinado diámetro normal para que puedan ser aprovechados comercialmente (Sánchez-González *et al.*, 2005; Quiñonez *et al.*, 2015).

En particular, en México estos modelos tienen utilidad en la planeación y ejecución de programas de manejo forestal maderable, ya que permiten determinar en forma objetiva las tasas de crecimiento en diámetro normal, los incrementos, los tiempos de paso por categoría diamétrica y el turno técnico o bien el ciclo de corta en función de los diámetros de corta deseados para la cosecha final. Para generar este tipo de modelos se puede utilizar información generada a partir de la técnica de análisis troncal, la cual ha sido una parte integral de la medición del bosque y ha tenido amplias aplicaciones en silvicultura por más de un siglo al modelarse diferentes parámetros de crecimiento; esta técnica a pesar de ser laboriosa y demandar mucho tiempo para la medición de los anillos anuales de crecimiento de árboles muestra, proporciona series de crecimiento que caracterizan patrones de crecimiento individuales bastante precisos ya que está menos sujeto a errores de muestreo, esta información de crecimiento cronológico se usa para estimar y predecir el crecimiento en diámetro a diferentes edades de los árboles (Kariuki, 2002; Pretzsch *et al.*, 2013; Seo *et al.*, 2015).

Pinus montezumae Lamb. es una conífera que por su amplia distribución y abundancia principalmente en el Eje Neovolcánico transversal de México resulta de alto interés e importancia para el aprovechamiento comercial maderable; los principales usos de la madera de esta especie son en la construcción, obtención de chapa, celulosa, papel, durmientes, postes, muebles, duelas y extracción de resina; esta especie se ha establecido en plantaciones con propósitos de reforestación y restauración; los árboles de esta especie alcanzan alturas de 25 a 30 m, el crecimiento se reporta que va de rápido a moderado en un promedio altitudinal de 2,500 m y 800 mm anuales de precipitación (Perry, 1991; CONAFOR, 2012). Pese al escenario e importancia referidos, son pocos los estudios que se han realizado orientados a generar herramientas silvícolas cuantitativas que permitan modelar adecuadamente, predecir y conocer con certidumbre el crecimiento e incremento maderable de *P. montezumae*. Por este motivo, el objetivo del presente trabajo fue desarrollar un modelo matemático a partir de información proveniente de análisis troncal para predecir en función de la edad el crecimiento e incremento en diámetro normal de *P. montezumae* en la Unidad de Manejo Forestal 2101 (“Ixta-Popo”) en Puebla, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó información de diámetro normal (Dn en cm) y la edad (E en años) proveniente de análisis troncal de una muestra de 81 árboles de *P. montezumae* colectada en predios forestales de la Unidad de Manejo Forestal 2101 que corresponde a la región “Ixta-Popo” en Puebla México. Los árboles seleccionados fueron dominantes y codominantes, libres de defectos, sanos, bien conformados; además, incluyó diferentes categorías de diámetro normal y de altura total, así como las condiciones de crecimiento que cubrieron las diferentes calidades de estación. Cada árbol seleccionado fue derribado y seccionado, obteniéndose rodajas de aproximadamente 5 cm de espesor a la altura del tocón (0.3 m), a la del diámetro normal (1.3 m) y posteriormente a medidas comerciales hasta la primer rama viva del árbol, después a cada metro hasta que el diámetro mínimo en el fuste fue de 5 cm. El procedimiento metodológico y materiales para aplicar la técnica de análisis troncal, así como el conteo y la medición de los anillos anuales de crecimiento, además de los diámetros a diferentes edades y alturas por cada árbol para el análisis epidométrico se realizó conforme a lo que indican Mass (1970), Klepac (1976), van Laar y Akça (2007) y Pretzsch *et al.* (2013). La información y mediciones realizadas fueron registradas en un formato predefinido para posteriormente ser vaciadas e integradas en una base de datos en Excel®, la cual posteriormente fue auditada gráficamente y corregida para tener comportamientos gráficos lógicos de las variables analizadas y así poder realizar el procesamiento estadístico.

En el Cuadro 1 se presentan un resumen de las estadísticas básicas de las variables analizadas de la muestra procesada, compuesta por un total de 81 series de crecimiento equivalentes a 648 pares de observaciones de diámetro normal-Edad (Dn-E).

Cuadro 1: Estadísticas básicas descriptivas de las variables analizadas.

Variable	Media	Mínimo	Máximo	D.E.	C.V.
Diámetro normal (Dn)	28.87	0.00	65.30	14.8413	51.4099
Edad (E)	40.00	10.00	70.00	20.0177	50.0442

Dónde: DE es la desviación estándar; CV es el coeficiente de variación.

Para ajustar la relación diámetro-edad se evaluaron por regresión estadística 16 modelos de crecimiento clásicos reportados en la literatura forestal especializada sobre biometría y modelación forestal (Zeide, 1993; Prodan *et al.*, 1997; Kiviste *et al.*, 2002; Burkhart y Tomé, 2012; Panik, 2013) (Cuadro 2).

Cuadro 2: Modelos de crecimiento en diámetro normal evaluados.

Modelo	Nombre	Expresión matemática
M1	Schumacher	$Dn = a \exp(b / E)$
M2	Hossfeld I modificado	$Dn = \frac{a}{(a + b E)^2}$
M3	Weber	$Dn = a [1 - \exp(-b E)]$
M4	Chapman-Richards	$Dn = a [1 - \exp(-b E)]^c$
M5	Hossfeld IV	$Dn = a \left(\frac{E^c}{b + E^c} \right)$
M6	Weibull	$Dn = a [1 - \exp(-b E^c)]$
M7	Korf	$Dn = a \exp\left(\frac{-b}{E^c}\right)$
M8	Gompertz	$Dn = \frac{\exp[a - b \exp(-c E)]}{a}$
M9	Logístico	$Dn = \frac{E}{[1 + b \exp(-c E)]}$
M10	Strand generalizado	$Dn = \frac{\left(\frac{E}{a + b E}\right)^c}{a \{1 - \exp(-b E)\}}$
M11	Bass	$Dn = \frac{1 + c \exp(-b E)}{1 + c \exp(-b E)}$
M12	Korsun	$Dn = \exp[a + b \log(E) - c \log(E)^2]$
M13	Levakovic III	$Dn = a \left(\frac{E^2}{b + E^2} \right)^c$
M14	Todorovic IV	$Dn = a \left[\frac{E}{E + b} \right]^{c \left(1 + \frac{1}{E}\right)}$
M15	Monomolecular	$Dn = a [1 - \exp(b - c E)]$
M16	Kövesy	$Dn = a \left[\frac{1 - \exp(-b E)}{b} - \frac{(1 - \exp(-c E))}{c} \right]$

Dónde: a, b, c: son los parámetros a estimar por regresión; *exp*: es la función exponencial; *log*: es el logaritmo natural.

La estructura matemática de los modelos es de la forma general $Dn_{ij} = f(E_{ij}, b) + \varepsilon_{ij}$, con $i=1, \dots, n$; en donde Dn_{ij} es la j -ésima observación del diámetro normal (cm) en el árbol i sin corteza asumida como la variable respuesta o dependiente, E_{ij} es la j -ésima observación de la variable independiente o predictora que corresponde a la edad (años) del árbol i , b es el vector de parámetros del modelo, ε_{ij} es el error de la j -ésima observación en el árbol i que se asume independiente y normalmente distribuido con media cero y varianza constante.

El ajuste estadístico se realizó por regresión utilizando el método de máxima verosimilitud con información completa (FIML) con el procedimiento Model del paquete estadístico SAS/ETS v. 9.3 (SAS Institute Inc. 2011). Para seleccionar al mejor modelo se consideró la significancia de los parámetros estimados ($p < 0.05$) y se tomaron en cuenta los estadísticos de bondad de ajuste: coeficiente de determinación ajustado por el número de parámetros (R^2_{adj}), raíz del cuadrado medio del error (RCME), el sesgo, el valor de la verosimilitud ($\log Lik$) y el criterio de información de Akaike (AIC), los cuales fueron calculados de la siguiente manera:

$$R^2_{adj} = 1 - (1 - R^2) \left(\frac{n-1}{n-p} \right)$$

$$RCME = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n-p}}$$

$$\text{siendo } R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}$$

$$\text{Sesgo} = \sum_{i=1}^n \frac{Y_i - \hat{Y}_i}{n}$$

$$AIC = 2p + n \ln \left(\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n} \right)$$

Donde \hat{Y}_i , Y_i y \bar{Y}_i son los valores estimados, observados y promedios del diámetro normal (Dn) respectivamente, n es el número total de observaciones usadas en el ajuste de los modelos, p es el número de parámetros del modelo.

Para apoyar la evaluación de la calidad de ajuste y seleccionar al mejor modelo, sobre estos estadísticos se aplicó un sistema de calificación relativa consistente en jerarquizar cada estadístico de cada modelo, asignando valores consecutivos del 1 al 16 en función al orden de importancia (1 correspondió al mejor valor del estadístico y 16 al valor más pobre), sumando los valores de las calificaciones de los estadísticos se obtuvo una calificación total para cada modelo, por comparación se identificaron los mejores modelos que fueron los del más bajo valor en la calificación total.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los parámetros en todos los modelos probados fueron significativos (excepto el parámetro b del modelo M15) (Cuadro 3), por lo que en primera instancia se asume que el ajuste en todos los modelos fue bueno y por tanto son adecuados para usarse en la estimación del diámetro normal en función de la edad.

Cuadro 3: Valores de los parámetros del ajuste de los modelos de crecimiento evaluados.

Modelo	Parámetro	Estimador	EE	Valor de t	Significancia*
Schumacher (M1)	a	71.91859	1.2402	57.99	<.0001
	b	32.01134	0.8325	38.45	<.0001
Hossfeld I modificado (M2)	a	3.10627	0.0807	38.51	<.0001
	b	0.101736	0.00152	67.05	<.0001
Weber (M3)	a	123.1374	13.5867	9.06	<.0001
	b	0.007002	0.000945	7.41	<.0001
Chapman-Richards (M4)	a	58.55988	2.7526	21.27	<.0001
	b	0.029388	0.00357	8.24	<.0001
	c	1.695527	0.1571	10.79	<.0001
Hossfeld IV (M5)	a	70.00763	5.0709	13.81	<.0001
	b	6.090718	0.2727	22.34	<.0001
	c	1.594062	0.1088	14.65	<.0001
Weibull (M6)	a	54.2882	2.4216	22.42	<.0001
	b	0.004247	0.000881	4.82	<.0001
	c	1.439435	0.0742	19.4	<.0001
Korf (M7)	a	141.6533	31.0961	4.56	<.0001
	b	11.91192	1.8564	6.42	<.0001
	c	0.559161	0.0817	6.84	<.0001
Gompertz (M8)	a	3.925776	0.0199	197.48	<.0001
	b	3.555087	0.2078	17.11	<.0001
	c	0.050692	0.00265	19.12	<.0001
Logístico (M9)	a	46.48443	0.5906	78.71	<.0001
	b	14.13962	1.4311	9.88	<.0001
	c	0.086113	0.00368	23.41	<.0001
Strand generalizado (M10)	a	3.383068	0.3507	9.65	<.0001
	b	0.146286	0.0659	2.22	0.0268
	c	2.348005	0.5195	4.52	<.0001
Bass (M11)	a	51.775	1.5511	33.38	<.0001
	b	0.052744	0.00511	10.32	<.0001
	c	3.754522	0.7299	5.14	<.0001
Korsun (M12)	a	-3.54578	0.6057	-5.85	<.0001
	b	2.920588	0.3212	9.09	<.0001
	c	0.278173	0.0424	6.56	<.0001
Levakovic III (M13)	a	63.25754	2.2857	27.68	<.0001
	b	2645.356	585.6	4.52	<.0001
	c	0.71868	0.0626	11.47	<.0001

Todorovic IV (M14)	a	94.78816	7.5814	12.5	<.0001
	b	34.14399	12.5229	2.73	0.0066
	c	1.756017	0.3519	4.99	<.0001
Monomolecular (M15)	a	100.8032	12.3326	8.17	<.0001
	b	0.014979	0.0112	1.34	0.1823
	c	0.009318	0.00163	5.72	<.0001
Kövessy (M16)	a	0.862231	0.022	39.2	<.0001
	b	0.007001	0.000945	7.41	<.0001
	c	4.54E+41	3.86E-84	1.18E+125	<.0001

Donde: EE es el error estándar. *Nivel de probabilidad 5% ($\alpha=0.05$).

Sin embargo, con base en los estadísticos de bondad de ajuste de cada modelo y el resultado del sistema de calificación implementado (Cuadro 4), sugiere que comparativamente el modelo M12 que corresponde al de Korsun, también denominado de la parábola logarítmica, tuvo las mejores propiedades y la mayor calidad de ajuste al obtener la más baja calificación total (9), dado por presentar el valor más alto en el R^2_{adj} que es indicativo que el modelo explica en mayor grado la variabilidad total presente en la variable dependiente. También tuvo la más alta precisión en las estimaciones dado por su menor valor en la RECM; adicionalmente, presentó el segundo menor sesgo, que es indicativo que se tiene la mínima desviación del modelo con respecto a los valores observados. Sus valores en el AIC y logLik ocuparon el primero y cuarto orden respectivamente; además, los tres parámetros fueron altamente significativos. Por estas razones, se consideró como el modelo apropiado para estimar el diámetro normal sin corteza de los árboles de *P. montezumae*.

El segundo mejor modelo fue el M5 seguido por el M10 y el M2 que corresponden a los de Hossfeld IV, de Strand generalizado y al de Hossfeld I modificado, respectivamente. Se corroboró que el modelo M12 presentó la mejor calidad predictiva ya que su comportamiento gráfico fue biológicamente realista (Figura 1), pues ofrece una mejor tendencia del crecimiento en diámetro normal con una lógica consistente y razonable.

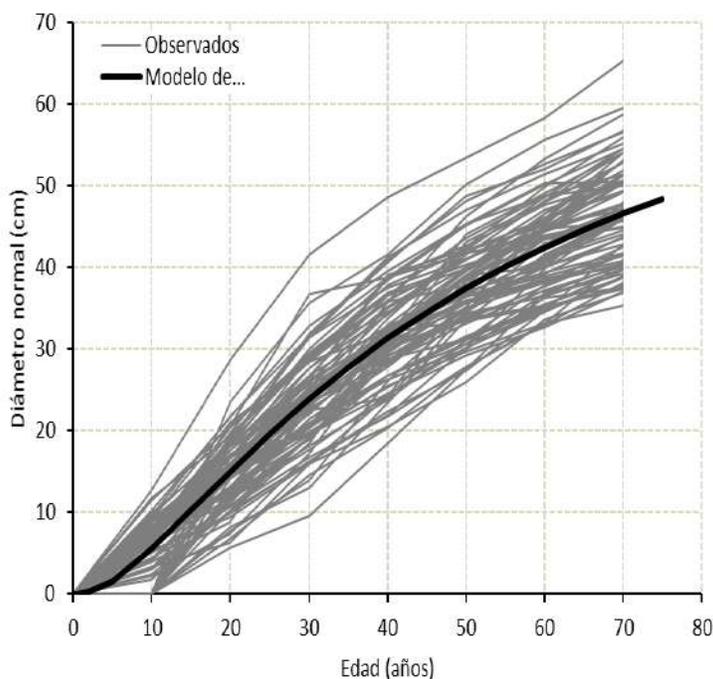


Figura 1. Patrón del crecimiento en diámetro normal observado y tendencia estimada con el modelo de Korsun (M12) seleccionado para estimar el diámetro normal en función de la edad.

El modelo de Korsun también fue seleccionado como el mejor por Stajić *et al.* (2016) para generar curvas de índice de sitio de tipo anamórficas para *Fagus moesiaca* en la región de Žagubica, al este

de Serbia y por Marmolejo *et al.* (2011) para modelar la productividad a través del índice de sitio en *Pinus greggii* que crece en Santiago, Nuevo León, México; Hessenmöller *et al.* (2018) usó este modelo para estimar el incremento en diámetro de especies latifoliadas en la región de Thuringia, Alemania.

Cuadro 4: Estadísticos de bondad de ajuste de los modelos de crecimiento evaluados y calificación total obtenida para cada modelo.

Modelo	RCME	Sesgo	logLik	AIC	R ² _{adj}	Calific. Total
Schumacher (M1)	5.1153	0.2466	-1976	1298.53	0.9079	39
Hossfeld I modificado (M2)	4.9885	-0.0327	-1960	1298.43	0.9124	15
Weber (M3)	5.1475	-0.2604	-1980	1298.55	0.9067	45
Chapman-Richards (M4)	4.9893	-0.0073	-1959	1299.64	0.9123	19
Hossfeld IV (M5)	4.9887	-0.0057	-1959	1299.64	0.9124	13
Weibull (M6)	4.9927	-0.0205	-1960	1299.65	0.9122	31
Korf (M7)	4.9929	0.0110	-1960	1299.65	0.9122	32
Gompertz (M8)	5.0487	-0.1395	-1967	1299.71	0.9102	44
Logístico (M9)	5.2462	-0.2937	-1992	1299.95	0.9031	64
Strand generalizado (M10)	4.9890	0.0042	-1959	1299.64	0.9124	14
Bass (M11)	5.0112	-0.0607	-1962	1299.67	0.9116	39
Korsun (M12)	4.9885	0.0041	-1959	1299.64	0.9124	9
Levakovic III (M13)	4.9908	-0.0101	-1960	1299.65	0.9123	26
Todorovic IV (M14)	4.9902	0.0077	-1960	1299.64	0.9123	23
Monomolecular (M15)	5.1128	0.0001	-1975	1299.79	0.9079	37
Kövesy (M16)	5.1514	-0.2603	-1980	1299.84	0.9066	58

Por su parte, Barzdajn (2017) reporta que este mismo modelo fue seleccionado para estimar la altura total en función del diámetro normal en especies forestales maderables europeas de las regiones de Trzebieszowice y Chełmsko en Polonia. En tanto que Hernández (2012) reporta que el mejor modelo para estimar el diámetro normal en árboles de *P. montezumae* en el sureste de Hidalgo, México fue el de Korf y determinó que el turno absoluto ocurre a los 41 años, edad a la que se alcanza un diámetro de 26.8 cm, el ICA máximo fue de 0.93 a la edad de 21 años y el IMA máximo de 0.65 cm año⁻¹.

Utilizando el modelo M12 se determinó que el incremento corriente anual (ICA) máximo se presenta a los 15 años, con un crecimiento de 0.96 cm año⁻¹, el turno técnico, que corresponde al cruce de la curva del ICA con la del incremento medio anual (IMA), sucede a los 31.6 años (edad de mayor crecimiento en Dn), condición que equivale a tener un IMA máximo de 0.79 cm año⁻¹ y un Dn de 25 cm (Figura 2), el cual desde el punto de vista de interés comercial para su aprovechamiento por la industria maderera y principalmente la de aserrío es un turno corto, por tanto poco práctico, ya que el volumen y utilidad serían bajas. En este sentido, pueden especificarse diferentes turnos de aprovechamiento en función del uso industrial al que se destinará la materia prima a cosechar, tal es el caso, por ejemplo de la trocería para aserrío, en donde el diámetro de determinada medida comercial toma relevancia.

Bajo este escenario y aplicando el modelo de crecimiento de Korsun, se puede estimar la edad a la que se alcanzan las dimensiones de determinados diámetros requeridos comercialmente. Este hecho, en la práctica se traduce a estimar las diferentes edades o su equivalente en tiempos de paso por categoría diamétrica; así, los tiempos de paso promedio para esta especie en las categorías diamétricas de la 25 a la 55 cm, con clases de 5 cm y considerando el centro de cada clase, fueron estimados en 6.3, 7.1, 8.3, 9.9, 12.5, 16.8 y 26.7 años, respectivamente, esta situación sugiere que el comportamiento de las diferentes edades estimadas para las categorías diamétricas comerciales es exponencial.

Este modelo es una herramienta para aplicar silvicultura cuantitativa en la planeación y ejecución de programas de manejo forestal con fines maderables, ya que puede usarse para determinar en forma objetiva la tasa de crecimiento en diámetro normal, los incrementos, los tiempos de paso por categoría diamétrica, el turno técnico o bien el ciclo de corta (edad de cosecha) para esta especie en función de los diámetros de corta deseados para algún uso específico en la cosecha final, lo que contribuye a mejorar su manejo técnico y su aprovechamiento en la zona de estudio.

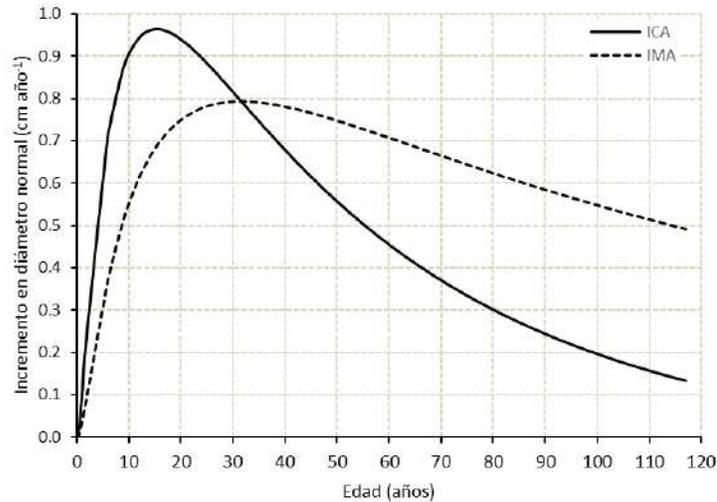


Figura 2. Curva del ICA e IMA en diámetro normal para *P. montezumae* obtenidos con el modelo de Korsun en la UMAFOR 2101 (“Ixta-Popo”) de Puebla, México.

CONCLUSIONES

El modelo de crecimiento seleccionado como el mejor por su calidad predictiva fue el de Korsun, el cual es una herramienta de silvicultura cuantitativa de utilidad práctica y operativa para determinar con precisión y certidumbre la tasa de crecimiento en diámetro normal en árboles de *P. montezumae* en la UMAFOR 2101 Ixta-Popo de Puebla, México. El modelo permite estimar los tiempos de paso por categoría diamétrica y el turno técnico, lo que contribuye a mejorar el manejo silvícola y el aprovechamiento de esta especie en la zona de estudio por parte de los técnicos forestales. Puede también ser de utilidad como componente de un sistema de crecimiento y rendimiento maderable.

LITERATURA CITADA

- Barzdajn, W. 2017. Assessment of functions describing the dependence of diameter at breast height and tree height in stands on the transformation of forest management to selection forest in the Sudeten. *Acta Scientiarum Polonorum*, 16(3): 165-176.
- Bolzan, M.F., Boechat, C.P.S. and Fernandes da S.G. 2014. Individual tree growth models for eucalyptus in northern Brazil. *Scientia Agricola*, 71(3): 212-225.
- Bueno-López, S., and Bevilacqua, E. 2010. Modeling stem increment in individual *Pinus occidentalis* Sw. trees in La Sierra, Dominican Republic. *Forest Systems*, 19(2): 170-183.
- Bueno-López, S., and Bevilacqua, E. 2013. Diameter growth prediction for individual *Pinus occidentalis* Sw. trees. *IForest*, 6: 209-216.
- Harold E. Burkhart, H.E. and Tomé, M. 2012. *Modeling forest trees and stands*. Springer Science & Business Media. New York, USA. 458 p.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2012. *Pinus montezumae* Lamb. <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/971Pinus%20montezumae.pdf> (Consultado 8 de mayo de 2018).
- Corral, R.S., y Návar, Ch.J.J. 2005. Análisis del crecimiento e incremento de cinco pináceas de los bosques de Durango, México. *Madera y Bosques*, 11(1): 29-47.
- Hernández, R.A. 2012. Determinación del turno e índice de sitio para *Pinus montezumae* Lamb., en el sureste del estado de Hidalgo. Tesis profesional, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México. 62 p.
- Hessenmöller, D., Bouriaud, O., Fritzlar, D., Elsenhans, A.S. and Schulze, E.D. 2018. A silvicultural strategy for managing uneven-aged beech-dominated forests in Thuringia, Germany: a new approach to an old problem. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 13 p. DOI: 10.1080/02827581.2018.1453081.
- Kariuki, M. 2002. Height estimation in complete stem analysis using annual radial growth measurements. *Forestry*, 75(1): 63-74.

- Kiviste, A., Álvarez, G.J.G., Rojo-Alboreca, A., y Ruiz, G.A.D. 2002. Funciones de crecimiento de aplicación en el ámbito forestal. Ministerio de Ciencia y Tecnología. INITAA., Madrid, España. 190 p.
- Kjell, K., and Lennart, N. 2005. Predicting the future diameter of stems in Norway spruce stands subjected to different thinning regimes. *Canadian Journal of Forest Research*, 35(6): 1331-1341.
- Klepac, D. 1976. Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 365 p.
- Marmolejo, J.G., Méndez, C.H. y Cantú, A.C. 2011. Impacto de *Phellinus pini* (Brot.) Bondartsev & Singer en bosques de *Pinus greggii* Engelm. del estado de Nuevo León. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 2(6): 85-93.
- Mass, P.J. 1970. Instructivo para realizar análisis troncales. Boletín Divulgativo 23. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. SAG. México. 16 p.
- Moreno, P.C., Palmas, S., Escobedo, F.J., Cropper, W.P., and Gezan, S.A. 2017. Individual-tree diameter growth models for mixed *Nothofagus* second growth forests in southern Chile. *Forests*, 8(506): 19 p.
- Panik, M.J. 2013. Growth curve modelling: theory and applications. John Wiley & Sons, Incorporated. Somerset, N.J., U.S.A. 413 p.
- Perry, J.P.Jr. 1991. The pines of Mexico and Central America. Timber Press. Portland, U.S.A. 231 p.
- Pretzsch, H. 2009. Forest dynamics, growth and yield: from measurement to model. Springer-Verlag Berlin. Heidelberg, Germany. 664 p.
- Prodan, M., Peters, R., Cox, F., y Real, P. 1997. Mensura Forestal. Proyecto IICA BMZ/GTZ sobre Agricultura, Recursos Naturales y Desarrollo Sostenible. San José, Costa Rica. 586 p.
- Quiñonez, B.G., De los Santos P.H.M., y Álvarez G.J.G. 2015. Crecimiento en diámetro normal para *Pinus* en Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 6(29): 108-125.
- Sánchez-González, M., Tomé, M., y Montero, G. 2005. Modelling height and diameter growth of dominant cork oak trees in Spain. *Annals of Forest Science*, 62(7): 633-643.
- Seo, Y.W., Lee, D.S., and Choi, J.K. 2015. Growth analysis of Korean red pine (*Pinus densiflora*) by stem analysis in the eastern region of Korea. *Journal of Forest and Environmental Science*, 31(1):47-54.
- Stajić, B., Janjatović, Ž., Aleksić, P., Baković, Z., Kazimirović M., and Milojković, N. 2016. Anamorphic site index curves for moesian beech (*Fagus × taurica* Popl.) in the region of žagubica, eastern Serbia. *Šumarski List*, 5-6: 251-258.
- Statistical Analysis System (SAS). SAS Institute Inc. 2011. SAS/STAT® 9.3 User's Guide. Cary, NC. SAS Institute Inc.
- van Laar, A., and Akça, A. 2007. Forest mensuration. Springer. Second edition. Dordrecht, The Netherlands. 385 p.
- Xu, H., Sun, Y., Wang, X., Fu, Y., Dong, Y., and Li Y. 2014. Nonlinear mixed-effects (NLME) diameter growth models for individual china-fir (*Cunninghamia lanceolata*) trees in southeast China. *PLoS ONE*, 9(8): e104012.
- Zeide, B. 1993. Analysis of growth equations. *Forest Science*, 39 (3): 594-616.

**INVENTARIO Y MAPEO DE VARIABLES FORESTALES MEDIANTE MUESTREO
TRADICIONAL Y SENSORES REMOTOS EN QUINTANA ROO, MÉXICO**
INVENTORY AND MAPPING OF FOREST VARIABLES THROUGH TRADITIONAL SAMPLING AND
REMOTE SENSORS IN QUINTANA ROO, MEXICO

¹Martínez-Ángel L, ²García-Cuevas X, ²Hernández-Ramos J, ¹Pérez-Miranda R, ¹González-
Hernández A, ³Hernández-Ramos A

¹INIFAP-Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de
Ecosistemas Forestales,

²INIFAP-Campo Experimental Chetumal.

³INIFAP-Campo Experimental Saltillo.

Autor de correspondencia: xavier_garciacuevas@yahoo.com.mx.

RESUMEN

En la actualidad los sensores remotos han adquirido relevancia para estimar, evaluar y monitorear la distribución espacial de los recursos naturales en ecosistemas terrestres de manera más objetiva. El objetivo fue generar herramientas estadísticas para estimar, monitorear y evaluar el área basal (AB), volumen (V) y biomasa (B) en función de variables espectrales e índices de vegetación derivados de imágenes Landsat 7 ETM+ en Quintana Roo, México. La metodología incluyó; generar un análisis de Matriz de Correlación de Pearson, ajustar modelos de regresión con el procedimiento *STEPWISE*, generar mapas de distribución espacial del AB , V y B , además de la comparación del inventario convencional con el inventario alternativo mediante sensores remotos, el primero emplea el estimador del Muestreo Simple al Azar (MSA) y el segundo el estimador de razón y de regresión. Se obtuvieron coeficientes de correlación (r) mayor del índice de diferencia normalizada ($NDVI$) de 0.35, 0.39 y 0.39 para AB , V y B ; los modelos de regresión obtenidos con el procedimiento *STEPWISE* presentaron coeficientes de determinación ajustada (R_{adj}^2) mayor de 0.28, 0.32 y 0.32 para AB $m^2 ha^{-1}$, V $m^3 ha^{-1}$ y B $Mg ha^{-1}$, respectivamente. El estimador de regresión ($Ereg$) presentó inventarios totales más conservadores, además construyeron intervalos de confianza de menor amplitud con respecto al MSA y al $ERaz$. El $EReg$ presentó valores de precisión en AB , V y B de 2.73 %, 2.92 % y 2.71 %, respectivamente. Estos resultados sugieren un inventario conservador que puede mejorar el proceso de planificación de los recursos forestales.

Palabras clave: *Biomasa aérea, muestreo, sensores remotos, regresión, variables forestales.*

INTRODUCCION

En la actualidad los sensores remotos han adquirido mayor relevancia para evaluar y monitorear la distribución espacial de los recursos naturales en los ecosistemas terrestres de manera objetiva (Aslan et al., 2016). Los bosques y selvas constantemente se encuentran en riesgo de degradación por las actividades antropogénicas y naturales, siendo los bosques tropicales los más propensos (Martínez-Ramos et al., 2007), en este contexto es necesario generar herramientas cuantitativas que permitan estimar las variables forestales; área basal (AB), volumen (V), biomasa (B) (Martínez-Sánchez, 2016). Esta información permite tomar criterios para conservar, manejar y aprovechar los recursos naturales de manera sostenible (Acosta et al., 2017).

La estimación de las variables forestales se realiza mediante inventarios basados en mediciones directas por medio de un muestreo (Solberg et al., 2013; Ortiz-Reyes et al., 2015), y de forma indirecta por sensores remotos con el apoyo de datos de campo donde se construyen mediante métodos estadísticos precisos para estimar, evaluar y monitorear los recursos forestales (Acosta et al., 2017; Nelson et al., 2017), lo que hace posible observar mediante mapas cartográficos la distribución espacial de las variables forestales (Foody, Boyd y Cutler, 2003).

En virtud de lo anterior, la presente investigación tiene la finalidad de estimar el área basal (AB), volumen maderable (V) y biomasa forestal aérea (B) en diferentes ecosistemas de selvas; bajas, medianas y altas mediante información derivado del sensor Landsat ETM y del Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFyS) en el Estado de Quintana, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio: El trabajo se realizó en el estado de Quintana Roo. La extensión territorial es de 4, 455,627.42 hectáreas, de las cuales 3,773,023.27 hectáreas se consideran como superficie forestal, lo que representa 84.68 % del Estado; las restantes 682,604.15 hectáreas son áreas no forestales, que incluyen áreas agrícolas, pastizales, asentamientos humanos, cuerpos de agua y áreas desprovistas de vegetación (INEGI, 2010; CONAFOR, 2014). El clima que predomina es Am que corresponde al clima cálido húmedo con abundantes lluvias en verano y el Aw que corresponde al clima cálido subhúmedo con diferentes variaciones en la presencia de lluvias invernales (INEGI, 2015) que sustenta selvas medianas y altas, selvas bajas, otras áreas forestales y en menor proporción los (CONAFOR, 2014). Su relieve es plano, con una escasa elevación, la altitud promedio es de 10 metros sobre el nivel del mar (ASNM). cuenta con una temperatura media anual de 22 °C (CONAFOR, 2014) y precipitación media anual de 1325 mm (INEGI, 2015).

Datos del inventario nacional forestal y de suelos: La estimación del área basal ($AB \text{ ha}^{-1} \text{ m}^2$), volumen ($V \text{ ha}^{-1} \text{ m}^3$) y biomasa ($B \text{ ha}^{-1} \text{ Mg}$) derivó de información (diámetro y altura) de 798 conglomerados o Unidad de Muestreo Primario (UMP) circulares de 1 ha, medidos en 2004, 2005 y 2006 en selvas bajas, medianas y altas (CONAFOR, 2014). Cada UMP está integrado por cuatro unidades de muestreo secundarias (UMS) rectangulares de 400 m^2 (CONAFOR, 2014).

En todos los arboles de cada UMS se midió el diámetro normal (D) igual o mayor a 7.5 cm, y la altura total (H), con esta información se estimó el: AB (m^2), V (m^3) y B (kg) a nivel árbol y se extrapolaron a hectárea (Martínez *et al.*, 2016; Velasco-Bautista *et al.*, 2016). Para estimar el AB de cada árbol utilizando la expresión [1]. Donde, AB = área basal en ($\text{m}^2 \text{ ha}^{-1}$), π = constante con valor de 3.1416, D = es el diámetro normal con corteza (cm).

$$AB = \left(\frac{\pi}{40,000} \times D^2 \right) \quad [1]$$

El volumen total árbol (VTA) y el volumen fuste total (VFT) árbol se estimó utilizando las expresiones de la forma 2 (Vargas-Larreta, 2016) y 3 (SAG, 1976).

$$VTA = \alpha_0 D^{\alpha_1} H^{\alpha_2} \quad [2]$$

$$VFT = [EXP(\beta_0 D^{\beta_1} H^{\beta_2}) \times 1.2] \quad [3]$$

donde, VTA = volumen total árbol, (m^3) D = diámetro normal con corteza (cm), H = altura total, 1.2 es el factor de forma para convertir VFT a VTA .

La biomasa total aérea (B) de los arboles medidos en selvas medianas y altas se estimó mediante la expresión [4] y para selvas bajas con la expresión [5] (Torres y Guevara, 2002), el cual utiliza como variable independiente el VTA .

$$B = (519.408 + 0.896 \times VTA) \quad [4] \text{ y } B = (12.225 + 313.036 \times VTA) \quad [5]$$

donde, B = biomasa total aérea (kg), VTA volumen total árbol (m^3).

Pre-procesamiento de la información espectral del sensor Landsat 7 ETM: Se adquirieron 3 imágenes Landsat 7 ETM+ a nivel LT1 con resolución de 30 x 30 m (900 m^2) de los años 2004, 2005 y 2006 (USGS, 2017). Se eliminaron los efectos atmosféricos, de radianza y de reflectancia en cada una de las imágenes mediante el software ENVI 5.1 con el módulo Radiometric Calibration y Flassh. En la primera etapa del procedimiento de corrección atmosférica, los números digitales (ND) se convirtieron en radiancia mediante expresión 6 (Soudani *et al.*, 2006).

$$L_{sat}^i = \left[\left(\frac{LMAX^i + LMIN^i}{DCMIN^i - DCMAX^i} \right) \times (DC^i - DCMIN^i) + LMIN^i \right] \quad [6]$$

donde, L_{sat}^i = radiancia expresada en $\text{W}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$, $LMAX^i$ = ganancia x 255, $LMIN^i$ = compensación, $DCMIN^i$ = valores mínimos de pixel, $DCMAX^i$ = valores máximos de pixel, DC^i = valores de pixel.

En la segunda etapa los valores de radiación se convirtieron en unidades de reflectancia descontando el efecto de la radiación refractada por la atmósfera y captada por el sensor utilizando la expresión 7, con el propósito de utilizar imágenes con múltiples capturas en el tiempo (Soudani *et al.*, 2006).

$$p^i = \frac{[d^2 \pi (L_{sat}^i - L_p^i)]}{[T_V^i (T_Z^i E_D^i \cos \theta_s + E_{down}^i)]} \quad [7]$$

Donde p^i = reflectancia planetaria adimensional, T_V^i y T_Z^i = transmitancia de la atmósfera en las direcciones de vista e iluminación, E_{down}^i = radiación difusa, E_0^i = radiación exoatmosférica que entra en la atmósfera, θ_s = ángulo zenital del sol, D = distancia normalizada de la tierra-sol cuando las imágenes fueron adquiridas, L_p^i = radiación de camino debido a los efectos atmosféricos.

Variabes espectrales e índices de vegetación: Los valores de reflectancia de las variables espectrales utilizadas fueron cinco bandas de la imagen Landsat ETM+: azul (A), verde (V), rojo (R), infrarrojo cercano (IRC), infrarrojo medio (IRM), y el índice de diferencia normalizada (NDVI) calculado con la expresión [8] (Acosta et al., 2017; Torres-Vivar et al., 2017), todas fueron extraídas de las coordenadas UTM centrales de las UMS1 como un valor promedio de los pixeles correspondiente a cada UMP de 10,000 m², mediante el procedimiento del comando Zonal Statistics as Table del programa ArcMap versión 10.2®.

$$NDVI = \frac{(IRC-R)}{(IRC+R)} \quad [8]$$

donde, NDVI = índice de diferencia normalizada, R banda rojo, IRC banda infrarrojo cercano.

Análisis estadísticos de las variables de campo y de imágenes Ladsat ETM+: Mediante un análisis de Matriz de Correlación de Pearson se estudiaron las correlaciones asociadas entre las variables forestales (respuestas) con las variables espectrales e índices de vegetación (predictoras (Acosta et al., 2017).

El método de ajuste utilizado para construir modelos de *regresión* fue el procedimiento estadístico de *STEPWISE* (SAS, 2008), este procedimiento define un modelo final con las mejores propiedades estadísticas para estimar: AB (m² ha⁻¹), V (m³ ha⁻¹) y B (Mg ha⁻¹). La estructura del modelo se expresa en la expresión [9] (Ortiz-Reyes et al., 2015; Zhang, 2016).

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + \varepsilon_i \quad [9]$$

donde, Y_i = variable forestal de interés (B Mg ha⁻¹, V m³ ha⁻¹ y AB m² ha⁻¹), X_i bandas; A, V, R, IRC, IRM, NDVI, β_i coeficientes de regresión, ε_i vector de error aleatorio.

Con la finalidad de seleccionar y medir la capacidad predictiva de los modelos se evaluaron con tres indicadores de ajuste: i) mayor valor de coeficiente de determinación ajustado (R²_{adj}); ii) menor valor de la raíz del cuadrado medio de error (RMSE); iii) valor de probabilidad de rechazo en la prueba de hipótesis de los parámetros menor al 0.05 de confiabilidad (López-Serrano et al., 2015; Acosta et al., 2017). Los modelos más precisos fueron utilizados para generar mapas que describen la distribución espacial de las variables forestales mediante la calculadora Raster del programa ArcMap versión 10.2® (Torres-Vivar et al., 2017).

Estimadores: La superficie utilizada para determinar el inventario total en AB, V y B fue de 3,372,743.83 ha, corresponden a las selvas bajas, medianas y altas (CONAFOR, 2014), para ello se emplearon estimadores clásicos (inventario tradicional) basados en diseños; Muestreo Simple al Azar (MSA) y, los basados en modelos; Estimadores de Razón (ERaz) y de Regresión (Ereg), (Roldán-Cortés et al., 2013; Ortiz-Reyes et al., 2015). En el Cuadro 1 se muestra las expresiones matemáticas de las ecuaciones que describen a los estimadores del MSA, ERaz y Ereg.

A continuación, se describe el procedimiento utilizado para calcular el intervalo de confianza superior e inferior (L.S y L.I) para la media (\bar{y}) del AB, V y B con su respectiva precisión (P. %) en por ciento y el inventario total (m³ ha⁻¹), correspondiente para los estimadores muestrales (MSA, ERaz y EReg) utilizado en este estudio. El L.S y L.I se calculó con expresión 24.

Cuadro 1. Estimadores utilizados para determinar las existencias totales en AB, V y B.

Estimadores	Parámetro	Ecuación	Número
	Media	$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$	[10]
MSA	Varianza muestral	$s_y^2 = \sum_{i=1}^n y_i^2 - \left(\frac{y_i - \bar{y}}{n}\right)^2 / n - 1$	[11]
	Varianza de la media	$s_{\bar{y}}^2 = \frac{s^2}{n} \left(\frac{N-n}{N}\right)$	[12]
ERaz	Razón	$R = \frac{\mu_y}{\mu_x}$	[17]
	Estimador de razón	$\hat{R} = \frac{\bar{y}}{\bar{x}} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} / \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$	[18]

	Media población de la razón	$\bar{y}_R = \bar{R} \times \mu_x$	[19]
	Varianza de la media de la razón	$S_R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n y_i^2 + R^2 \sum_{i=1}^n x_i^2 - 2R \sum_{i=1}^n x_i y_i}{n-1} \times \left(1 - \frac{n}{N}\right)$	[20]
	Media	$\bar{y}_{REG} = \bar{y} + \beta(\mu_x - \bar{x})$	[21]
EReg	Pendiente	$\hat{\beta} = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})(x_i - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$	[22]
	Varianza de la media	$S_{\bar{y}_{REG}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 - \beta^2 \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-2} \times \left(1 - \frac{n}{N}\right)$	[23]

Donde \bar{y} es la media muestral de la variable principal ($AB \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, $V \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ y $B \text{ Mg ha}^{-1}$) observado en el i -ésimo UMS, \bar{x} media muestral de la variable auxiliar ($NDVI$), \bar{X} media poblacional de la variable auxiliar ($NDVI$) expresado como $\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$, μ_x media poblacional de la variable auxiliar, n tamaño de la muestra, N tamaño de la población, $\hat{\beta}$ son estimados a partir de los datos de la muestra mediante mínimos cuadrados ordinarios (MCO), t distribución de Student al 95 % de confiabilidad con $n-1$ grados de libertad (gl).

$$L.S \text{ e } L.I = \bar{y} \pm t_{n,gl} \sqrt{S_y^2} \quad [24]$$

donde, L.S e L.I = es el límite superior e inferior del AB (en $\text{m}^2 \text{ ha}^{-1}$), V (en $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$) y B (en Mg ha^{-1}), S_y^2 = varianza de la media del AB (en $\text{m}^2 \text{ ha}^{-1}$), V (en $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$) y B (en Mg ha^{-1}), \bar{y} = es la media muestral del AB (en $\text{m}^2 \text{ ha}^{-1}$), V (en $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$) y B (en Mg ha^{-1}), $t_{n,gl}$ = nivel de confianza del 95% ($1 - \alpha = 0.95$) y los grados de libertad (gl) correspondieron al número de sitios de muestreo ($n = 798$ sitios). La precisión de la media con la expresión 25.

$$P = t_{a,gl} \sqrt{S_y^2 / \bar{y}} \times 100 \quad [25]$$

Donde; P = precisión de la media en %, S_y^2 = varianza de la media del AB (en $\text{m}^2 \text{ ha}^{-1}$), V (en $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$) y B (en Mg ha^{-1}), \bar{y} = media muestral del AB (en $\text{m}^2 \text{ ha}^{-1}$), V (en $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$) y B (en Mg ha^{-1}). Finalmente, el inventario total se obtuvo con la expresión 26.

$$\hat{y} = N \times \bar{y} \quad [26]$$

donde; \hat{y} = inventario total del AB (en $\text{m}^2 \text{ ha}^{-1}$), V (en $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$) y B (en Mg ha^{-1}), N tamaño de la población, \bar{y} es la media muestral del AB (en $\text{m}^2 \text{ ha}^{-1}$), V (en $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$) y B (en Mg ha^{-1}).

Con la finalidad de seleccionar y calificar al mejor estimador de muestreo en eficiencia estadística, se evaluaron con base en el menor (conservador) valor la media del inventario ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$), la más alta precisión (P , en %). Para la comparación anterior se tomaron como referencia los estimadores de los parámetros obtenidos con el MSA . Lo anterior permite proponer una estrategia de muestreo (estimadores muestrales) práctico, que resulta eficiente en términos de tiempo y costo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estadísticas descriptivas de las variables forestales. Los principales estadísticos de las variables forestales en el área de estudio fueron un $AB = 18.92 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, $V = 149.47 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ y $B = 78.48 \text{ Mg ha}^{-1}$. Además, al utilizar la ecuación propuesta por Torres y Guevara (2002) para estimar la B a partir del V se tiene una estimación de $112.83 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ y 58.60 Mg ha^{-1} de biomasa aérea. Las correlaciones entre las variables dasométricas y las espectrales se resumen en el Cuadro 2.

Correlación entre variables forestales y los datos espectrales: La asociación entre las variables forestales y las reflectancias del sensor Landsat mostraron tendencias negativas, mientras que los índices de vegetación ($NDVI$) fueron positivas (Cuadro 2).

Cuadro 2. Coeficientes de correlación de Pearson entre las variables espectrales y las variables forestales.

Variables espectrales e índices de vegetación	AB	V	B
Azul	-0.23	-0.24	-0.24
Verde	-0.33	-0.33	-0.34
Rojo	-0.34	-0.36	-0.36
Infrarrojo cercano (IRC)	0.12	0.17	0.17
Infrarrojo medio (IRM)	-0.33	-0.32	-0.32
NDVI	0.35	0.39	0.39

Donde *AB* es el área basal en $m^2 ha^{-1}$, *V* volumen en $m^3 ha^{-1}$, *B* biomasa en $Mg ha^{-1}$, *NDVI* índice de diferencia normalizada. Todas las correlaciones son altamente significativas ($\alpha = 0.05$).

Modelo de regresión lineal propuesto con el método STEPWISE: Los resultados de ajustes y significancia de los parámetros en los modelos evaluados mediante el procedimiento *STEPWISE* para estimar el *AB*, *V*, y *B* se resumen en el Cuadro 3. Los estimadores de los parámetros obtenidos en el ajuste fueron altamente significativos (Cuadro 3).

Cuadro 3. Parámetros e indicadores de ajuste y estadísticos de los modelos evaluados.

Modelo	Ecuación	R^2_{adj}	RMSE	ρ	Ψ	ϵ^T	α
1	$AB = \alpha_0 + \alpha_1 X_1 + \alpha_2 X_2$	0.28	7.64	α_0	31.58161	5.2973	0.0001
				α_1	-936.624	70.8154	0.0001
2	$V = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2$	0.32	68.39	α_2	63.68698	4.6533	0.0001
				β_0	230.433	47.4341	0.0001
				β_1	-8817.75	634.1	0.0001
3	$B = \gamma_0 + \gamma_1 X_1 + \gamma_2 X_2$	0.32	35.65	β_2	650.5635	41.6673	0.0001
				γ_0	124.9765	24.7243	0.0001
				γ_1	-4656.05	330.5	0.0001
				γ_2	338.289	21.7184	0.0001

Donde *AB* es el área basal ($m^2 ha^{-1}$), *V* volumen ($m^3 ha^{-1}$), *B* biomasa ($Mg ha^{-1}$), X_1 banda verde, X_2 NDVI, ρ parámetros del modelo, Ψ valor de los parámetros, ϵ^T error estándar de los parámetros. α nivel de significancia de los estimadores de los parámetros.

En las regresiones, la banda verde evalúa el vigor de la vegetación por medio la radiancia del verde captada por las células de la vegetación y el *NDVI*, expresados en la reflectancia de las bandas espectrales del *R* y del *IRC* ayudaron a generar estadísticos consistentes para estimar el *AB*, *V* y *B*.

Distribución espacial de las variables forestales en el estado de Quintana Roo: Las ecuaciones de regresión lineal múltiple fueron utilizadas para estimar las tres variables en toda el área de estudio (píxel por píxel). Las diferentes tonalidades de colores describen la distribución espacial del *AB* ($m^2 ha^{-1}$), *V* ($m^3 ha^{-1}$) y *B* ($Mg ha^{-1}$). La superficie en blanco con valores de 0 representa a los terrenos no forestales u otro tipo de vegetación no objeto del estudio.

La variación espacial es similar en las variables evaluadas, es decir, en las áreas donde se registran los valores más altos en *AB* (Fig. 1), también se encuentra los más altos valores del *V* (Fig. 2) y *B* (Fig. 3).

Las áreas con densidad baja y media en *AB* (0 a $30 m^2 ha^{-1}$), *V* (0 a $200 m^3 ha^{-1}$) y *B* (0 a $125 Mg ha^{-1}$) cubren alrededor del 90 % de la superficie total del estado de Quintana Roo, y corresponden a bosques con densidad arbórea baja, bosques degradados por actividades antropogénicas, por incendios forestales, por la tala clandestina, por el cambio de usos suelos y bosques combinados con cultivos agrícolas y de pastoreo.

Las áreas con densidad alta en *AB* (30 a $40 m^2 ha^{-1}$), *V* (200 a $300 m^3 ha^{-1}$) y *B* (125 a $160 Mg ha^{-1}$) cubren cerca del 10 % de la superficie total y corresponden a bosques con densidad arbórea alta o bosques denso con una mínima perturbación.

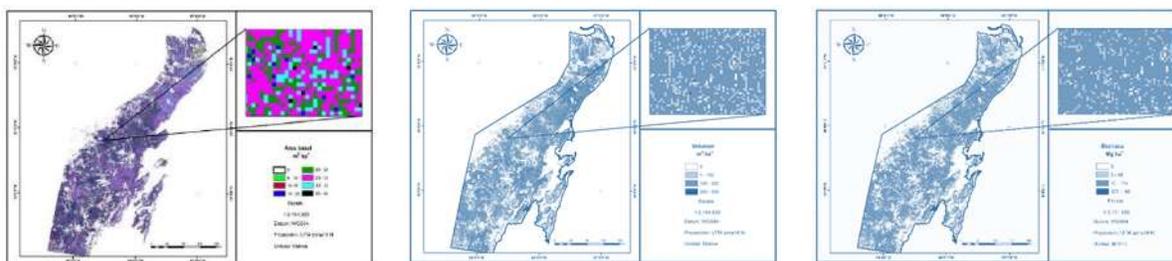


Figura 1. Distribución espacial de área basal ($m^2 ha^{-1}$), volumen ($m^3 ha^{-1}$) y biomasa ($Mg ha^{-1}$) estimada mediante regresión lineal múltiple para selva mediana en el estado de Quintana Roo.

Estimaciones del inventario con el método tradicional vs percepción remota: En el Cuadro 4 se presentan las estimaciones del inventario de AB, V y B obtenidos con el método convencional (*MSA* con datos de campo) y percepción remota (estimadores de razón y de regresión). Para los cálculos de inventario total se trabajó con una superficie correspondiente a 2,891,578.75 ha a fin de comparar cuál de los métodos presentan mejores estimaciones en términos de precisión.

Cuadro 4. Comparación del inventario tradicional y el método alternativo mediante percepción remota.

Inventario	Estimadores	Parámetro	AB ($m^2 ha^{-1}$)	V ($m^3 ha^{-1}$)	B ($Mg ha^{-1}$)
Tradicional	<i>MSA</i>	Media	18.92	149.47	78.47
		L.I	18.29	143.69	75.45
		L.S	19.55	155.25	81.49
		P (%)	3.32%	3.87%	3.85%
		Inventario	63,806,331.32	504,133,736.28	264,655,154.04
Percepción remota	<i>ERaz</i>	Media	18.51	146.26	76.78
		L.I	17.91	145.66	76.18
		L.S	19.11	146.85	77.38
		P (%)	3.23%	3.76%	3.74%
		Inventario	62,433,220.50	493,284,789.58	258,959,781.06
Percepción remota	<i>EReg</i>	Media	18.13	141.50	74.31
		L.I	17.64	137.66	72.30
		L.S	18.63	145.35	76.32
		P (%)	2.73%	2.72%	2.71%
		Inventario	61,155,867.72	477,249,759.31	250,627,327.56

Donde AB es el área basal ($m^2 ha^{-1}$), V volumen ($m^3 ha^{-1}$), B biomasa ($Mg ha^{-1}$), *MSA* muestreo simple al azar; L.I y L.S Intervalo de confianza inferior y superior al 95% de confiabilidad.

El *EReg* presentó la más alta precisión (error menor al 10%) comparado con el *MSA* y el *ERaz*, esto es posible atribuir a la alta correlación obtenida entre los parámetros forestales (AB, V y B) con el *NDVI*. La ventaja del *EReg* es que incorpora variables auxiliares (*NDVI*) conocidas a nivel poblacional, es decir, considera toda la gama de variación en el área de estudio, lo que a su vez permitió mejorar la precisión con respecto al *MSA* y al *ERaz*. El *EReg* presentó valores de precisión en AB, V y B de 2.73 % 2.72 % y 2.71, respectivamente.

Estadísticamente los métodos alternativos con respecto al método clásico ubicaron sus inventarios totales dentro del intervalo de confianza (L.I y L.S) del *MSA*. Los dos métodos presentaron resultados muy similares en inventarios totales para cada variable de interés, aunque el *MSA* (método clásico) genero estimaciones más optimistas en inventarios y sus intervalos presentaron mayor amplitud respecto al inventario estimado con los métodos alternativos: i) *ERaz* y; ii) *EReg*.

DISCUSIÓN

Los valores promedios estimados ($V=149.47 m^3 ha^{-1}$, $AB=18.92 m^2 ha^{-1}$ y $B=78.47 Mg ha^{-1}$) son similares a los valores reportados por la CONAFOR (2014) utilizando datos del inventario forestal estatal de Quintana Roo (V y AB de $112.83 m^3 ha^{-1}$ y $17.59 m^2 ha^{-1}$), mientras que la B mostró mucha semejanza a la estimada por Rodríguez-Veiga *et al.* (2016) quienes reportan una media de $60 Mg ha^{-1}$ o la obtenida con la ecuación propuesta por Torres y Guevara (2002) con un valor de $58.60 Mg ha^{-1}$.

Los métodos alternativos: i) ERaz y; ii) EReg fueron más precisos que el *MSA*, sin embargo, el EReg generó una precisión mayor, por lo que una característica a tomar en cuenta para la elección del método más preciso es con base a la amplitud de los intervalos de confianza y en el patrón de los datos (Ortiz-Reyes *et al.*, 2015), este resultado es factible atribuirlos a la relación que existen entre el *AB*, *V* y *B* con del *NDVI*.

De acuerdo con Bailes y Brooks (2004), la consecuencia de usar *NDVI* conduce a obtener estimadores más eficientes, fáciles, rápidos y baratos de medirse en campo, lo que conduce a optimizar la inversión en tiempo y costo durante la ejecución de inventarios en campo. Los inventarios derivados del EReg fueron eficientes al aproximar sus valores al *MSA*, por su parsimonia se recomienda como la mejor alternativa para evaluar variables forestales, es un método que ofrece inventarios mensuales.

CONCLUSIONES

Los diferentes métodos alternativos para estimar el *AB*, *V* y *B* a partir de datos derivados de los sensores Landsat ETM mostraron resultados confiables.

Las estimaciones permiten generar mapas cartográficos de distribución espacial de las variables forestales.

La información generada a partir de los datos Landsat en combinación con los datos de campo es una de las mejores opciones para estimar, evaluar y monitorear la distribución espacial de los recursos forestales a una escala espacial mayor.

Los resultados permiten contar con información para cuantificar los almacenes de carbono capturado por los bosques en su biomasa e integrar en los proyectos de bonos de captura de carbono.

LITERATURA CITADA

- Acosta M., M., Pérez, M. R., Romero, S. M. E., González, H. A. y Martínez, A. L. (2017). Estimación de la densidad forestal mediante imágenes Landsat ETM+ en la región sur del Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 8(41), 30-55.
- Aslan, A., Rahman, A. F., Warren, M. W. y Robeson, S. M. (2016). Mapping spatial distribution and biomass of coastal wetland vegetation in Indonesian Papua by combining active and passive remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 183, 65-81.
- Bailes, W. W., and Brooks J. R. (2004). A Comparison of two double sampling auxiliary variables with inventories of varying sample size. In: *Proceedings of the 14th central hardwoods forest conference*. Yaussy D., D. M Hix, P. Ch. Goebel, and R. P. Long (eds). USDA Forest Service. GTR-NE-316. Wooster, Ohio. 101-105 pp.
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal) (2014). *Inventario Estatal Forestal y de Suelos - Quintana Roo 2013*. Zapopan, Jal., México. 128 pp.
- Foody, G. M., Boyd, D. S. y Cutler, M., E. J. (2003). Predictive relations of tropical forest biomass from Landsat TM data and their transferability between regions. *Remote Sensing of Environment*, 85, 463-474.
- Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática (INEGI) (2000). *Anuario Estadístico de los Estados Unidos Mexicanos, edición 2000*. INEGI. Aguascalientes. 756 pp.
- Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática (INEGI) (2015). *Anuario estadístico y geográfico de Quintana Roo*. México. Instituto Nacional de Estadística. Aguascalientes. 384 pp.
- López-Serrano, P. M., López-Sánchez, A. C., Díaz-Varela, A. R., Corral-Rivas, J. J., Solís-Moreno, R., Vargas-Larreta, B. y Álvarez-González, J. G. (2015). Estimating biomass of mixed and uneven-aged forests using spectral data and a hybrid model combining regression trees and linear models. *iForest Biogeosciences and Forestry*, 9: 226-234.
- Martínez-Ramos, M. y García O., X. (2007). Sucesión ecológica y restauración de las selvas húmedas. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 80, 69-84.
- Martínez-Sánchez, J. L. (2016). Comparación de la diversidad estructural de una selva alta perennifolia y una mediana subperennifolia en Tabasco, México. *Madera y Bosques*, 22(2), 29-40.
- Nelson, R., Margolis, H., Montesano, P., Sun, G., Cook, B., Corp, L. y Prisley, S. (2017). Lidar-based estimates of aboveground biomass in the continental US and Mexico using ground, airborne, and satellite observations. *Remote Sensing of Environment*, 188, 127-140.

- Ortíz-Reyes, A. D., Valdez-Lazalde, J. R., De los Santos-Posadas, H. M., Ángeles-Pérez, G., Paz-Pellat, F. y Martínez-Trinidad, T. (2015). Inventario y cartografía de variables del bosque con datos derivados de LIDAR: comparación de métodos. *Madera y Bosques*, 21(3): 111-128.
- Rodríguez-Veiga, P., Saatchi, S., Tansey, K., y Balzter, H. (2016). Magnitude, spatial distribution and uncertainty of forest biomass stocks in Mexico. *Remote Sensing of Environment*, 183, 265-281.
- Roldán-Cortés, M. A., De Los Santos-Posadas, H. M., Ramírez-Maldonado, H., Valdez-Lazalde, J. J., Ángeles-Pérez, G. y Velázquez-Martínez, A. (2013). Estimadores de muestreo para inventario de plantaciones forestales de eucalipto en el sureste de mexicano. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 5(26), 38-57.
- Secretaría de Agricultura y Ganadería (SAG) (1976). Inventario Forestal del Estado de Quintana Roo. Dirección General del Inventario Nacional Forestal. Subsecretaría Forestal y de Fauna. SAG. Publicación núm. 41 México DF. 56 pp.
- Solberg, S., Astrup, R., Breidenbach, J., Nilsen, B. y Weydahl, D. (2013). Monitoring spruce volume and biomass with inSAR data from TanDEM-X. *Remote sensing of Environment*, 139, 60-67.
- Soudani, K., François, C., Le Marrie, G., Le Dantec V. y Dufrêne E. (2006). Comparative analysis of IKONOS, SPOT, and ETM+ data for leaf area index estimation in temperate coniferous and deciduous forest stands. *Remote Sensing of Environment*, 102, 161-175.
- Torres, R., J. M. y Guevara S., A. (2002). El potencial de México para la producción de servicios ambientales: captura de carbono y desempeño hidráulico. *Gaceta Ecológica*, 63, 40-59.
- Torres-Vivar, J. E., Valdez-Lazalde, J. J., Ángeles-Pérez, G., Santos Posadas, H. M. y Aguirre-Salado, C. A. 2017. Inventario y mapeo de un bosque bajo manejo de pino con datos del sensor SPOT 6. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 8(39), 25-43.
- Vargas-Larreta B., J.J. Corral-Rivas, O. A. Aguirre-Calderón, J. O. López Martínez, H. M. Santos-Posadas, F. J. Zamudio-Sánchez y G. G. Aguirre-Calderón. 2017. SiBiFor: Forest System for forest management in Mexico. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 23(3): 437-455. <http://www.redalyc.org/html/629/62952582003/>
- Zhang, Z. (2016). Variable selection with stepwise and best subset approaches. *Annals of Translational Medicine*, 4(7): 136-141.

FUENTES ELECTRÓNICAS

- United States Geological Survey (USGS). 2015. Landsat data access. <http://landsat.usgs.gov/landsat-data-access> (27 de Junio de 2016).

EVALUACIÓN DE UN SECADOR SOLAR CON MADERAS DURAS TROPICALES SOLAR DRYER EVALUATION WITH TROPICAL HARDWOODS

Quintanar Olguin J

CESMAR-CIRGOC-INIFAP. Km. 56.5 Carretera Federal México-Puebla, San Martinito, Tlahuapan,
Puebla. CP.74100.

Autor de correspondencia: quintanar.juan@inifap.gob.mx

RESUMEN

En el proceso de transformación de productos forestales, el secado de la materia prima es la etapa que mayor tiempo y energía consume. De forma tradicional, esto se realiza exponiendo el producto a los rayos solares de manera directa, donde la calidad final no es la óptima. Una alternativa para mejorar el proceso ha sido el aprovechamiento de la energía solar mediante el uso de secadores solares, donde el uso de éste tipo de secadores puede mejorar la productividad y la capacidad de negociación de pequeños productores con baja inversión de capital. La evaluación del proceso de secado se realizó con madera de *Enterolobium cyclocarpum* (Parota), mediante la obtención de su curva de secado y el contenido de humedad final, que es apropiado para la elaboración de productos de alto valor agregado, con una muy baja inversión en el secador.

Palabras clave: *Curva secado, secador tipo invernadero.*

INTRODUCCION

El secado de productos forestales mediante el aprovechamiento de la energía solar es una de las muchas aplicaciones solares que se han venido practicando desde tiempos remotos. Ante la necesidad actual de contar con materia prima de calidad y los elevados costos de infraestructura y energéticos de los secadores convencionales, los productores se han visto con la necesidad de buscar alternativas viables para secar su producto a un bajo costo. Como alternativa se han desarrollado diferentes prototipos de secadores solares para aprovechar la energía proveniente del sol, donde se colecta esa energía y se emplea para secar los productos forestales.

En el transcurso de los últimos 60 años, una gran variedad de secadores solares para el secado de madera han sido diseñados y evaluados a nivel mundial, tanto en latitudes tropicales como en latitudes templadas. La mayoría de ellos han sido construidos por Institutos de investigación para su evaluación y solo unos cuantos se han producido para uso comercial. La gran mayoría de los diseños desarrollados están basados en el concepto de “prueba y error”, sólo en años recientes se ha iniciado el modelaje matemático del secado solar de madera (Bond and Espinoza, 2016). Se han probado diferentes diseños y materiales, se ha medido la energía que pasa por los secadores y desarrollado equipos de control completamente computarizados.

La tecnología de los secadores solares basa su funcionamiento en el principio “invernadero”. Los sistemas de captación de la energía solar, se clasifican en dos grandes grupos: aquellos que cuentan con un dispositivo de captación independiente de la cámara de secado y los que utilizan la propia cámara de secado como área de captación de la radiación solar. Entre los sistemas con captación independiente pudieran considerarse diversas tecnologías de captación: colectores planos, canales cilíndricos parabólicos y túneles de polietileno, entre otros (Quintanar, 2016a).

El diseño básico de la tecnología de los secadores solares, consta de cuatro partes fundamentales, y aunque pueden existir variaciones y agregados de equipo según el diseño o grado de sofisticación del mismo, los elementos principales son: cámara de secado, sistema de captación de la energía solar, sistema de circulación del aire y sistema de control de humedad y temperatura (Quintanar, 2005; Quintanar, 2016b).

La cámara de secado es la parte donde se apila la madera a secar. Para los materiales de construcción, capacidad o forma geométrica de la cámara (diseño) no existen especificaciones, por lo que es necesario ajustarse a las especificaciones técnicas para estufas de secado de madera, como es el ancho y altura de pilas, entre otras o de los materiales locales que tengan las propiedades adecuadas para ser utilizados en la construcción de la misma (Watkins y Salazar, 2012).

El colector solar puede o no formar parte de la cámara, se construye con materiales transparentes de tal forma que se impida la pérdida de calor del interior, junto con bastidores para soportar el peso del

colector. El caso más común es que el colector solar, se ubica como un techo en la cámara de secado, con una orientación hacia el sur y una inclinación igual a la latitud del lugar.

El movimiento del aire al interior del secador solar debe ser continuo, tanto para que se caliente al pasar por el colector como para que circule a través de las pilas de madera y se realiza mediante el uso de ventiladores, accionados por motores de baja potencia.

Los objetivos fundamentales de la circulación del aire en el secado solar son:

- Transportar el calor de los colectores y así aumentar la velocidad de transmisión del calor.
- Distribuir uniformemente el calor por todo el secador.
- Proporcionar un medio de mezclado y acondicionamiento del aire antes de entrar a la carga de madera o producto a secar.
- Transportar la humedad evaporada de la superficie de las tablas.

Debido a que la humedad y temperatura al interior del secador, dependen fundamentalmente de las condiciones ambientales, su control básico es manual, mediante la apertura y cierre de ventilas.

Con el proceso de secado de madera se busca la eliminación del exceso de agua que contiene, aplicando técnicas que minimicen los defectos causados por la pérdida de humedad, en tiempos cortos y costos mínimos. Una de éstas técnicas es la del proceso de secado solar, que se realiza formando "pilas" de madera al interior del secador. El aire calentado por el colector solar se hace circular a través de las "pilas" mediante los ventiladores, para transportar la humedad evaporada de la superficie expuesta de la madera (Viehbeck, 1999).

Por tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar el proceso de secado de madera aserrada de *Enterolobium cyclocarpum* (Parota) en un secador solar activo tipo invernadero, mediante la obtención de su curva de secado y la determinación del comportamiento de la temperatura al interior de la cámara respecto a la temperatura ambiente.

MATERIALES Y MÉTODOS

La evaluación del secador se realizó en el Ejido Miguel de la Madrid, municipio de Manzanillo, Colima. El diseño del secador bajo estudio es de tipo invernadero, con colectores internos y circulación forzada. Consta de un colector de 30 m² formando parte de la cámara de secado, construido con láminas galvanizadas del calibre más bajo, pintadas de negro "mate" en la parte expuesta al sol, con una orientación hacia el sur y una inclinación igual a la latitud del lugar. La construcción es a base de bastidores de PTR y cubierta con polietileno transparente, calibre 720 con tratamiento para rayos UV, comúnmente utilizado en la construcción de invernaderos (Fig. 1).

Para mover el aire al interior del secador a una velocidad de 1.5 m/seg, se utilizan dos ventiladores eléctricos con motor de ¼ HP. Además, cuenta con ventilas de cierre manual para la extracción del aire húmedo. La madera de *Enterolobium cyclocarpum* fue apilada al interior del secador, utilizando separadores de 2.5 cm de grueso. Las pilas de madera aserrada tienen un ancho de 1.2 m, y con una altura de 18 camas de tablas (Quintanar, 2016b). La determinación de la pérdida de humedad en la madera durante el proceso de secado se realizó mediante el pesado de tablas muestra como testigos y mediante la determinación del contenido de humedad con un medidor de humedad eléctrico. Se determinó la curva de secado de la madera (pérdida de humedad vs tiempo) hasta alcanzar un contenido de humedad apropiado para elaborar productos a base de madera con alto valor agregado (muebles).



Figura 1. Secador solar tipo invernadero.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El tiempo de secado de madera al aire libre es de aproximadamente 24 a 26 días, para alcanzar el contenido de humedad en equilibrio de la zona (18 – 18%), mientras que utilizando un secador solar es de 16 días para alcanzar un 12% de humedad final promedio en la madera. Estos resultados muestran que mediante el uso del secador solar se reduce hasta en un 40-60% el tiempo de secado (Fig. 2).

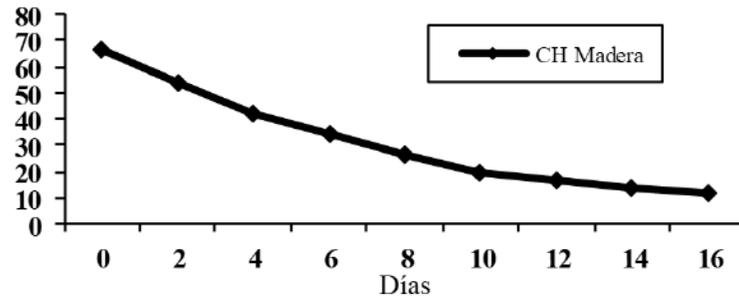


Figura 2. Curva de secado para madera aserrada de parota.

Al evaluar las condiciones de temperatura al interior del secador y medio ambiente, se ha determinado que al interior del mismo siempre son mayores que las existentes en el medio ambiente. En la Figura 3 se muestran los perfiles de la temperatura en la cámara de secado y la temperatura del medio ambiente, durante un período de 12 horas, existiendo una diferencia de 19° durante un período de una hora, aproximadamente a las 14 horas. Esto permite un secado más acelerado respecto al medio ambiente. Bajo estas temperaturas al interior del secador solar, las condiciones de secado que se generan al interior del mismo, son consideradas suaves, suficientes para cualquier tipo de madera. Sin embargo, esto no implica que se optimice el uso del secador, más bien, estas condiciones son acordes a las necesidades de secado de aquellas maderas difíciles de secar, como la madera aserrada de algunas especies duras tropicales, que requieren temperaturas del orden de 38°C a 55-60°C y con humedad en equilibrio alta para su secado apropiado. Por lo tanto, los secadores solares cubren los requerimientos energéticos del proceso de secado de este tipo de maderas (Quintanar, 2017b).

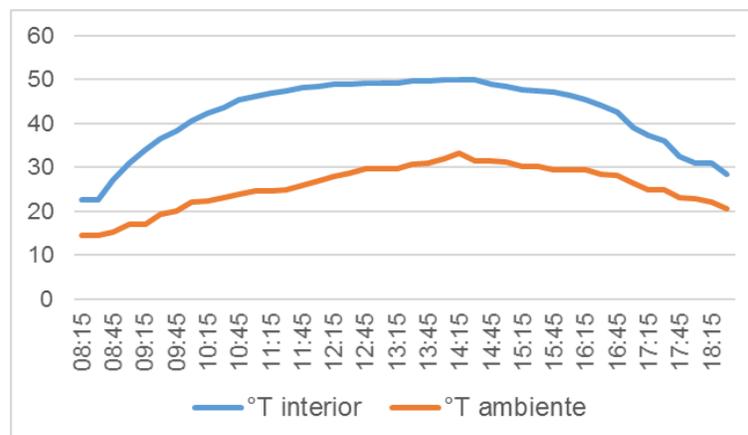


Figura 3. Perfil de las temperaturas al interior del secador y en el exterior ambiente, durante un día del mes de marzo.

Como se observa en la figura 3, el perfil de temperatura no es constante durante las horas de un mismo día, y tampoco durante los días que dura el proceso de secado. Esto se debe a que la temperatura del secador depende de la radiación solar, que no es constante (Quintanar, 2017a). También la humedad relativa del aire de secado es un factor crítico para controlar la velocidad de secado del producto. Cuanto menor sea la humedad relativa, mayor es la capacidad de absorción de aire de secado.

Un aspecto relevante a tener en cuenta, es lo que pasa durante la noche, cuando existe un enfriamiento de la cámara de secado, llegando a generarse condensación en las paredes del secador. Una forma de manejar este aspecto es mantener abiertas las ventilas y prendido el ventilador para mover la humedad relativa del interior de la cámara.

CONCLUSIONES

El tiempo promedio para secar madera aserrada de *Enterolobium cyclocarpum* en el área del municipio de Manzanillo, Colima, utilizando un secador solar es de 16 días en promedio, bajando el contenido de humedad de 67% en verde hasta un 12% de humedad en promedio, que es un contenido de humedad apropiado para elaborar diversos productos a base de madera con alto valor agregado. Se reduce el tiempo de secado en un 35%, pero con una mayor calidad de secado (sin defectos), con un incremento de la temperatura interior de 19°C respecto a la temperatura ambiente, alcanzando temperaturas apropiadas para el secado de éste tipo de madera.

LITERATURA CITADA

- Bond, B. H. and O. Espinoza. 2016. A decade of improved lumber drying technology. *Curr Forestry Rep* 2:106–118.
- Quintanar O., J. 2017. Evaluación del perfil de temperaturas en un secador solar activo tipo invernadero. *Revista CONAMTI* 4(4):58-61.
- Quintanar O., J. 2017. Metodología para el diseño y evaluación de un secador solar tipo invernadero utilizado en el secado de madera. *Revista de Aplicación Científica y Técnica* 3(9):18-23.
- Quintanar O. J. 2016a. Secado solar. *In: Alternativas energéticas*. Universidad del Istmo. Tehuantepec, Oaxaca.
- Quintanar O. J. 2016b. Secado solar: Tecnología apropiada para pequeños productores de maderas duras. Folleto técnico Núm. 88. INIFAP – CIRGOC – C. E.San Martinito. San Martinito, Tlahuapan, Puebla. 32 p.
- Quintanar O. J. 2005. Construcción y operación de un secador solar para madera. Folleto técnico No. 2. CESMAR-CIRCE-INIFAP. 46 p.
- Viehbeck, P. 1999. Lo básico del secado de madera con energía solar. GATE-GTZ. Eschborn. Traducido por Ormaza, E. y A.M. Galindo. Santa Cruz, Bolivia. 49 p.
- Watkins, M. y Salazar G. 2012. Diseño, construcción y ensayo de un secadero solar para madera. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* 16:9-15.

EFFECTO DE *Trichoderma* sp, EN EL CULTIVO DE SORGO EFFECT OF *Trichoderma* sp, ON SORGHUM CULTIVATION

Angeles Núñez JA, Herrera Corredor C, Pecina Quintero V

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Bajío. Km 6.5 carretera Celaya-San Miguel de Allende. C.P. 38110. Celaya Guanajuato México.

Autor para correspondencia: angeles.gabriel@inifap.gob.mx

RESUMEN

El sorgo es el quinto cereal más importante en el mundo después del trigo, maíz, arroz y cebada aportando el 3 % de la producción total. Entre 2009 y 2010 se produjeron 58 millones de toneladas, de los cuales el 11 % corresponde a la producción de México, según datos de USDA. El rendimiento de este cereal es sensible, entre muchos factores, a enfermedades producidas por hongos, bacterias y virus que causan severas pérdidas en la agricultura que implican la baja calidad y/o la cantidad de la producción y consecuentemente el aumento del precio de los alimentos y materias primas derivados de este cereal. Con el advenimiento de la revolución verde hasta nuestros días, el control de las enfermedades en este cultivo se realiza en su mayor parte con agroquímicos (fungicidas, bactericidas, etc.) de diferente toxicidad e inespecíficos. El uso irracional de estos productos químicos ocasiona la contaminación de los suelos y del agua, además de que ocasiona efectos negativos en los microorganismos benéficos del suelo, estos antecedentes han dado la pauta a la búsqueda de alternativas viables para el control de hongos fitopatógenos que afectan al cultivo de sorgo. En este sentido, se evaluaron productos biológicos a base de *Trichoderma* sp capaces de ejercer control biológico sobre hongos fitopatógenos además de promover el crecimiento vegetativo. Los resultados obtenidos muestran que los productos biológicos utilizados a base de *Trichoderma* sp controlan de manera efectiva el crecimiento y desarrollo de hongos fitopatógenos como *Fusarium* sp y *Alternaria* sp., además de ejercer cambios diferenciales sobre las variables agronómicas evaluadas. Los resultados obtenidos son discutidos en base al rol que juegan los microorganismos en la sanidad y calidad del cultivo de sorgo.

Palabras clave: *Sorgo*, *Trichoderma* sp., *Fitopatógenos*

INTRODUCCION

El planeta está inmerso en problemas ambientales serios, esto como consecuencia de las emisiones contaminantes que generan los países industrializados, es por ello que se están firmando compromisos globales para disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero en los diferentes sectores productivos. El sector agrícola, a través de una agricultura activa basada en el uso de productos químicos, contribuye de manera importante en la generación de contaminantes que afectan los mantos freáticos, el aire y al mismo ser humano, estos antecedentes están dando la pauta a la búsqueda de alternativas viables que sean amigables con el medio ambiente. El uso de biofertilizantes resulta hoy en día una alternativa biológica que contribuye de manera importante a la disminución del uso de productos químicos, esta disminución se logra debido a que los microorganismos que se emplean para la elaboración de estos biofertilizantes contribuyen a la nutrición y sanidad de los cultivos agrícolas. Uno de los microorganismos más utilizados, es el hongo antagónico *Trichoderma* sp., el cual posee múltiples mecanismos de acción que contribuyen al desarrollo radicular y foliar de la planta a través de la síntesis de hormonas de crecimiento, así como a la nutrición y protección contra hongos fitopatógenos a través de la síntesis de sideróforos, también este hongo benéfico posee gran habilidad para competir por sustratos disponibles, lo cual desfavorece el crecimiento y desarrollo de hongos fitopatógenos. En el estado de Guanajuato, debido a las condiciones favorables de clima, suelo y agua, se establecen más de 70 cultivos diferentes. Destaca por su importancia económica y social el cultivo de sorgo del cual se establecen en promedio 270,000 ha, las cuales aportan hasta el 41 % de la producción nacional (SAGARPA, 2008). Este cultivo enfrenta problemas de baja e irregular precipitación, altos costos de producción, bajo precio del grano y problemas fitosanitarios, este último aspecto contribuye de manera importante en las mermas y calidad del grano, los fitopatógenos que encontramos a lo largo del desarrollo no solo del sorgo si no de la mayoría de los cultivos agrícolas son el *Fusarium* y la *Alternaria* los cuales son los precursores de algunas variedades de roya en las hojas, que se presenta como una enfermedad en la cual aparecen manchas o costras de color

amarillo o café en las hojas y en los tallos, afectando el crecimiento de la planta. También están presentes en enfermedades de semillas del sorgo, lo cual origina grandes pérdidas para los agricultores locales (de Milliano *et al.*, 1992). El *Fusarium* spp, es un hongo que puede invadir una planta a través del micelio, el cual penetra las raíces de las plantas. El micelio permanece en los conductos del xilema donde usualmente avanza la infección en dirección de la corona del tallo. Las cepas de *Fusarium oxysporum* entran al sistema vascular a través del xilema no diferenciado en la porción juvenil de las raíces cuando la endodermis todavía no está formada (Bertrand *et al.*, 2000).

Especies de *Fusarium* y otros que invaden el sistema vascular podrían considerarse saprófitos que también son patógenos y son colonizadores exitosos de los tejidos corticales de las raíces y tallos bajo el suelo, actuando como epífitas y endófitas. Las diferentes formas especiales de *Fusarium oxysporum* pueden tener apariencias variables en medio de cultivo sólido. En general, el micelio aparece de color blanco y luego puede tornarse, de violeta a morado oscuro, de acuerdo a la cepa (Bertrand *et al.*, 2000).

Las raíces principales de las plántulas jóvenes atacadas por éste hongo, muestran una mancha café oscuro con fisuras longitudinales, provocando que la epidermis de la raíz se desprenda fácilmente. Algunas veces la lesión se extiende hacia arriba y las plantas infectadas se marchitan y mueren, mientras que las raíces secundarias son destruidas. Algunas infecciones permanecen latentes, no producen síntomas al instante sino hasta cuando las condiciones del medio son más favorables o bien durante una etapa distinta en la madurez de la planta. El crecimiento del hongo dentro del tejido vascular de la planta afecta el transporte de agua, lo cual induce que los estomas se cierren, provocando la marchitez y muerte de la planta (Agrios, 1995).

Las pudriciones de la raíz por *Fusarium* spp., aumentan su severidad cuando las plantas que están expuestas al patógeno sufren agobio fisiológico causado por bajas temperaturas, sequía intermitente o excesiva cantidad de agua en el suelo, herbicidas, y compactación del suelo (Agrios, 1995). Los factores ambientales que favorecen el desarrollo de la enfermedad son una alta humedad relativa de 80 %, temperaturas de 24 a 26°C, deficiencias nutricionales y mucha sombra. Otro hongo fitopatógeno que está presente de manera activa en las afectaciones de los cultivos es *Alternaria* spp el cual es un hongo filamentoso, saprofito, caracterizados por presentar una coloración oscura, las diferentes especies de éste género son uno de los mayores patógenos en plantas (Pavón *et al.*, 2012).

Las especies del género *Alternaria* sintetizan más de 70 metabolitos secundarios tóxicos para las plantas (fitotoxinas), pero solo una pequeña parte de ellos se han caracterizado químicamente e identificado como compuestos tóxicos para personas y animales, por lo que se consideran micotoxinas. Atendiendo a sus efectos sobre las plantas, las toxinas de *Alternaria* spp, se agrupan en toxinas no específicas de hospedador y toxinas específicas de hospedador. Las toxinas no específicas de hospedador, afectan a una amplia variedad de especies vegetales, aunque en muchos casos su modo de acción no se ha identificado.

Algunas especies son alérgenos en los humanos, y pueden causar rinitis alérgica o reacciones de hipersensibilidad que, en ocasiones, pueden producir ataques de asma. Sus esporas son las causantes de la alergia, y, al igual que los pólenes, son transportadas por el aire hasta la nariz o bronquios del alérgico, causando la rinitis o asma. Existen esporas de *Alternaria* todo el año y, por lo tanto, causan patología alérgica perenne; aunque varíe la intensidad según las estaciones, suele haber más en primavera y verano. Hay cuarenta y cuatro especies conocidas, pero puede haber cientos de ellas aún por descubrir. Son una especie omnipresente en el ambiente y parte fundamental en la flora de hongos en cualquier sitio. Sus esporas están en suspensión en el aire, sobre el suelo, sobre los objetos y en el agua, tanto fuera, como dentro de casa. Las esporas se pueden distribuir de una en una, o en largas cadenas, y pueden crecer en colonias visibles, de color negro o gris. Es un hongo extremadamente común en abonos, plantas (fresas, crisantemos, tomates, zanahorias y espárragos), pulpa de madera y madera podrida, pero también se encuentra en alimentos y tejidos, así como en diferentes tipos de suelo. Dentro de las viviendas puede aislarse del aire, polvo y lugares con humedad como los marcos de las ventanas, en las que se produce condensación. Su distribución es universal y se considera que es un hongo de espacios abiertos. Los hongos fitopatógenos antes mencionados están activamente implicados en muchas de las enfermedades que afectan al cultivo de sorgo el cual es el cultivo de interés en esta investigación. En base a lo anterior, en este trabajo se evaluaron dos productos biológicos a base de *Trichoderma* sp en el cultivo de sorgo, con la finalidad de conocer como este hongo antagónico contribuye al control biológico de hongos que afectan al cultivo de sorgo y a la promoción de crecimiento vegetativo. Para ello se partió del objetivo general

“Evaluar la efectividad biológica que ejercen productos a base de *Trichoderma* sp., sobre el cultivo de sorgo” con los objetivos específicos (i) identificar la microbiota presente en el cultivo de sorgo antes y después de las aplicaciones de los productos biológicos e (ii) identificar los cambios ejercidos por la *Trichoderma* sp en variables agronómicas. La meta de este trabajo fue, conocer la efectividad biológica de *Trichoderma* sp sobre el cultivo de sorgo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Como material biológico se utilizaron semillas de sorgo SAP-616, y dos productos biológicos a base *Trichoderma* sp, elaborados en el “Laboratorio de Biotecnología y Fisiología Molecular de Plantas y Microorganismos del INIFAP Campo Experimental Bajío”.

Esterilización de semillas

Las semillas de sorgo se esterilizaron por inmersión en una solución de etanol-cloro (10:1) (v/v) durante cinco minutos y tres lavados consecutivos de un minuto con agua destilada estéril. Finalmente, las semillas se dejaron secar en una campana de flujo laminar.

Preparación del inóculo microbiano

Para el crecimiento de los microorganismos se utilizó el medio de cultivo Agar Papa y Dextrosa (PDA), el cual se esterilizó en autoclave durante 15 min a 121 °C (15 psi). Una colonia obtenida de un cultivo axénico de las cepas evaluadas, se inoculó en 15 ml de medio PDA. Posteriormente se incubó a 28 °C y 150 rpm hasta alcanzar una densidad óptica (DO) entre 0.500-0.600 a una longitud de onda de 640 nm.

Identificación de hongos fitopatógenos

Después de la esterilización, las semillas fueron germinadas, bajo condiciones asépticas sobre cajas con medio de cultivo bactoagar para permitir el desarrollo de hongos fitopatógenos contenidos en la semilla, posteriormente las cajas se sellaron e incubaron en cámara de crecimiento a 28 °C, hasta el desarrollo de hongos los cuales posteriormente fueron identificados mediante microscopía.

Evaluación de la efectividad biológica de dos productos a base de *Trichoderma* sp en el cultivo de sorgo

El estudio constó de cuatro tratamientos, T1: plantas de sorgo a doble hilo tratadas con la cepa INIA2; T2: plantas de sorgo a doble hilo tratadas con la cepa INI093; T3: plantas de sorgo a hilo simple tratadas con INIA2 y T4: plantas de sorgo a hilo simple tratadas con la cepa INI093. Las aplicaciones de los productos a base de *Trichoderma* sp (1 L/ha a una concentración de 1×10^8 UFC ml⁻¹) se realizaron vía foliar.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los hongos fitopatógenos *Alternaria* spp y *Fusarium* spp fueron identificados en semillas de sorgo utilizadas en este ensayo (Figura 1).

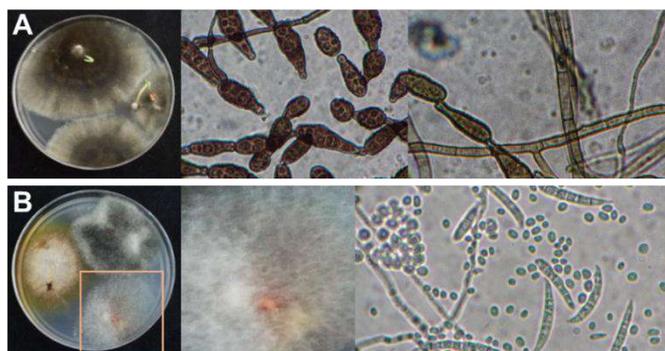


Figura 1. Hongos fitopatógenos encontrados en semillas de sorgo utilizadas en este trabajo (A) *Alternaria* sp (B) *Fusarium* sp.

Así como se detectaron hongos fitopatógenos en semilla de sorgo, de igual manera ocurre con la mayoría de la semilla utilizada en la siembra de múltiples cultivos, factor que interviene en la sanidad y rendimiento del cultivo. Actualmente el control de estos fitopatógenos se lleva a cabo principalmente a través del uso de fungicidas químicos, sin embargo, no se ha visto una respuesta favorable en el

control de los mismos, hecho que nos ha llevado a buscar alternativas biológicas viables que permitan controlar e inhibir la acción de estos patógenos. Los resultados que estamos reportando muestran que las semillas pueden venir ya contaminadas con hongos fitopatógenos lo cual cambia las perspectivas que pudiéramos tener de nuestro cultivo (Figura 1). Si bien es cierto que las semillas pueden venir contaminadas desde antes de la siembra también es cierto que en la naturaleza hay agentes microbianos benéficos que pueden ejercer un tipo de control biológico que permita disminuir los efectos negativos de los patógenos sobre los cultivos, uno de estos microorganismos que hoy en día están siendo más utilizados son las *Trichodermas* spp, las cuales son hongos antagonistas que pueden llegar a tener múltiples funciones y por consiguiente dar solución a varios problemas. En la figura 2 se muestra como una de las dos cepas de *Trichoderma* sp utilizadas en este ensayo ejerce un efecto de biocontrol sobre los hongos fitopatógenos encontrados en la semilla de sorgo, lo cual indica que este tipo de microorganismos pueden ser utilizados para llevar a cabo un control biológico contra hongos fitopatógenos presentes en el cultivo de sorgo.

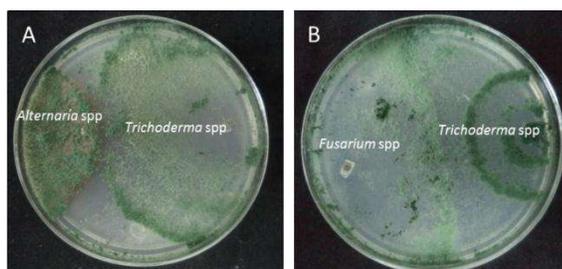


Figura 2. Pruebas de confrontación (A) *Trichoderma* sp vs *Alternaria* sp (B) *Trichoderma* sp vs *Fusarium* sp. Las imágenes muestran que la *Trichoderma* sp (capara verde) sobrecreció al patógeno.

En el sistema productivo agrícola, la presencia de hongos fitopatógenos y de insectos plaga merman el rendimiento y la calidad del grano del cultivo de sorgo. El grado de afectación de los cultivos agrícolas depende de factores como: susceptibilidad del material biológico, niveles de concentración de los microorganismos patogénicos, agresividad de patógeno infectante (diversidad de mecanismos de acción), diversidad de insectos plaga presentes en la parcela, número de individuos de cada especie, condiciones climatológicas etc. Estos factores ponen de manifiesto la importancia de conocer que agentes infectantes están presentes en los cultivos agrícolas y que alternativas biológicas existen para su control, es por ello que para conocer el estado sanitario de la parcela se monitorearon las plantas (material SAP-616) y se tomaron evidencias de la presencia de insectos plaga (pulgón amarillo) y aparición de enfermedades causadas por la presencia de patógenos (datos no mostrados) para confirmar las observaciones realizadas *in situ* se colectaron muestras de tejidos de plantas dañadas y se transportaron al laboratorio para realizar análisis microbiológicos con la finalidad de conocer el tipo de hongos y/o bacterias presentes en las zonas dañadas (Figura 3).

Las observaciones microscópicas de tejido afectado indican la presencia de estructuras reproductivas de *Fusarium* sp, *Alternaria* sp, *Puccinia sorghi* así como la presencia del pulgón amarillo (Figuras 4), al cual en los últimos años se le ha puesto particular importancia por los severos daños que pueden generar a los cultivos de sorgo. Por citar un ejemplo, este insecto plaga en estado de Guanajuato durante el año 2015 afectó a la producción de sorgo tanto de riego como de temporal, reduciendo la producción hasta en un 100 % en aquellos sitios en los que no se tomaron acciones a tal problemática. Este insecto se encuentra principalmente en el envés de la hoja, y en temporadas de frío el insecto se refugia en el cuello del tallo a nivel suelo. Este insecto plaga, se alimenta de la savia que la planta necesita para crecer, desarrollarse y formar granos. Cuando el insecto succiona la savia se forma en la superficie de la hoja una sustancia pegajosa constituida de azúcares de la misma planta y agua, esta sustancia en la superficie de la hoja representa para muchos hongos fitopatógenos una fuente importante de alimento, es por ello que en los cultivos afectados por el pulgón amarillo se empiezan a observar problemas de fitopatógenos, los cuales contribuyen a la disminución de los rendimientos y calidad de la semilla de sorgo.

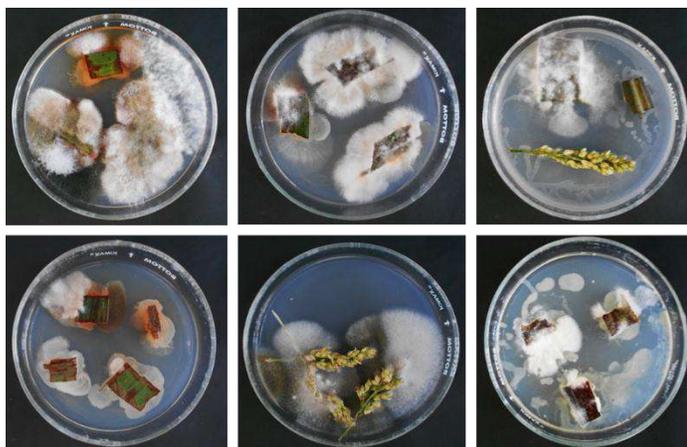


Figura 3. Vista macroscópica de la microbiota de muestras de sorgo colectadas.

Cabe mencionar que *Fusarium* spp, y *Alternaria* spp (Figura 4), son dos fitopatógenos ampliamente distribuidos en los cultivos agrícolas y su presencia puede causar problemas muy serios de rendimiento cuando se salen de control.

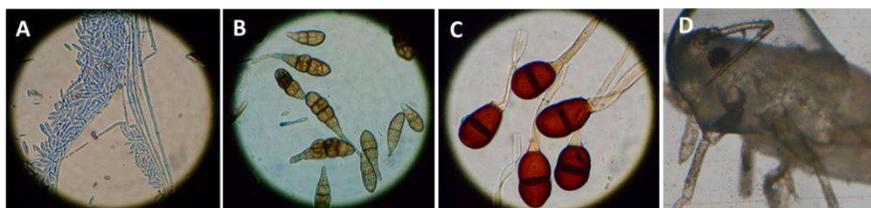


Figura 4. (A) estructuras reproductivas de *Fusarium* spp (B) estructuras reproductivas de *Alternaria* spp (C) estructura reproductiva de *Puccinia sorghi* (D) Pulgón amarillo.

Una vez que se determinó la sanidad del cultivo de sorgo, se procedió a evaluar la efectividad biológica de las cepas INIA2 y INI093 de *Trichoderma* sp (1 L/ha, a una concentración de 1×10^8 UFC/ml) sobre el desarrollo y la sanidad del cultivo de sorgo en campo (Figura 5). En esta evaluación se consideraron dos densidades de siembra (hilo sencillo y doble hilo). La aplicación de los productos biológicos a base de las cepas antes mencionadas se llevó a cabo vía foliar. Los productos biotecnológicos utilizados en esta evaluación fueron generados y formulados en el “Laboratorio de Biotecnología y Fisiología Molecular de Plantas y Microorganismos” del INIFAP Campo Experimental Bajío.



Figura 5. Aplicación de productos biológicos a base de *Trichoderma* sp a plantas de la parcela experimental de sorgo.

Una semana después de la aplicación de los productos a base de *Trichoderma* sp (Figura 5) se colectó tejido vegetal enfermo y se realizó un análisis microscópico (Figura 6) en la cual se observa claramente como la *Trichoderma* sp (INI093) está en confrontación con el hongo fitopatógeno

Alternaria sp en el tejido enfermo, este resultado no se encontró en tejido enfermo de plantas inoculadas con *Trichoderma* sp (INIA2).

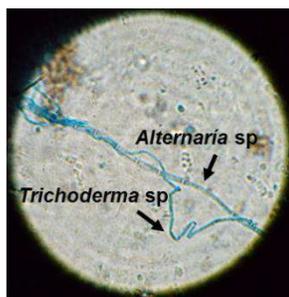


Figura 6. Confrontación observada en tejido enfermo de plantas de sorgo inoculadas con un producto a base de *Trichoderma* spp.

Los resultados en las variables agronómicas muestran que las cepas evaluadas ejercieron efectos diferenciales sobre las plantas inoculadas. En la figura 7A, se observa que las plantas a doble hilo inoculadas con INI093 son 10 % más altas que las plantas inoculadas con la cepa INIA2 para la misma densidad de siembra, sin embargo en plantas crecidas en hilo sencillo esa diferencia ya no es perceptible. El diámetro del tallo es otra variable fenológica que presentó cambios visibles en las plantas, pero principalmente entre diferentes densidades de siembra (Figura 7B). La principal diferencia en la longitud de la panoja se observó en la parcela a doble hilo, las plantas inoculadas con INI093 son 8.2 % más largas que aquellas que fueron inoculadas con la cepa INIA2 (Figura 7C). Con respecto al peso de la panoja se observó que las plantas en hilo sencillo inoculadas con INI093 presentan panojas 13.3 % más pesadas que las plantas inoculadas con INIA2, mientras que en hilo doble la diferencia en peso de panoja fue de solo 7 % a favor de plantas inoculadas con INI093 (Figura 7D). Con respecto al número de semillas por panoja en siembra a doble hilo se observó que las plantas inoculadas con *Trichoderma* sp (INI093) presentan 16.31 % más de semillas con respecto a las panojas de plantas inoculadas con *Trichoderma* sp (INIA2), mientras que a siembra a hilo sencillo las panojas de las plantas inoculadas con *Trichoderma* sp (INIA2) presentaron 5.7 % mayor cantidad de semilla con respecto a las panojas de plantas inoculadas con *Trichoderma* sp (INI093) (ver figura 7E). El peso de 100 granos de las plantas inoculadas con *Trichoderma* sp (INIA2) fue 17.69 % más que las plantas inoculadas con *Trichoderma* sp (INI093) para siembra a doble hilo, mientras que a hilo sencillo no se observó ninguna diferencia en el peso de 100 semillas entre los tratamientos (Figura 7F). Estos resultados se obtuvieron de la evaluación de la efectividad biológica de dos cepas de *Trichoderma* sp, en el cultivo de sorgo bajo dos densidades de siembra. Los resultados observados evidencian que el uso de biofertilizante a base de *Trichoderma* sp disminuyó los efectos deletéreos de la presencia del de hongos fitopatógenos y de pulgón amarillo en las parcelas de estudio. Actualmente es bien conocido que las *Trichoderma* sp suelen resultar excelentes agentes de control biológico esto lo llevan a cabo en parte a través de la competencia por espacios y nutrientes, lo cual favorece que el patógeno no prolifere. En este proceso de biocontrol las *Trichoderma* sp reconocen al huésped, y se unen a sus hifas a través de bobinado y penetran la pared celular mediante la secreción de enzimas degradadoras de pared celular formando orificios en el hongo huésped para extraer los nutrientes que son utilizados como alimento para su crecimiento. La mayoría de los hongos fitopatógenos tienen pared celular que contienen quitina como una espina dorsal estructural dispuesta en capas regularmente ordenadas y β -1,3-glucan como un material de relleno dispuesto en una forma amorfa. Las quitinasas y las β -1,3-glucanasas han sido determinadas para estar implicadas directamente en el micoparasitismo entre la interacción de la *Trichoderma* sp y el hospedero. Durante el micoparasitismo, las enzimas degradadoras de pared celular actúan de forma sinérgica, por lo que en un futuro la comprensión de los procesos de inducción de estas enzimas será necesaria para seleccionar la *Trichoderma* sp más eficiente para el control biológico.

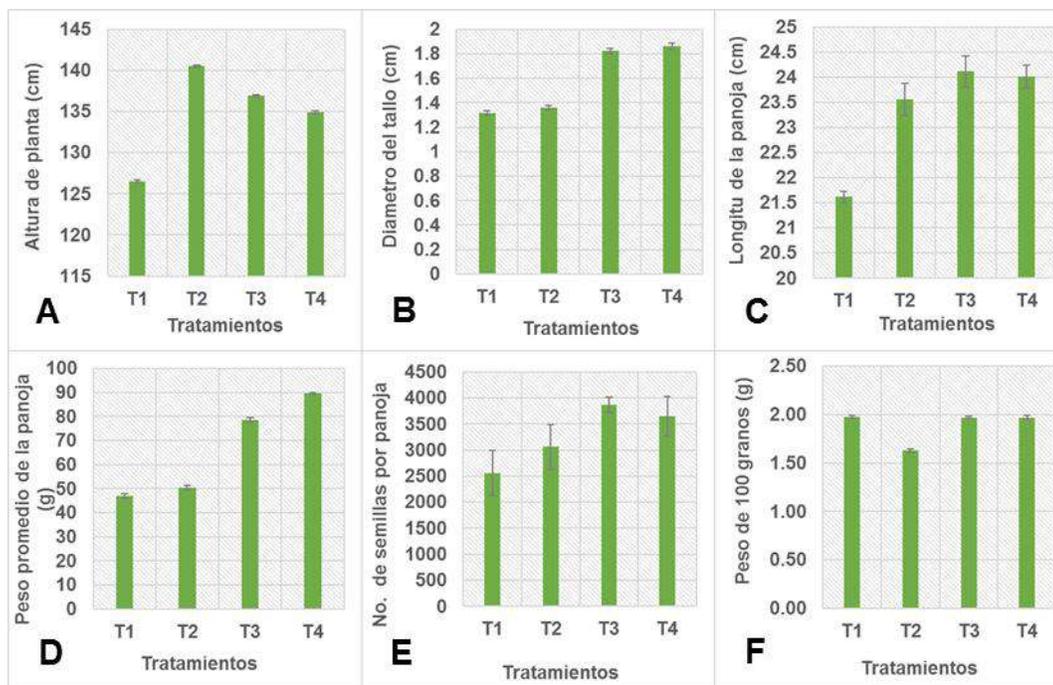


Figura 7. Variables agronómicas evaluadas en el cultivo de sorgo. T1: plantas de sorgo a doble hilo tratadas con la cepa INIA2; T2: plantas de sorgo a doble hilo tratadas con la cepa INI093; T3: plantas de sorgo a hilo simple tratadas con INIA2 y T4: plantas de sorgo a hilo simple tratadas con la cepa INI093. Las aplicaciones de los productos a base de *Trichoderma* sp (1 L/ha a una concentración de 1×10^8 UFC ml⁻¹) se realizaron vía foliar. n=90 ±SE

Cuando la *Trichoderma* sp se aplica en las raíces forma una capa protectora, haciendo una simbiosis: el hongo se alimenta de los exudados de las raíces y las raíces son protegidas por el hongo; al mismo tiempo reduce o elimina las fuentes de alimento del patógeno, y actúa como una barrera para prevenir la entrada de patógenos a las raíces. Cuando la *Trichoderma* se aplica en la semilla, el hongo coloniza las semillas y protege las plántulas en la fase post-emergente de patógenos fúngicos y cuando la aplicación se lleva a cabo directamente al suelo ofrece una protección mayor a los cultivos (Stefanova *et al.*, 1999). En países como Cuba, se ha utilizado la *Trichoderma* sp en forma de biopreparados para combatir *Phytophthora nicotianae*, *Phytophthora capsici*, *Rhizoctonia solani* y otros fitopatógenos en condiciones de campo, obteniendo resultados satisfactorios (Stefanova *et al.*, 1999). Los resultados observados en los cambios de las variables fenológicas reportadas se atribuyen por un lado a la protección antagónica de *Trichoderma* sp contra agentes causales de enfermedades en la planta, y por otro lado a la síntesis de compuestos reguladores de crecimiento o que intervienen en la asimilación de nutrientes para la planta. En este sentido Alatomare *et al.* (1999), señaló que algunas *Trichodermas* posee la habilidad para solubilizar varios nutrientes de las plantas de sus fases minerales insolubles o escasamente solubles mediante mecanismos quelantes y reductores; debido a estos mecanismos es que los fosfatos (principalmente calcio), Fe₂O₃, MnO₂, Cu y Zn suelen ser más asimilables por las plantas, de ahí que las cepas evaluadas puede representar importantes ventajas para la nutrición del cultivo. La cepa INI093 posee una actividad antagónica que le permite actuar con los agentes patógenos que afectan al cultivo de sorgo disminuyendo la incidencia de los mismos en plantas y semillas. La habilidad de esta cepa para parasitar y sobrecrecer el patógeno es de gran importancia en la estrategia para el manejo de la enfermedad. Además de esta capacidad, la cepa promovió condiciones que favorecieron el crecimiento y desarrollo de las plantas tratadas. Para la agricultura moderna, el empleo de cepas capaces de adaptarse a las diferentes condiciones agroecológicas y que cuentan con la capacidad conjunta de biocontrol y biofertilización es de suma importancia ya que genera beneficios a los cultivos (Kleifeld y Chet, 1992). Los incrementos observados en las diferentes variables agronómicas evaluadas podrían ser un indicativo para su empleo en campo, ya que puede generar beneficios que se traducen en mejores rendimientos. Sin embargo, futuros estudios deberán implementarse para su evaluación en otros cultivos y determinar si dichos mecanismos continúan operando. Asimismo, será importante conocer aspectos sobre la

competencia en la rizósfera (Harman, 2000) para confirmar si realmente cuentan con aptitud para establecerse y prosperar en los suelos cultivados. Es conocido que la *Trichoderma* sp., induce el crecimiento vegetal al degradar el epispermo de la semilla e interviene en los procesos respiratorios. Además acelera el desarrollo de los tejidos meristemáticos primarios, los cuales aumentan el volumen, la altura, así como el peso de la planta (Moity, 1982; Miranda *et al.*, 1998; Gravel *et al.*, 2007; Shores y Harman, 2008 a; Shores y Harman, 2008 b). Aunado a lo anterior, se ha reportado que este hongo secreta fitohormonas como el ácido Indol Acético que estimulan la germinación, el crecimiento y desarrollo radicular, así como mejora la asimilación de nutrientes (Windham *et al.*, 1986; Andreu *et al.*, 1992; González *et al.*, 1999; Cupull *et al.*, 2003; Harman *et al.*, 2004; Harman, 2006; Gravel *et al.*, 2007; Vinale *et al.*, 2008; Sánchez-Pérez, 2009). Las evidencias aquí presentadas ponen de manifiesto un importante rol de la *Trichoderma* en el control biológico de microbiota patógena en el cultivo de sorgo, la cual, al ser regulada por la *Trichoderma*, disminuyó los síntomas de enfermedad en las plantas inoculadas, permitiendo concluir su ciclo de vida con la producción de grano de buena calidad a pesar de la incidencia del pulgón amarillo.

CONCLUSIONES

(i) La cepa de *Trichoderma* sp (INI093) resultó efectiva en el control biológico de los fitopatógenos (*Alternaria* sp y *Fusarium* sp), encontradas en semillas de sorgo (ii) Las cepas de *Trichoderma* sp utilizadas en estas evaluaciones resultaron efectivas para que plantas de sorgo con incidencia de pulgón amarillo terminaran adecuadamente su desarrollo fisiológico (iii) La formulación a base de la cepa de *Trichoderma* sp (INI093) resultó mejor efectora en el incremento del peso de la panoja (iv) La siembra a hilo sencillo favorece el incremento en el diámetro del tallo de plantas de sorgo, la longitud de la panoja, así como el peso de la panoja (v) El uso de las formulaciones a base de *Trichoderma* sp disminuyó los efectos deletéreos de la presencia del pulgón amarillo.

LITERATURA CITADA

- Agrios, G.N. 1995. Fitopatología. 2ª. Edición. México, Noriega editores. 838 p.
- Altomare, C., Norvell, W.A., Björkman, T. and Harman, G.E. (1999). Solubilization of phosphates and micronutrients by the plant-growthpromoting and biocontrol fungus *Trichoderma harzianum* rifai 1295- 22. *Appl Environ Microbiol* 65: 2926–2933.
- Andreu, C.M., Cupull, R.S., y Mayea, S.S. 1992. Relaciones antagonicas sobre el crecimiento micelial de *Alternaria solani* Soraver, por *Trichoderma* spp. y *Verticillium* spp. *Centro Agrícola* 19(2- 3):114-116.
- Bertrand, B., Núñez, C., and Sarah, J.L. 2000. Disease complex in coffee involving *Leloidogyne arabica* and *Fusarium oxysporum*. *Plant pathology*. 49(3): 383-388.
- Cupull, S.R., Andréu, R.C. M., Pérez, N.C., Delgado, P.Y., y Cupull S.M. del C. 2003. Efecto de *Trichoderma viride* como estimulante de la germinación, en el desarrollo de posturas de cafetos y el control de *Rhizoctonia solani* Kuhn. *Centro Agrícola* 30(1).
- De Milano, W. A. J., Frederiksen, R.A., Bengston, G.D. (eds.). 1992. Sorghum and millets diseases: a second world review. (In En. Summaries in En, Fr, Es.) Patancheru, A.p. 502 324. India: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics. 378 pp. 46 ill. ISBN 92- 9666-201-8. Order code: BOE017.
- González, S.C.H., Rodríguez, L.L., Arjona, C., Puerta, A., y Fonseca, M. 1999. Efecto de la aplicación de *Trichoderma harzianum* R. sobre la composición cuantitativa de bacterias, hongos y actinomicetos de la rizósfera de solanáceas y su influencia en el crecimiento vegetativo. *Investigación agraria producción y protección vegetales*. 14: 297-306.
- Gravel, V., Antoun, H., and Tweddell, R.J. 2007. Growth stimulation and fruit yield improvement of greenhouse tomato plants by inoculation with *Pseudomonas putida* or *Trichoderma atroviride*: Possible role of indole acetic acid (IAA). *Soil boil. Biochemist*. 39: 1968-1977.
- Harman, G.E. 2000. Myths and dogmas of biocontrol: changes in perceptions derived from research on *Trichoderma harzianum* T-22. *Plant Disease* 84: 377-393.
- Harman, G.E., Petzoldt, R., Comis, A., and Chen, J. 2004. Interactions between *Trichoderma harzianum* strain T22 and maize inbred line Mo17 and effects of these interactions on diseases caused by *Pythium ultimum* and *Colletotrichum graminicola*. *Phytoph*. 94: 147-153.

- Harman, G.E., Howell, C.R., Viterbo, A., Chet, I., and Lorito M. 2004. *Trichoderma* species - opportunistic, avirulent plant symbionts. *Nature Reviews Microbiology* 2: 43-56.
- Harman, G.E. 2006. Overview of mechanisms and uses of *Trichoderma* spp. *Phytopathology* 96: 190-194.
- Kleifeld, O., and Chet, I. 1992. *Trichoderma*: plant interaction and its effects on increased growth response. *Plant Soil* 144(2): 267-272.
- Miranda-Hernandez, M., Magdeel-Pérez, G., y Cupull, S.R. 1998. Efecto de *Trichoderma* y *Azotobacter* en la producción de posturas de cafeto. IP Gral. Lázaro Cárdenas del Río. Trabajo de Diplomado.
- Moity, T.H. 1982. Survival of *Trichoderma harzianum* in soil and in Pea and Bean rhizospheres. *Phytopathology* 72(1): 121-125.
- Pavón, M.A., González, I., Santos, M., y García, T. 2012. Importancia del género *Alternaria* como productor de micotoxinas y agente causal de enfermedades humanas. *Nutrición hospitalaria*, 27(6): 1772-1781.
- SAGARPA. 2008. Campaña de manejo fitosanitario de sorgo. Guanajuato, México.
- Sánchez-Pérez, M.I. 2009. Aislamiento y caracterización molecular y agronómica de *Trichoderma* spp. Nativos del norte de Tamaulipas. Tesis de Maestría en Ciencias en Biotecnología Genómica. Centro de Biotecnología Genómica. Instituto Politécnico Nacional, 187 p.
- Shoresh, M., and Harman, G.E. 2008a. The molecular basis of shoot responses of maize seedlings to *Trichoderma harzianum* T22 inoculation of the root: A proteomic approach. *Plant Physiology*. 147: 2147-2163.
- Shoresh, M., and Harman, G.E. 2008b. The relationship between increased growth and resistance induced in plants by root colonizing microbes. *Plant Signaling & Behaviour*. 3: 737-739.
- Stefanova, M., Leiva, A., Larrinaga, L., y Coronado, M.F. 1999. Actividad metabólica de cepas de *Trichoderma* spp, para el control de hongos fitopatógenos del suelo. *Revista de la Facultad de Agronomía. (LUZ)* 16: 509-516.
- Vinale, F., Sivasithamparamb, K., Ghisalberti, M.L., Marra, R., Woo, S.L., and Lorito, M. 2008. *Trichoderma*-plant-pathogen interactions. *Soil Biology & Biochemistry* 40: 1-10.
- Windham, M.T., Elod, Y., and Baker, R. 1986. Mechanism for increased plant growth induced by *Trichoderma* spp. *Phytopathology*. 76: 518-521

EVALUACIÓN DE LA RED HIDROAGRÍCOLA DE UN MÓDULO DE RIEGO EN EL NORTE DE MÉXICO

EVALUATION OF THE HYDRO-AGRICULTURAL NETWORK OF AN IRRIGATION MODULE IN THE NORTH OF MEXICO

¹Ramos-Cruz CM, ²Delgado-Ramírez G, ²Estrada-Avalos J, ³López-López R, ⁴Miguel-Valle E

¹Campo Experimental, General Terán-INIFAP. Km 31 Carretera Montemorelos-China, C. P. 67400. General Terán, Nuevo León.

²Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua Suelo Atmósfera CENID-RASPA, INIFAP. Canal Sacramento Km. 6.5. C.P. 35140. Gómez Palacios, Durango.

³Campo Experimental Huimanguillo-INIFAP. Km 1 Carretera Huimanguillo-Cárdenas, C.P. 86400. Huimanguillo, Tabasco.

⁴Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro-Unidad Laguna. Periférico Raúl López Sánchez y carretera Santa Fe. C.P. 27054. Torreón Coahuila.

Autor para correspondencia: ramos.carlos@inifap.gob.mx

RESUMEN

La ineficiencia en el uso del agua en los Distritos de Riego en México, se debe principalmente a las pérdidas durante su conducción y aplicación. Estas se encuentran en el orden del 60 %, con la consecuencia de una eficiencia global menor al 40 %, esto indica que el 60 % del volumen disponible se pierde durante la conducción y distribución. Es importante realizar acciones que ayuden a incrementar la eficiencia en el uso de agua, ya que la agricultura consume el 70 % del volumen total disponible a nivel nacional. Por esta razón, el objetivo de este estudio fue evaluar la red hidroagrícola de un módulo de riego en el norte de México, para determinar la eficiencia de conducción de los canales, con el fin de identificar pérdidas de agua en la conducción y realizar acciones de mejora para incrementar la eficiencia de riego. Para determinar la eficiencia de conducción se utilizó el método área-velocidad. Los resultados del estudio mostraron que el canal principal del módulo presentó mejor eficiencia de conducción (96.2 %) con respecto a los diversos canales evaluados. La baja eficiencia de conducción se registró en los canales interparcelarios (59.2 %) con pérdidas de agua hasta de 20.1 L s⁻¹ 100 m de canal evaluado.

Palabras clave: *Eficiencia, pérdidas, conducción, canales.*

INTRODUCCION

En los Distritos de Riego en México, la conducción del agua desde la fuente de abastecimiento hasta la parcela de los usuarios se realiza por medio de una red de canales y obras de control, que facilitan la distribución entre las unidades, zonas y secciones de riego, hasta llegar a cada una de las parcelas que requieran del riego y concluyendo en la zona radical del cultivo. Durante este recorrido se originan diversas pérdidas que merman el aprovechamiento del agua, éstas se cuantifican en: eficiencia de conducción (Ec), eficiencia de distribución (Ed) y eficiencia de aplicación (Ea) (Exebio *et al.*, 2005). Estos índices constituyen un método estándar para cuantificar y medir el manejo de los sistemas o métodos de riego. Los índices son externos y miden lo que entra y sale del sistema; si se aplican de manera juiciosa, ayudan a identificar problemas de funcionalidad y esto se puede establecer o seleccionar áreas de prioridad para desarrollar alternativas de mejora en los sistemas de distribución y aplicación del agua de riego (García *et al.*, 2010). Se estima que la eficiencia de conducción en los Distritos de Riego en el país es del orden de 60 % (Palacios, 1991), y la de aplicación a nivel parcela en un porcentaje similar con la consecuencia de una eficiencia global menor al 40 % (Ortiz *et al.*, 1999), lo que se traduce en pérdidas de 60 % del volumen disponible durante la conducción y distribución (Catalán *et al.*, 2012). El objetivo del presente estudio fue determinar la eficiencia de conducción de la red hidroagrícola de un módulo de riego, con la finalidad de identificar pérdidas de agua en la red de canales para identificar acciones de mejora e incrementar la eficiencia de conducción.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en un módulo de riego del DR-017 Región Lagunera, el cual está integrado por 20 módulos de riego, de los cuales 17 corresponden al Río Nazas (Figura 1) y tres al Río Aguanaval

(Macías *et al.*, 2007); asimismo, posee una infraestructura hidroagrícola de dos presas de almacenamiento, diversas presas derivadoras y una red de distribución de 1,266 km de canales y drenes en beneficio de 37,956 usuarios (García *et al.*, 2010).

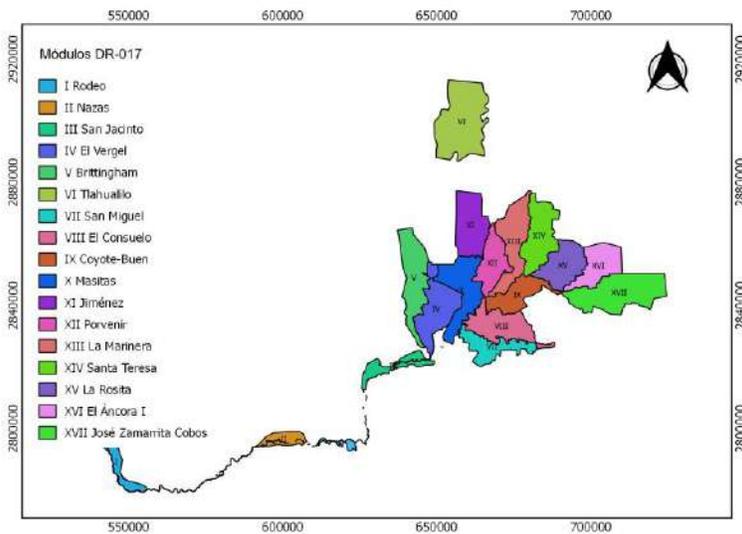


Figura 1. Distribución geográfica de los módulos del DR-017

Para la evaluación de la red de canales en el módulo, se realizaron las siguientes actividades:

Levantamiento topográfico de la red de distribución: Se realizó un levantamiento detallado de la red de canales (desde el canal principal hasta los canales interparcelarios) mediante un GPS diferencial (GPSD) (Ramos *et al.*, 2017).

Integración de un SIG: Este se realizó en el Laboratorio de SIG-Agua-Suelo del CENID-RASPA INIFAP, con sede en Gómez Palacio, Durango y consistió en digitalizar las coordenadas recolectadas en campo con el GPSD de los distintos canales que integran el área de estudio en polígonos y líneas mediante el software Quantum GIS (QGIS). Este software es un Sistema de Información Geográfica de código libre (Lakota y Stajanko, 2013). El trabajo se proyectó en UTM y datum WGS 84 para la zona 13 N.

Evaluación de la eficiencia de conducción en la red de canales: De manera sistemática se realizaron aforos Aguas Arriba (AAR) y Aguas Abajo (AAB) de los distintos canales que integran la red de distribución del módulo de estudio. Para determinar las eficiencias de conducción se estableció la siguiente metodología (Ramos, 2016):

1) Selección de estación o punto de aforo: Se consideraron los siguientes criterios citados por Montoya (2014):

- El lugar de la medición debe tener 100 m lineales sin obstáculos (árboles, maleza, azolves), de sección transversal y pendiente uniforme, con el fin de garantizar una distribución uniforme de la velocidad.
- El fondo y los márgenes del canal deben ser estables y bien definidos, para facilitar la medición de la sección transversal de manera exacta.
- Evitar sitios donde se visualice irregularidades en los vértices, flujo inverso y zonas muertas.
- El tirante hidráulico de la sección debe ser suficiente, para proporcionar la inmersión del molinete.

2) Medición del gasto hidráulico en canales principales y laterales: Para determinar el gasto hidráulico, primero se calculó el área de la sección de aforo mediante la medición con estación total (SOKKIA) las siguientes variables: plantilla del canal (B), espejo del agua (b), taludes, nivel de operación, tirante hidráulico (h) y corona del canal. Al obtener dichas variables se calculó el área de la sección con el software AutoCAD.

La velocidad del agua en el canal se determinó con un molinete mecánico (OTT® modelo C-20), se dividió la sección de aforo del canal en tres dovelas o secciones. El tirante hidráulico se midió desde el punto de control al espejo del agua (Figura 2). Para este tipo de canales se utilizó la técnica de aforo de dos y ocho decimos (se introdujo el molinete al 20 y 80 % de la profundidad con respecto a la altura del tirante hidráulico (IMTA, 2000)). Con la velocidad y el área de sección se utilizó la ecuación de continuidad para calcular el gasto hidráulico (CNA-IMTA, 2001).

$$Q = A * V \quad (1)$$

Dónde: Q = Gasto Hidráulico ($m^3 s^{-1}$); A = área de la sección de aforo (m^2); y V = Velocidad del agua ($m s^{-1}$).

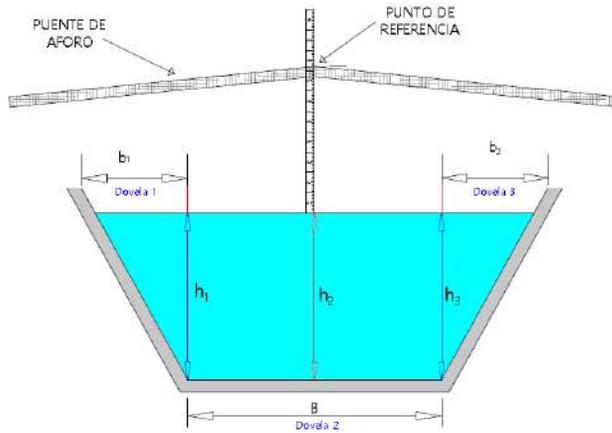


Figura 2. Sección de aforo en canal principal y laterales

3) Medición de gasto hidráulico en canales secundarios revestidos: Los canales que se evaluaron fueron sublaterales, ramales e interparcelarios o tomas directas. Para conocer el área de la sección se midió: base mayor (espejo de agua), tirante hidráulico y base menor (plantilla) (Figura 3). Mediante la ecuación 2 se calculó el área total de la sección. La velocidad del agua se midió con un molinete digital (Global Water modelo F-111) a una profundidad de 60 % del tirante hidráulico y el gasto hidráulico se calculó con la ecuación 1.

$$A = \frac{B + b}{2} * h \quad (2)$$

Dónde: A = área de la sección de aforo (m^2); B = base mayor (m); b = base menor (m) y h = tirante hidráulico (m).

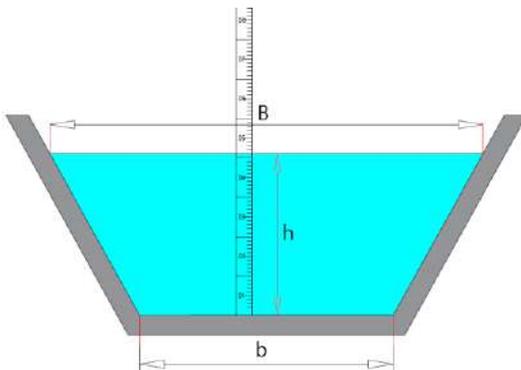


Figura 3. Sección de aforo canales revestidos

4) Medición de gastos hidráulicos en canales no revestidos: En esta evaluación se consideraron los canales interparcelarios. El área se obtuvo al medir el espejo del agua y dividirlo en cuatro dovelas (Figura 4). Posteriormente, se midió el tirante hidráulico de cada dovela, con la ecuación (3) se calculó el área de las dovelas externas (dovelas 1 y 4), y con la ecuación (4) se calculó el área de las dovelas internas (2 y 3). El área total de la sección fue la suma de las cuatro dovelas. Para calcular la velocidad del agua se introdujo el molinete digital a una profundidad del 60 % del tirante hidráulico y con la ecuación (1) se calculó el gasto hidráulico.

$$A_1 = \frac{b * h}{h} \quad (3)$$

$$A_2 = \frac{h_1 + h_2}{h} * b \quad (4)$$

Dónde: A = área de la sección de aforo (m^2); b y h definidas arriba.

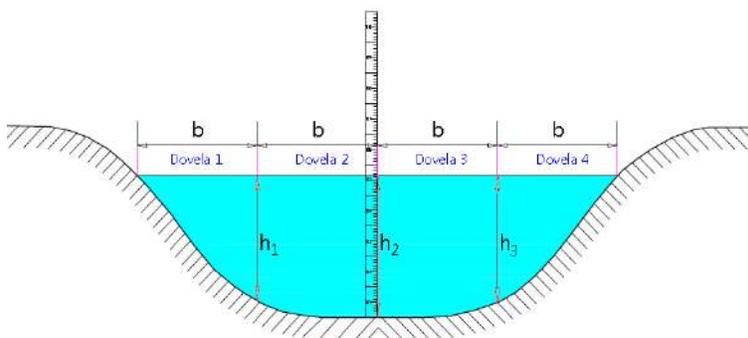


Figura 4. Sección de aforo canales no revestidos

La eficiencia de conducción se calculó con la siguiente ecuación:

$$E_c = \frac{Q_1}{Q_2} * 100 \quad (5)$$

Dónde: E_c = Eficiencia de conducción (%); Q_1 = Gasto aguas arriba ($L s^{-1}$); Q_2 = Gasto aguas abajo ($L s^{-1}$).

Calculo de pérdidas por conducción: Cada punto de aforo fue georeferenciado con un GPS (GARMIN®) y posteriormente se proyectaron en el SIG generado para este estudio (Ramos, 2016). Con las coordenadas de cada punto de aforo se obtuvo la longitud del canal evaluado. Con esta información y la ecuación (6) se calculó la pérdida de agua por conducción (García *et al.*, 2010).

$$P_c = \frac{Q_1 - Q_2}{\left(\frac{L_c}{100}\right)} \quad (6)$$

Dónde: P_c = Perdida por conducción del canal ($L s^{-1} 100 m^{-1}$); L_c = Longitud del canal entre los aforos (m), Q_1 = Gasto aguas arriba ($L s^{-1}$); Q_2 = Gasto aguas abajo ($L s^{-1}$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La eficiencia de conducción encontrada en el Canal Principal Sacramento (CPS) fue 96.2 %. Este valor consecuentemente se refleja en las pérdidas por conducción, las cuales fueron las más bajas de la red ($2.5 L s^{-1} 100 m^{-1}$ (Cuadro I). Lo anterior se debe a que los usuarios del módulo tienen mayor atención a este canal, ya que cada año antes de iniciar el ciclo de riego programan un mantenimiento, con acciones como: desazolve, rehabilitación de losas dañadas, deshierbe, aplicación de sellador en las juntas de las losas, reparación de compuertas y represas dañadas. Derivado de estas acciones, se logra incrementar la eficiencia en la conducción del agua en los canales. Lo indicado arriba, coincide con lo mencionado por MINAGRI (2015) quienes señalan que, si la eficiencia es alta, significa que las pérdidas de agua son mínimas debido a las condiciones del canal; por lo contrario, cuando el resultado es bajo quiere decir que existe mayor pérdida de agua.

En el caso de los canales laterales y sublaterales se encontraron las menores eficiencias de conducción del módulo (51.9 % y 59.0 %), lo cual generó un incremento en las pérdidas por conducción (4.4 y $3.7 L s^{-1} 100 m^{-1}$) (Cuadro I). Se observó un mayor número de tramos de canal dañados, así como canales en contrapendiente, compuertas con fugas de agua, presencia de maleza y azolves. Lo anterior tiene como consecuencia que se incrementen las pérdidas por conducción, debido a que se disminuye la velocidad del caudal (Demin, 2014).

Los canales interparcelarios presentaron un rango de eficiencia de 59.2 % en canales no revestidos (No-R) y 98.7 % en los canales revestidos (R). Los canales que presentaron eficiencia baja mostraron pérdidas de conducción de hasta $20.1 L s^{-1} 100 m^{-1}$ (Cuadro II). Las eficiencias altas de conducción encontradas en los canales interparcelarios No-R (TDI 2+947 y TDI 60+560), se atribuyen al mantenimiento continuo por parte de los usuarios, lo cual ayuda a disminuir las pérdidas por conducción (Ramos, 2016). Revestir los canales con concreto simple incrementan un 10 % la eficiencia de conducción y con el ahorro de agua se aumenta la superficie regable de los módulos (Barrios *et al.*, 2017). Otra alternativa para incrementar la eficiencia es tecnificar el riego parcelario

(Olvera *et al.*, 2014), mediante la selección de sistemas apropiados con base en el cultivo establecido, textura del suelo, gasto disponible, tandeo de riego y sobre todo a la oportunidad o capacidad económica del usuario o productor del módulo.

Cuadro I. Eficiencias de conducción de canales principales y secundarios.

Canal	Longitud Evaluada (m)	Ec (%)	Pc (Ls ⁻¹ 100 m ⁻¹)	Tipo de canal
CPS	5776.2	96.2	2.5	R
LI 61+518*	566.6	89.2	2.1	R
LI 61+518	1224.3	51.9	4.4	R
LD 57+839**	5190.2	88.5	4.1	R
SLD 10+977***	7203.1	59.0	3.7	R
RD 6+486 [§]	785.1	81.6	6.5	R

*Canal Lateral Izquierdo; ** Canal Lateral Derecho; ***Canal Sub-lateral Derecho; [§]Canal Ramal Derecho; Ec = Eficiencia de conducción; Pc = Perdidas por conducción. R=revestido

Cuadro 2. Eficiencias de conducción en canales interparcelarios.

Canal	Longitud Evaluada (m)	Ec (%)	Pc (L s ⁻¹ 100 m ⁻¹)	Tipo de canal
TDI 2+947*	354.6	98.4	1.6	No-R
TDI 4+495	411.2	98.7	1.3	R
TDD 5+625**	657.7	59.2	6.1	No-R
TDD 7+151	204.22	79.9	20.1	No-R
TDD 9+605	1378.7	96.4	0.3	R
TDD 9+605	667.6	67.2	5.4	No-R
TDD 9+605	2352.8	59.5	2.1	No-R
TDI 14+394	444.7	65.2	13.8	No-R
TDI 14+377	699.3	67.7	4.4	No-R
TDI 60+560	652.8	93.1	3.2	No-R
TDI 60+560	272.5	81.5	10.9	No-R

*Toma Directa Izquierda; **Toma Directa Derecha; Ec= eficiencia de conducción; Pc=pérdida de conducción, R=canal revestido, No-R=canal no revestido

CONCLUSIONES

En este estudio de caso, los canales interparcelarios no revestidos fueron los que presentaron la eficiencia de conducción más baja (59.2 %) y por ende las pérdidas de agua más altas (20.1 L s⁻¹ 100 m⁻¹), lo cual repercute directamente en la eficiencia global y en la productividad del agua a nivel módulo.

Es necesario realizar periódicamente mantenimiento y limpieza de los canales, además de un programa de revestimiento de canales con concreto o geomembrana, priorizando los canales interparcelarios, con estas acciones se puede lograr un ahorro de agua del 30.8 % esto equivale 1,693 m³ por cada m que se rehabilite del canal durante el ciclo de riego.

LITERATURA CITADA

- Barrios, J. M., Zaldívar, P., Villegas, I., y Alcántara, A. (2017). Eficiencia de conducción del agua en el canal principal del Distrito de Riego 030 Valsequillo. III Congreso Nacional de Riego y Drenaje COMEII 2017. Puebla, Pue., del 28 al 30 de noviembre de 2017 COMEII- 17037.
- Catalán, E., Villa, M. M., Inzunza, M., Román, A., y González, J. (2012). Cálculo de demandas de agua y programación del riego de cultivos en Coahuila. *AGROFAZ* 12: 123-131.

- CNA-IMTA (2001). "Aforos de descargas. Serie autodidáctica de medición de la calidad del agua," México. 56 p.
- Demin, P. (2014). "Aportes para el mejoramiento del manejo de los sistemas de riego. Métodos de riego: fundamentos, usos y adaptaciones," Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, San Fernando del Valle de Catamarca, Catamarca. 28 p.
- Exebio, A., Palacios, E., Mejía, E., y Ruiz, V. (2005). Metodología para estimar pérdidas por infiltración en canales de tierra. *Terra Latinoamericana* 23 (2): 213-223.
- García, M. Y., Sánchez, I., García, G., Moreno, L., Trejo, R., y Hernández, M. A. (2010). Evaluación de la eficiencia de riego en el Módulo IV del Distrito de Riego 017 Comarca Lagunera, México. *RCHSZA* 9: 99-106.
- IMTA (2000). Manual de aforos. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México, pp. 137.
- Lakota, M., y Stajniko, D. (2013). Using of GIS tools for analysis of organic waste management in Slovenia region Pomurje. 6th International Conference on Information and Communication Technologies in Agriculture, Food y Environment (HAICTA 2013). *Procedia Technology* 8: 570-574.
- Macías, H., Sánchez, I., y Catalán, E. A. (2007). Sistema soporte de decisiones para el manejo integral del agua en el DR 017, Coahuila y Durango, México. *RCHSZA* 6: 77-89.
- MINAGRI (2015). "Manual de cálculo de eficiencia para sistemas de riego." Ministerio de Agricultura y Riego, Ministerio de Agricultura y Riego. San Isidro, Lima. 54 p.
- Montoya, M. (2014). Modelo numérico para estimar el caudal de avenidas en ríos. Tesis Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México. 131 p.
- Olvera, M., Bahena, G., Alpuche, O., y García, F. (2014). La tecnificación del riego ante la escasez del agua para la generación de alimentos. Estudio de caso en Chihuahua, México. *Ambiente y Desarrollo* 18: 23-36.
- Ortiz, J. N., Nikolskii, I., Palacios, O., y Acosta, R. (1999). Pérdidas de agua de riego por percolación profunda durante el proceso de infiltración. *TERRA* 12 (2): 115-124.
- Palacios, E. (1991). La eficiencia en el uso del agua en los Distritos de Riego.
- Ramos, C. M. (2016). Productividad del agua en un módulo del distrito 017 Región Lagunera. Tesis Maestría, Universidad Juárez del Estado de Durango., Venecia, Dgo., México. 155 p.
- Ramos, C. M., Estrada, J., Delgado, G., Miguel, E., y Servín, A. (2017). Metodología para la integración de un SIG a nivel módulo de Riego mediante Software de código libre y topografía de precisión. *Memoria de la XXIX Semana Internacional de Agronomía FAZ-UJED. Septiembre del 2017:* 333-338.

MODELO PARA PREDECIR LA PRODUCCIÓN DE RESINA DE *Pinus oocarpa* Schiede ex Schlttdl. EN EL EJIDO JORGE DE LA VEGA, CHIAPAS, MÉXICO
MODEL TO PREDICT RESIN PRODUCTION BY *Pinus oocarpa* Schiede ex Schlttdl. IN EJIDO JORGE DE LA VEGA, CHIAPAS, MEXICO

¹Reynoso-Santos R, ²Hernández-Ramos J, ³Muñoz-Flores HJ, ¹López Báez W, ¹Cadena-Iñiguez P, ⁴Cruz Santos E, ⁴Rodríguez Chávez EA

¹Campo Experimental Centro de Chiapas, Centro de Investigación Regional Pacífico Sur, INIFAP.

²Campo Experimental Chetumal, Centro de Investigación Regional Sureste, INIFAP.

³Campo Experimenta Uruapan, Centro de Investigación Regional Pacífico Centro, INIFAP.

⁴Centro Académico Regional Chiapas, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN).

Autor para correspondencia: reynoso.roberto@inifap.gob.mx

RESUMEN

La extracción de resina de especies del genero *Pinus* es una actividad económica que contribuye al desarrollo económico de las zonas rurales en el país, sin embargo el manejo forestal no maderables aun es deficiente. El objetivo fue ajustar modelos de predicción en la producción de resina por árbol a partir de las variables diámetro normal (cm) y altura total (m) en rodales de *Pinus oocarpa* Schiede ex Schlttdl. en el ejido Jorge de la Vega Domínguez, Chiapas. La producción de resina fue estimada durante ocho meses a partir de 56 sitios de muestreo y 116 caras bajo el método resinación francés y con un muestreo sistemático y cuadrantes de punto central. Se realizaron picas cada 7 días y cada 30 días se registró el peso de la resina (gr) con una báscula portátil, con esta información se ajustó el modelo de Schumacher en tres calidades de estación (alta, media y baja) usando SAS 9.4® mediante el método de mínimos cuadrados ordinarios. Los modelos explican en promedio el 67.5% de la variabilidad de la muestra empleada ($R^2=0.67$) para las tres calidades de sitio y tienen un valor en la raíz del cuadrado medio del error de entre 13.1 y 22.7 g. Los resultados de los modelos muestran un comportamiento conservador y coherente en comparación con los datos reales de campo lo que hace factible su aplicación para predecir la producción de resina de pino por superficie dentro del área de manejo forestal.

Palabras clave: *Alométricos, modelos predictivos, no maderables, resina de pino.*

INTRODUCCION

Los productos forestales no maderables son bienes de origen biológico distintos de la madera, procedentes de los bosques, de otros terrenos arbolados y de árboles situados fuera de los bosques (FAO, 1999). En la última década los productos forestales no maderables (PFNM) han sido reconsiderados como elementos relevantes del manejo integral de los ecosistemas forestales, debido a que su recolecta contribuye a disminuir la presión sobre las comunidades arbóreas y en consecuencia son factor importante en la conservación de las mismas (Velasco *et al.*, 2009). En México la Comisión Nacional Forestal, dentro de su Plan Estratégico de Comercialización incluye como PFNM de mayor importancia a los siguientes productos: resina de pino, palma camedor (*Chamaedorea elegans* Mart.), candelilla (*Euphorbia antisiphilitica* Zucc.), orégano (*Origanum vulgare* L.), lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.), hongos silvestres comestibles, joboba (*Simmondsia chinensis* Link, C.k.schneid.), chicle (*Manilkara zapota* L. P.Royen.) y guayule (*Parthenium argentatum* A. Gray.) (CONAFOR, 2006).

El aprovechamiento de resina de pino a nivel mundial asciende a poco más de 1 millón de toneladas siendo los principales productores: China, Brasil e Indonesia, juntos alcanzando una producción de 1, 200,000 toneladas por año, representando el 92% de la producción mundial (Cunningham, 2009b). La producción mundial se concentra principalmente en tres especies: *Pinus massoniana* Lamb., *P. elliotii* Engelm y *P. merkusii* Jungh. & de Vriese. (Cunningham, 2009a).

La resinación en México en bosques de pino se ha practicado desde la época precortesiana; los náhuatl, toltecas y mayas empleaban la resina como adhesivo de diversos objetos ceremoniales, y la "trementina" en antorchas usadas en la iluminación nocturna (Mas y Prado, 1981). El aprovechamiento de resina de pino con fines comerciales se ha venido realizando desde 1920, es el principal producto forestal no maderable que se aprovecha en el país ya que representa el 43% y 47%

del valor y volumen de producción forestal no maderable nacional respectivamente excluyendo tierra de monte (NOM-026-SEMARNAT, 2005).

Respecto al valor de la producción no maderable, considerando tierra de monte, el total del valor a nivel nacional durante el 2014 fue de 601 millones 655 mil 321 pesos, siendo cinco estados los que reportan el 73.5% de dicho valor: Michoacán (36.4%), Coahuila (11.9%), Tamaulipas (10.3%), Veracruz (8.5%) y México (6.5%) (SEMARNAT, 2014). Para el caso específico de Chiapas, el aprovechamiento de resina cada vez recobra mayor importancia, dado que en el año 2014, la producción fue de 177 ton, valor que estuvo por arriba del Estado de Oaxaca con 139 ton; lo que representó una producción con un valor de 1,416,000 pesos m/n (SEMARNAT, 2014).

En Chiapas, existen especies importantes para la producción de resinas, tales como, *P. oocarpa*, *P. maximinoi*, *P. tenuifolia* y *P. montezumae* (Quiroz y Magaña, 2015). Los valores de producción de resinas tienen un potencial para aumentar su producción, puesto que en Chiapas existen 1,220,050 ha con potencial alto y moderado para el desarrollo de *P. oocarpa* (Reynoso *et al.*, 2015), una de las especies más aprovechadas para la producción.

Pese a lo anterior, el aprovechamiento de la resina de pino ha tenido poca importancia debido al desinterés de los dueños de los bosques de pino, aunado al poco o nulo conocimiento de los beneficios que brinda esta actividad productiva. Actualmente el aprovechamiento de resina se realiza de manera empírica; por lo que es conveniente mejorar el manejo con técnicas cuantitativas que permitan determinar la producción potencial por unidad de superficie a partir de variables ecológicas, dasonómicas o biológicas de fácil medición, debido a ello se planteó objetivo de ajustar modelos de predicción en la producción de resina por árbol a partir de las variables diámetro normal (cm) y altura total (m) en rodales de *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl. en el ejido Jorge de la Vega Domínguez, Chiapas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del área de estudio. El ejido Jorge de la Vega Domínguez, municipio de Cintalapa, Chiapas, se encuentra en la región socioeconómica II Valles Zoque, cuenta con una superficie de 2,677.4170 hectáreas, de las cuales 1,808.3090 hectáreas se encuentran bajo manejo forestal. Los terrenos del ejido Jorge de la Vega Domínguez, se encuentran en la Región Hidrológica RH-30 Grijalva-Osumacinta y Cuenca del Río Grijalva –Tuxtla Gutiérrez. El clima presente en el ejido es Semicálido Subhúmedo del grupo C, temperatura media anual mayor de 18°C, temperatura del mes más frío menor de 18°C, temperatura del mes más caliente mayor de 22°C. Precipitación del mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano con índice P/T entre 43.2 y 55, porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual; clima que se encuentra cubriendo el predio en 70% aproximadamente de su superficie, lado noreste-sureste. El tipo de suelo que predomina es Acrisol ácidos característico de zonas tropicales o templadas muy lluviosas (INEGI, 2016).

El ejido cuenta con manejo forestal a través del Método Mexicano de Ordenación de Bosques Irregulares (MMOBI) desde 2015, lo cual ha propiciado que la categoría diamétrica promedio sea de 30.5 centímetros a una edad promedio de 26.2 años para la especie base. El bosque es joven con estructura irregular. El área geográfica donde se tomaron los datos corresponde a una zona bajo resinación en el ejido (Figura 1), la cual fue definida a través de un mapa base de la zona con los usos de suelo y vegetación presentes, además de recorridos de campo entre técnicos forestales y dueños o poseedores del recurso (Arroyo, 2014).

Diseño de muestreo y tamaño de muestra. Para estimar la producción de resina de pino por unidad de superficie se instalaron como unidad de muestreo una parcela de área fija de dimensiones variables donde la especie predominante fuera *Pinus oocarpa* para obtener el valor de resina por árbol. Se instalaron 14 sitios en el rodal previamente seleccionado, los cuales se ubicaron bajo un patrón de este tipo, a equidistancias entre sitio de 100 m. Cada sitio se georreferenció mediante un GPS usando Datum WGS 84.

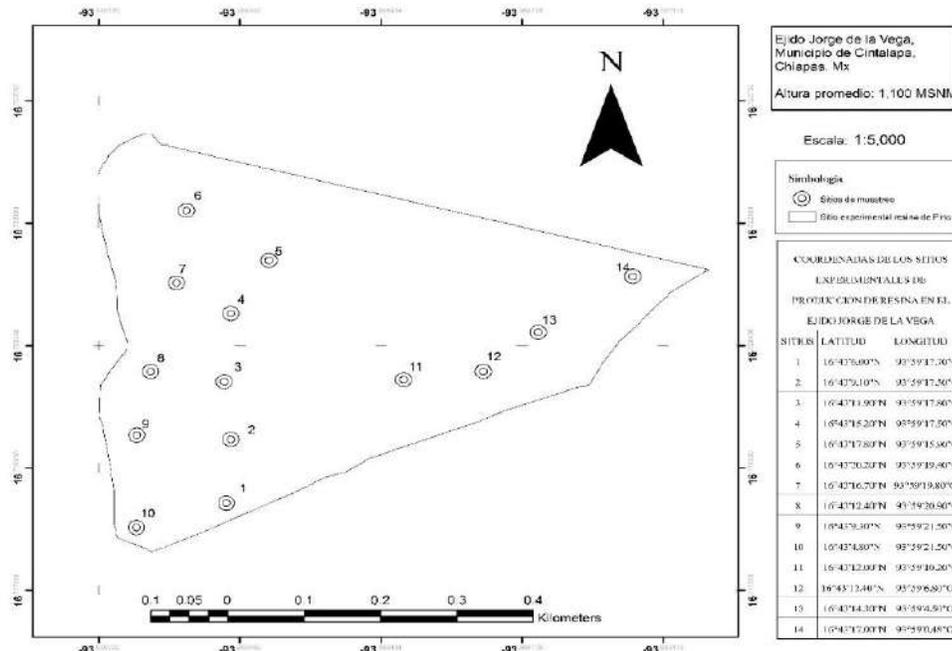


Figura 1. Ubicación de los sitios de muestreo para la obtención de los pesos de producción de resina en el ejido Jorge de la Vega Domínguez, Cintalapa.

Se utilizó un muestreo sistemático con cuadrantes de punto central, que consiste en medir el árbol en aprovechamiento de resina más cercano al centro del sitio. Los cuadrantes se trazaron de acuerdo a los rumbos francos N, S, E y W, y se marcaron con los números del uno al cuatro, en sentido de las manecillas del reloj cada uno de los árboles se dio un número de forma progresiva, con base al cuadrante que pertenecía (Figura 2).

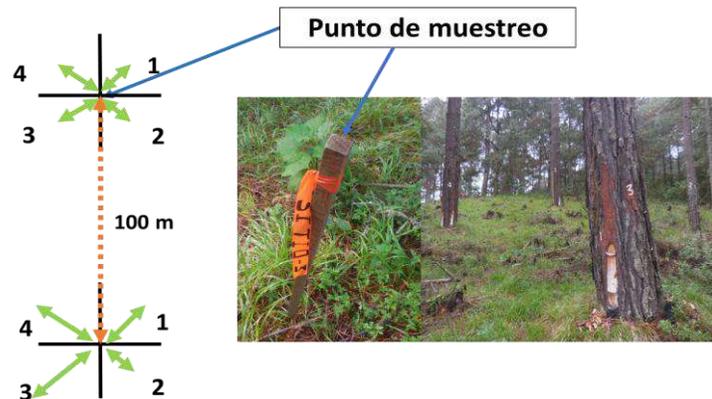


Figura 2. Muestreo sistemático mediante cuadrantes de punto central para la evaluación de producción de resina de *Pinus oocarpa* en el ejido Jorge de la Vega.

Variables dasométricas y peso de la resina. Las variables que se utilizaron para el desarrollo del modelo fueron el diámetro normal (DN) y altura total (H), las cuales en otros estudios se han usado para el desarrollo de modelos de regresión en resina (Zamora *et al.*, 2013). El pesado de la resina se realizó a cada 30 días durante 8 meses del mes de junio de 2017 al mes de enero 2018. Se utilizó una báscula portátil graduada en gramos y el peso registrado se le destaró el peso del cacharro. La determinación del peso se verificó en todas las caras de resinación y se registró en un formato diseñado exprefeso.

Análisis de datos y desarrollo del modelo. Se ajustaron dos modelos matemáticos de la forma $Y=a*(e^{-b/x})$ y $Y=ax+bx^2$ para estimar la producción de resina a partir de la variable combinada de Dn y H (Dn^2H , con $n=56$ y 116 caras) en tres calidades de estación. El ajuste de los modelos se realizó con el software Statistical Analysis System (SAS 9.4®), con el método de mínimos cuadrados ordinarios. Se tomaron como criterios para la selección del modelo de estimación de resina la bondad de ajuste de la suma de cuadrados del error (SCE), la raíz del error medio cuadrático (REMC) y el coeficiente de determinación ajustado (R^2 aj). Con base en los resultados del modelo, se obtuvo una tabla de producción de resina de pino, la cual se generó a partir del modelo construido para dicha zona.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La caracterización dasométrica del área de estudio muestra que los rodales poseen un DN promedio de 34.1 cm a una altura promedio de 17.3 m, mientras que los rendimientos de producción de resina por cara y árbol varían entre 524 y 39 g (Cuadro 1).

Cuadro 1. Estadísticas básicas de los sitios de muestreo para la evaluación de la producción de resina.

Variable	No. Árboles	Media	Máximo	Mínimo	DS	CV
Dn	56	34.12	50.90	26.20	4.56	0.13
H	56	17.36	27.00	10.00	4.26	0.25
D ² H	56	2.12	6.48	0.83	0.95	0.45
Rendimiento promedio	56	200.2	524	39	101.2	0.51

Dónde: Dn= diámetro normal (cm), H= Altura (m), D²H= Variable combinada diámetro al cuadrado por altura, DS= desviación estándar, CV= coeficiente de variación

En el cuadro 2, se muestra el valor de todos los parámetros que resultaron significativos al $p=0.05$ y las asíntotas de los dos modelos probados en las tres calidades de estación, los cuales relacionan la variable combinada D²H con la producción de resina (g/cara), observándose que la máxima capacidad de producción para esta región es de 281.22 g (modelo 1) por cara para esta especie en la zona de productividad alta, mientras que en un escenario no favorable para la producción de resina se tienen solo 54.55 g (modelo 6).

Cuadro 2. Modelos utilizados para predecir la producción de resina de *Pinus oocarpa* en el ejido Jorge de la Vega, Domínguez, Chiapas.

Modelo	Zona de producción	Expresión matemática	Parámetro y estimación	
(1)	Alta	PromRend = $A0*(exp(-A1/d^2h))$	A0	281.2294
			A1	0.691081
(2)	Media	PromRend= $A0*(exp(-A1/d^2h))$	A0	233.2065
			A1	1.08212
(3)	Baja	PromRend= $A0*(exp(-A1/d^2h))$	A0	147.2359
			A1	0.955555
(4)	Alta	PromRend= $A1*d^2h+A2*d^2h^{**2}$	A1	169.8737
			a2	-33.4203
(5)	Media	PromRend= $A1*d^2h+A2*d^2h^{**2}$	A1	90.13119
			a2	-11.5479
(6)	Baja	PromRend= $A1*d^2h+A2*d^2h^{**2}$	A1	54.55487
			a2	-5.63721

Dónde: PromRend= promedio de producción de resina en g, A1 y a2= parámetros estimados, D²H= Variable combinada diámetro (cm) elevado al cuadrado y altura total (m).

Los estadísticos de la bondad de ajuste señalan que los modelos 1, 2 y 3 (productividad alta, media y baja, respectivamente) representan de mejor manera la producción de resina al emplear la variable combinada (D^2H), debido que presentan un coeficiente de determinación ajustado de entre 0.67 y 0.68, y menores valores en la RCME que el modelo de polinomio de segundo grado (Cuadro 3). Estos resultados son mayores a los reportados por Ayala *et al.* (1992), quienes registraron valores de R^2_{aj} de 0.37 en un trabajo similar con *Pinus caribaea var. hondurensis* y Zamora *et al.* (2013) en un modelo de resina para *P. pseudostrobus*. También para los modelos (1), (2), y (3) se obtuvieron los valores más bajos en el CME (entre 172.3 y 517.4) y RCME (entre 13.1 y 22.7).

Cuadro 3. Cuadros medios del error (CME), Raíz cuadrada media del error (RCME) y R^2 ajustada (R^2_{aj}) para los seis modelos ajustados para predecir la producción de resina.

Ecuación	CME	RCME	R^2_{aj}
1	517.4	22.7475	0.677
2	172.3	13.1252	0.687
3	172.3	13.1247	0.674
4	551.8	23.4895	0.656
5	171.9	13.1096	0.688
6	207.8	14.4165	0.607

Los resultados de la producción promedio de resina por cara gr/cara/año y los obtenidos a través de los tres modelos ajustados, son similares a los reportados con el sistema francés de 3.701 kg/cara/temporada en el estado de Durango (Ayala, 1986). En los sitios con calidad de estación buena dentro del ejido Jorge de la Vega, con el uso del modelo (1) demuestra que es posible obtener hasta 5.5 kg/cara/temporada (10 meses), lo cual es similar a lo registrado por Vilchez (1961) (citado por Ayala, 1986) con 5.22 kg/cara/árbol en el Estado de México y superior a lo registrado en Durango con 3.701 kg/cara/árbol usando el sistema francés.

CONCLUSIONES

Los modelos desarrollados a partir de la variable combinada diámetro normal y altura total, explican una buena proporción la producción de resina de pino, siendo los modelos (1), (2) y (3) los que mostraron mejor ajuste estadístico con una predicción confiable de la variable dependiente (producción de resina).

Los resultados de los modelos desarrollados a partir del diámetro normal y altura total facilitarán predecir la producción de resina, por lo que tendrá impacto positivo sobre la economía de los pobladores del ejido Jorge de la Vega Domínguez y contribuirá a un mejor manejo de las poblaciones de *Pinus oocarpa*.

A partir de los modelos, los productores contarán con una herramienta para determinar el potencial de producción por unidad de superficie.

LITERATURA CITADA

- Ayala S. J. C. 1986. Producción de resina con el método francés y el pica de corteza. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales, Chapingo, Méx. 79 p.
- Ayala, S.J.C., M.A. Galeote R. y S. F.J. Zamudio 1992. Factibilidad de aprovechamientos resineros en una plantación joven de *Pinus caribaea var. hondurensis*. Agrociencia. Serie Recursos Naturales Renovables (2): 47-61
- Comisión Nacional Forestal. 2006. Plan Estratégico de Comercialización. <http://148.223.105.188:8081/planestrategico/planestrategico.asp?codigo=2340> (26 de julio de 2016).
- Cunningham, A. 2009a. Estudio de mercado de los productos resineros: Colofonia y aguarrás; y el potencial de la miera Ibérica de la Comarca del Izana para diferentes usos industriales. Mancomunidad de Bienes y Servicios del Rio Izana. 66 P.
- Cunningham, A. 2009b. Estado actual de la resinación. Trabajo presentado en el XIII Congreso Forestal Mundial. Buenos Aires, Argentina. 7 p.

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2016. Marco Geoestadístico Nacional. http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geoestadistica/m_geoestadistico.aspx versión 6.0 (4 de febrero de 2017).
- Reynoso-Santos, R., M. J. Pérez H., W. López B., J. Hernández R., H. J. Muñoz F., J. V. Cob V. y M. D. Reynoso S. 2015. Áreas potenciales para establecer unidades productoras de germoplasma forestal de *Pinus oocarpa* var. *ochotenaranai* y *P. pseudostrobus* var. *oaxacana*. XXIX Reunión Científica-Tecnológica Forestal y Agropecuaria Tabasco 2017. Tabasco.
- Rosales Arroyo, Florentino. 2014. Programa de Manejo Forestal Nivel Avanzado del Ejido Jorge de la Vega Domínguez Municipio de Cintalapa, Chiapas. 66 p.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2006. Norma Oficial Mexicana. NOM-026-SEMARNAT-2005. Que establece los criterios y especificaciones técnicas para realizar el aprovechamiento comercial de resina de pino. Diario Oficial de la Federación. Primera Sección. México, D. F. México. pp.1-5.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2006. Norma Oficial Mexicana. NOM-026-SEMARNAT-2005. Que establece los criterios y especificaciones técnicas para realizar el aprovechamiento comercial de resina de pino. Diario Oficial de la Federación. Primera Sección. México, D. F. México. pp.1-5.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2014. Anuario Estadístico de la Producción Forestal. SEMARNAT. México. 236 p.
- Velasco B.E.; S. Madrigal H.; I. Vázquez C.; A. González H.; F. Moreno S. 2007. Tablas de volumen con corteza para *Pinus douglasiana* y *P. pseudostrobus* del Sur Occidente de Michoacán. INIFAP. Cien. For. en Méx. 32(101):93-116.
- Zamora-Martínez, M.C., E. Velasco B., A. González H., C. Nieto de Pascual P., F. Moreno S., M.E. Romero S. y A. Flores G. 2009. Modelos Predictivos para la Producción de Productos Forestales No Maderables: Hongos. Manual Técnico Núm. 1. CENID-COMEF. INIFAP, México, D.F. México. 58 p.

**APTITUD FORESTAL PARA ESPECIES NATIVAS EN LA SUBCUENCA DEL RÍO SAN PEDRO
EN EL ESTADO DE TABASCO**
FOREST SUITABILITY FOR NATIVE SPECIES IN THE SUB-BASIN OF THE SAN PEDRO RIVER IN
THE STATE OF TABASCO

¹Ramírez García AR, ¹Galindo Alcántara A, ¹Cámara Cabrales LC, ²Martínez Zurimendi P, ³Ruiz Acosta SC, ¹Morales Hernández A

¹División Académica de Ciencias Biológicas (DACBio) de la UJAT. Carretera Villahermosa-Cárdenas Km. 0.5 s/n. Entronque a Bosques de Saloya, C.P. 86150. Villahermosa, Tabasco, México. Autor para correspondencia: raga900131@hotmail.com

²El Colegio de la Frontera Sur Unidad Villahermosa. Carretera a Reforma Km. 15.5 s/n. Ra. Guineo 2da. Sección, C.P. 86280. Centro, Tabasco, México.

³Instituto Tecnológico de la Zona Olmeca. Prolongación Ignacio Zaragoza s/n Villa Ocuilzapotlán, C.P. 86270. Centro, Tabasco, México.

RESUMEN

En la sub cuenca del río San Pedro, la vegetación riparia ha sido prácticamente eliminada. Sin embargo unos de los pasos para revertir esta problemática son la planeación de la conservación de las zonas forestales enfocado al potencial de las especies nativas, ya que estas pueden desempeñar un papel muy importante en la recuperación de la estructura, riqueza y diversidad florística de los ecosistemas tropicales degradados. Bajo este contexto, se realizó el presente estudio con el objetivo de determinar áreas de aptitud forestal en base a zonas inundables del río San Pedro, se realizaron simulaciones de inundaciones utilizando software especializados, HEC-GEO-RAS, HEC-RAS para realizar la modelación hidráulica y Sistemas de Información Geográficas (SIG), donde obtuvieron un total de 16976.6 hectáreas (ha) inundables con diferentes tirantes de inundación. Se tomaron como punto de interés las áreas que suelen permanecer inundadas y que por estas mismas características no se les puede dar un uso agrícola o pecuario. Se elaboró una propuesta donde se determinaron las especies forestales nativas que pueden ocupar esas áreas, corroborando su existencia y condiciones en que se presentan a través de recorridos en campo y revisión bibliográfica. Se sugirieron en total 14 especies nativas con diferente distribución en base a la localización en campo y a las tirantes de inundación. Esta información ayudará mucho para tener presente que las áreas que se encuentran inundadas temporal o permanentemente pueden ser aprovechables para generar recursos económicos y ambientales, contribuyendo a la conservación de especies tanto vegetales como especies de fauna.

Palabras clave: *modelaciones, periodos de retorno, río San Pedro, SIG, Zonas de inundación.*

INTRODUCCIÓN

Las zonas ribereñas, riparias o bosques de galerías, son ecosistemas dependientes de cursos o cuerpos de agua con una matriz variable de vegetación, inmersos en cuencas hidrográficas (Romero *et al.*, 2014), por lo que designan la región de transición y de interacciones entre los medios terrestre y acuático (Granados-Sánchez, 2006; Romero *et al.*, 2014).

En Tabasco, debido a la gran magnitud de los escurrimientos y dada la gran dinámica hidromorfológica natural de sus ríos Grijalva y Usumacinta existe una tendencia natural a las inundaciones (Gracia y Fuentes, 2005). Es por ello que el gobierno en general y la Secretaria de Medio Ambiente y recursos Naturales (SEMARNAT) contemplan que es necesario conocer con precisión el comportamiento del agua y sus múltiples implicaciones (Jiménez y Marín, 2005).

El área de estudio, la sub cuenca del río San Pedro, se reconoce como centro de biodiversidad, la cual constituye el hábitat de muchas especies de flora y fauna, cuenta con la presencia de especies únicas y abundancia de las mismas, por ello merece especial atención (García *et al.*, 2014; Castillo-Domínguez *et al.*, 2015). La riqueza de especies puede variar debido a las características y uso de suelo (Palma-López *et al.*, 2007). Sin embargo, la gran pérdida de selvas acaecida en las pasadas seis décadas, la vegetación actual no es como solía serlo hace algunos siglos, antes que la explotación forestal y la ganadería se desarrollaran (Tudela, 1992; Manjarrez-Muñoz *et al.*, 2007). Aun así, todavía se encuentran algunos sitios con selva baja perennifolia, que abarca ahora solamente el 2% de la

superficie de la subregión, estas se asocian con los suelos Gleysoles, Vertisoles, Histosoles y Fluvisoles (Palma-López *et al.*, 2008; Estrada-Loreto *et al.*, 2013).

Lo anterior hace hincapié en la tendencia de peligros cotidianos que se presentan en la región, principalmente, erosión de la sub cuenca, desprendimientos en los bordes de los ríos, azolvamiento de los cauces Hernández (2011) y peligros de inundación, además de la inestabilidad económica que se da como resultado de esta misma problemática, por los cambios atípicos de la zona (Perevochtchikova y Lezama, 2010).

Sin embargo unos de los pasos para revertir esta problemática, es la planificación de la conservación de las zonas forestales, esto debe ser un proceso estructurado orientado a identificar las prioridades para planificar dónde, cuándo, cómo preservar y restaurar los componentes principales de la biodiversidad (Thackway *et al.*, 2007; Bruña-García, 2015). Sobre todo, tener en cuenta la participación de dependencias públicas, promover pagos por servicios ambientales, educación ambiental, asesoría y capacitación silvícola etc., en especial en la sub cuenca del río San Pedro (Cámara *et al.*, 2011).

En las zonas tropicales, las plantaciones forestales en zonas agrícolas y ganaderas proporcionan leña, postes, cercas vivas, materias primas para la construcción de casas, elaboración de muebles y herramientas de trabajo (Sánchez *et al.*, 2013). Muchas especies tienen usos medicinal, comestibles, melíferas y forrajeras, dan protección al suelo, estimulan la regeneración natural y actualmente son consideradas como sumideros de carbono (Delgado *et al.*, 2003; Orantes-García *et al.*, 2013).

A pesar de que en el trópico se han probado muchas especies, pocos estudios se han enfocado al potencial de las especies nativas, sobre todo en los lugares en donde existen estas especies y principalmente donde la gente del lugar obtiene de ellas una variedad de usos y servicios ambientales (Cecon, 2013). Sin embargo, países como Costa Rica y Chile, ponen de manifiesto el potencial que poseen las especies nativas, a finales de los años 50's, han identificado de manera preliminar a las especies nativas como mejor opción para reforestación (Delgado, 2003; Donoso y Soto, 2010). No obstante son pocas las investigaciones formales sobre especies nativas. En México y en particular Tabasco se están buscando propuestas para el establecimiento de especies nativas como es el caso en la sub cuenca del río San Pedro (Pérez-Hernández *et al.*, 2011).

Fundamentado en lo anterior se tomará en cuenta la aptitud de suelos para una propuesta forestal de especies nativas, esto como una herramienta de apoyo que permita designar un patrón óptimo de ocupación que ayude a disminuir los conflictos ambientales mediante la prohibición de usos de suelo incompatibles al potencial natural que el suelo puede ejercer (Corral, 2015). Mediante modelaciones con el software especializado de alta confiabilidad HEC-GEO-RAS y HEC-RAS y con el uso de sistemas de información geográfica (SIG) se definieron las zonas de inundación, para las cuales se elaboró una propuesta donde se determinaron las especies forestales nativas que pueden ocupar las referidas áreas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio. El río San Pedro pertenece a la región Usumacinta. Este río nace en las montañas del Petén en Guatemala y se adentra en México por la parte sur de Tabasco, dirigiéndose hacia el norte pasando por los municipios de Tenosique y Balancán, siguiendo su curso por el poblado San Pedro, para continuar hacia el oeste y desembocar en el río Usumacinta (INEGI, 2015). La precipitación media anual de la región oscila entre 2500 y 3000 mm con una temperatura media anual de 27.3°C. La mayor parte de las precipitaciones ocurren de julio a octubre, registrándose de 3 a 5 nortes cada mes (CONAGUA, 2016).

Modelación. En primer término se recolectaron los datos de precipitación, estos se obtuvieron de la base de datos climatológica nacional (sistema CLICOM), esta página contiene datos de 1920 a 2012.

Se realizó levantamiento batimétrico en el río San Pedro para obtener las coordenadas y profundidades (x, y, z)". Estas mediciones, se realizaron en los meses de abril a mayo del 2015 en el ejido la Palma, Tenosique, así como en el ejido Santa Ana, Balancán, donde el río San Pedro se une al cauce del río Usumacinta, se utilizó una ecosonda Garmin con GPS montada en una lancha con motor para tener mejor precisión en la modelación hidrológica.

Modelación hidrológica. Se utilizó un modelo unidimensional el HEC-RAS este es un modelo matemático hidrodinámico que calcula las alturas del nivel del agua en función del caudal a régimen permanente y las condiciones topográficas del cauce natural (Rodríguez *et al.*, 2007; Rodríguez-López

y Marrero, 2010; Molero, 2013). Se relacionó con los Sistemas de Información Geográfica (SIG), con una extensión en ARC GIS llamada HEC-GEO-RAS.

Posteriormente se utilizó un Modelo Digital de Elevación de Alta Resolución (LIDAR), de un tamaño de celda de 5 m para la topografía superficial de la subcuenca del río San Pedro, utilizando la extensión de HEC-RAS denominada HEC-GEO-RAS para trazar las líneas que representan al río principal, los márgenes de su cauce (Banks), después el límite de la zona de estudio que se desea modelar (Flowpaths) y posteriormente trazar los cortes transversales (XS cutlines) para generar los mapas de profundidades. En la zona de estudio se usaron los resultados de los modelos hidrológicos donde se caracterizaron e identificaron las zonas inundables de la cuenca baja del Usumacinta en función de los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, y 50 años.

Identificación de especies nativas para zonas inundables. Se identificaron las especies forestales nativas del estado de Tabasco, Las especies enlistadas parten de una búsqueda bibliográfica exhaustiva, donde se obtuvieron resultados muy confiables, además se encontró información de los factores bióticos y abióticos que las especies necesitan para proliferar con éxito. Esta se realizó tomando en cuenta tres aspectos: a) especies nativas de la sub cuenca del río San Pedro, que presentaran la característica de crecer y desarrollarse bajo condiciones de inundaciones; b) especies que se encuentran en alguna categoría de la NOM-059-SEMARNAT-2010 (Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestre) estas son, Peligro de Extinción (P) Amenazada (A) Sujetas a Protección Especial (Pr) y c) la importancia económica además de los usos que se les da, como son para herramientas y funciones ecológicas dentro de su hábitat natural.

Conforme al análisis de percepción remota y recorridos de campo se identificaron y validaron en la zona de estudio los sitios con presencia de las especies nativas seleccionadas para determinar sus características, y buscar en otras áreas las coincidencias adecuadas como sitios probables de distribución.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultado del modelo hidrológico. Los resultados obtenidos de la modelación hidrológica fueron de suma importancia para el objetivo de la investigación, ya que se utilizaron como base para identificar las zonas con aptitud forestal, en función de las zonas de inundación. En estas zonas se generaron mapas con diferentes periodos de retorno, para ello se obtuvieron cinco clases de tirante que son de 0.5, 1.1, 1.5, 2.1 y 7.1 metros, estas se tomaran en cuenta para identificar las áreas con mejor características para las especies forestales nativas para la sub cuenca del río San Pedro. Las láminas de agua se generaron para cada periodo de retorno en el mencionado río, En la "figura 1" puede apreciarse en color azul la representación del agua en donde las zonas más oscuras representan los tirantes de mayor profundidad y las de color más claro son la zonas con tirantes menos profundas.

Las hectáreas calculadas para cada tirante de inundación, están dadas para cada periodo de retorno, y se encuentran ordenadas de menor a mayor tirante "figura 2". Sin embargo, para los tirantes 1.1 se observó que abarca menos superficie conforme aumenta el periodo de retorno. En contraste, se mostró una estabilidad en superficie de hectáreas en el tirante 1.5 al contrario de lo que pasa con los tirantes de 2.1 y 7.1 que presentaron un incremento significativo en superficie al aumentar el periodo de retorno debido a que hay más probabilidad de que se presenten eventos extraordinarios (tormentas, huracanes, lluvias extremas) a lo largo de estos periodos.

Resultados de las especies nativas. El área de estudio cuenta con una gran diversidad de especies forestales nativas, aunque no todas suelen cumplir con las características necesarias para ser tomadas en cuenta para la propuesta de trabajo. Sobre todo, es un requisito imprescindible que las especies se encuentren adaptadas por completo a eventos extremos de inundación siendo capaces de sobrevivir por algún tiempo bajo estas condiciones de saturación de agua en el suelo.

Se encontraron 4 especies presentes en alguna categoría de la NOM-059-SEMARNAT-2010, de las cuales 3 se corroboraron con avistamientos sobre la margen del río San Pedro en condiciones de inundación "figura 4", para lo cual fue necesario realizar recorridos en temporada de lluvias frecuentes. Durante los recorridos se observó como las especies de pukjté (*Bucida buceras*), zapote de agua (*Pachira aquatica*), quiebrahacha (*Cupania dentata*) además que logran soportar las fuertes corrientes del río San Pedro. Estas y otras especies forestales como el tinto (*Haematoxylum campechianum*) cumplen otras funciones, pues presentan sobre ellos abundancia de plantas epifitas como algunas bromelias y nidos de aves que se posan en las copas de las especies arbóreas presentes en la sub cuenca.

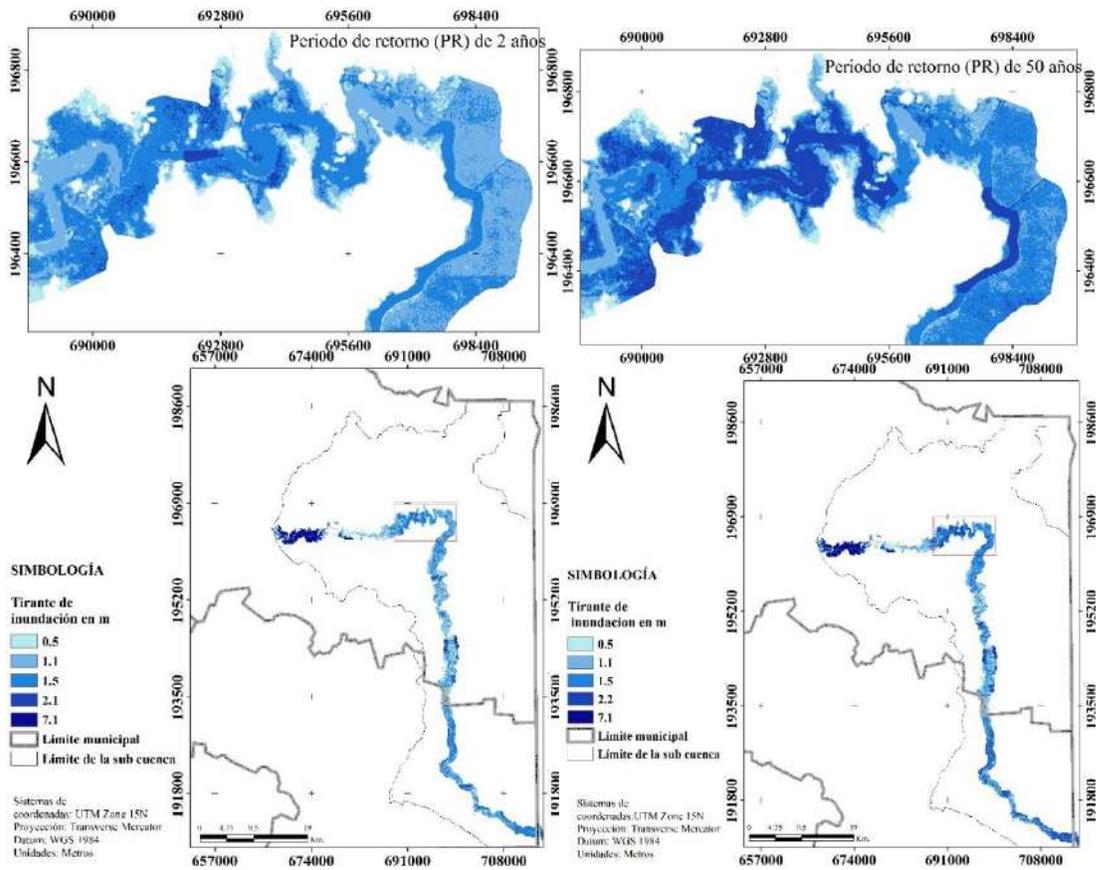


Figura 1. Escenarios de inundación para los periodos de retorno (PR) de 2 y 50 años en el río San Pedro.

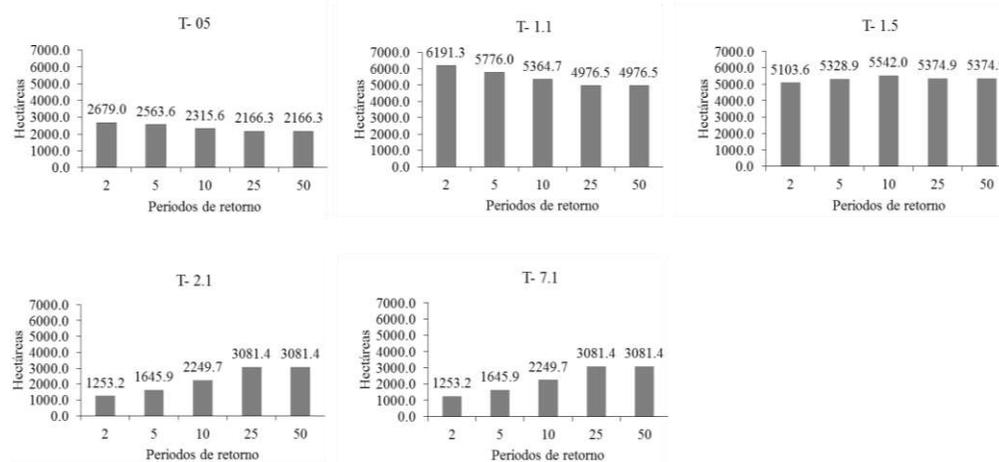


Figura 2. Relación entre los tirantes de inundación T-0.5 m, T-1.1 m, T-1.5 m, T-2.1 m, T-7.1 m y la superficie en hectáreas para cada periodo de retorno.

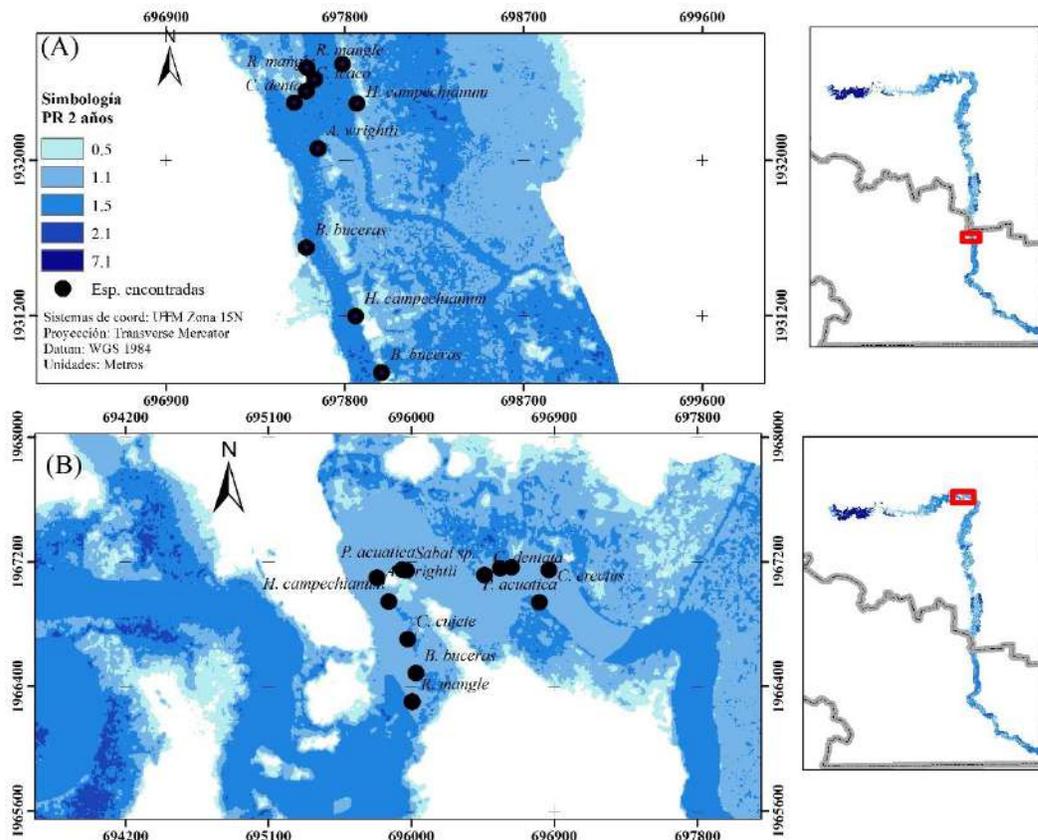


Figura 3. Especies encontradas en el recorrido de campo realizado en el río San Pedro (A): La Palma Tenosique (B): Poblado San Pedro Balancán.

Se logró contar con un total de 9 especies nativas que aún no están consideradas bajo algún estatus de la NOM-059 (Tabla 1). No obstante, de no encontrarse en la norma, estas tienen gran importancia económica para la zona de estudio, ya que los habitantes de localidades aledañas las conocen y aprovechan la madera. Adicionalmente se agregaron 5 especies que se encuentran en la NOM-059 (Tabla 2), haciendo con ello un total de 14 especies nativas. Todas las especies incluidas cumplen con las características que se consideraron para la selección, ya que se encuentran adaptadas a los periodos de inundación que se presentan. Sus propiedades son muy generales pues tienden a brindar muchos servicios, además de que el área de estudio les brinda los factores bióticos y abióticos que requieren para poder desarrollarse.

Las características que presenta el área de estudio influyen sobre los datos obtenidos, entre ellas la topografía del terreno, debido a que es una zona con pocas pendientes. Sin embargo, se pueden encontrar algunas terrazas de poca altitud donde se encuentran los asentamientos humanos ubicados al margen del río y al otro lado del río se encuentran zonas inundadas. Cabe destacar que hasta el momento de la generación de este estudio no se han publicado resultados de modelación sobre este río. Los niveles de inundación son relativamente predecibles: en ocasiones tienden a aumentar en el volumen o el caudal de avenida, más no aumentan en superficie inundada. Cuando el nivel de agua aumenta en superficie, es relacionado con eventos extraordinarios. La mayor parte de la llanura de inundación se localiza en el tramo en donde el río San Pedro se une al cauce del río Usumacinta, estas zonas están caracterizadas por la vegetación hidrófita en las que se encuentran especies como las herbáceas, espadañal o tular (*Typha domingensis*), sibal (*Cladium jamaicense*), popal (*Thalia geniculata*) (Cámara *et al.*, 2011) además de presencia de especies arbóreas. Este último punto es muy importante, ya que la vegetación arbórea está ligada a las zonas donde las inundaciones son muy frecuentes.

Cuadro 1. Listado de especies nativas que cuentan con las características para las zonas con aptitud forestal.

Nombre	Precipitación	msnm	Suelos	Crecimiento	Polinización	Usos	Usos ecológicos	Hábitat
Maculís <i>Tabebuia rosea</i> Bertol. DC.	1250-2500	0-850	Fluvisol, Vertisol, Gleysol, Luvisol	Rápido a moderado	Abejas	Aserrió, muebles, mangos de herramientas, ornato, melífera, enchapado, pisos. Mercado seguro.	Conservación y control de erosión del suelo.	Selva alta a mediana Subcaducifolia
Pukjté <i>Bucida buceras</i> L.	1000-2500	0-800	Cambisol, Feozem, Leptosol, Gleysoles	Rápido	No determinado	Construcción, muebles, postes, leña; se produce carbón de buena calidad. Madera muy dura.	Conservación y control de erosión del suelo.	Bosque tropical caducifolio, bosque tropical subperennifoli o y bosque espinoso.
Tinto <i>Haematoxylum campechianum</i> L.	1000-3000	0-1500	Arcillosos susceptibles a inundarse	Moderado a rápido	No determinado	Para obtener tintes, postes y construcción de viviendas.	Captura de carbono. Melífera.	Tintales selva mediana y baja subperennifolia.
Icaco <i>Chrysobalanus icaco</i> L.	No determinada	-	Gleysoles y suelos arenosos y salinos usualmente en el subsuelo de drenaje pobre.	Lento	Abejas	Sus frutos son comestibles y contienen compuestos fenólicos, grasas antocianinas y aceites en la semilla.	Se planta para estabilizar los bordes de la playa y evitar la erosión.	Amplia plasticidad en selvas bajas, manglares, sabanas y vegetación de playa.
Ceiba <i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn.	>800	Amplia	Fluvisol, Vertisol, Gleysol, Arenosol, Leptosol	Rápido	Murciélagos	Chapa, triplay, celulosa, mercado seguro. Fabricación de artículos torneados.	Conservación, control erosión y fertilidad del suelo.	Selva alta perennifolia a mediana subcaducifolia.
Chechem negro <i>Metopium brownei</i> (Jacq.) Urb	> 1000	0-500	Fluvisol, Leptosol, Vertisoles	Rápido a medio	Abejas	Aserrió, muebles de alta calidad, pisos, tornería, artesanías, mangos de herramientas. Mercado seguro. Apicultura.	Recuperación de terrenos degradados.	Selva alta a mediana perennifolia a subcaducifolia y asociaciones puras.
Quiebrahacha <i>Cupania dentata</i> Moc. & Seseé ex DC.	No determinado	0-600	Suelos derivados de material calizo o de origen ígneo y metamórfico	No determinado	abejas	Construcción de casas, obras rural, así como para fabricación de mangos de herramientas agrícolas.	-	Vegetación secundaria y parte del estrato medio o superior de selvas altas o medianas, perennifolias, subperennifolia.
Tasiste <i>Acoelorrhaphes wrightii</i> H.Wendl.	No determinado	-	Suelos muy alcalinos o calizos	No determinado	No determinado	Cercos de casas, poste, cercos vivos, e industriales como aceites, jabón, cosméticos, suplemento para porcinos y bovinos.	Erosión del suelo, buen acolchado de materia orgánica.	Selvas inundables o asociaciones puras de tasiste.
Zapote de agua <i>Pachira aquatica</i> Aubl.	0-3000	-	Suelos arenosos, limosos y arcillosos de origen aluvial o sometido a inundación	Rápido	-	Sombra para los animales	Comparte muchas características con las especies de mangle.	Comparte muchas características con las especies de mangle.

Fuentes: Vargas-Simon *et al.* 2002, Pennington y Sarukhan 2005, Pérez *et al.* 2005, Ochoa-Gaona *et al.* 2011, Cámara *et al.* 2011, Rodríguez 2013, Infante-Mata *et al.*, 2014; De la Cruz *et al.* 2015, esto en relación con la verificación en campo

Cuadro 2. Listado de especies nativas que se encuentra en la NOM-059 SEMARNAT 2010 y que cuentan con las características para las zonas con aptitud forestal.

Especies y estatus en NOM-059	Precipitación (mm)	Msnm	Suelos	Crecimiento	Polinización	Usos	Usos ecológicos	Hábitats
Bari <i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess. Amenazada (A)	1800-3500	0-650	Arcilloso, calcáreo, degradado, arenoso, negro pedregoso, arcilla roja impermeable.	Medianamente lento	Abejas	Aceite para aromatizante. Fabricación de muebles finos, puertas, marcos para ventanas, duelas.	Alimento para hormigas, coleópteros y vertebrados, principalmente murciélagos.	Habita en zonas bajas e inundables de bosque primario y secundario viejo, también cerca de ríos y arroyos en terrenos de suelo profundo.
Amargoso <i>Astronium graveolens</i> Jacq.	1200-3000	0-1500	Fluvisoles, Vertisol, Gleysol	Medio a lento	-	Para fabricar muebles finos, chapa, duela, uso local para construcciones.	Protección al suelo.	Selva alta o mediana sub caducifolia o sub perennifolia.
Mangle rojo <i>Rhizophora mangle</i> L. Amenazada (A)	1000-3000	0-1200	Compuesto de cieno, arcilla y alto porcentaje de materia orgánica	Rápido	Viento y abejas	Se ha utilizado como adhesivo en la fabricación de triplay. La corteza produce un tinte azul para teñir tejidos de algodón. Medicinal (corteza, hoja, raíz).	Recuperación de terrenos degradados. Constituyen reservorios de carbono y sistemas importantes en el flujo de energía. Conservación de suelo y control de la erosión.	Especie característica de los litorales donde forma a menudo masas puras en las zonas intermareales de lagunas costeras y esteros con influencia de agua salada.
Mangle botoncillo <i>Conocarpus erectus</i> L. Amenazada (A)	1000-3000	0-800	Suelo semi-inundables y con una distribución uniforme, entre 3 a 4 m de altura, expuesto plenamente al sol.	Rápido	-	Su madera se usa para construcciones rústicas y la flor es melífera.	-	Es el mangle que vive más tierra adentro, en la parte más alta y arenosa asociados con manglares de las otras especies.
Palma real <i>Roystonea dunlapiana</i> P.H.Allen. Protección especial (Pr)	800-2500	-	Crece en terrenos inundados.	-	-	Se usa como ornamental, y los frutos como alimento para el ganado. De su tallo se obtienen tabloncillos para hacer las paredes de las casas.	Conservación de suelos	Asociadas a selvas subperennifolias y cerca de cuerpos de agua.

Fuentes: Pennington y Sarukhan 2005, Pérez et al. 2005, Palacios 2006, Trejo-Torres 2009, Elizondo et al. 2011, Cámara et al. 2011, Rodríguez 2013, De la Cruz et al. 2015, esto en relación con la verificación en campo

Las características de inundación de la zona de estudio, hacen que se encuentren especies arbóreas que estén establecidas en algún estatus en la NOM-059-SEMARNAT-2010, por lo que se encuentran paisajes de manglares conformados por especies representativas como lo son: mangle rojo (*Rhizophora mangle*) y mangle botoncillo (*Conocarpus erectus*). De acuerdo con reportes de Estrada-Loreto (2011) y verificación en campo, estas especies pueden proliferar en tirantes de 0.5, 1.1 y 1.5 metros, ya que a mayor frecuencia y a mayor tirante de inundación se favorece el desarrollo de las referidas especies (Moreno-Casasola e Infante, 2009, Mejía-Quiñonez et al., 2014), además de que el área cuenta con suelos aptos para los mismos como los Gleysoles, Histosoles fluvisoles y Vertisoles (Palma-López et al., 2007, Domínguez-Domínguez et al., 2011).

El *Rhizophora mangle* presenta raíces en formas de zanco y las especies nativas de zonas inundables presentan contrafuertes, para ayudar a darle fortaleza a los árboles contra el flujo de agua: al expandirse un contrafuerte debajo del suelo, el sistema de raíces también se extiende dándole mayor soporte a los árboles, sobre todo a aquellas de raíces superficiales (Moreno-Casasola e Infante, 2009). Estos contrafuertes llegan a alcanzar inclusive un metro de altura sobre el suelo o hasta donde el tronco del árbol se inunda temporalmente como señalan Marín-Muñiz y Hernández-Alarcón, (2013).

La distribución de las especies nativas suele ser diferente, debido a que hay especies que se presentan a orillas del cauce del río, las más frecuentes en esta zona son *Metopium brownei*, *Bucida buceras*, *Chrysobalanus icaco*, *Rhizophora mangle*, *Conocarpus erectus* y *Pachira aquatica* aunque éstas también se presentan en zonas inundadas pero fuera del cauce y otras que solo se presentan en aguas estables en donde la corriente no es muy fuerte o el agua se deposita en los bajos y favorece su proliferación: son dignas de mención entre otras a *Metopium brownei*, *Roystonea dunlapiana*, *Ceiba pentandra*, *Calophyllum brasiliense*, *Astronium graveolens* y *Acoelorrhaphe wrightii* en donde podemos encontrar especies que también han sido sugeridas por Cámara *et al.*, (2011) y De la Cruz *et al.*, (2015) además de que estas especies pueden soportar tirantes de 0.5 y 1.1 m. Es importante considerar las especies seleccionadas en la propuesta. Por otra parte, las especies que no están protegidas por la NOM-SEMARNAT- 059 se les puede dar un manejo comercial racional como lo exponen De la Cruz *et al.*, 2015.

PROPUESTA FINAL

Las especies nativas por su naturaleza suelen estar condicionadas a su hábitat, ya que suelen resistir los niveles de inundaciones, por lo que se propone que para cada tirante de inundación se tomen en cuenta las especies que se consideren aptas a resistir estas características. Esto también beneficiaría a los productores al momento que decidan forestar o reforestar.

Se toman en consideración dos criterios para designar que áreas forestar, la primera de ellas es el tirante de inundación (Tabla 3), por lo que se proponen especies que son menos resistentes a estar con niveles altos de agua y menos escorrentía, estas especies suelen presentarse en zonas en donde el agua se encuentra poco estable a diferencia de las especies que suelen estar la mayor parte del año con tirantes profundas y resistir las escorrentías más fuertes de las avenidas en la época de intensas lluvias.

Cuadro 3. Especies propuestas para cada tirante de inundación.

Tirante	Superficie en hectáreas para cada periodo de retorno					Especies propuesta para cada tirante
0.5	2679.0	2563.6	2315.6	2166.3	2166.3	Tabebuia rosea, Chrysobalanus icaco, Ceiba pentandra, Metopium brownie, Cupania dentata, Acoelorrhaphe wrightii, Calophyllum brasiliense, Astronium graveolens, Roystonea dunlapiana Bucida buceras.
1.1	6191.3	5776.0	5364.7	4976.5	4976.5	Tabebuia rosea., Chrysobalanus icaco, Metopium brownei, Cupania dentata, Acoelorrhaphe wrightii, Haematoxylum campechianum, Bucida buceras.
1.5	5103.6	5328.9	5542.0	5374.9	5374.9	Pachira aquatica Aubl, Acoelorrhaphe wrightii, Conocarpus erectus, Rhizophora mangle, Bucida buceras.

Otro criterio utilizado para elaborar la propuesta fue la ubicación de las especies, por lo que hay especies que se adaptan a crecer a orillas del río y que suelen soportar estas escorrentías tal es el caso de las especies de *R. mangle* o *B. buceras*, *C. erectus* entre otras (figura 5) además de la forma en la cual se sugiere colocar las plantas en las parcelas es muy importante. Por ejemplo, se debe tener cuidado de no sembrar muchas plantas de la misma especie juntas, ya que esto puede atraer insectos y plagas que las pueden atacar. Aunque para ello es necesario conocer el comportamiento de las especies en cuanto a su gremio ecológico.

Respecto al gremio ecológico de cada especie se puede constatar que las especies que resisten menos inundación como lo son la *Ceiba pentandra*, *Astronium graveolens*, *Haematoxylum campechianum* y *Metopium brownei* son especies intolerantes a la sombra (Vester y Navarro, 2007), por lo que para estas especies se sugieren que se realicen plantaciones con marcos de 4 x 4 m debido a que necesitan espacio para poder recibir luz solar para su desarrollo. *Cupania dentata* es una especie tolerante a la sombra y suele desarrollarse como especie de sotobosque, por lo que esta especie podría incluirse en plantaciones intercaladas con otras que sean intolerantes. El resto de las especies utilizadas para la propuesta suelen ser intermedias, por lo que se recomienda una distancia de 3 x 3 m, además de implementar plantaciones multiespecies, mezclar las especies nativas en un mismo sitio "figura 5"

- Delgado, A., Montero M., Murillo O. and Castillo M. 2003. Crecimiento de especies forestales nativas en la zona norte de costa rica. *Agronomía Costarricense* 27(1): 63-78. 2003.
- Domínguez-Domínguez, M., Zavala C.J. and Martínez Z.P. 2011. Manejo forestal sustentable de los manglares de Tabasco. Secretaría de Recursos Naturales y Protección Ambiental. Colegio de Postgraduados. Villahermosa, Tabasco, México. 137 p.
- Donoso, P.J. and Soto D.P. 2010. Plantaciones con especies nativas en el centro-sur de Chile: experiencias, desafíos y oportunidades. *Revista Bosque Nativo* 47:10–17.
- Elizondo, C., Barba E.M., Castillo M.A.S., Hernández H.A., Hoil D.V., López H.A., López D.M., Medina H.Q., Mendoza J. and Novelo J. *et al.* 2011. Estudio para la Caracterización y Diagnóstico de Humedales en Puerto Morelos. Puerto Morelos, Quintana Roo. Municipio Benito Juárez. 64 p.
- Estrada-Loreto, F. 2011. Indicadores ecológicos de la zona riparia del río San Pedro, Tabasco México. Tesis de Maestro en Ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo Rural. Villahermosa, Tabasco, México. El Colegio de la Frontera Sur 131 p.
- Estrada-Loreto, F., Barba-Macias E. and Ramos R.R. 2013. Cobertura temporal de los humedales en la cuenca del Usumacinta, Balancán, Tabasco, México. *Universidad Y Ciencia, Trópico Húmedo* 29(2): 141–151.
- García-Lorenzo, G. and Conesa G.C. 2011. Estimación de caudales de avenidas y delimitación de áreas inundables mediante métodos hidrometeorológicos e hidráulicos y técnicas S.I.G. estudio aplicado al litoral sur de la Región de Murcia. *Papeles de geografía*. 53-54:107-123.
- García-Morales, R., Gordillo C.E.J., Valdez L.J.D. and Pacheco C.J. 2014. Las áreas naturales protegidas y su papel en la conservación de los murciélagos del estado de Tabasco, México. *Therya* 5(3): 725–736.
- Gracia, S.J. and Fuentes M.O.A..2005. La problemática del agua en Tabasco: inundaciones y su control. In Jiménez B.L.M. El agua en México vista desde la academia. Academia Mexicana de Ciencias. 177 p.
- Granados-Sánchez, D., Hernández G.M.A. and López R.G.F. 2006. Ecología de las zonas ribereñas. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 12(1): 55–69.
- Hernández, D. 2011. Influencia de la pendiente y la precipitación en la erosión de taludes desprotegidos. Tesis de Maestría. Universidad del Bio – Bio, Concepción, Chile.124p.
- Infante-Mata, D., Moreno C.P. and Madero V.C. 2014. ¿Pachira aquatica, un indicador del límite del manglar? *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85: 143-160.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2015. Anuario estadístico y geográfico de Tabasco. México. 415 p.
- Jiménez, B. and Marín L. 2005. El agua en México vista desde la academia. Academia Mexicana de Ciencias. México. 403 p.
- Manjarrez-Muñoz, B.M., Hernández D. S., Jong B., Najed T.O., De Dios V.O.O. and Zalbatierra Z.E.B.. 2007. Configuración territorial y perspectivas de ordenamiento de la ganadería bovina en los municipios de Balancán y Tenosique, Tabasco. *Investigaciones Geográficas, UNAM*, 64: 90–115.
- Marín-Muñiz, J.L. and Hernández-Alarcón M.E. 2013. Selvas inundables de agua dulce: valor y amenazas. CONABIO. *Biodiversitas* 108:7-11.
- Mejía Quiñones, L.M., Molina J.M.P., Muñoz A.S.J., Grijalba B. M. and Niño M. L.M. 2014. Bosque de manglar, un ecosistema que debemos cuidar. Instituto Colombiano de Desarrollo Rural. Cartagena D. T. 27 p.
- Molero, M.E. 2013. Manual Basico de HEC-GeoRas 10 (3ª edición). Laboratorio de Urbanismo y Ordenación del Territorio. Universidad de Granada Granada. 25 p.
- Moreno-Casasola, P. and Infante D.M. 2009. Manglares y selvas inundables. Instituto de ecología. A.C. CONAFOR y OIMT. Xalapa, Veracruz, México. 150 p.
- Orantes-García, C., Pérez F.M.A., Carpio C.C.U. and Tejeda C.C. 2013. Aprovechamiento del recurso maderable tropical nativo en la comunidad de Emilio Rabasa, Reserva de la Biosfera Selva El Ocote, Chiapas, México. *Madera y bosques* 19(3): 07-21.
- Palacios, E. 2006. Ficha técnica. Cuarenta y ocho especies de la flora de Chiapas incluidas en el PROY-NOM-059- ECOL-2000. Instituto de Historia Natural y Ecología. Bases de datos. SNIB CONABIO. Proyecto No. W008. México. D.F., México.

- Palma-López, D.J., Cisneros J. Moreno D.E. and Rincón R.J.A. 2007. Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable. COLEGIO DE POSTGRADUADOS-ISPROTAB-FUNDACION PRODUCE TABASCO. Villahermosa, Tabasco, México. 199 p.
- Palma-López, D.J., Moreno C.E., Rincón R.J.A. and Shirma E.D.T. 2008. Degradación y conservación de los suelos del estado de Tabasco. Colegio de Postgraduados, CONACYT, CCYTET. Villahermosa, Tabasco, México. 74 p.
- Pennington, T.D. and Sarukhán J. 2005. Árboles tropicales de México. UNAM, FCE. México. 523p.
- Pérez-Hernández, S., Ochoa G., Vargas S.G., Mendoza C.M. and González. 2011. Germinación y supervivencia de seis especies nativas de un bosque tropical de Tabasco. México. *Madera y bosques*, 17 (1): 71-91.
- Pérez, L.A.M., Sousa S., Hanan A.M., Chiang F. and Tenorio P. 2005. Vegetación terrestre. Cap. 4-65-110. *In* Bueno J., Álvarez F. and Santiago S. eds. Biodiversidad del estado de Tabasco, México. UNAM-CONABIO.
- Perevochtchikova, M. and Lezama T.J.L. 2010. Causas de un desastre: Inundaciones del 2007 en Tabasco, México. *Journal of Latin American Geography* 9 (2):73-98.
- Ochoa-Gaona, S., Pérez H.I., Frías H.J.A., Jarquín S.A. and Méndez V.A. 2011. Estudio prospectivo de especies arbóreas promisorias para la fitorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos. Colegio de la Frontera Sur. Villahermosa, Tabasco México. 145 p.
- Rodríguez-Barrios, F.R. 2013. Desarrollo rural, sustentabilidad y alternativas en dos ejidos del municipio de Balancán, Tabasco, México. Tesis de Maestro en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Estado de México. 140 p.
- Rodríguez-López, Y. and Marrero M.L. 2010. Metodología para la simulación hidrológica de eventos extremos máximos en ausencia de datos hidrométricos a escala horaria. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* 19(4): 53-59.
- Rodríguez, S.E.A., González P.R.A., Medina N.M.P., Pardo C.Y.A. and Santos R.A.C. 2007. Propuesta metodológica para la generación de mapas de inundación y clasificación de zonas de amenaza. Caso de estudio en la parte baja del Río Las Ceibas (Neiva- Huila). *Avances en Recursos Hidráulicos* 16: 65–78.
- Romero F.I., Cozano M.A., Gangas R.A. and Naulín P.I. 2014. Zonas ribereñas: protección, restauración y contexto legal en Chile. *Bosque* 35(1): 3–12.
- Sánchez, H.R., Mendoza P.J.D. and Salcedo P.E. 2013. Los sistemas Agroforestales: una alternativa para el manejo sustentable de bosques y agroecosistemas. *In* Los recursos forestales del Occidente de México: Biodiversidad, manejo, producción, aprovechamiento y conservación. Tomo II. México. p 355-371.
- Thackway, R., Lee A., Donohue R., Keenan R.J. and Wood M. 2007. Vegetation information for improved natural resource management in Australia. *Landscape and Urban Planning* 79: 127-136.
- Trejo-Torres, J.C. 2009. Un mangle de plata: el botoncillo (*Conocarpus erectus*). Herbario CICY, Centro de Investigación Científica de Yucatán, A. C. (CICY). http://www.cicy.mx/Documentos/CICY/Desde_Herbario/2009/2009-07-16-Trejo-Conocarpus.pdf (20 agosto 2015).
- Tudela, F. 1992. La modernización forzada del trópico: el caso de Tabasco. El Colegio de México-IFIAS-CINVESTAV-UNRISD. México. 477 p.
- Vargas-simón, G., Soto H. R.M., Rodríguez G M.T. 2002. Análisis preliminar de antocianinas en fruto de icaco (*Chrysobalanus icaco* L.). *Revista Fitotecnia Mexicana* 25(3): 261-264.
- Vester, M.F.H. y Navarro M.A. 2007. Fichas ecológicas: árboles maderables de Quintana Roo. México: ECOSUR, CONABIO, Gobierno de Quintana Roo, COQCYT. 139.

**MANIFESTACION DEL CAMBIO CLIMÁTICO LOCAL Y PROBABLES EFECTOS SOBRE LA
APICULTURA EN YUCATÁN**
MANIFESTATION OF LOCAL CLIMATE CHANGE AND PROBABLE EFFECTS ON BEEKEEPING IN
YUCATAN

¹Aguilar Duarte Y, ²Moguel Ordóñez Y, ³Reygadas Prado F, ¹Cahuich I, ⁴Bautista F

¹Centro de Investigación Regional Sureste del INIFAP. Calle 6 núm. 398 x 13, Av. Correa Rachó, Col. Díaz Ordaz, C.P. 97130. Mérida Yucatán, México.

²Campo Experimental Mocochoá, km 25 antigua carretera Mérida-Motul, Mocochoá Yucatán.

³Campo Experimental Chetumal. km 25 Carretera Chetumal-Bacalar, Othón P. Blanco, Q. Roo.

⁴Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, UNAM. antigua carretera a Pátzcuaro, col. Ex Hacienda de San José de la Huerta. Morelia, Michoacán. México. C.P. 58190.

Autor de correspondencia: aguilar.yameli@inifap.gob.mx

RESUMEN

A escala local, los factores geográficos como la latitud, altitud, corrientes marinas, relieve, suelos, vegetación e incluso la actividad humana ejercen variabilidad sobre el clima y consecuentemente sus efectos sobre los ecosistemas y las actividades productivas. En Yucatán, una de las principales actividades económicas es la apicultura sin embargo, es una actividad altamente dependiente del clima y vulnerable a los efectos extremos de éste. Se cuenta con evidencias empíricas tanto en referencias bibliográficas como dichos de productores de miel, que el cambio climático está afectando la producción de miel. Sin embargo, es necesario documentar dichas aseveraciones con estudios sobre el cambio climático a nivel local. El objetivo de este estudio fue analizar las tendencias de cambio climático a escala local de algunas estaciones meteorológicas de Yucatán para evidenciar de manera cuantitativa los posibles efectos sobre la apicultura. Se recopilaron bases de datos de las estaciones meteorológicas de la CONAGUA; se utilizó el software Clic-MD para la identificación de las tendencias de cambio climático; finalmente se discutieron los resultados contrastando lo reportado por otros estudios relacionados. En cuanto a las temperaturas, se encontraron tres patrones de tendencias: 1) estaciones donde la tendencia es el aumento; 2) estaciones donde la tendencia es la disminución; y 3) estaciones donde no se presentan tendencias. Con el índice de humedad se observó que en los años más recientes, los períodos del ciclo apibotánico han sufrido desfases, presentándose meses húmedos en épocas de secas y viceversa. Se recomienda estudios fenológicos en cada sitio, para precisar los ajustes en el calendario apícola de manera particular.

Palabras clave: *anomalías climáticas, índice de humedad, fenología, prueba de Mann-Kendall.*

INTRODUCCION

El clima varía en las escalas del tiempo y del espacio. A escala local, los factores geográficos como la latitud, altitud, corrientes marinas, relieve, suelos, vegetación e incluso la actividad humana, son determinantes en su variabilidad (Fabián *et al.*, 1994). Para estudiar el clima desde un enfoque de cambio climático, se requiere analizar la variación observada de los parámetros climáticos durante periodos consecutivos de varias décadas con el fin de hacer evidente estos cambios (Bautista *et al.*, 2013) y evaluar las probables consecuencias sobre los ecosistemas, las actividades productivas y en general, en la vida del hombre.

En Yucatán una de las principales actividades económicas es la apicultura, pero esta actividad es altamente dependiente del clima y vulnerable a los efectos extremos de éste; las diferentes especies vegetales que soportan la producción de miel local son vulnerables a varias condiciones ambientales, por ejemplo, períodos prolongados de sequía y los “nortes” o frentes fríos (Echazarreta, 2003); éstas variaciones climáticas que alteran el comportamiento y distribución de diferentes especies vegetales consecuentemente afectan la actividad de las abejas y la producción de miel (Jacinto Pimienta, 2014). En Yucatán se han reportado varias situaciones al respecto, por ejemplo, entre 1970-1990 la apicultura tuvo mucho éxito debido a la abundante y variada vegetación productora de néctar (Echazarreta, 2010). Posterior a este período, se presentó una etapa de disminución en la producción de miel causada por varios factores, entre ellos, la presencia de la abeja africanizada (1986), enfermedades como la varroasis (1994) y el paso de huracanes (1988, 1993, 2002). Eastmond y García Fuentes (2010) mencionan también que a partir de mediados de los 90's se ha reducido la

vegetación más apropiada para la producción de miel y se han presentado modificaciones en la época de floración de varias especies melíferas debido al cambio climático.

Estas evidencias empíricas sobre los efectos del cambio climático en la apicultura, en la apicultura no han sido analizadas considerando los cambios del clima, por lo que se hace necesario identificar y cuantificar la magnitud, dirección, ubicación y meses de las tendencias de cambio.

El objetivo de este estudio fue analizar las tendencias de cambio climático a escala local en las estaciones meteorológicas del estado de Yucatán, mediante las anomalías de la temperatura para evidenciar de manera cuantitativa cómo han sido y se están dando estos cambios climáticos y qué efectos se podrían estar presentando sobre la actividad apícola.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio. Yucatán cuenta con una superficie aproximada de 39340 km². Los principales paisajes geomorfológicos y los tipos de suelos existentes en ellos son: planicies costeras con Arenosols, Regosols y Solonchak; planicies kársticas con Leptosols, Cambisols y Luvisols; lomeríos alineados con Leptosols y Luvisols; y lomeríos aislados con Vertisols, Gleysols y Leptosols (Bautista *et al.* 2015). El clima va de semiárido a cálido subhúmedo con lluvias en verano, con zonas de 3 a 7 meses de lluvia continua para agricultura de temporal (Delgado *et al.*, 2017). La vegetación – de manera general- presenta el siguiente gradiente desde la costa noroeste hacia el sur-sureste: matorral de dunas, manglar rodeando de sistemas lagunares, selva baja caducifolia, pastizales, selva mediana subcaducifolia y subperennifolia (Olmsted *et al.* 1999) (Figura 1).

Análisis de datos meteorológicos. Los datos de temperatura máxima (TMax), temperatura media (TMed), temperatura mínima (TMin) y precipitación pluvial (PP) se obtuvieron de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) para un conjunto de años, diferente en cada estación pero la mayoría está entre 1961 a 2015. Para el análisis de cambio a nivel local, se consideró como período de referencia P1: 1961 a 1999 y el período de cambio P2: 2000 a 2015 o 2016 según corresponda la estación. La base de datos se trabajó con el software Clic-MD (Bautista *et al.*, 2013, 2014), se evaluó la calidad de los datos y para la identificación de las tendencias de cambio por mes se utilizó la prueba de Mann-Kendall (MK). El valor del estadístico Z obtenido con la prueba de MK sirve para identificar la tendencia de cambio, si $Z \geq 1.96$ entonces hay significancia estadística para la serie de datos, es decir, hay tendencia al aumento. Un valor de $Z \leq -1.96$ indica una tendencia descendente en la serie de datos (Bautista *et al.*, 2013, 2014). Otros cálculos fueron el índice de humedad (HUi) obtenido cuando la precipitación (P) excede a la evapotranspiración potencial (ETo); el valor del HUi va desde menos de 0.05 hasta mayor a 1, con ocho categorías (Lobo *et al.*, 2004): hiperáridas (≤ 0.05), áridas (> 0.05 a ≤ 0.2), semiáridas (> 0.2 a ≤ 0.5), subhúmedas secas (> 0.5 a ≤ 0.65), subhúmedas húmedas (> 0.65 a ≤ 1), húmedas (> 1 a ≤ 1.5), muy húmedas (> 1.5 a ≤ 2) e hiperhúmedas (> 2). Finalmente se obtuvieron las gráficas de aumentos y decrementos en las temperaturas (anomalías anuales), considerando un promedio correspondiente al periodo de referencia (P1) comparándolo con los valores del periodo de cambio (P2).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se identificaron tres patrones en las tendencias de cambio climático de las estaciones meteorológicas: 1) tendencia de aumento de la temperatura, como en Dzitás, Mérida, Motul, Peto, Tixmehuac y Valladolid; 2) tendencia de disminución como Abalá, Ingenio Catmis Tzucacab, Sotuta y Kinchil; y 3) sin tendencia, debido a que se presentan algunos meses con un aumento y otros con una disminución en algunas de sus variables como sucede en Chancernote Tizimín, Tizimín (ITA 19), Chunchucmil Maxcanú y Buctzotz (Figura 2).

Las tendencias al aumento de las temperaturas en estaciones como Mérida, Motul y Valladolid probablemente tengan relación con el proceso de deforestación y crecimiento urbano que han sufrido estos municipios; en otros municipios como Peto y Tixmehuac, se han abierto áreas extensas para la agricultura o pastizales (Andrade Hernández, 2010).

Las tendencias a la disminución de la temperatura aún es poco estudiado (Bautista *et al.*, 2013). El municipio de Abalá es el que continúa reportando las más bajas temperaturas. Aún no se analizan las causas de este comportamiento, pero es muy probable que se deba a la entrada de frentes fríos del norte. La Figura 3 presenta dos ejemplos específicos de las tendencias de cambio por mes para el período evaluado, sus correlaciones y valor Z.

Resumen de tendencias													A		
Meses	Temp max	r	z	Temp med	r	z	Temp min	r	z	Prec	r	z			
Ene	33.93	-0.643	-4.54	22.01	-0.804	-6.05	7.81	-0.602	-4.41	33.56	-0.161	-0.66			
Feb	36.29	-0.641	-4.97	23.19	-0.65	-4.71	7.78	-0.514	-3.71	27.61	0.042	-0.27			
Mar	38.78	-0.516	-3.67	25.2	-0.774	-5.7	9.31	-0.5	-3.71	31.59	0.155	0.64			
Abr	39.67	-0.534	-3.72	27.31	-0.764	-5.72	12.38	-0.675	-4.9	26.06	0.285	1.81			
May	40.32	-0.53	-3.58	28.59	-0.755	-5.66	15.98	-0.342	-2.62	81.82	-0.154	-0.37			
Jun	38.44	-0.576	-4.13	27.76	-0.811	-5.97	18.05	-0.45	-4.1	151.37	0.059	0.26			
Jul	36.78	-0.536	-3.8	26.97	-0.81	-5.8	17.99	-0.734	-5.59	169.59	-0.136	-0.95			
Ago	36.51	-0.495	-3.24	26.8	-0.698	-5.45	18.05	-0.556	-3.8	180.2	-0.163	-0.93			
Sep	35.89	-0.5	-3.51	26.86	-0.839	-6.27	17.95	-0.757	-5.49	193.15	-0.075	-0.73			
Oct	35.24	-0.322	-1.88	25.27	-0.762	-5.52	14.02	-0.584	-3.82	130.08	0.259	1.86			
Nov	34.54	-0.646	-4.57	23.54	-0.735	-5.35	10.66	-0.465	-3.37	44.3	0.159	0.45			
Dic	33.82	-0.728	-5.94	22.19	-0.752	-5.54	8.41	-0.395	-3.08	38.06	-0.021	-0.01			

Resumen de tendencias													B		
Meses	Temp max	r	z	Temp med	r	z	Temp min	r	z	Prec	r	z			
Ene	33.51	0.235	1.71	23.4	0.16	1.33	10.54	0.19	1.88	50.01	0.026	0.38			
Feb	34.79	0.429	3.2	23.93	0.496	3.99	10.89	0.338	3.54	43.15	-0.091	-0.41			
Mar	37.11	0.342	1.51	25.66	0.322	2.19	12.12	0.15	1.08	45.75	0.185	1.28			
Abr	38.1	0.562	4.43	27.31	0.45	3.27	15.06	-0.037	-0.5	49.25	0.208	0.82			
May	38.69	0.265	1.37	28.49	0.413	3.13	18.0	0.399	3.63	97.27	-0.075	-0.5			
Jun	37.62	0.279	1.59	28.16	0.353	2.15	20.41	0.691	5.18	159.73	0.164	1.05			
Jul	36.9	0.506	3.69	27.85	0.335	2.68	20.1	0.644	5.36	148.69	0.176	1.09			
Ago	36.88	0.462	3.59	27.77	0.486	3.95	20.31	0.653	5.89	179.91	0.077	0.44			
Sep	35.92	0.555	4.15	27.27	0.403	2.87	20.18	0.576	4.91	205.6	0.032	0.28			
Oct	34.79	0.458	3.2	26.22	0.308	2.38	16.88	0.276	1.44	132.97	-0.01	-0.15			
Nov	33.63	0.399	2.83	24.39	0.356	2.24	13.4	0.564	3.91	52.96	0.056	0.32			
Dic	32.99	0.197	1.3	23.47	0.571	4.47	11.68	0.518	3.3	41.75	0.03	0.36			

Figura 3. Resumen de las tendencias de cambio climático: ejemplos para el municipio de Abalá (A) con tendencias a la disminución y Valladolid (B) con tendencias al aumento.

En el caso extremo está el municipio de Abalá, donde la tendencia es el decremento de las temperaturas; para ejemplificar, se presentan las anomalías en la temperatura mínima tomando como periodo de referencia P1: 1968 a 1999 y el periodo de cambio P2: 2000-2015 (Figuras 4c y 4d). Para febrero se tiene un promedio de 8.7°C para el P1 y las disminuciones anuales (P2) para ese mismo mes se registra hasta poco más de -7°C, es decir, la temperatura mínima, llegó a 1°C; en abril, también se observan evidencias de estas disminuciones, comparando de 13.79°C para el P1, y se observa una tendencia a mantener la disminución de la temperatura mínima desde 1996, con valores de hasta -9°C, que generan un total de -4.79°C (13.79°C-9°C).

Las variaciones en el clima conllevan a que algunas especies de flora se afecten más que otras, principalmente en la ocurrencia y cantidad relativa de producción de néctar y afectando la actividad de la abeja. De acuerdo a Le Conte y Navajas (2008) un aumento en la temperatura, reduce la cantidad de néctar y calidad de polen en la vegetación melífera, situación que podría estar sucediendo en especies vegetales de los municipios como Mérida, Motul, Valladolid, Peto y algunos meses en Tixmehuac. Asimismo, los mismos autores mencionan que una disminución en la temperatura, rompe el flujo de néctar en épocas de floración, dichas alteraciones afectan la disponibilidad del alimento y desarrollo de las abejas. Esta situación se puede presentar en la flora ubicada en Abalá, Ingenio Catmis Tzucacab, Kinchil y algunos meses en Sotuta (Figura 2). También es importante considerar, que las abejas melíferas no salen a pecorear cuando la temperatura del medio ambiente desciende por debajo de los 10°C o cuando la temperatura sobrepasa los 38°C (Dadant *et al.*, 1975 en Jacinto Pimienta 2014), situación que estaría ocurriendo en los municipios con disminución y aumento de temperaturas, respectivamente.

El índice de humedad también varía de estación en estación y por período de evaluación; sin embargo, resaltan los meses entre agosto, septiembre y octubre como los meses más húmedos cuando se evalúan por periodos históricos, justamente por ser una temporada con altas incidencias en tormentas y huracanes. No obstante, también se observan diferencias en escalas de espacio y tiempo. A manera de ejemplo, en Kinchil para el periodo de referencia (P1: 1967-1999) se observó que se presentaron cuatro diferentes clases de HUI: áridas, semiáridas, subhúmedas secas y subhúmedas húmedas (Figura 5a). Pero para el periodo de cambio (P2: 2000-2015), surgieron cinco clases, apareciendo dos meses (agosto y septiembre) con clase húmedas (Figura 5b).

En Peto se obtuvo para el periodo de referencia (P1: 1961-1999) cuatro clases del HUI (áridas, semiáridas, subhúmedas secas y subhúmedas húmedas) (Figura 5c), pero para el periodo de cambio (P2: 2000-2015), el HUI se redujo a tres clases (semiáridas, subhúmedas húmedas y húmedas) (Figura 5d). En la estación Tizimín (ITA 19), ocurrió lo contrario, pues para el período de referencia (P1: 1960-1999) se presentaban tres clases de HUI (semiárida, subhúmeda húmeda y húmeda) (Figura 5e), pero para el periodo de cambio (P2: 2000-2016) fue evidente una temporada de sequía con el surgimiento de meses áridos que antes no se presentaban (Figura 5f).

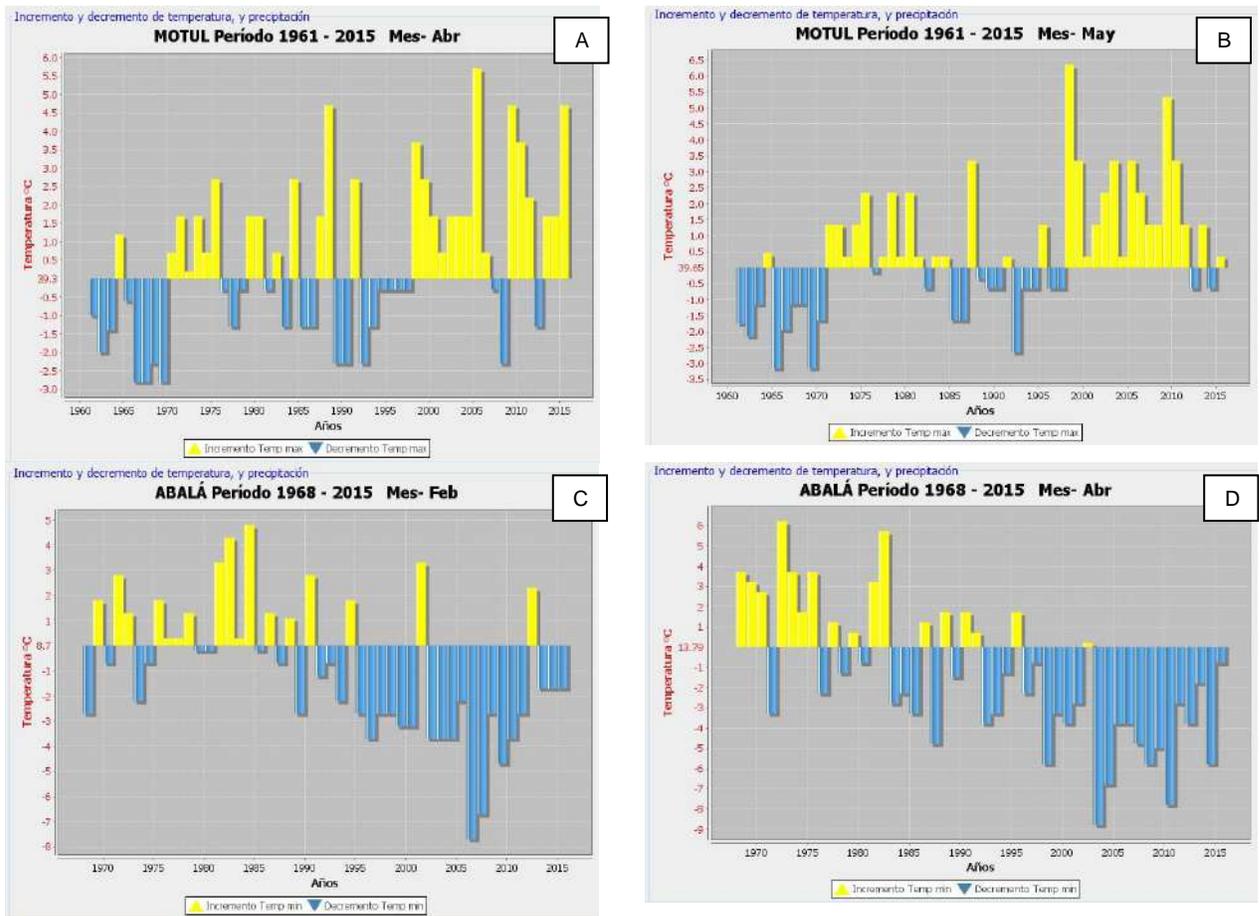


Figura 4. Incremento de la TMax durante el mes de abril (A) y mayo (B) desde 1961 al 2015 en Motul y decrementos en la TMin en febrero (C) y abril (D) desde 1968 al 2015 en Abalá

Considerar esta variabilidad temporal y espacial es importante al realizar los estudios que busquen relacionar la fenología de las plantas, principalmente aquellas de importancia melífera, pues permitirá comprender de una manera más acertada, los procesos que están ocurriendo de manera local. También es importante analizar los índices de humedad año con año, para visualizar los patrones que han ocurrido, si se mantienen o están cambiando, de ser así, en qué intensidad.

La actividad apícola en la Península de Yucatán, se organiza a través del “Ciclo apibotánico” o también llamado “calendario apícola” que es una serie de actividades en el manejo de los apiarios que se asocian con las temporadas climáticas y las floraciones de la vegetación melífera. De manera resumida el ciclo apibotánico se divide en tres períodos: 1) cosecha (enero a mayo) que coincide con la época de secas; 2) postcosecha (junio a septiembre) durante época de lluvias, donde se distingue una miel más húmeda; y 3) precosecha (octubre a diciembre), coincide con la temporada de frío. También se reconoce que entre agosto y octubre, se presenta una época de crisis para las abejas, por ser la temporada más fuerte de huracanes y días nublados (Alfaro *et al.*, 2011; Cruz-Zamudio, 2017).

Con las gráficas del índice de humedad (Figuras 5), se pueden apreciar los períodos correspondientes al ciclo apibotánico (seco, húmedo, nortes) y se observa un patrón que aparentemente cumple con este calendario, no obstante, la representación del HUI por períodos de años puede enmascarar situaciones particulares que ocurren año con año y que podrían modificar estos ciclos apícolas establecidos. Una forma de comprobar esta situación, es observando el HUI de forma anual; En la Figura 6 se ejemplifican 15 años consecutivos en los que se han manifestado las mayores variaciones (2000 al 2014). Se presenta el caso de la estación meteorológica de Motul, en el cual se evidencian años críticos en los cuáles el ciclo apícola sufrió un desajuste debido a que las tres épocas (seca, lluvias, norte) no se comportaron con el patrón típico en los meses que debieron corresponder.

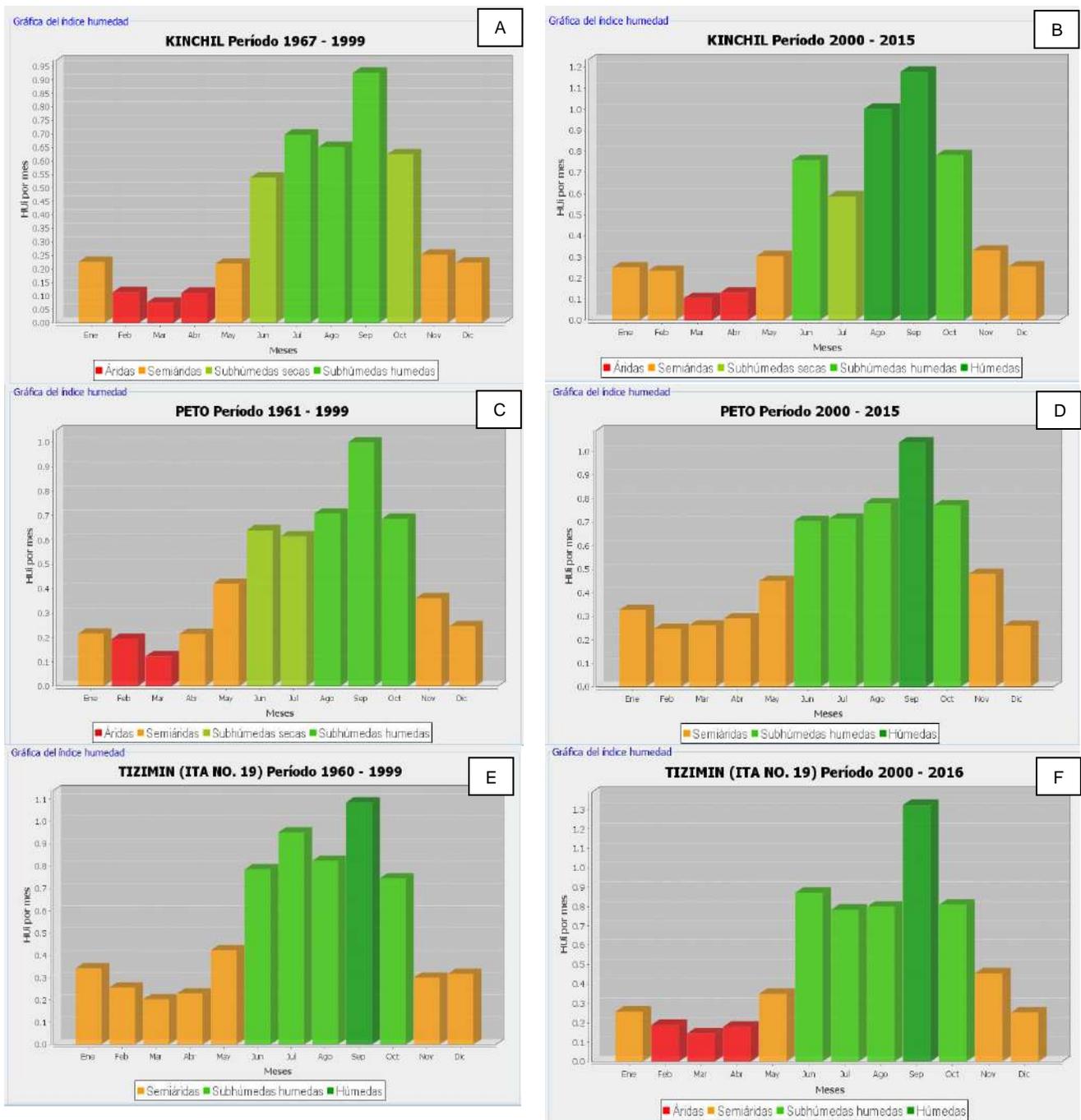


Figura 5. Gráficas del índice de humedad comparando períodos de referencia (P1: 196X a 1999) y períodos de cambio (P2: 2000-201X). Ejemplos para Kinchil (A, B), Peto (C, D) y Tizimín (E, F).

Destacan años con presencia de meses hiperhúmedos (2001, 2002), asociados a tormentas, ciclones y depresiones tropicales (SMN, 2018), posterior a estos años se observan en el 2004, 2005 y 2006 principalmente, años críticos en los cuales se presentan meses con HUI semiáridos en épocas que deberían ser de lluvias, y meses áridos e hiperáridos en épocas de secas; luego en los siguientes dos años se observa una aparente recuperación del ciclo apícola, no obstante, se presenta febrero 2007 con un HUI subhúmedo húmedo, y febrero 2008 con HUI subhúmedo seco y también en octubre de 2008, fue un mes con HUI semiárido, es decir, se intercalan meses subhúmedos en épocas de secas y meses áridos en épocas de lluvias, repitiéndose en el 2009, 2011, 2012, luego 2013 se refleja otro evento extremo en

septiembre y 2014 como otro año crítico donde el ciclo apícola no se cumple, incluso se observa como un año seco. Estos desajustes y desfases, son evidencias cuantitativas de los cambios climáticos que están ocurriendo en esa zona.

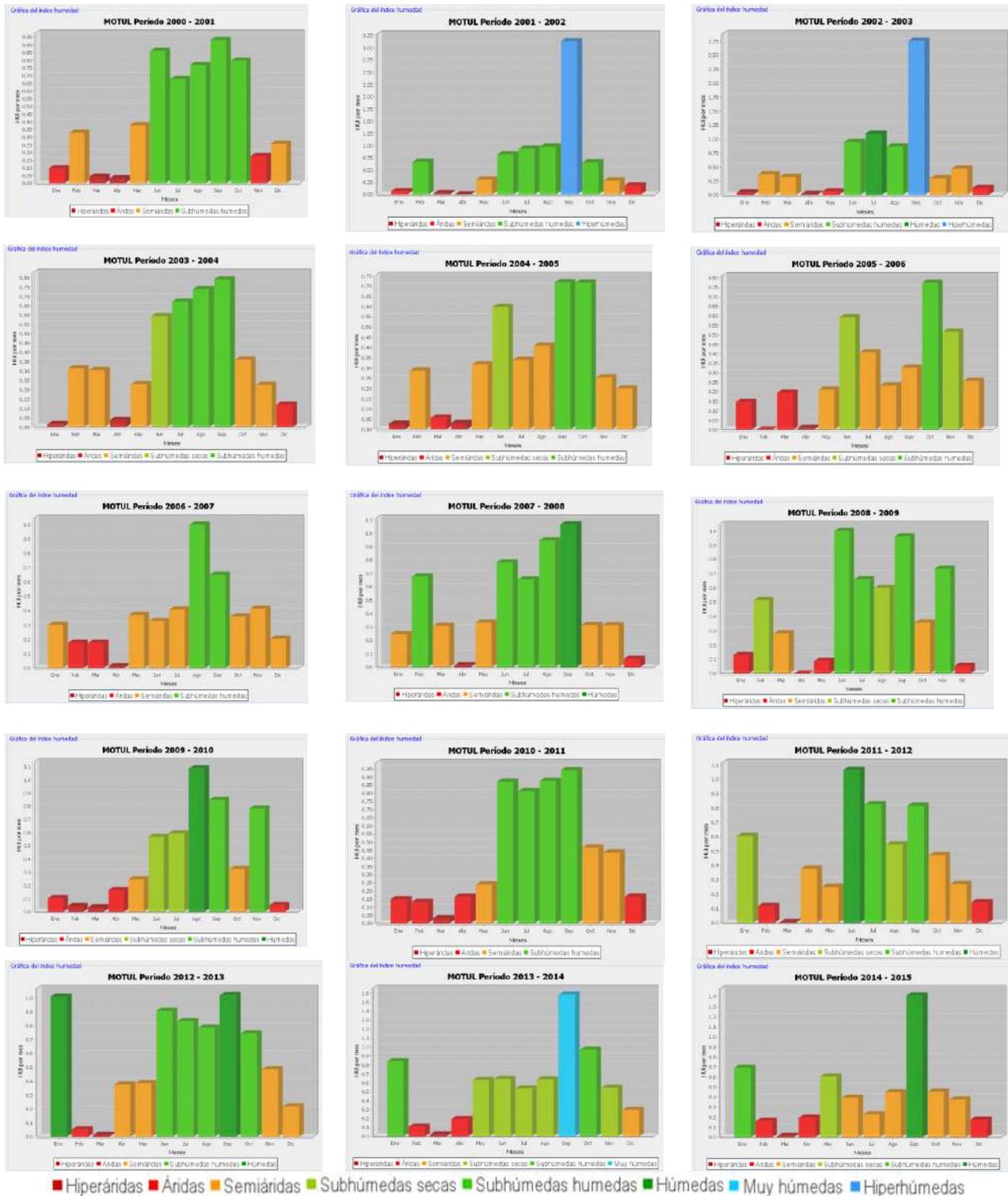


Figura 6. Índice de humedad anual consecutivos desde 2000 hasta 2014 de la estación Motul

Zonas con presencia de sequías, desfavorece el rendimiento de los cultivos ya que interrumpe el desarrollo de diversas fases vegetativas, como las alteraciones en las épocas de floración; por otra parte, eventos extremos de precipitación, diluye el néctar, es decir, ocasiona un bajo contenido de azúcar y pierde atracción para las abejas, y todos éstos cambios se ven reflejados en la producción de cada colmena (Le Conte y Navajas, 2008).

Estas situaciones hacen pensar en la necesidad de una “apicultura de precisión”, es decir, en el diseño de prácticas y estrategias en la actividad apícola acordes al conocimiento local, apoyado con el conocimiento técnico-científico. En una primera instancia, se recomienda establecer un sistema de monitoreo comunitario, en la cual se involucren los apicultores para que ellos mismos vayan registrando de manera sistemática sus observaciones fenológicas de las especies de flora melífera más importantes que rodeen sus apiarios, junto con anotaciones relacionadas a eventos meteorológicos y disturbios (temperaturas extremas, sequías, inundaciones, tormentas, incendios forestales, presencia de plagas, etc.). Esta información permitiría a los usuarios, generar sus propios calendarios apícolas con información ambiental precisa del sitio, el cual apoyaría a tomar decisiones concretas de adaptación y mitigación ante el cambio climático local.

CONCLUSIONES

Para las estaciones meteorológicas evaluadas, se observaron tres patrones de comportamiento: 1) estaciones con tendencia al aumento de temperaturas; 2) estaciones con tendencia al decremento; y 3) sin un patrón definido.

Se evidencian sitios donde las temperaturas máximas han superado los 40°C, como Mérida, Motul y Valladolid, y otros en los cuales las temperaturas mínimas alcanzan valores por debajo de los 10°C en invierno, como Abalá, Kinchil, Ingenio Catmis Tzucacab y Sotuta, siendo ambos valores extremos, perjudiciales para las actividades de las abejas.

Con el índice de humedad se observó que en los años más recientes, los períodos del ciclo apibotánico han sufrido desfases, presentándose meses subhúmedos en épocas de secas y meses semiáridos en épocas que deben corresponder a lluvias.

LITERATURA CITADA

- Alfaro, R., Burgos, A., Moguel, Y., Godínez, L., Villanueva, R., Romero, O., Quintanar, E. y Velázquez, C. 2011. Plan rector para promover una denominación de origen de mieles de la península de Yucatán. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo.
- Andrade Hernández, M. 2010. Transformación de los sistemas naturales por actividades antropogénicas. En: Durán R. y M. Méndez (Eds). Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán. CICY, PPD-FMAM, CONABIO, SEDUMA. pp. (316-319).
- Bautista, F., Frausto, O., Ihl, T. y Aguilar, Y. 2015. Actualización del mapa de suelos del Estado de Yucatán México: enfoque geomorfopedológico y WRB. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 2 (6): 303-315.
- Bautista, F., Pacheco, A., Bautista y Hernández, D. A. 2014. Análisis del cambio climático con datos mensuales (Clic-MD). SKIU. 58 pp.
- Bautista, F., Bautista-Hernández, D., Álvarez, O., Anaya-Romero, M. y de la Rosa, D. 2013. Software para identificar las tendencias de cambio climático a nivel local: un estudio de caso en Yucatán México. Nota técnica. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente: 81-90.
- Cruz Zamudio, A. 2017. Producción de miel convencional y orgánica en la Península de Yucatán. Tesina como requisito parcial para optar al grado de Maestría Profesionalizante en Ecología Internacional. El Colegio de la Frontera Sur y Université de Sherbrooke. 101 p.
- Delgado C., Bautista F., Ihl T. y D. Palma-López. 2017. Duración del periodo de lluvias y aptitud de tierras para la agricultura de temporal. Ecosistemas y Recursos Agropecuarias 4(12): 485-497.
- Echazarreta G. C. M. 2010. Apicultura y producción de miel. En: Durán R. y M. Méndez (Eds). Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán. CICY, PPD-FMAM, CONABIO, SEDUMA. pp. 109-111.
- Echazarreta-Glez., C. 2003. Efectos del huracán Isidoro en la apicultura de Yucatán. Revista de la UADY 224: 30-41

- Eastmond A. y García de Fuentes A. 2010. Impacto de los sistemas agropecuarios sobre la biodiversidad. En: Durán R. y M. Méndez (Eds). Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán. CICY, PPD-FMAM, CONABIO, SEDUMA. pp. 98-104
- Fabián, E., Escobar, A., y Villa, Ma. C. 1994. Geografía general. McGraw-Hill. México D. F. 410 p.
- Jacinto Pimienta, S. Y. 2014. Los factores climáticos y su relación con los tipos polínicos presentes en la miel. Tesis presentada para obtener el grado de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. 56 p.
- Le Conte, Y. and Navajas, M. 2008. Climate change: impact on honey bee populations and disease. In Climate change: impact on the epidemiology and control of animal diseases. Rev. Sci. Tech. Off. Int. Epiz., 27(2): 499-510.
- Lobo, D., Gabriels, D., Ovalles, F., Santibáñez, F., Moyano, M.C., Aguilera, R., Pizarro, R., Sanguesa, C. y Urra, N. 2004. Guía metodológica para la elaboración del mapa de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas de América Latina y el Caribe. CAZALAC-PHI/UNESCO, Venezuela. Disponible en: http://www.cazalac.org/documentos/Guia_Mapa_ZA_ALC.pdf Consultado el 5 de octubre de 2011.
- SEMARNAT-CONAFOR, 2013. Inventario estatal forestal y de suelos de Yucatán. México, D. F. 126 pp.

REFERENCIAS INFORMATICAS

- SMN, 2018.
http://smn.cna.gob.mx/tools/GUI/Ciclones_Historico_Seguimiento.php?style=1&ano=2001&ml=1
(consultado el 20 de junio de 2018).

EFFECTO DE LA QUEMA Y REQUEMA EN LA ACTIVIDAD MICROBIANA EN SUELO Y RIZOSFERA DE *Saccharum officinarum* L. EN EL SURESTE DE MÉXICO
EFFECT OF BURNING AND RE-BURNING IN MICROBIAL ACTIVITY IN SOIL AND RHIZOSPHERE OF *Saccharum officinarum* L. IN THE SOUTHEAST OF MEXICO

¹Rivera-Cruz MC, Trujillo-Narcía A, Magaña-Aquino M

¹Laboratorio de Microbiología Agrícola y Ambiental. Colegio de Postgraduados *Campus* Tabasco. Periférico Carlos A. Molina s/n km 3.5, H. Cárdenas, Tabasco, Méx. CP 86570

²Cuerpo Académico Energía y Medioambiente. Programa Educativo QFB. Universidad Popular de la Chontalpa. Carretera Cárdenas-Huimanguillo km 2, Ra. Paso y Playa, Cárdenas, Tabasco, Méx. CP 86500.

Autor para correspondencia: mariari@colpos.mx

RESUMEN

La quema del cultivo de caña de azúcar en el trópico húmedo mexicano es una actividad convencional realizada al final de la temporada del ciclo agrícola. Existe información respecto a que esta actividad induce efectos biológicos negativos en el suelo. Se evaluó el efecto de la quema en la respiración basal microbiana (CO₂) y en la población de rizobacterias (fijadoras de N de vida libre y solubilizadoras de P) en suelo rizosférico y no rizosférico. El estudio se realizó en época de sequía en una superficie de 1.31 ha con relieve plano, suelo Fluvisol éutrico en barrote de río seco y sembrada con *Saccharum officinarum*, variedad tardía Mex 79-431. Se muestreó suelo y rizosfera en ocho puntos durante tres temporadas (antes de la quema, después de la quema y de la requema) y en siete capas con diferentes profundidades del suelo [suelo rizosférico (0-30 cm), capa 1 (0-5 cm), C2 (5-10 cm), C3 (10-15 cm) C4 (15-20 cm), C5 (20-25 cm) y C6 (25-30 cm)]. La rizosfera tiene mayor actividad microbiana respecto a los seis espacios del suelo no rizosférico en las tres temporadas. La respiración basal (CO₂ mg CO₂ g suelo⁻¹ d⁻¹) a los días 7, 21, 42, 63 y 84 fue mayor en suelo rizosférico respecto al suelo no rizosférico, así mismo la población de bacterias fijadoras de N y solubilizadoras de P fueron más numerosas en rizosfera. La requema en la rizosfera causó efecto positivo en la densidad de bacterias fijadoras de N de vida libre pero no en solubilizadoras de P. La rizosfera sostiene la actividad microbiana después de la quema y requema, por lo tanto atenúa cambios biológicos que el fuego a cielo abierto induce en la plantación de caña de azúcar. Se recomienda estudiar la relación de rizobacterias con la disponibilidad de macronutrientes para la planta.

Palabras clave: *Caña de azúcar, Fuego, Respiración basal, Rhizobacteria.*

INTRODUCCION

Durante la zafra 2015-2016 en México se quemó a cielo abierto una superficie de 778,750 ha de caña de azúcar, la producción fue 6,117,048 t de azúcar (SIAP, 2017). La quema a cielo abierto en México sigue un modelo convencional que mitiga la falta de empleo en el campo y cubre los requerimientos nutrimentales del cultivo. La incorporación de cenizas al suelo, posterior a la quema y requema de caña de azúcar, según Ajwa *et al.* (1999), Palese *et al.* (2004) y Kathryn *et al.* (2012), disminuyen los contenidos de COS, la actividad enzimática, el carbono de la biomasa microbiana y reduce las comunidades bacterianas. Las mejoras al poco tiempo después de la incorporación de cenizas al suelo y rizosfera de plantas por quema de pastizales y forestal tropical (da Bielefeld y Cunha, 2003 y Palese *et al.*, 2004; Sunday, 2010) se manifiesta en las propiedades químicas (pH, C, N, C/N, P, K) y en las biológicas (actividad microbiana, densidad, diversidad de bacterias y hongos en el suelo). El suelo con influencia de las raíces de la planta se denomina rizosfera (Balestrini *et al.*, 2015). La rizosfera de la planta de caña de azúcar, tras la aplicación de la quema y la requema, ha sido poco estudiada y es importante conocerlo. El sistema radical se conserva después de la quema y corte de la planta, la rizosfera del macollo queda inalterada, las raíces permanecen vivas y posiblemente se conserva el C orgánico liberado tras el ciclo de la planta cosechada, pero también es reservorio de ceniza. La rizosfera es el espacio integrado por raíces y suelo, ahí se acumula el C-orgánico en forma de proteínas (enzimas), nucleótidos, polisacáridos y lípidos. Estos compuestos interactúan con minerales de arcilla, coloides orgánicos y microorganismos que forman complejos órgano-minerales (Violante *et al.*, 2011; Yuan y Theng, 2011; Violante y Caporale, 2015).

La rizosfera ha sido estudiada por diversos investigadores y han encontrado su importancia en la nutrición de cultivos, acumulación de COS, colonización de bacterias reguladoras del crecimiento vegetal, amortiguadora de la contaminación con hidrocarburos (Balestrini *et al.*, 2015; Arias-Trinidad *et al.*, 2017) y la tolerancia a la fluctuación de temperatura alta (600 a 750 °C) y bajas (35 °C) en la superficial del suelo asociada con la quema de la caña de azúcar en precosecha (Ladrach, 2009). En este contexto, la rizosfera de la caña de azúcar, localizada en el espesor de 0-30 cm de un Fluvisol, tras la quema y requema en postcosecha a cielo abierto, tendrá potencial para mitigar los cambios microbiológicos que se generan por la presencia de hojarasca y ceniza. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la quema y requema en suelo y en suelo rizosférico de la planta de caña de azúcar, basado en la respiración basal y las densidades poblacionales de bacterias reguladoras del crecimiento vegetal, que permitan deducir el potencial atenuador del reservorio de hojarasca seca y cenizas derivadas de la quema y requema. La hipótesis planteada fue en la rizosfera de caña de azúcar se presenta la mayor actividad microbiana respecto al suelo no rizosférico de las capas sub-superficiales, antes de la quema, después de la quema y requema, además se afirma que la rizosfera sostiene la actividad microbiana después de la aplicación del fuego para quema y requema.

MATERIALES Y MÉTODO

Sitio de estudio y puntos de muestreo. El estudio se realizó en época de sequía durante abril de 2017, en una superficie de 1.31 ha con relieve plano, suelo Fluvisol éutrico, localizado en barrote del río seco y sembrada con *S. officinarum* variedad tardía Mex 79-431, ciclo resoca 3. Es una plantación que ha sido quemada cada año, desde el ciclo agrícola 2000-2001 hasta la fecha. Se ubica en la Ranchería Paso y Playa, municipio de Cárdenas, Tabasco. La localización geográfica es 15Q 0460985 y 1985790. El clima es tropical húmedo con lluvias en verano. Ocho puntos de estudio se ubicaron a una equidistancia de 40 m de norte a sur y de 20 m de este a oeste.

Diseño experimental

El diseño fue factorial 3x7 (tres temporadas de muestreo y siete espacio en el suelo) con ocho repeticiones. Las temporadas fueron antes de la quema (AQ), después de la quema (DQ) y después de la requema (DR). La quema se realiza con fuego a cielo abierto por un tiempo de 10 min a una temperatura sobre el suelo de 620 °C. La requema se efectuó 10 días después de la quema, se aplicó fuego a los residuos de cosecha y trozos vegetales quemados. El segundo factor, profundidad del suelo, fueron siete tratamientos: suelo rizosférico (SR) (0-30 cm) y suelo no rizosférico (SNR) en seis profundidades [capa 1 (C1: 0-5), capa 2 (C2: 5-10), capa 3 (C3: 10-15), capa 4 (C4: 15-20), capa 5 (C5: 20-25) y capa 6 (C6: 25-30 cm)].

Muestreo y preparación de suelos rizosférico y no rizosférico

En los ocho puntos de muestreo se excavaron perfiles de suelo de 0.4 m de ancho, 0.5 de largo y 0.5 m de profundidad. Se colectaron muestras de SR y de SNR. Las muestras para el estudio de la respiración basal y densidad de rizobacterias se introdujeron en frascos de vidrio de 0.25 kg, esterilizados y con tapa con teflón, se preservaron a 4 °C de temperatura hasta su procesamiento en laboratorio, una semana después.

Análisis de respiración basal

Se estableció un bioensayo integrado con 21 tratamientos a partir de las combinaciones de los dos factores; uno, temporada (AQ, DQ y DR) y dos, profundidad (rizosfera y las seis profundidades antes especificadas), con ocho repeticiones cada tratamiento. La respiración basal ($\text{mg CO}_2 \text{ g}^{-1}$ suelo rizosférico d^{-1}) fue evaluado en 100 g de muestra fresca por el método incubación fumigación (Jenkinson, 1976). Las muestras, con 34% de humedad, fueron introducidas en frascos de vidrio de 1.0 L e incubadas a 28 °C. El CO_2 fue atrapado en 5 mL de NaOH a diferentes intervalos de tiempo (7, 21, 42, 63 y 84 días). Los viales con NaOH fueron removidos y titulados con HCl 1M en presencia de BaCl_2 y fenolftaleína.

Densidad de rizobacterias

En suelo rizosférico y suelo no rizosférico de los 21 tratamientos se evaluó las unidades formadoras de colonias (UFC) de bacterias fijadoras de N de vida libre y bacterias solubilizadoras de P. El medio de cultivo específico fue carbón combinado para bacterias fijadoras de N de vida libre (Rennie, 1981) y Pikovskaya para la solubilizadoras de P (Pikovskaya, 1948). Se utilizó 10 g de suelo fresco rizosférico y 10 de no rizosférico, y se utilizó la técnica de dilución seriada (10^{-1} a 10^{-5}) en placa de agar (Madigan *et al.*, 2009).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Respiración microbiana en suelos rizosférico y no-rizosférico

La respiración microbiana fue cuantificada en cinco tiempos sucesivos con la relación de CO₂ entre rizosfera y suelo no rizosférico de las seis capas bajo condiciones controladas en laboratorio. La respiración microbiana fue mayor en la muestra de suelo rizosférico evaluada los días 7, 21, 42, 63 y 84 después de la incubación, en comparación con el suelo no rizosférico de las seis profundidades evaluadas (Figura 1). Al principio de la incubación, el día 7, AQ, DQ y DR, la respiración microbiana solo se encontró en suelo rizosférico y en la capa superficial del suelo (0-5 cm) (Figura 1); en cambio, no se encontró actividad microbiana en suelo no rizosférico extraído de las capas 2 a 6, es decir, de 5 a 30 cm de profundidad del suelo. La respiración basal aumentó en las siguientes fechas de evaluación, el incremento más pronunciado ocurrió el día 84 en la muestra extraída de la rizosfera de la caña de azúcar. Los resultados evidencian que las muestras colectadas antes de la quema registró valor máximo de 878 g de CO₂ mg suelo⁻¹d⁻¹ en suelo rizosférico, en contraste en las seis capas subyacentes la respiración fue menor en el rango de 33.7% en la muestra de la capa de 0.5 cm de profundidad, y disminuyó de manera gradual con el incremento de la profundidad, la mayor disminución fue 75.7% en los suelos de las capas 4 y 5, localizadas de 15 a 25 cm (Figura 1A). La respiración determinada en muestras colectadas después de la quema mostró la misma tendencia, en suelo rizosférico se determinó la mayor respiración microbiana, con 1223 g de CO₂ mg suelo⁻¹d⁻¹ al 21 día, esta cantidad disminuyó al aumentar la profundidad de muestreo, la menor respiración microbiana fue 54% menos en el suelo más profundo localizado entre 25 y 30 cm (Figura 1B). Los datos de la liberación microbiana de CO₂ aumentaron por efecto de la requema de residuos de la caña dos semanas después del corte del cultivo. Aquí se cuantificó 2713 mg de CO₂ correspondiente al día 84, y al igual que en las etapas de antes y después de la quema, la respiración disminuyó al aumentar la profundidad del suelo, la mayor disminución fue 71.6% en el suelo no rizosférico extraído de 20 a 25 cm de profundidad (Figura 1C).

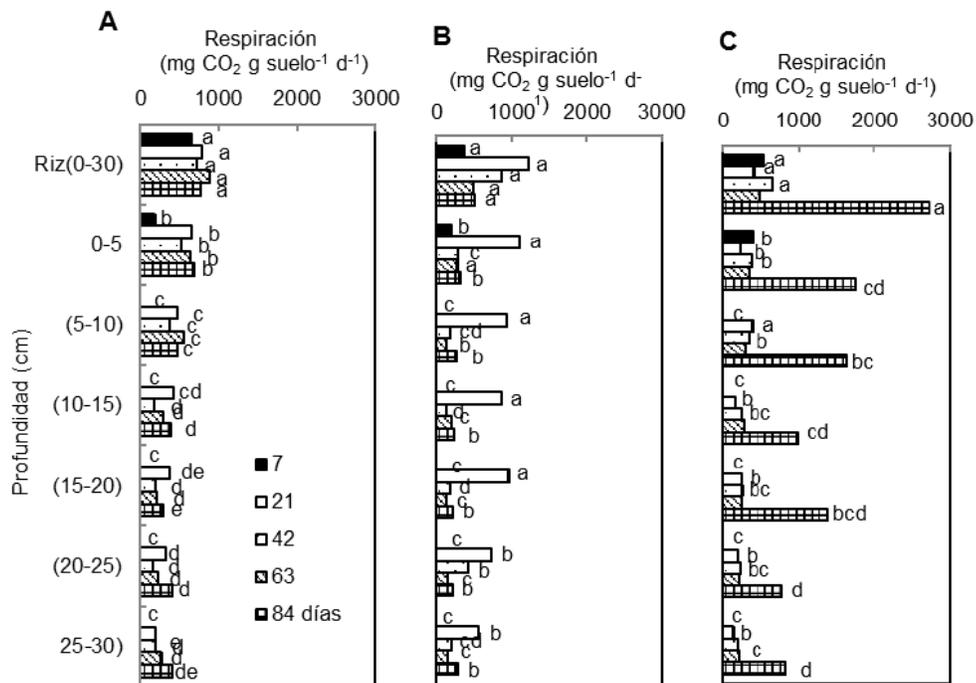


Figura 1. Respiración basal microbiana en suelo rizosférico (Riz) y no rizosférico en diferentes profundidades y tiempos. A) Antes de la quema, B) después de la quema, y C) después de la requema de la caña de azúcar. Letras diferentes por columnas por cada día según la profundidad del suelo indica diferencias estadísticas (Duncan, p ≤ 0.05, n = 8).

En la Figuras 2 a, b y c se muestran los resultados de la producción de CO₂ en suelo rizosférico AQ, DQ y RE en cinco momentos diferentes. Las muestras de suelo colectadas antes de la quema del cultivo, durante los seis tiempos (7, 21, 42, 63 y 84 días) muestran baja producción de CO₂ en tanto en suelo

rizosférico al igual que en el no rizo­sférico (Figura 2a). Los resultados de la respiración de las muestras extraídas después de la quema del cultivo (Figura 2b) también tienen tendencias bajas y decrecientes durante los 84 días de la evaluación de la respiración microbiana, el valor más alto fue 1116 mg de CO₂ registrado el día 21. Ocurrió incremento notorio de la cantidad de CO₂ en las muestras colectadas después de la requema de residuos del cultivo de la caña de azúcar (Figura 2c). El aumento fue notorio del día 63 con 469 mg y aumentó a 2705 mg de CO₂ el día 84, aumentó 465% en un lapso de 21 días. Es claro que el material de la requema, y quizá incluido también el material de la quema, inducen que la respiración microbiana aumente la tasa de liberación de CO₂ derivado del material calcinado.

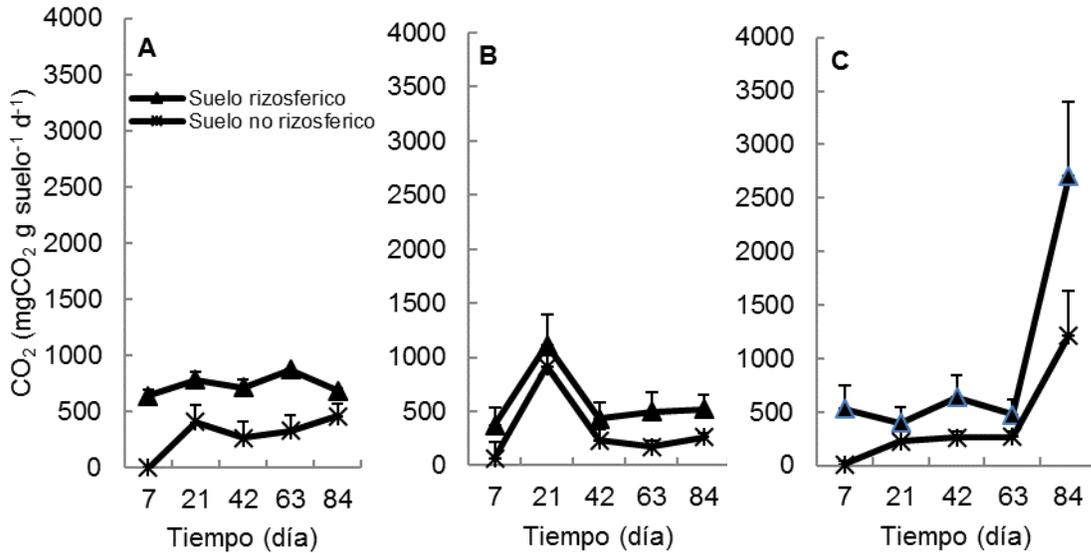


Figura 2. Liberación de CO₂ desde la respiración microbiana en suelos rizo­sférico y no rizo­sférico de *Saccharum officinarum* en tres temporadas de una plantación sometida a fuego. A) Antes de la quema, B) después de la quema, y C) después de la requema. Suelo rizo­sférico n=8, suelo no rizo­sférico n=48.

Bacteria en suelos rizo­sférico y no rizo­sférico

Las poblaciones de bacterias fijadoras de N de vida libre y solubilizadoras de P muestran diferencias significativas por efecto del suelo rizo­sférico y profundidad en cada uno de los tres temporadas (Duncan, $p \leq 0.05$). Las poblaciones de los dos grupos de rizobacterias fueron mayor en la rizo­sfera que en suelo no-rizo­sférico de las seis capas del suelo en las tres temporadas (Cuadro 1). La mayor población de bacterias fijadoras de N (58×10^4 UFC g⁻¹ s.r) fue en suelo rizo­sférico de muestras colectadas después de la requema. La población de bacterias solubilizadoras de P fue mayor (73 y 76×10^3 UFC g⁻¹ s.r.) en suelo rizo­sférico colectados antes de la quema y también de muestras colectadas después de la requema de los residuos agrícolas cañeros, sin embargo, el mayor efecto rizo­sfera inducido por bacterias fijadoras de N fue en muestras colectadas después de la requema, y para las solubilizadoras de P se contó en muestras colectadas antes de la quema del cultivo de caña de azúcar. El efecto de la quema sobre las poblaciones de bacterias fijadoras de N y de P fue negativo en suelo rizo­sférico, pero el efecto de la requema fue positivo en ambos grupos, con poblaciones de 48×10^4 y 73×10^3 UFC, respectivamente. Un efecto similar positivo de la requema en ambos grupos de bacterias se identificó en suelo no-rizo­sférico, pero la población fue pequeña en comparación con suelo rizo­sférico (Cuadro 1).

CONCLUSIONES

La rizo­sfera del cultivo de caña de azúcar tiene potencial para sostener la actividad microbiana después de la incorporación de cenizas derivadas de la quema y requema, debido a que la respiración basal, las poblaciones de bacterias fijadoras de N de vida libre y solubilizadoras de P son mayores respecto a suelo no rizo­sférico de las seis profundidades antes de la quema, después de la quema y requema.

La quema con fuego a cielo abierto disminuye la población de bacterias fijadoras de N y solubilizadoras de P, pero la requema realizada a los 15 días después de la quema, incrementa las bacterias fijadoras de

N. La quema y requema en post-cosecha de caña de azúcar en el trópico húmedo reactiva la actividad microbiana después de la requema, siendo este espacio básico para la nutrición de la planta.

Cuadro 1. Población de rizobacterias en suelos rizosférico y no rizosférico de capas del suelo antes de la quema, después de la quema y después de la requema.

Temporada/ orgánico	material	Rizosfera (0-30)	Suelo no rizosférico (capa, cm)					
			0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30
Antes de la quema/ hojarasca								
	B. Fijads. N (10^2 UFC g^{-1} s.s)	4800a*	250b	210b	140b	170b	140b	80b
	B. Solubs. P (10^2 UFC g^{-1} s.s)	720a	30b	10b	12b	10b	8b	4b
Después de la quema/ ceniza								
	B. Fijads. N (10^2 UFC g^{-1} s.s)	47a	24b	14bc	13bc	11bc	8c	7c
	B. Solubs. P (10^2 UFC g^{-1} s.s)	71a	3b	3b	2b	2b	2b	1b
Después de la requema/ ceniza								
	B. Fijads. N (10^2 UFC g^{-1} s.s)	5880a	47b	510b	48b	50b	490b	480b
	B. Solubs. P (10^2 UFC g^{-1} s.s)	67a	37b	30c	20c	20c	20c	20c

*Letras diferentes dentro de hileras indican diferencias estadísticas (Duncan, $p \leq 0.05$, $n=8$).

LITERATURA CITADA

- Arias-Trinidad, A., Rivera-Cruz M.C., Roldán-Garrigós, A., Aceves-Navarro, L.A., Quintero-Lizaola, R. y Hernández-Guzmán, J. 2017. Uso de *Leersia hexandra* (Poaceae) en la fitorremediación de suelos contaminados con petróleo fresco e intemperizado. *International Journal Tropical Biology* 65: 21-30.
- Ajwa, H. A., Dell, C.J., and Rice, C.W. 1999. Changes in enzyme activities and microbial biomass of tallgrass prairie soil as related to burning and nitrogen fertilization. *Soil Biology and Biochemistry* 31: 769-777.
- Balestrini, R., Lumini, E., Borriello, R., and Bianciotto, V. 2015. Plant-Soil Biota Interactions. *In*: Paul, E.A (ed). *Soil Microbiology, Ecology, and Biochemistry*. Elsevier. Colorado State University. USA. pp: 311-338.
- da Bielefeld, N.G., and Cunha, B.M.M 2003. Effects of fire on soil nitrogen dynamics and microbial biomass in savannas of Central Brazil. *Pesq. Agropec. Bras., Brasília*. 38: 955-962.
- Kathryn, M. Docherty, M.K., Balsler, C.T., Bohannan, J.M.B., and Gutknecht, M.L.J. 2012. Soil microbial responses to fire and interacting global change factors in California annual grassland. *Biogeochemistry* 109: 63-83.
- Jenkinson, D.C.1976. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. IV. The decomposition of fumigated organisms in soil. *Soil Biology and Biochemistry* 8: 203-208.
- Palese, MA., Giovannini, G., Luchesi, S., Dumontet, S., and Perucci, P. 2004. Effect to fire on soil C, N and microbial biomass. *Agronomy* 24: 47-53.
- Ladrach, 2009. El efecto del fuego en los ecosistemas agrícolas y forestales. *La Sociedad Internacional de Forestales Tropicales*. ISTF Noticias. Maryland USA. 20p. www.zfaforestry.com. Consultado 27/06/ 2017.
- Madigan, M.T., Martinko, J.M., Dunlap, P.V., y Clark, D.P. 2009. *Brock. Biología de los Microorganismos*. 12. ed. Madrid, España. Pearson Educación, S.A. p 1259.
- Pikovskaya, R.I. 1948. Mobilization of phosphorus in soil in connection with their vital activities of some microbial species. *Mikrobiologiya* 17:362-370.
- Rennie, R.J. 1981. A single medium for the isolation of acetylene reducing (dinitrogen-fixing) bacteria from soils. *Canadian Journal of Microbiology* 27: 8-14.
- SIAP. 2016. <http://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>. Consultado: 06/06/2017.

- Sunday, A.A 2010. Effects of slash and burning on soil microbial diversity and abundance in the tropical rainforest ecosystem, Ondo State, Nigeria. *African Journal of Plant Science* 4: 322-329.
- Yuan, G., and Theng, B.K.G. 2011. Clay-organic interactions in soil environments. *In: Huang, P.M., Li, Y., and Sumner, M.E. (eds). Handbook of Soil Science Resource of Management and Environmental Impacts. 2nd ed. CRC Press, Taylor and Francis, Chap. 2, pp. 1-20.*
- Violante, A., and Caporale, A.G. 2015. Biogeochemical processes at soil-root interface. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 15: 422-448.

**EVALUACIÓN DEL POTENCIAL PRODUCTIVO DE BIODIESEL EN POBLACIONES
NATURALES DE COYOL *Acrocomia aculeata* Jacq.**
EVALUATION OF BIODIESEL PRODUCTION POTENTIAL IN NATURAL POPULATIONS OF COYOL
Acrocomia aculeata Jacq.

Díaz Fuentes VH, Ruíz Cruz PA, Nájera Domínguez W, Martínez Valencia BB

Campo Experimental Rosario Izapa del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Kilómetro 18. Carretera Tapachula-Cacahoatán. C. P. 30870. Tuxtla Chico Chiapas, México.

Autor para correspondencia: diaz.victor@inifap.gob.mx

RESUMEN

Con el objetivo de determinar el potencial de producción de biodiesel del coyol *Acrocomia aculeata* (Jacq.), se realizó la caracterización morfológica de frutos y contenido de aceite de los mismos en 8 poblaciones naturales de la especie localizadas en los estados de Oaxaca y Chiapas. Para ello se elaboró la guía de descriptores de la especie a partir del glosario de términos botánicos, utilizados en los Documentos de la Unión Internacional para la Protección de la Obtenciones Vegetales (UPOV, 2010). Se definieron 6 caracteres cuantitativos seleccionados como descriptores del fruto. Dichos caracteres son los siguientes: a). Número de espatas abiertas y con frutos en desarrollo, b) Número de racimos con frutos inmaduros, c) Número de racimos con frutos maduros y en proceso de dispersión, d). Peso del fruto; e). Frutos por racimo y, e). Frutos por planta. Se caracterizaron frutos de 6 individuos de cada población de estudio. De acuerdo con los resultados obtenidos se concluye que, en un escenario de 400 árboles/ha el rendimiento potencial de aceite es de 2.07 t/ha⁻¹/año, factible de incrementarse conservadoramente hasta en un rango de 4.5 a 5 t/ha⁻¹/año mediante el uso de genotipos élite y manejo agronómico, toda vez que el rendimiento estimado en las poblaciones naturales de la especie corresponde a palmas silvestres, sin manejo agronómico. En este sentido se considera que *A. aculeata* representa una alternativa viable para ampliar la matriz de insumos para la producción de biocombustibles en México.

Palabras clave: *Acrocomia aculeata*, contenido aceite, biodiesel

INTRODUCCION

En los últimos años a nivel mundial se han incrementado los esfuerzos por la búsqueda de alternativas más baratas y menos contaminantes para la producción de energía. Ello como consecuencia del previsible agotamiento de las reservas mundiales de combustibles fósiles y el consecuente incremento en los precios de los mismos. Asimismo, el cambio climático es otro de los temas actuales que han propiciado el desarrollo tecnológico de fuentes alternas de energía como son los biocombustibles. En este contexto, en México las instancias gubernamentales han considerado necesario fortalecer la seguridad energética del país, ante el previsible declinamiento de las reservas nacionales de petróleo. En razón de ello, el 1 de febrero de 2008 la Cámara de Diputados aprobó la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos. En el marco de dicha Ley se establece el Programa de Producción Sustentable de Insumos para Bioenergéticos, así como el Programa de Introducción de Bioenergéticos. En la región tropical de México, la palma de aceite *Elais guinensis* y el piñón *Jatropha curcas* son las especies que han sido fuertemente promocionados en el marco de dicho Programa. Sin embargo y en razón de la amplia diversidad biológica que posee, en México existen otras muchas especies con potencial para la obtención de materias primas para la producción de biodiesel. En el contexto de lo antes mencionado destaca el coyol *Acrocomia aculeata* (Jacq.), palma monocotiledónea que se distribuye en las áreas tropicales y subtropicales de América, desde el sur de México hasta el sur de Brasil. En México su área de distribución abarca las áreas subtropicales de los estados de Yucatán, Campeche, Chiapas, Veracruz, Tabasco, Oaxaca y Guerrero.

A. aculeata es una palma perennifolia, heliófila, monoica, de 4-15 m de altura, y 3 a 4.5 m de diámetro de copa, con tallo cubierto de una corteza lisa y oscura, dotada de espinas fuertes y rectas de hasta 15 cm de largo. El sistema radicular es extenso y profundo. Las hojas son persistentes, pinnadas, color verde claro, con raquis duro y espinoso, de 1.5-3.5 m de largo. La espata también es espinosa. La inflorescencia se conforma por varios racimos multiflorales. Las flores son pistiladas en la base del raquis y estaminadas en los dos tercios superiores. El fruto mide de 3 a 5 cm de diámetro. Es globoso,

de color amarillo, con epicarpio coriáceo, mesocarpio fino, fibroso, mucilaginoso y endocarpio duro. La semilla es de forma globosa (Colombo *et al* 2017). En condiciones naturales tarda de 1 a 5 años en germinar, después de lo cual tiene un relativo rápido crecimiento. Debido su amplia distribución geográfica, la fenología de la especie varía de acuerdo con la región. El período productivo inicia a partir del cuarto o quinto año después de la germinación. Florece y fructifica todo el año. Los frutos alcanzan su madurez a los 12-13 meses después de la fecundación de la flor (Montoya *et al*, 2015). Una planta de *A. aculeata* de cuatro años de edad puede producir anualmente de cuatro a seis racimos, que contienen en promedio 200 a 400 frutos (Santiago, 1994). Aproximadamente el 20% del peso del fruto corresponde al epicarpio, 40% al mesocarpio, 33% al endocarpio y 7% al endospermo. El mesocarpio o pulpa contiene de 25 a 75% de aceite del cual entre 60 y 80% es ácido oleico, lo que le confiere una alta estabilidad oxidativa y facilidad de manejo a bajas temperaturas (Berton, 2013). La composición del aceite es similar al extraído de la palma de aceite por lo que se considera apto para la industria alimenticia y como insumo para la elaboración de biocombustibles (Colombo *et al*, 2017). El endospermo contiene de 50 a 60 % de aceite, del cual el 50% es ácido láurico (Berton, 2013; Hernández *et al*, 2013), por lo que se considera apropiado para su uso en la industria farmacéutica y cosmetológica (Beltrao y Olivera, 2007).

Los estudios realizados sobre dicha especie han demostrado que posee un alto potencial para la producción de biodiesel. Así, Filho *et al* (2012), reportan que, en condiciones naturales en suelos de fertilidad media, con una densidad de población de 216 plantas/ha⁻¹ es factible obtener hasta 4,968 kg/ha⁻¹/año de aceite y resalta que este rendimiento es factible de incrementar considerablemente incrementado la densidad de población, manejo adecuado y genotipos seleccionados. En el mismo sentido, Colombo *et al* (2017), reportan que puede producir hasta 5,000 litros de aceite/ha⁻¹/año. Luego entonces, el potencial de producción de aceite por unidad de superficie que posee *A. aculeata*, se equipara al de la palma de aceite que produce de 3500 a 5500 l/ha⁻¹; y supera ampliamente a de otras especies como es el caso del piñón (1590 a 3500 l/ha⁻¹); la higuera (600 a 1700 l/ha⁻¹); la colza (1100 l/ha⁻¹) y la soya (600 l/ha⁻¹). Lo anteriormente mencionado evidencia el alto potencial de *A. aculeata* como una alternativa viable para la producción de biodiesel en México. Sin embargo, no existen estudios sobre la diversidad genética de la especie en México, condiciones edafoclimáticas prevalecientes en las áreas donde se distribuye en forma natural, fenología y sobre todo, el potencial de la misma para producir biodiesel. Dentro de este orden de ideas, se realizó un estudio con el objetivo de determinar el potencial de producción de biodiesel de *A. aculeata* a través de las caracterización morfológica y contenido de aceite en frutos de ocho poblaciones naturales de la especie localizadas en los estados de Chiapas y Oaxaca.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del área de estudio.

El área de estudio comprende los estados de Chiapas y Oaxaca. En dichos estados se realizaron recorridos para la localización de macizos de poblaciones naturales de la especie. Se seleccionaron cinco poblaciones naturales de la especie en el estado de Chiapas y cinco en el estado de Oaxaca (Cuadro 1).

Cuadro 1. Localización geográfica de las poblaciones naturales de *A. aculeata* en estudio

Estado	Municipio	Localidad	Coordenadas geográficas	
Chiapas	Jiquipilas	San Clemente	16°22'37.4" N	93°48'21.8" W
Chiapas	Villaflores	Chanona	16°19'07.5" N	93°24'58.1" W
Chiapas	Villaflores	Rancho Las Peñitas	16°23'06.0" N	93°15'35.7" W
Chiapas	Tuxtla Chico	Gatica	14°56'19.5" N	92°11'04.0" W
Chiapas	Cintalapa	La Tercera Ampliación	16°47'34.5" N	93°49'3.85" W
Oaxaca	Tapanatepec	Col. Emiliano Zapata	16°25'55.8" N	94°15'20.2" W
Oaxaca	Guevea de Humboldt	Xadani	16°47'33.5" N	95°22'05.0" W
Oaxaca	Unión Hidalgo	Circuito José F. Gómez	16°27'50" N	94°51'33" W
Oaxaca	San Francisco Ixhuatán	Ixhuatán. Camino. Constitución	16°19'34" N	94°39'12" W
Oaxaca	Santiago Ixtaltepec	Santiago Ixtaltepec	16°41'11" N	94°55'17" W

Caracterización morfológica de frutos

Para la caracterización morfológica de frutos se elaboró la guía de descriptores de la especie a partir del glosario de términos botánicos, referidos en el Documento TGP/14 “Glosario de Términos Utilizados en los Documentos de la Unión Internacional para la Protección de la Obtenciones Vegetales (UPOV, 2010). Con base en ello, se definieron 6 caracteres cuantitativos seleccionados como descriptores del fruto. Dichos caracteres son los siguientes: a). Número de espigas abiertas y con frutos en desarrollo, b) Número de racimos con frutos inmaduros, c) Número de racimos con frutos maduros y en proceso de dispersión, d). Peso del fruto; e). Frutos por racimo y, e). Frutos por planta. Se caracterizaron frutos de 6 individuos de cada una de las poblaciones de estudio.

Determinación de contenido de aceite.

La determinación del contenido de aceite se realizó en ocho de las 10 poblaciones de estudio, debido a que, en dos de las mismas, los frutos aún no alcanzaban su plena madurez. La determinación del contenido de aceite del mesocarpio se realizó en el Laboratorio de Bioenergía del Campo Experimental Rosario Izapa. Los lípidos fueron extraídos y cuantificados utilizando hexano como solvente de extracción. Se realizaron 2 determinaciones por muestra y el valor obtenido se promedió, expresado como porcentaje del peso total del mesocarpio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización edafoclimática de las localidades de estudio.

En el área de estudio las poblaciones naturales de *A. aculeata* se conforman por pocos individuos relativamente dispersos entre sí, en áreas destinadas a la agricultura de temporal, pastizales o vegetación secundaria (Figuras 1 y 2).



Figura 1. Población natural de coyol en área de agricultura de temporal



Figura 2. Población natural de coyol en área ganadera

En todas las localidades de estudio se observa un alto grado de sobreexplotación de la especie, lo que limita su regeneración natural y conlleva a su desaparición gradual. Se distribuye a altitudes prácticamente desde el nivel del mar (12 m) hasta los 684 m, principalmente en regiones con clima cálido subhúmedo y en menor medida con clima cálido húmedo y semicálido subhúmedo. Las temperaturas medias anuales se encuentran en un rango de 24 a 27.5° C y rangos de precipitación de 800 a 1500 mm anuales en el caso de los climas cálidos subhúmedos, de 500 mm en los climas semicálidos subhúmedos y mayor de 4000 mm en los climas cálidos húmedos. Los tipos de suelo predominantes en las localidades de estudio son cambisoles y regosoles. (Cuadro 2).

Los resultados de la caracterización edafoclimática de las áreas en donde se localizan la mayoría de las poblaciones de *A. aculeata* en estudio, son relativamente coincidentes con lo reportado por Colombo *et al* (2017) quien señala que la especie se distribuye principalmente en áreas con precipitación anual menor de 1000 mm y de 3 a 5 meses secos. Como lo señala dicho autor, ello confiere al coyol ventajas respecto a otras palmas utilizadas para la producción de aceite vegetal como es el caso de la palma de aceite que requiere precipitaciones mínimas de 2000 mm anuales. En el mismo orden de ideas, Hernández-Zardón (2016) refiere que *A. aculeata* es común en áreas abiertas, degradadas y sabanas, con precipitación de entre 1000 y 2500 mm, dispersa en densidades de hasta 20 árboles por hectárea.

Cuadro 2. Tipo de clima, meses secos y us del suelo en localidades de estudio.

Num Pobl*	Localid.	Alt (m)	Suelo	Clima	Temperatura (°C)			Pp. (mm)	Meses secos	Uso del suelo
					Prom	Mín	Máx			
1	San Clemente	659	Regosol	Cálido subhúmedo	25	17	33	1200	5	Agricultura temporal
2	Chanona	671	Regosol	Cálido subhúmedo	24	16	35	800	6	Agricultura temporal
3	R. Las Peñitas	651	Cambisol	Cálido subhúmedo	25	13	35	1000	6	Agricultura temporal
4	Col. E. Zapata	125	Cambisol	Cálido subhúmedo	27	17	36	1200	6	Pastizal cultiv.
5	Xadani	585	Acrisol	Cálido subhúmedo	26	16	37	1500	3	Pastizal cultiv.
6	Circ. J. F. Gómez	20	Cambisol	Cálido subhúmedo	27.5	20	36	800	7	Agricultura temporal y pastizal cultiv.
7	Ixhuatán: C. Const.	12	Cambisol	Cálido subhúmedo	27.5	17	37	800	6	Agricultura temporal y pastizal cultiv.
8	Gatica	314	Luvisol	Cálido húmedo	26	18	33	>4000	3	Agricultura temporal y pastizal cultiv.
9	Santiago Ixtaltepec	245	Litosol	Cálido subhúmedo	27	20	35	1200	6	Agricultura temporal
10	Tercera Ampliac.	684	Cambisol	Semicálido subhúmedo	25	17	34	600	5	Pastizal cultiv.

Número de racimos por planta, número de frutos por racimo, número de frutos por planta

En la mayoría de las poblaciones de estudio, se observó una mayor frecuencia de individuos con racimos con frutos inmaduros. El número total de racimos (con frutos en desarrollo, frutos inmaduros y frutos en proceso de dispersión) se encuentra en un rango de 3 a 6 racimos, con excepción de la población 8, con promedio de 11 racimos por planta (Figura 3).

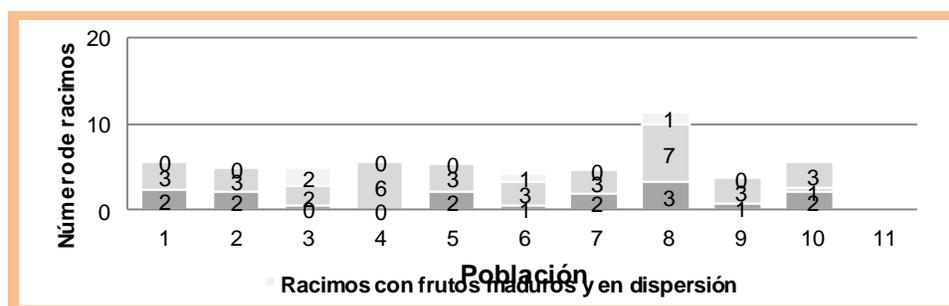


Figura 3. Promedio de nNúmero de racimos con frutos en desarrollo, inmaduros y en proceso de dispersión en poblaciones de *A. aculeata*

Lo anterior es coincidente con lo reportado por Santiago (1994) quien señala que una planta de *A. aculeata* de cuatro años de edad puede producir anualmente de cuatro a seis racimos. Por otra parte, como se observa en la Figura 4, existe una alta variabilidad en el número de frutos/racimo entre las poblaciones de estudio. Solamente tres de las 10 poblaciones de estudio se encuentran en el rango de 200 a 400 frutos/racimo reportado por Santiago (1994). Respecto a dicha variable destaca la población 10 con valores promedio de 357 frutos por racimo. Con base en los valores promedio de las variables número total de racimos y número de frutos/racimo, se estimó el promedio de frutos por planta que se representa gráficamente en la Figura 5. Como se observa en dicha Figura, los menores valores corresponden a la población 7 con promedio de 200 frutos/planta. Los mayores valores

corresponden a las poblaciones 10 y 8, con promedios de 1,236 y 1599 frutos/planta.

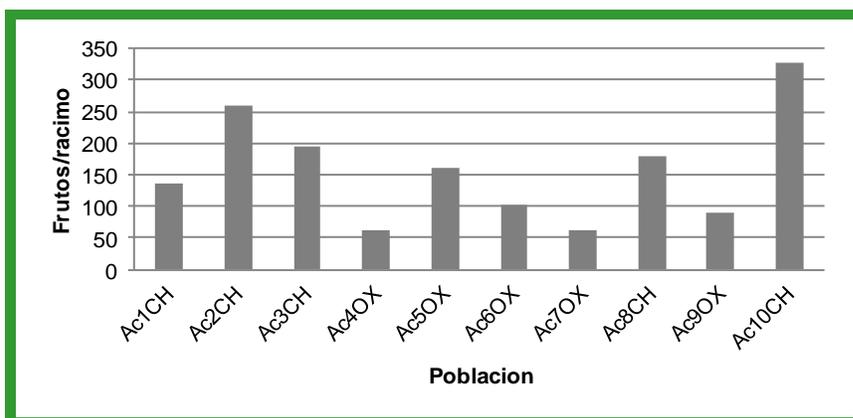


Figura 4. Promedio de frutos/racimo en plantas de poblaciones de *A. aculeata*

Peso del mesocarpio y contenido de aceite

En las figuras 6 y 7 se representa el peso del mesocarpio y contenido de aceite respectivamente en frutos de 8 de las 11 poblaciones de *A. aculeata* en estudio. El peso del mesocarpio se encuentra en un rango de 5.4 a 13.2 g. El menor peso del mesocarpio se registró en la población 7 y los mayores pesos en las poblaciones 5 y 6.

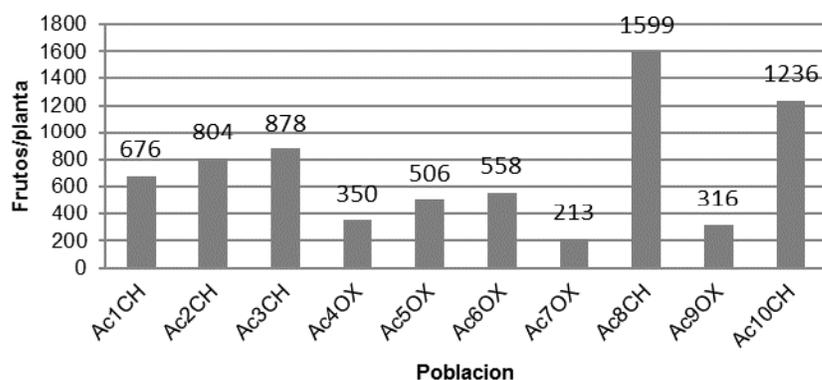


Figura 5. Promedio de frutos/planta en poblaciones de *A. aculeata*

El contenido de aceite de las poblaciones de coyol en estudio se encuentra en un rango de 30.5 a 51.7, similar a lo reportado por Berton (2013) quien refiere contenidos de aceite en un rango de 25 a 75%. Respecto al contenido de aceite, los mayores porcentajes corresponden a las poblaciones 1 y 8 y los menores a la población 10 (Figura 7). Un aspecto que se destaca al contrastar el peso del mesocarpio con el contenido de aceite, tomando los valores medios como referencia, es que no se observa una relación directa entre ambas variables.

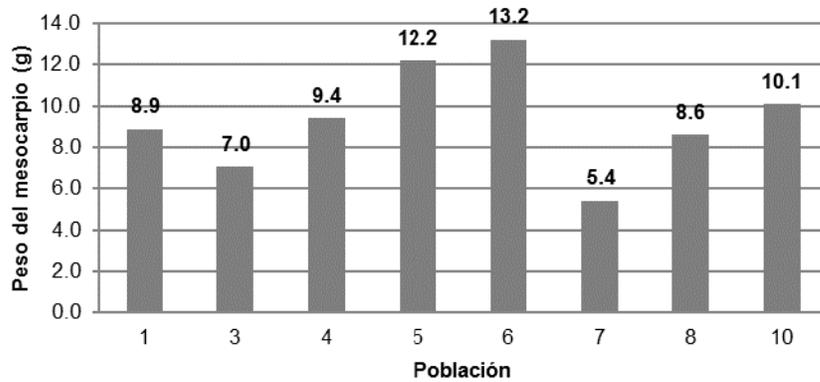


Figura 6. Peso promedio (g) del mesocarpio de frutos de poblaciones de *A. aculeata*

Rendimiento potencial de aceite

Con base en las características morfológicas de peso del mesocarpio, contenido de aceite en el mesocarpio, número de racimos inmaduros por planta y, frutos por planta, se estimó el rendimiento anual de aceite (ton//ha⁻¹/año) para las poblaciones de *A. aculeata* en estudio, en un escenario de densidad de población de 400 plantas/ ha⁻¹. Como se observa en el Cuadro 3, el rendimiento de aceite de las poblaciones de *A. aculeata* en estudio se encuentra en un rango de 0.16 a 2.07 (ton//ha⁻¹/año). El mayor rendimiento corresponde a la población 8. El rendimiento de aceite de dicha población es relativamente similar al estimado y reportado por Colombo *et al* (2017), quienes reportan que con densidades de población de 400 plantas/ha puede producir 2.5 ton//ha⁻¹/año de aceite, factible de incrementarse hasta 5.0 ton//ha⁻¹/año, ya que dicho rendimiento estimado corresponde a palmas silvestres, sin manejo agronómico.

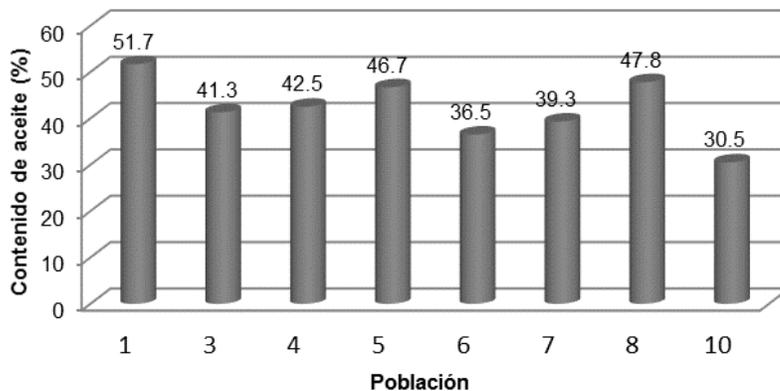


Figura 7. Contenido de aceite (%) en el mesocarpio de frutos de poblaciones de *A. aculeata*

Cuadro 3. Rendimiento potencial de aceite (ton/ha⁻¹/año) de poblaciones de *A. aculeata*

Población	Peso del mesoc. (g)	Cont. aceite (%)	Cont. aceite por fruto (g)	Racimos inmaduros por planta	Frutos por racimo	Frutos por planta	Peso total mesoc. por planta (g)	Rend. aceite por planta (kg)	Rend. de aceite ton/ha ⁻¹ /año (400 plantas)
1	8.9	51.7	4.59	3	106	318	2823.8	1.46	0.58
3	7.0	41.3	2.91	2	202	404	2843.2	1.17	0.46
4	9.4	42.5	3.99	6	62	372	3493.1	1.48	0.59
5	12.2	46.7	5.70	3	161	483	5892.6	2.75	1.10
6	13.2	36.5	4.82	3	102	306	4041.2	1.48	0.59
7	5.4	39.3	2.13	3	64	192	1038.7	0.41	0.16
8	8.6	47.8	4.12	7	180	1260	10848.6	5.19	2.07
10	10.1	30.5	3.07	3	357	1071	10790.3	3.29	1.31

CONCLUSIONES

1. El mayor contenido aceite corresponde a las poblaciones 1 y 8.
 2. El mayor rendimiento de aceite /ha corresponde a la población 8. De acuerdo con ello en un escenario de 400 árboles/ha⁻¹, el rendimiento potencial de aceite estimado para dicha población es de 2.07 ton/ha⁻¹/año
 3. Se considera que el rendimiento de aceite estimado es factible de incrementarse toda vez que dicho rendimiento corresponde a palmas silvestres, sin manejo agronómico.
2. La especie representa una alternativa viable para ampliar la matriz de insumos para la producción de biocombustibles en México

LITERATURA CITADA

- Berton, L. H. C. 2013. Avaliacao de populacoes naturais, estimativas de parámetros genéticos e selecao de genotipos elite de macauba (*Acrocomia aculeata*). Tese de doutorado. Campiñas, S. P. Brasil. Instituto Agronómico de Campiñas
- Bertrao N. E. M., Olivera, M. I. 2007. Oleaginosas potenciais do nordeste para a producao de biodiesel. Documentos 177. Campinas Grande PB: Embrapa, 54 p.
- Colombo, C. A., Chorfi B. L. H., Díaz, B. G., Ferrari, R. A. 2017. Macaúba: A promising tropical palm for the production of vegetable oil. OCL. DOI:10.1051/oc/2017038. 9 p.
- Filho, J. A.; Colombo, C. A.; Berton, L. H. C. 2012. Macaúba: palmeira nativa como aççao bioenergética. Pesquisa & Tecnologia, Vol.9, No.2. Brasil. 10 p.
- Hernández, B. C. R., Hernández, J. Verduzco, J. E. G. A., Frier, J. P. Martínez, M. A. G. 2013. Importancia agroecológica del coyol (*Acrocomia mexicana* Karw, ex Mart.). Est. Soc. 21: 97-113.
- Hernández-Zardón, A. F. 2016. La palma corajo, un recurso natural para la producción sostenible de aceite. Cultrop. vol. 37 no.4 La Habana, Cuba. oct.-dic. 2016. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.30257.99687>. (Consultado el 23 de noviembre de 2017)
- Montoya, S. G., Motoike, S. Y., Kuki, K., Olivera C. M., Honorio, I. G. 2015. Recording and damage characterization of coleopters in macao palm. Pes Flor Bras. 35: 159-162.
- Santiago-Marroquín G.1994. El coyol, un recurso filogenético de la Frailesca, Chiapas. Tesis Licenciatura, Ciencias Agronómicas Campus 5, Universidad Autónoma de Chiapas.
- UPOV.2010. Documento TGP/14. Glosario de términos utilizados en los documentos de la Unión Internacional para la protección de las Obtenciones Vegetales (UPOV). Ginebra, Suiza. Adoptado por el Consejo en su Cuadragésima Sesión Ordinaria el 21 de octubre de 2010. 104 p.

**DRONES PARA EL MONITOREO DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN SISTEMAS
NATURALES Y ANTRÓPICOS EN EL ANILLO DE CENOTES DE YUCATÁN**
MONITORING OF CONCENTRATIONS OF GREENHOUSE GASES IN NATURAL AND ANTHROPIC
SYSTEMS IN THE RING OF CENOTES YUCATAN

¹Gijón Yescas GN, ¹Estrada Medina H, ²Euan Ávila JI, ³Medina Esquivel RA, ⁴Aguilar Duarte Y

¹Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Yucatán (UADY). Carretera Mérida-Xmatkuil, Km. 15.5, Mérida, Yucatán, México. C.P. 97100.

²Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV) - Unidad Mérida. Antigua Carretera a Progreso Km 6, Cordemex, Loma Bonita Xcumpich, Mérida, Yucatán, México. C.P. 97310.

³Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Yucatán (UADY). Av. Industrias No Contaminantes, Periférico Norte, Cordemex, Mérida, Yucatán, México. C.P. 150.

⁴Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Av. Correa Rachó por calle 15, Col. Díaz Ordaz, Mérida, Yucatán, México. C.P. 97130

Autor para correspondencia: nefthally@gmail.com

RESUMEN

El clima a escala mundial ha evolucionado desde siempre y lo ha hecho de forma natural, sin embargo, los niveles de GEI en la atmósfera han aumentado rápidamente desde la era industrial como producto de la actividad humana. Se requieren metodologías específicas para determinar las emisiones de GEI generadas en cada sitio y la evaluación de sus tendencias, ya sean de origen natural o antrópico y poder predecir con mayor confiabilidad los efectos climáticos a mediano y largo plazo para determinar estrategias de mitigación viables.

Actualmente los drones pueden desempeñar un papel importante en la detección de gases ambientales en áreas remotas y de difícil acceso debido a su capacidad para sostener instrumentos, sensores y recopilar datos con alta resolución temporal y espacial al mismo tiempo que proporcionan capacidades de monitoreo más útiles y continuas. La metodología contempla vuelos horizontales y verticales a diferentes escalas espaciales con el uso de diferentes sensores, con el objetivo de monitorear *in situ* las concentraciones de dióxido de carbono (CO₂) y metano (CH₄) en sistemas naturales y antrópicos ubicados en el municipio de Mérida y el anillo de cenotes de Yucatán, mediante el uso de drones y sensores (gases, térmicos, infrarrojos y cámaras RGB). Las primeras pruebas piloto evidencia el potencial de las selvas como reservorios de carbono y concentraciones mayores de CO₂ en zonas deforestadas como por ejemplo en una carretera. El uso de drones y sensores son herramientas innovadoras que permiten mejorar los estudios ambientales a escalas locales y conocer también la dinámica temporal de los procesos de estudio.

Palabras clave: *dióxido de carbono, metano, selvas, cultivos agrícolas, cambio climático.*

INTRODUCCION

Las actividades humanas como el uso de combustibles fósiles ha incrementado la cantidad de GEI en la atmósfera, esto provoca que el efecto invernadero atrape y absorba más calor en la tierra causando lo que se conoce como calentamiento global, lo cual ha generado muchos cambios en nuestro sistema como los fenómenos climáticos cada vez más intensos (Abou-Elnour, Odeh, Abdelrhman, Balkis, and Amira, 2017).

Con el fin de anticiparse a este tipo de escenarios, resulta de vital importancia la generación y establecimiento de una serie de medidas que permitan mitigar las emisiones netas de carbono, utilizando como base el desarrollo de inventarios de emisiones de GEI, los cuales faciliten no solo la identificación y contabilización del aporte de principales fuentes emisoras de un espacio geográfico, sino determinar el potencial real de su reducción (Herrera-Murillo, Rojas-Marín, Quirós-Fallas, Balma-Montero, and Anchía-Leitón, 2017).

Sin embargo, los inventarios de GEI están basados en datos estadísticos de cada actividad y sus correspondientes factores de emisión, por lo que las incertidumbres pueden ser considerables, particularmente a la escala de una ciudad (Boon *et al.*, 2016) (Wu *et al.*, 2016). Se sabe que los inventarios de las emisiones de las ciudades adolecen de datos incompletos e inciertos. Esta limitación impide el uso práctico de los inventarios de las ciudades en la economía climática (Wu *et al.*,

2016). Asimismo, la situación se agrava cuando se presentan usos de suelo muy particulares, como el agrícola, el cual conlleva incertidumbres que oscilan entre el 10% y el 150% (IPCC, 2006).

Existe la necesidad de desarrollar metodologías específicas para determinar las emisiones generadas en cada sitio (Chuang *et al.* 2017; Sauri-Riancho *et al.* 2013), ya sean de origen natural o antrópico y poder predecir con mayor confiabilidad los efectos climáticos a mediano y largo plazo para determinar estrategias de mitigación viables (Tubiello *et al.*, 2013). Con las tecnologías actuales, como los drones y los sensores remotos (Abou-Elnour *et al.*, 2017), es posible identificar diferencias en las concentraciones de CO₂ y CH₄ (en diferentes épocas, horarios y alturas) en sistemas naturales (selva, cenote, rejollada, manglar y playa) y antrópicos (cultivo agrícola, relleno sanitario, granja porcícola, zona urbana y parque) ubicados en Yucatán.

El presente trabajo se enmarca dentro de un proyecto de tesis que está iniciando, en donde el objetivo principal de estudio es monitorear in situ las concentraciones de dióxido de carbono (CO₂) y metano (CH₄) en sistemas naturales y antrópicos ubicados en el municipio de Mérida y el anillo de cenotes de Yucatán, mediante el uso de drones y sensores (gases, térmicos, infrarrojos y cámaras RGB).

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio. Las áreas de estudio son el anillo de cenotes y el municipio de Mérida ubicados en el estado de Yucatán. El anillo de cenotes cubre la porción noroeste de la Península de Yucatán (88° 30' y 90° 30' W, 20° 00' y 21° 30' N; con un ancho aproximado de 12 km. El municipio de Mérida es considerado el más importante del estado de Yucatán y representa la capital política y económica, concentrando al 39% de la población total del estado (Figura 1).

Selección de los sitios de monitoreo. Los sistemas sobre los cuales se realizará el monitoreo de las concentraciones de CO₂ y CH₄ son:

- Sistemas naturales: selva, cenote, manglar, rejollada y playa.
- Sistemas antrópicos: cultivo agrícola, relleno sanitario, granja porcícola, zona urbana y parque recreativo.

Este estudio se realizará en dos etapas; la primera etapa tendrá una duración de un año y se desarrollará en la época de secas (marzo-mayo) y posterior a la temporada de lluvias (octubre-enero) en las cuales se harán mediciones in situ con drones y sensores de CO₂ y CH₄ en los sistemas naturales y antrópicos seleccionados. Asimismo, para establecer posibles correlaciones de la variación de la concentración de CO₂ y CH₄ con su entorno, en cada sistema se llevarán a cabo los siguientes monitoreos con drones y sensores: cobertura del suelo, Índices de Vegetación Diferencial Normalizada (NDVI) y temperatura superficial (Figura 2).

En la segunda etapa del estudio se seleccionará el sistema natural y un antrópico que hayan registrado las mayores concentraciones de CO₂ y CH₄. Sobre estos sistemas se continuará monitoreando la concentración de CO₂ y CH₄, cobertura del suelo, índices NDVI y temperatura superficial con una frecuencia mensual durante un año.

Monitoreo de gases de efecto invernadero. Para el monitoreo de los gases de efecto invernadero se optará por el armado de un dron tipo cuadricóptero, adaptando sobre su estructura los sensores de gases de CO₂ y CH₄. A través de vuelos manuales se realizarán los perfiles verticales en los sistemas naturales y antrópicos en tres diferentes alturas (20, 40 y 80 m), con vuelos estacionarios de 2 minutos en cada altura para medir la concentración de CO₂ y CH₄. Estos muestreos se harán en tres diferentes horarios (6:00, 13:00 y 18:00 h.) para observar la variabilidad de las emisiones en el transcurso del día. Los datos registrados por los sensores se almacenarán en las memorias internas para posteriormente, descargarlos y realizar el procesamiento.

Monitoreo de la cobertura del suelo. El monitoreo de la cobertura del suelo se realizará con un dron Phantom 4 de la marca DJI equipado con una cámara RGB de 12 Mp. Este monitoreo se hará a través de vuelos autónomos, planificados con la aplicación Pix4Dcapture, para lo cual será necesario definir los siguientes parámetros: área de estudio, altura del vuelo, traslape frontal y lateral y velocidad del dron.

Definidos los parámetros de vuelo, la aplicación genera una serie de transectos, los cuales el dron recorrerá de forma autónoma, al mismo tiempo que la cámara RGB capturará las imágenes del sitio. Este monitoreo se hará en un horario de las 12:00 i.m. en alturas de 80 a 100 m para cubrir un área de 15 ha. Las imágenes se procesarán con la plataforma Pix4D para obtener los ortomosaicos de los sitios.



Figura 1. Área de estudio

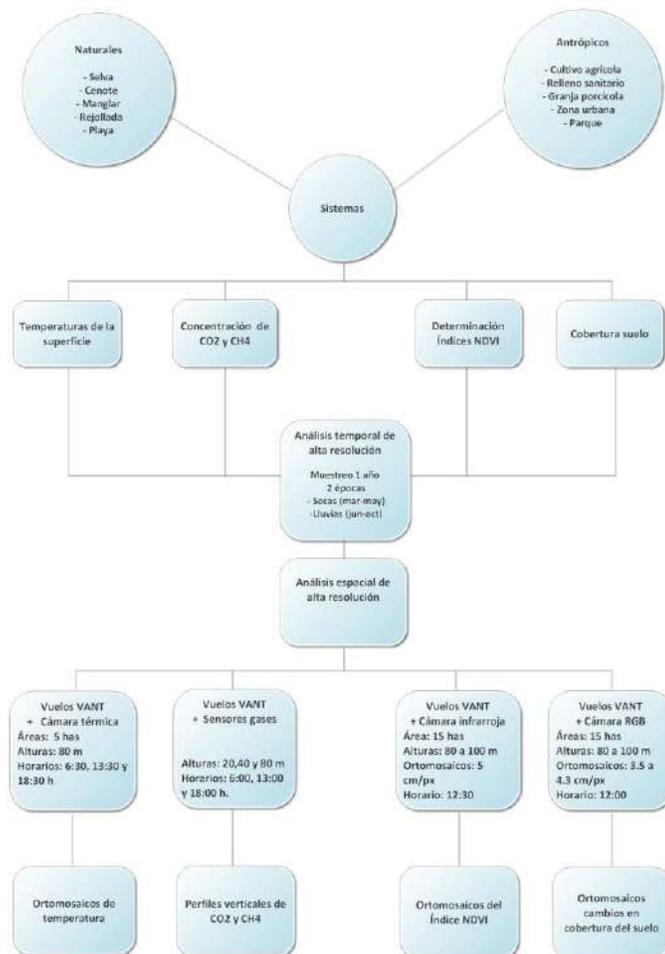


Figura 2. Diagrama metodológico del estudio.

Monitoreo de la temperatura de la superficie. Para el monitoreo de la temperatura de la superficie se utilizará un dron armado tipo cuadricóptero, al cual se le adaptará una cámara térmica. Este monitoreo se hará a una altura de 80 m en tres diferentes horarios (6:30, 13:30 y 18:30 h) para observar la variabilidad de la temperatura de la superficie en el transcurso del día. Los vuelos para estos monitoreos serán autónomos, diseñando el plan de vuelo con el software *MissionPlanner*. Las imágenes obtenidas serán procesadas con el software *Agisoft Photoscan* para obtener los ortomosaicos térmicos y observar la variabilidad de la temperatura de cada elemento que compone cada sistema.

Monitoreo de los Índices NDVI. Los índices NDVI de los sistemas naturales se determinarán a través del uso de un dron DJI Phantom 4 al cual se le adaptará una cámara infrarroja (MAPIR) de 12 Mp. Los ortomosaicos del índice NDVI se harán a través de vuelos autónomos programados con la aplicación Pix4Dcapture. Los horarios de muestreo serán a las 12:30 h a una altura de 80 a 100 metros con lo cual podremos cubrir un área de 15 ha. Posteriormente estas imágenes son descargadas a una computadora para realizar su procesamiento con el software Agisoft Photoscan y generar los ortomosaicos de los índices NDVI de los sistemas naturales.

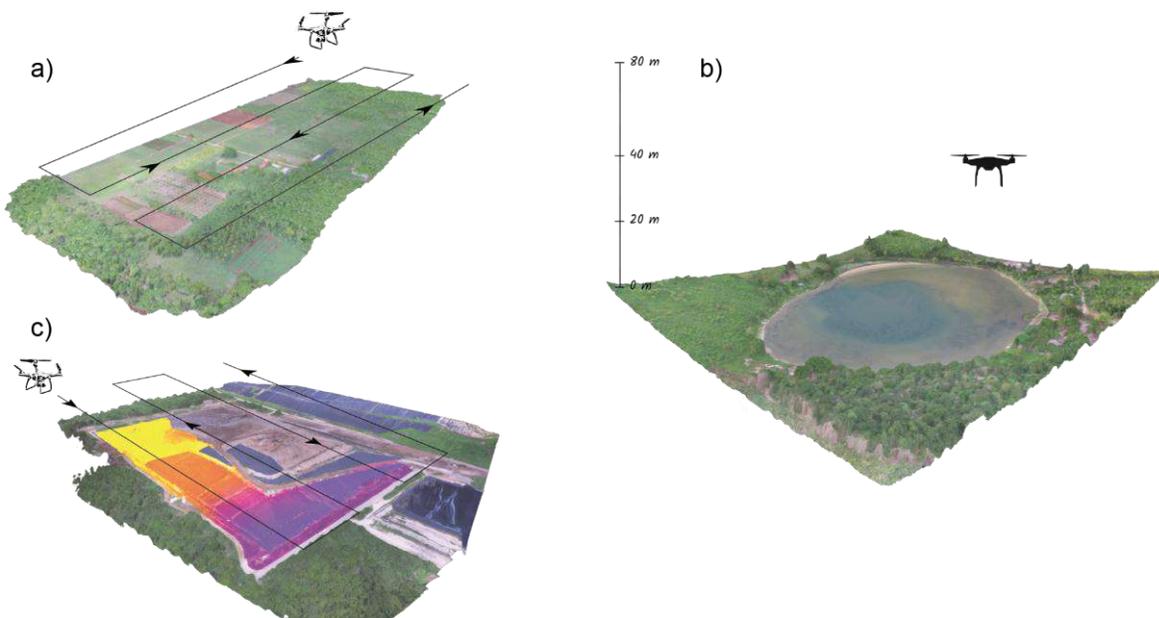


Figura 3. Monitoreos con drones a través de vuelos manuales y autónomos: a) vuelo horizontal para cobertura de uso de suelo; b) vuelo vertical para el monitoreo de gases; c) vuelo horizontal con sensores térmicos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se han realizado pruebas piloto para probar la eficiencia del sensor de gases adaptada a un dron cuadricóptero. Esta prueba piloto se realizó para medir la concentración de CO_2 en un área de selva baja caducifolia y un camino de terracería, ambos ubicados a un costado de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos (Figura 4). Los primeros resultados de la prueba piloto, muestran como la concentración de CO_2 en la selva son más bajos comparados con los que se obtuvo en el sobrevuelo sobre la carretera (sin vegetación), y la tendencia es a mantenerse constante a diferentes alturas. Por lo contrario, la concentración de CO_2 reflejada en la carretera es incluso alta a bajas alturas, y la concentración va disminuyendo conforme la altura aumenta. Esta primera prueba, nos presenta evidencia de que la vegetación es un reservorio importante de carbono.

Se generará información que permita establecer una línea base de las concentraciones de CO_2 y CH_4 en sistemas naturales y antrópicos. Esta información podría ser de mucha utilidad para elaborar inventarios de emisiones con menor incertidumbre y mayor calidad de información, considerando también la dinámica temporal (entre épocas del año y entre horas del día).

Asimismo, se obtendrán los ortomosaicos de las temperaturas de la superficie, la actividad fotosintética y la cobertura del suelo con los cuales podremos establecer posibles correlaciones que

expliquen las variaciones en el aumento o disminución de las concentraciones de CO₂ y CH₄ en los sistemas naturales y antrópicos.

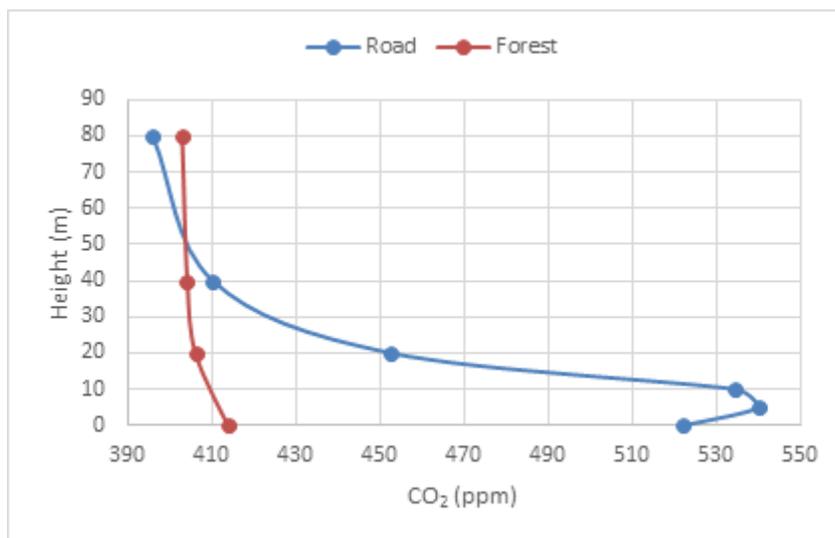


Figura 4. Registro de las concentraciones de CO₂ en un camino de terracería versus sobre una zona de selva baja caducifolia

CONCLUSIONES

El uso de drones para la el monitoreo de gases de efecto invernadero representa una alternativa rápida de conocer las diferentes de GEI en diferentes usos de suelo.

Las primeras pruebas evidencian a una selva baja como reservorio de carbono.

En zonas deforestadas como la carretera (un elemento en sistemas antrópicos) se evidenció que a menor altura se presentan las más altas concentraciones de CO₂ y esta fue disminuyendo conforme la altura fue mayor.

LITERATURA CITADA

- Abou-Elnoor, A., Odeh, M., Abdelrhman, M., Balkis, A., and Amira, A. 2017. Measurement of greenhouse gases in UAE by using Unmanned Aerial Vehicle (UAV). In J. P. Lynch (Ed.), *Sensors and Smart Structures Technologies for Civil, Mechanical, and Aerospace Systems 2017* (Vol. 10168, pp. 1–7). <https://doi.org/10.1117/12.2260026>
- Boon, A., Broquet, G., Clifford, D. J., Chevallier, F., Butterfield, D. M., Pison, I., ... Ciais, P. 2016. Analysis of the potential of near-ground measurements of CO₂ and CH₄ in London, UK, for the monitoring of city-scale emissions using an atmospheric transport model. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 16(11), 6735–6756. <https://doi.org/10.5194/acp-16-6735-2016>
- Chuang, P.-C., Young, M. B., Dale, A. W., Miller, L. G., Herrera-Silveira, J. A., and Paytan, A. 2017. Methane fluxes from tropical coastal lagoons surrounded by mangroves, Yucatán, Mexico. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 122(5), 1156–1174. <https://doi.org/10.1002/2017JG003761>
- Herrera-Murillo, J., Rojas-Marín, J. F., Quirós-Fallas, A., Balma-Montero, C., and Anchía-Leitón, D. 2017. Desarrollo de inventarios de emisiones de gases efecto invernadero, una herramienta de apoyo en la agenda local de cambio climático: Caso San José. *Revista Geográfica de América Central*, 1(58), 153. <https://doi.org/10.15359/rgac.58-1.6>
- IPCC. 2006. *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* ed H. S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara and K. Tanabe. Retrieved from <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>
- Sauri-Riancho, M. R., Gamboa-Marrufo, M., Reza-Bacelis, G., Cahuich-Poot, N., Méndez-Novelo, R., and Edward I., S. 2013. Superficial Methane Emissions from a Landfill in Merida, Yucatan, Mexico. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 14(3), 299–310. [https://doi.org/10.1016/S1405-7743\(13\)72244-3](https://doi.org/10.1016/S1405-7743(13)72244-3)

- Tubiello, F. N., Salvatore, M., Rossi, S., Ferrara, A., Fitton, N., and Smith, P. 2013. The FAOSTAT database of greenhouse gas emissions from agriculture. *Environmental Research Letters*, 8(1), 1–10. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/1/015009>
- Wu, L., Broquet, G., Ciais, P., Bellassen, V., Vogel, F., Chevallier, F., ... Wang, Y. 2016. What would dense atmospheric observation networks bring to the quantification of city CO₂ emissions? *Atmospheric Chemistry and Physics*, 16(12), 7743–7771. <https://doi.org/10.5194/acp-16-7743-2016>

**DELIMITACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LA SUBCUENCA DEL RÍO TEAPA EN LA
CUENCA BAJA DEL RÍO GRIJALVA**
DELIMITATION AND CHARACTERIZATION OF THE SUBBASIN OF TEAPA RIVER IN THE LOW
BASIN OF GRIJALVA RIVER

Jiménez Hidalgo AJ, Adalberto Galindo A, Ruiz Acosta SC

Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica de la División Académica de Ciencias Biológicas
(DACBiol) de la UJAT, Carretera Villahermosa-Cárdenas km 0.5 s/n, Entronque a Bosques de Saloya,
Villahermosa, Tabasco, México.

Autor para correspondencia: g-mlo_10@hotmail.com

RESUMEN

La subcuenca del río Teapa se localiza en el sureste de la República Mexicana, entre los estados de Tabasco y Chiapas, y pertenece a la parte baja de la cuenca del río Grijalva, la cual, es una zona de suma fragilidad ante eventos hidrológicos extremos, como mostraron las inundaciones del 2007. El objetivo del presente trabajo es la delimitación y caracterización de la subcuenca del río Teapa mediante la aplicación de Modelos Digitales de Elevación (MDE) de alta resolución, utilizando el programa ArcGis 10.1 como una herramienta de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y con el apoyo de los documentos y archivos descargados de las paginas oficiales del Instituto Nacional de Estadísticas y Geografía (INEGI) y la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Se obtuvo una clasificación de la subcuenca, aplicando los factores biofísicos de tipos de suelos, vegetación, fisiografía, altitud y uso del suelo. Esto permitió conocer la morfometría y las características principales que existen dentro de la cuenca. Los datos obtenidos fueron corroborados mediante la verificación en campo al hacer un recorrido por algunas partes de la subcuenca y tomar coordenadas geográficas con el GPS dentro de la zona de estudio para que la información estuviera lo más posible apegada a la realidad. Los resultados finales obtenidos serán de mucha utilidad para la realización de estudios hidrológicos futuros, manuales de Manejo Integral de Cuencas (MIC), en la toma de decisiones para la implementación de programas de desarrollo y atlas de riesgos para la prevención de desastres naturales.

Palabras clave: *Subcuenca, Modelos Digitales de Elevación (MDE), Sistemas de Información Geográfica (SIG).*

INTRODUCCION

Una cuenca hidrográfica es un área natural en la cual el agua se desaloja a través de un sin número de corrientes, cuyos caudales son recogidos por un colector común, que sirve de eje de la zona (Henao, J. 1998 citado por Montoya, 2009). Desde el punto de vista hidrológico, una cuenca hidrográfica es definida como el área geográfica natural o unidad de territorio delimitada por una divisoria topográfica (*Divortium Aquarum*), que capta las precipitaciones y drena el agua de escorrentía hacia un colector común, denominado río principal (Vásquez et al., 2016).

Asegurar la calidad de vida y el desarrollo sostenible de nuestras sociedades exige en la actualidad una gestión racional y equilibrada de los recursos naturales, particularmente del agua, suelo y vegetación (López, 2014), es aquí donde recae la importancia de un manejo integral de las cuencas hidrográficas como los portadores de una abrumadora cantidad de recursos hidrológicos. El manejo de cuencas establece una serie de medidas con las cuales se quiere disminuir el impacto negativo, tanto en lo económico como en lo social, de las actividades desarrolladas por el hombre en el manejo de los recursos naturales. La importancia del manejo de cuencas hidrográficas se puede analizar a partir de los siguientes aspectos: 1) control de erosión y sedimentación, 2) control de inundaciones, 3) abastecimiento de agua para las ciudades, y 4) desarrollo social y económico (Londoño, 2001). Cuando una cuenca hidrográfica no está protegida o no se maneja adecuadamente, se provocan inundaciones en tierras abajo. Además de los daños y costos económicos, así como el desperdicio de grandes volúmenes de agua, el mayor costo es la pérdida de vidas humanas.

En México la primera regionalización nacional, que consideró como criterios básicos la orografía e hidrografía, fue elaborada en los años 60 por la entonces Dirección de Hidrología de la Secretaría de Recursos Hidráulicos, agrupando para ello las cuencas del país en 37 regiones hidrológicas y que hoy día prevalecen como base de los estudios técnicos en materia de agua y de las diferentes

regionalizaciones realizadas a lo largo del tiempo (Breña y Jacabo, 2006). El estado de Tabasco pertenece a la región hidrológica 30 Grijalva-Usumacinta, forma parte de la Región Hidrológica Administrativa XI, Frontera Sur; esta última abarca los estados de Tabasco, Chiapas, tres municipios de Oaxaca y uno de Campeche. Por su amplitud se subdivide a su vez en ocho subregiones (Programa Hidráulico Regional, 2003:15 citado en Galindo, A., Ruiz, S., y Morales, A., 2015). El río Grijalva es el segundo río más caudaloso del país, tiene un área de cuenca aproximada de 58,000 km², el cual nace en la República de Guatemala y desemboca en el Golfo de México, en el estado de Tabasco, después de haber cruzado el estado de Chiapas, en el cuál a lo largo de su cauce medio se han construido las plantas hidroeléctricas más importantes del país las cuáles son la presa Angostura o Belisario Domínguez construida en 1976 y que es la mayor presa de México; la presa Chicoasén construida en 1980 la cual tiene la cortina más alta del país con 261 m; la presa Mal paso o Netzahualcóyotl construida en 1966 y la presa Peñitas inaugurada en 1987 y que es la más pequeña en el sistema Grijalva – Mezcalapa (González, 2009). La subcuenca del río Teapa se localiza entre los estados de Tabasco y Chiapas ocupando un aproximado 132,360 ha entre las dos entidades, es la receptora del agua superficial del cauce principal por el cuál recibe su nombre “ el río Teapa” el cual tiene sus inicios en las serranías del norte de Chiapas en los municipios de Pantepec, Chapultenango y Solosuchiapa para luego descender hacia el norte y adentrarse a tierras tabasqueñas a través de los municipios de Teapa y Centro, y, al final se une a una red hidrológica más grande que resulta ser la subregión hídrica de la cuenca del río de la Sierra.

Lo que se realizó en este trabajo es la delimitación y caracterización de la subcuenca aplicando factores biofísicamente definidos para obtener sus principales componentes. Con el apoyo de las herramientas del Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica de la División Académica de Ciencias Biológicas de la UJAT y utilizando el programa ArcGis 10.1 se obtuvieron los mapas de distribución y un Modelo Digital de Elevación (MDE) que permitieron cumplir con los objetivos propuestos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Revisión de literatura:

Esta fue una etapa fundamental para la realización de este proyecto de investigación ya que se debe garantizar la obtención de la información más relevante para el campo de estudio, de un universo de documentos que puede ser muy extenso y dado que en la actualidad se dispone de mucha información científica y su crecimiento es exponencial lo que resulta en el problema de cómo manejar de manera eficiente tanta información. Cabe señalar que el tema de las cuencas hidrográficas recibe mucho interés por su importancia en diferentes ámbitos como el social, económico, político, ambiental, etc. A continuación, se presentan algunos de los temas de interés.

Vulnerabilidad:

Tabasco se encuentra ubicado en una región que posee un conjunto de características físicas especiales, que lo hacen históricamente susceptible a amenazas ambientales diversas con impactos importantes. Para dar respuesta a los objetivos planteados en este trabajo están relacionados a un problema complejo, se propuso en los términos de referencia utilizar la metodología desarrollada por el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). La vulnerabilidad es una medida de qué tan propensa es una localidad o una ciudad para tener daños debidos a fenómenos naturales y antropogénicos; el caso que nos interesa es el de las inundaciones, por lo que se ha tratado de definir el término en función de este fenómeno natural, que en ocasiones puede ser provocado indirectamente por el hombre. Para decir que existe un riesgo por inundación en cualquier municipio de la República Mexicana, se debe cumplir que haya una probabilidad alta de que ocurran precipitaciones mayores a las de su correspondiente umbral de lluvia en las siguientes 24 horas, y que esté clasificado con una vulnerabilidad alta o media, por lo que se podrían esperar efectos adversos en la comunidad o sus bienes (CONAGUA, 2014).

Problemas de inundación:

En el estado de Tabasco ocurrieron una serie de inundaciones a causa de las intensas lluvias que se presentan año con año. Las lluvias del 2007 ocasionaron escurrimientos tan grandes que superaron la capacidad de conducción de los ríos que se desbordaron en las planicies aledañas dando a lugar a inundaciones. La infraestructura que se ha construido para controlar las inundaciones ha sido incompleta y su mantenimiento deficiente; aunado a esto, el crecimiento sin control en zonas de riesgo

de daño por inundación es un factor que contribuye a que los efectos de la inundación cada vez sean más severos.

Los ríos Carrizal, La Sierra, Teapa, Samaria, Pichucalco, Viejo Mezcalapa y Grijalva se desbordaron afectando el 80% del territorio tabasqueño. La presa “Peñitas” alcanzó aproximadamente 3.6 m arriba de su escala crítica, por lo que tuvo que desfogar 2,000 m³ /s. La presa de “Malpaso” no tuvo necesidad de desfogue ya que permaneció por debajo de su capacidad de almacenamiento (Martínez, S. 2011).

Digitalización:

Los datos del área de estudio se obtuvieron a partir de la digitalización de mapas y documentos de diversas fuentes como la CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad) y el INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) en los cuales se descargaron los documentos en formato SHAPE para utilizarlos en el programa correspondiente en el Laboratorio de Información Geográfica de la División Académica de Ciencias Biológicas. El software utilizado para el manejo de la información cartográfica fue el ArcGis 10.1 con el que se trabajaron los datos del Modelo Digital de Elevación de Alta Resolución con tamaño de celda de 5 metros, se agregaron al mapa base las capas pertinentes y se hicieron los trazados necesarios para generar los límites de la subcuenca, los tipos de suelo, fisiografía, vegetación y uso del suelo lo cual permitió realizar la caracterización del área de estudio.

Finalmente, obtenidos los mapas con cada una de las características de la zona se exportaron en formato JPEG para poder ser agregados en el trabajo final y realizar su apropiada descripción.

Verificación en campo:

Además del trabajo de investigación documental y la digitalización de los mapas, también se llevó a cabo un recorrido por algunos municipios pertenecientes a la subcuenca del río Teapa como Centro, Teapa, Reforma, Juárez, etc. estableciéndose una serie de platicas informales con los habitantes para obtener información acerca de las problemáticas que se presentan en esa zona, así como escuchar sus opiniones, su visión sobre los cambios que han ocurrido durante el transcurso del tiempo, la utilización de los recursos naturales y desastres. Otro punto muy importante fue el reconocimiento de la infraestructura como caminos, bordos, drenes, canales y puentes ya que tienen un efecto sobre las características del paisaje (figura 1).



Figura 1. Puntos de interés en la verificación en campo.

Por último, se guardaron algunos puntos con el GPS para corroborar que los resultados preliminares coincidieran con la realidad, para esto las coordenadas geográficas fueron convertidas en coordenadas UTM y subidas al programa ArcGis 10.1 para valorar su precisión y veracidad.

Durante el recorrido en campo se pudo observar la gran importancia que tienen las cuencas y que no son solo sistemas de drenaje natural, sino que albergan una gran variedad de recursos naturales, plantas y animales; no brindan muchas oportunidades de esparcimiento y desarrollo; al aplicar un manejo integral y sustentable en las cuencas hidrográficas podemos preservar y mejorar la calidad de vida de los habitantes, de la comunidad y así también de todo el país. En este sentido hay que cuidar más las cuencas presentes en nuestro territorio porque nos brindan un aporte y beneficio económico aunado también a la importancia geopolítica, energética, ambiental, entre otras. Con este trabajo se busca facilitar una herramienta para la toma de decisiones sobre el uso de los recursos naturales y los impactos de las acciones a lo largo del tiempo considerando la participación social, cultural, productiva y económica de las poblaciones ubicadas dentro de la cuenca.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Localización del área de estudio.

La subcuenca del río Teapa se encuentra localizada en una parte de la región centro y la región sierra del estado de Tabasco y en la región norte de Chiapas (Figura 2) ocupando un área de 132,360 ha entre las dos entidades, pertenece a la parte baja de la cuenca del río Grijalva y tiene una altitud variable de entre 10 a los 2,200 msnm, con una ubicación geográfica entre las coordenadas 17° 36' 50" latitud norte y 93°5'13" longitud oeste. La subcuenca es la receptora del agua superficial para el río por el cuál recibe su nombre "El río Teapa" el cual tiene sus inicios en el altiplano de Chiapas para luego dirigirse hacia el norte y al final adentrarse a tierras tabasqueñas.

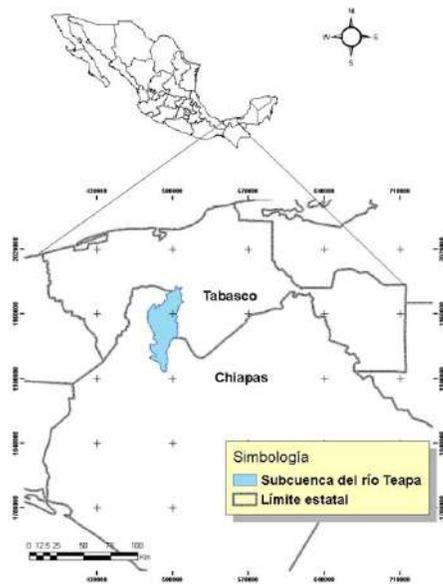


Figura 2. Mapa de localización de la subcuenca del río Teapa.

Modelo Digital de Elevación (MDE).

Con ayuda del MDE de alto resolución con un tamaño de celda de 5 m (Figura 3) se logró determinar los límites de la subcuenca a partir de los puntos más altos de la misma, los cuales forman el parteaguas que divide la cuenca de otras cuencas vecinas.

Otro punto son las diferentes altitudes que se presentan, en donde, los puntos más bajos de 0 – 100 msnm se encuentra en la parte norte de la cuenca hacia las llanuras y los pantanos de Tabasco y las zonas más altas con alturas de hasta los 2,200 msnm se encuentran en las zonas montañosas de Chiapas.

También se puede notar en el mapa de distribución que es una cuenca compleja y con una pendiente definida, ya que los puntos más altos empiezan desde las serranías de Chiapas en la zona sur de la cuenca y van descendiendo hacia los pastizales y pantanos de Tabasco que se encuentran en la zona norte. Por lo tanto, se puede definir que la cuenca es de tipo exorreica ya que la corriente principal en este caso el río Teapa evacua el agua fuera de la subcuenca a una red hidrológica más grande que resulta ser la subregión hídrica de la cuenca del río de la Sierra, la que a su vez pertenece a la parte baja de la cuenca del río Grijalva el cual desemboca sus aguas en el Golfo de México.

Uso del suelo y vegetación.

Como se puede observar en la figura 4 la mayor parte de la zona de la subcuenca está cubierta de Pastizales cultivados, que se encuentran distribuidos a lo largo de toda la subcuenca, con un área de 82,180 ha que representan el 62% del total de la subcuenca, seguido por la Agricultura de temporal permanente que se localiza principalmente en la región central con un área 8,405 ha (6.35%), los cuales se distribuyen en zonas semiáridas y de clima fresco, en zonas con un alto grado de declive y sin una suficiente protección se erosionan con mucha facilidad.

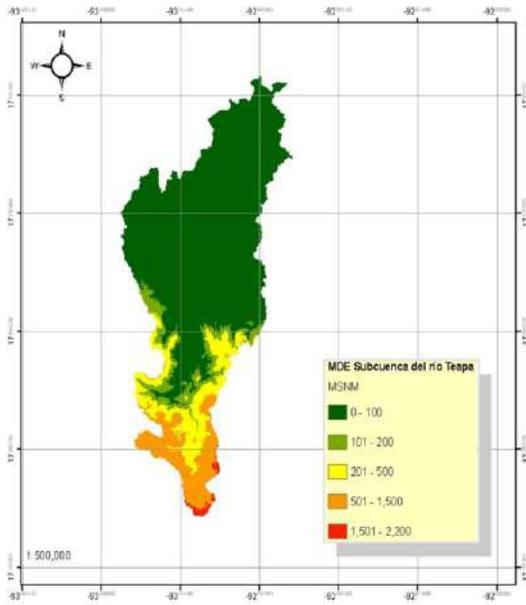


Figura 3. Mapa de localización de la subcuenca del río Teapa.

La mayoría de los pastizales se utilizan para actividades de producción pecuaria como la cría de ganado bovino y equino, que son importantes fuentes de ingresos para las comunidades que habitan en la zona.

En la parte sur de la cuenca se hayon zonas de Vegetación secundaria arbórea de selva alta perennifolia ubicados en las montañas de Chiapas con un área total de 7,669.5 ha (5.8%) donde se encuentra vegetación muy exuberante formada por árboles de hasta los 30 m o más de alto y que son unos de los ecosistemas con mayor riqueza de especies; también se encuentran algunas zonas de selvas secundarias bajas perennifolias, agricultura de temporal y riego permanente o semipermanente. Debido a la gran variedad de uso del suelo, vegetación y cuerpos de agua presentes se puede asegurar que se realizan un gran número de actividades socioeconómicas por parte de las comunidades que habitan dentro de la cuenca y así, una vez más, se ve reflejada la importancia que tienen las cuencas hidrológicas para el desarrollo y sustentabilidad de la sociedad.

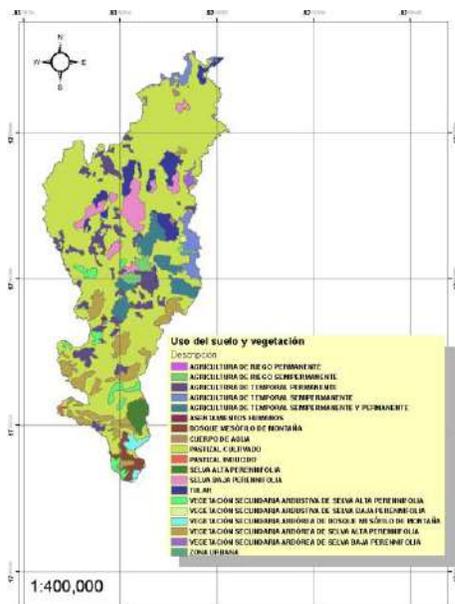


Figura 4. Uso del suelo y vegetación de la subcuenca

Tipo de suelos.

Dentro de la subcuenca existe una gran cantidad de suelos como el litosol, acrisol, gleysol, cambisol, fluvisol, etc. tal como se puede apreciar en la figura 5, en la subcuenca del río Teapa predomina principalmente el suelo de tipo Acrisol húmico ocupando un 27.3% (36,214.5 ha) del área total de la subcuenca. En segundo lugar, tenemos el suelo Gleysol eutríco ocupan el 26.3% (34,921 ha). Ambos se encuentran distribuidos principalmente en la parte central de la subcuenca.

En la zona norte abundan los suelos del tipo Gleysol vertice ocupando un área de 12,126 ha (9%) y Acrisol plintico con 7,238 ha (5.5%) los cuales tienen la característica de ser pantanosos, donde se acumula y estanca el agua si se encuentran en lugares de mucha precipitación, en México estos suelos son aprovechados en la agricultura de hortalizas con resultados muy buenos, cabe señalar que se encuentra en una zona de baja altitud dentro de la cuenca.

Por último, tenemos la zona sur de la cuenca en la cual se encuentra el suelo de tipo Cambisol crómico ocupando un porción de 2,533 ha (2%), estos son suelos jóvenes en general y tienen una moderada susceptibilidad a la erosión; también se encuentran suelos de Andosol ocríco (946.5 ha) los cuales son suelos típicos en las zonas aserradas de Chiapas; al final, pero no menos importante el suelo Litosol ocupando un área de 7031 ha (5.3%), este suelo se caracteriza por tener una profundidad no mayor a los 10 centímetros. El uso de este suelo depende principalmente de la vegetación que lo cubre, sin embargo, debe tenerse en cuenta que es un suelo con alta susceptibilidad de erosión.

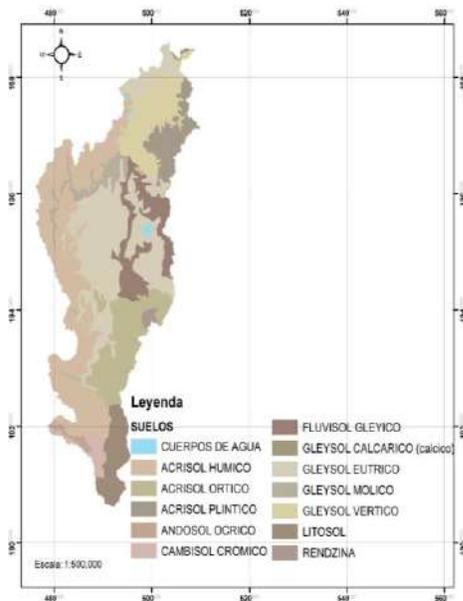


Figura 5. Tipos de suelos de la subcuenca.

CONCLUSIONES

Los resultados de este trabajo demuestran la gran importancia que tienen las cuencas hidrográficas en lo relativo a nuestra sociedad, no solo en la cuestión de la conservación de los recursos naturales, sino también la gran importancia económica, social, geopolítica y ambiental que esta zona tiene, ya que en ella habitan un gran número de comunidades que realizan una amplia gama de actividades económicas y que a pesar de ser de municipios o entidades diferentes interactúan mutuamente con los recursos, espacios y todos los componentes de la cuenca.

Aunado a esto, los datos obtenidos de la caracterización de la cuenca servirán como una herramienta de apoyo para implementar futuros estudios hidrológicos y planes para el manejo del agua en la zona, así como también para el manejo integral de cuencas para aprovechar al máximo, los recursos disponibles sin perjudicar al medio ambiente y asegurar un desarrollo sustentable que beneficie a las generaciones futuras.

La información resultante de los mapas y del Modelo Digital de Elevación nos indican que es una zona compleja con una gran diversidad de recursos, elementos y características que le dan un alto

potencial para la realización de un gran número de actividades productivas que aumenten el bienestar socioeconómico de las poblaciones ubicadas dentro de la subcuenca.

LITERATURA CITADA

- Breña, A., & Jacobo, M. (2006). Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial. Ciudad de México: Universidad Autónoma Metropolitana. pp 23- 45.
- Galindo, A. A., Ruiz A. S., Morales, H. A., Sánchez, L.,L., Carrizales, E. y Villegas P. C., 2015. Atlas de Riesgos del Municipio de Centro, 2015. H. Ayuntamiento Constitucional de Centro, Tabasco. Elaborado por Servicios Integrales de Ingeniería y Calidad SA de CV. Impreso por Talleres Yaxol, Tabasco, México.
- Londoño, C. (2001). CUENCAS HIDROGRÁFICAS: BASES CONCEPTUALES - CARACTERIZACIÓN - PLANIFICACIÓN-ADMINISTRACIÓN. Ibagué, Colombia: UNIVERSIDAD DEL TOLIMA FACULTAD DE INGENIERÍA FORESTAL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA.
- López Báez, W. (2014). ANÁLISIS DEL MANEJO DE CUENCAS COMO HERRAMIENTA PARA EL APROVECHAMIENTO SUSTENTABLE DE RECURSOS NATURALES. Revista Chapingo Serie Zonas Áridas, XIII (2), 39-45.
- Montoya Moreno, Y., & Montoya Moreno, B. (2009). CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA DE LA MICROCUENCA DE LA QUEBRADA LOS ANDES, EL CARMEN DE VIBORAL, ANTIOQUIA-COLOMBIA. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 8 (15), 31-38.
- Vásquez, A., Mejía, A., Faustino, J., Terán, R., Vásquez, I., Díaz, J., Vásquez, C., Castro, A., Tapia, M., & Alcantara, J. (2016). MANEJO Y GESTIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS. Lima, Perú: Ad Printing S.A.C. pp. 13-21.

REFERENCIAS INFORMATICAS

- CONAGUA. (2014). <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/Capitulo10prohtab.pdf>. (consultado el 2 de octubre del 2017).
- González, F. (2009): http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/ine_a1-027_2009.pdf (consultado el 5 de septiembre del 2017).
- Martínez, S. (2011). <http://132.248.52.100:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/4548> (consultado el 2 de octubre del 2017).

ACTIVIDAD MICROBIOLÓGICA EN SUELO Y RIZOSFERA DE *Laguncularia racemosa* CONTAMINADOS CON PETRÓLEO INTEMPERIZADO
MICROBIOLOGICAL ACTIVITY IN SOIL AND RIZOSPHERE OF *Laguncularia racemosa*
CONTAMINATED WITH TEMPERED PETROLEUM

¹López-Jiménez JG, ¹Rivera-Cruz MC, ¹Aceves Navarro LA, ¹Sol Sánchez Á, ²Sarracino Martínez O, ²Trujillo-Narcía A.

¹Colegio de Postgraduados Campus Tabasco. Periférico Carlos A. Molina, Km 3.5. Carretera Cárdenas-Huimanguillo, Cárdenas, Tabasco. México. CP 86500; Tel. 9371300268.

²Universidad Popular De La Chontalpa. Carretera Cárdenas-Huimanguillo km 2, Ranchería Paso y Playa, 86500 Heroica. Cárdenas, Tabasco.

Autor para correspondencia: *lopez.joseguadalupe@colpos.mx

RESUMEN

Los hidrocarburos como agente contaminante han logrado afectar diferentes ecosistemas en el planeta, los manglares principalmente, los cuales cumple importantes funciones como, la captura de carbono, barrera natural ante eventos climatológicos, además de proporcionar un lugar de crianza y anidamiento de infinidad de especies marinas y terrestres. En la evaluación ecotoxicológica del suelo contaminado con hidrocarburos del petróleo, el perfil de la comunidad microbiana es un aspecto importante debido a su participación en las funciones del suelo. Sin embargo, las funciones microbianas dependen en gran medida de la concentración de hidrocarburos, el tiempo del contaminante en el suelo y las propiedades del suelo. Por lo cual se determinaron los contenidos de HTP en el suelo, rizoplano y rizosfera, utilizando técnicas gravimétricas, además de la respiración basal (CO₂) mediante la técnica fumigación-incubación. Por otra parte, las poblaciones de bacterias y las bacterias solubilizadoras de fosforo (BSP), utilizando la técnica cuenta viable por dilución seriada, y de esta manera correlacionar estas variables, con los contenidos de hidrocarburos en cada uno de los espacios, siendo el suelo enterrado, con mayor concentración de HTP, disminuyendo el CO₂, además de las poblaciones de BFN y BSP, por otra parte, la rizosfera, cuenta con la mayor actividad y riqueza biológica. Siendo así el petróleo un factor limitante de la vida en este ecosistema.

Palabras clave: CO₂, Hidrocarburos, Manglar, Rizosfera, Suelo.

INTRODUCCIÓN

El petróleo intemperizado es un petróleo crudo (fresco) que es sometido en la superficie del suelo a un proceso de meteorización al menos durante 20 años (Rivera-Cruz y Trujillo Narcía, 2004). El petróleo responsable de la contaminación de diferentes ecosistemas, este es el caso del manglar, este se encuentra en zonas litorales tropicales y subtropicales. El mangle blanco o *Laguncularia racemosa*, predominante en el área de la investigación, es una planta fanerógama en la familia Combretácea, sus raíces aéreas o neumatóforos pueden estar presentes, esto depende de las condiciones del medio en que se desarrollen (Corrella *et al.*, 2001). La rizosfera juega un papel muy importante en el suelo, ya que es una zona de actividad biológica intensa, con una transferencia importante de agua y nutrientes (Porta-Casanellas *et al.*, 2003). Por otro lado, la raíz o el rizoplano comprende una zona inmediatamente en el exterior a la epidermis radicular, en donde ocurren procesos de adhesión bacteriana y fúngica (Marrero *et al.*, 2015). Los microorganismos juegan un papel muy importante en todos los procesos biológicos de la rizosfera, rizoplano y el suelo principalmente la respiración basal del suelo (BSR) que es el flujo de salida principal de la respiración heterotrófica y se define como la tasa constante de emisiones de CO₂ vinculadas a la

descomposición microbiana de la materia orgánica del suelo en un suelo libre de raíces (Thoumzeau *et al.*, 2017). Los microorganismos más importantes en la rizósfera, rizoplano y en el suelo son los fijadores de nitrógeno atmosférico y, por otra parte, los microorganismos solubilizadores de fosforo (Restrepo-Franco *et al.*, 2015). Son pocos los estudios relacionados con la contaminación del manglar ya que no se conocen de cierta forma como los contenidos de hidrocarburos afectan la actividad microbiológica y de esta manera conocer si el petróleo es un factor que disminuye o aumenta las actividades bilógicas en el manglar.

Por lo anterior el objetivo de esta investigación es determinar los contenidos de hidrocarburo, además de conocer la respiración basal del suelo y las poblaciones microbianas como bacterias fijadoras de

nitrógeno, además de las bacterias solubilizadoras de fosforo, para posterior encontrar la relación hidrocarburos y las variables microbianas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El suelo fue colectado un área aproximadamente de una hectárea, en la localidad del Ejido Jose Narciso Roviroso, localizado a 1.2 km al oeste del Complejo Procesador de Gas La Venta (CPG La Venta), Huimanguillo, Tabasco, localizando 15 puntos, los cuales cada uno corresponde a un árbol de mangle, de los cuales se colectaron 2 muestras de rizosfera, 2 de rizoplano 1 de la capa.

Las muestras colectadas se trasladaron al laboratorio de microbiología, del colegio de postgraduados campus tabasco en donde se llevaron a cabo las pruebas químicas y microbiológicas las muestras, siendo la determinación de hidrocarburos el primer parámetro a evaluar: Extracción y cuantificación de los hidrocarburos totales del petróleo (HTP), esta técnica se llevó a cabo en tres fases: preparación de las muestras extracción y cuantificación (EPA, 1996). La cuantificación se realizó gravimétricamente establecida en la norma NMX-AA-134-SCFI-2006 (Consuegra, 2006).

Metabolismo microbiano: Respiración microbiana (CO₂) y carbono de la biomasa: se evaluó mediante la técnica de incubación- fumigación de Jekinson y Powlson (1976). Para la evaluación se utilizaron 75 muestras de suelo, rizosfera y rizoplano además de 2 blancos y 2 fumigados. Cada unidad experimental consistió en un frasco de vidrio de 100 ml para suelo y rizosfera y para rizoplano frasco de 200 ml con tapas. Se colocaron 50 g de suelo y rizosfera y para rizoplano se colocaron 30 g por el volumen amplio que ocupan, en el fumigado se colocó 30 g de suelo estéril y el blanco es sin suelo. Sobre la muestra se colocó un vial de 10 ml con 5 ml de KOH 1N y una tira de papel filtro estéril, para captar el CO₂ desprendido durante la respiración microbiana, se incubaron a 28 °C. Posteriormente pasado una semana del montado de la técnica se procede a abrir los frascos uno por uno decantado el KOH y la tira reactiva en un vaso de precipitado de 250 ml, lavando el vial con 5 ml de agua destilada estéril, (el KOH y la tira reactiva que servirá para la prueba siguiente), por lo tanto ya con la muestra en el matraz Erlenmeyer se colocan 2 ml de Cl₂Ba y 2 gotas de fenoltaleína en solución alcohólica, para precipitarlos carbonatos. Se titula con HCl 0.1N, este procedimiento se repite cada semana principalmente los días 2, 14, 21, 42 y 63 días.

Densidad de bacterias fijadoras de N₂ de vida libre: La determinación de las bacterias fijadoras de N₂ de vida libre totales (BFNt). En suelo, rizosfera y rizoplano, se realizaron por el método de cuenta viable por dilución seriada en medios de cultivos específicos (Madigan *et al.*, 2009). Los medios de cultivos utilizados para estas bacterias son: Medio de cultivo Carbón combinado para BFNt: Solución A: [0.2 gr K₂HPO₄, 0.8 gr K₂HPO₄, 0.1 gr NaCl, 0.02 gr Fe EDTA, 0.025 gr Na₂MoO₄·2H₂O, 0.1 gr Extracto de levadura, 5.0 gr Manitol, 5.0 gr Sacarosa, 0.5 ml Lactato de sodio, 15 gr Agar y 900 ml de Agua destilada] y Solución B: [0.2 gr MgSO₄·7H₂O, 0.06 gr CaCl₂·2H₂O y agua destilada 100ml] (Rennie, 1981).

Densidad de bacterias solubilizadoras de P: Para la determinación de las bacterias solubilizadoras de P (BSP) en suelo, rizosfera y rizoplano, se llevaron a cabo por el método de cuenta viable por dilución seriada en medios de cultivos específicos (Madigan *et al.*, 2009). Medio de cultivo Pikovskaya para BSP: 10 g glucosa, 5 g Ca₃PO₄, 0.1 g MgSO₄·7H₂O, 0.2 g KCl, 0.5 (NH₄)SO₄, 0.5 g extracto de levadura, 0.002 g MnSO₄, 15 g agar y 1000 ml de agua destilada (RAO, 1982).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de los contenidos de hidrocarburos en el suelo se muestran en el cuadro 1, donde podemos notar que no hay diferencias significativas en los niveles con respecto al espacios en el suelo, los contenidos de hidrocarburos se concentran en el nivel 4 de cada uno de los espacios, siendo la capa de suelo la que mayor concentración tiene con 23,763 mg·kg⁻¹.

Cuadro 1. Distribución de hidrocarburos del petróleo intemperizado (mg·kg⁻¹) en el bosque de manglar.

Nivel	Rizoplano	Rizosfera	Capa
1	682 ^d	725 ^d	535 ^d
2	1989 ^d	1798 ^d	1782 ^d
3	3656 ^{cd}	6304 ^{cd}	5889 ^{cd}
4	12139 ^{bc}	17370 ^{ab}	23763 ^a

Letras diferentes en sentido vertical indican que no hay diferencias estadísticas diferentes (Tukey, p=0.05)

En la figura 1 podemos observar que, en suelo sin contaminación, la evaluación de CO₂ inicio a los 7 días y a partir de ese tiempo los contenidos de CO₂ fueron aumentando, siendo el día 28 el tiempo donde alcanzó su máxima producción de CO₂ para posterior iniciar el descenso hasta los 56 días.

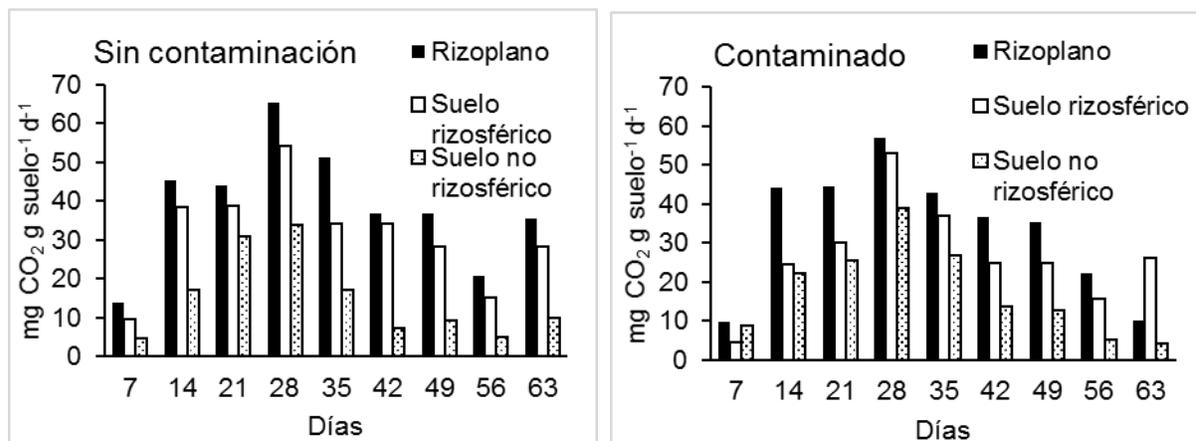


Figura 1 y 2. Contenido de CO₂ en suelo sin contaminación y suelo contaminado evaluados a los 63 días.

Esto se repitió en los 3 espacios, el rizoplano, en el suelo rizosférico y no rizosférico. La misma tendencia ocurrió en la figura 2 los contenidos máximos se registraron a los 28 días en los 3 espacios y a partir de ahí inicio la caída de la actividad biológica, según Castro-Mancilla *et al.*, 2013, en su evaluación de la reparación edáfica en suelos contaminados con petróleo encontró resultados similares, siendo en alrededor del día 75 se presentó una disminución en la producción de CO₂, debido a que la mayor parte de los hidrocarburos habían sido descompuestos por la actividad biológica del suelo. Además, de que en esta fase se acumulan las sustancias de desecho, incluso el pH del medio puede hacerse inadecuado para el crecimiento celular, lo que puede reducir la población de microorganismos degradadores de hidrocarburos.

Cuadro 2. Diseño experimental de Bacterias Fijadoras de Nitrógeno y Solubilizadoras de Fósforo

Espacio	Nivel	HTP (mg·kg ⁻¹)	BFnt (UFC g ⁻¹ suelo seco)	BSP(UFC g ⁻¹ suelo seco)
1 Rizop	N1	682 ^d	42572 ^{ab}	50726 ^{abc}
2 Rizop	N2	1989 ^d	46454 ^a	48116 ^{abc}
3 Rizop	N3	3656 ^{cd}	33338 ^{abc}	70853 ^a
4 Rizop	N4	12139 ^{bc}	10734 ^c	23132 ^{bc}
5 Rizos	N1	725 ^d	42224 ^{ab}	58285 ^{ab}
6 Rizos	N2	1798 ^d	21988 ^{abc}	35698 ^{abc}
7 Rizos	N3	6304 ^{cd}	41563 ^{ab}	64954 ^{ab}
8 Rizos	N4	17370 ^{ab}	43564 ^{ab}	33552 ^{abc}
9 Capa	N1	535 ^d	6560 ^c	10023 ^c
10 Capa	N2	1782 ^d	8469 ^c	6737 ^c
11 Capa	N3	5889 ^{cd}	8503 ^c	10943 ^c
12 Capa	N4	23763 ^a	16355 ^{bc}	5989 ^c

Letras diferentes en sentido vertical indican que no hay diferencias estadísticas diferentes (Tukey, p=0.05)

En el cuadro 2 podemos observar el comportamiento de las bacterias fijadoras de nitrógeno y solubilizadoras de fósforo, respecto al espacio y el nivel de contaminación. En el rizoplano el nivel 4 es el que mayor contenido de HTP contiene con 12,139 mg kg⁻¹ sin embargo las bacterias fijadoras de nitrógeno en el nivel 2 fue mayor con 46,454 UFC y las bacterias solubilizadoras de fósforo en el nivel 3 con mayor población de 70,853 UFC. En la rizosfera los TPH fueron mayor en el nivel 4 con 17,370 mg kg⁻¹, de mismo modo que las bacterias fijadoras de nitrógeno en el nivel 4, con 43,565 UFC y las BSP en el nivel 3 con 64,954 UFC. Por último en las capas, el nivel 4 es el que mayor

concentración de HTP tiene con 23,763 mg kg⁻¹, del mismo modo las BFN se encuentran en este nivel con una población de 16,355 UFC y las BSP en el nivel 3 con 10,943 UFC. De una manera más general podemos observar que la actividad microbiológica disminuyó considerablemente en las capas ya que aquí se encuentra la mayor cantidad de hidrocarburos, por otro lado, el espacio donde mayor se concentró la cantidad las poblaciones de BFN y BSP es en el rizoplaneo, seguido de la rizósfera. El efecto del petróleo no se aprecia tanto en el rizoplaneo y rizósfera, pero en el suelo, al respecto Vázquez-luna *et al.*, 2011, mencionan que los suelos contaminados con hidrocarburos contienen más microorganismos, pero su diversidad microbiana es más reducida en comparación con los suelos no contaminados. Todo esto indica que la dinámica microbiana en la rizósfera y el rizoplaneo puede variar considerablemente de la dinámica poblacional del suelo, y la presencia de microorganismos puede estar altamente influenciada por los exudados vegetales y por otras poblaciones propias de la rizósfera (Calvo *et al.*, 2008).

CONCLUSIÓN

Los contenidos de hidrocarburos en el suelo de manglar fueron muy altos logrando rebasar los límites máximos permisibles, siendo así factor limitante en las poblaciones microbianas, como las bacterias fijadoras de nitrógeno y solubilizadoras de fósforo. En el rizoplaneo y la rizósfera el comportamiento no fue tan significativo, este comportamiento es principalmente porque es en estos espacios donde se liberan los exudados radicales y otras sustancias y que ayudan a potencializar la actividad microbiana. Por otro lado, se logró conocer la cinética microbiana de este lugar dando como resultado que su máximo esplendor fue a los 28 días para posteriormente iniciar su descenso hasta los 56 días en la reducción de CO₂.

LITERATURA

- Consuegra G.R.C. 2006. NMX-AA-134-SCFI-2006. Suelo - hidrocarburos fracción pesada por extracción y gravimétrico - método de prueba. Dirección de Normalización. SEMARNAT-México. 27 pp. Calvo V. P; Meneses L. R. y Zúñiga D. D. 2008. Estudio de las poblaciones microbianas de la rizósfera del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) en zonas altoandinas. Ecol. apl. 7(1, 2):141-148.
- Castillo-Rodríguez F; Roldan Ruiz M.D; Blasco P. R; Huerta R. M.J; Caballero F.J; Moreno-Vivian D.C. y Luque-Romero M.M. 2005. Biotecnología ambiental. Edt. Tebar. Madrid, España 616 p.
- Castro-Mancilla, Y. V; Castro-Meza, B. I; de la Garza-Requena, F. R; Rivera-Ortiz, P; Heyer-Rodríguez, L. y Ortiz-Carrizales, Y. P. 2013. Variación de las poblaciones microbianas del suelo por la adición de hidrocarburos. Terra Latinoamericana, 31(3):221-230.
- Corella, F; Valdez, J. I; Cetina, V. M., González, F. V., Trinidad, A. y Aguirre, J. R. (2001). Estructura forestal de un bosque de mangles en el noreste del estado de Tabasco, México. Ciencia Forestal en México, 26(90):73-102.
- Madigan M.T., Martinko J.M., Dunlap P.V., Clark P.D. 2009. Brock. Biología de los microorganismos. 12a. Ed. Pearson Educación, España. 1259 p.
- Marrero M. A; Agaras B; Wall L. G. y Valverde C. 2015. Enriquecimiento diferencial de *Pseudomonas* spp. en el rizoplaneo de distintas especies cultivadas. Rev Argent Microbiol. 47(2):132-137.
- Porta- Casanella J; Lopez-Acevedo Regerin M. y Roquero de Laburu C. 2003. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Madrid, España. 3ra Edic. Mundi prensa. 960 pág.
- Rennie R.J. 1981. A single medium for the isolation of acetylene-reducing (dinitrogen-fixing) bacteria from soils. Can J. Microbiol. 27:8-14 Restrepo-Franco G; Marulanda-Moreno S; De la Fe-Pérez Y; Díaz-de la Osa A; Baldani L. y Hernández-Rodríguez A. 2015. Bacterias solubilizadoras de fósforo y sus potencialidades de uso en la promoción del crecimiento de cultivos de importancia económica. Revista CENIC. Ciencias Biológicas, 46(1):63-76.
- Rivera-Cruz M. C; Ferrera-Cerrato R; Volke H. V; Rodríguez V. R. y Fernández L. L. 2002b. Adaptación y selección de microorganismos autóctonos en medios de cultivos enriquecidos con petróleo crudo. Terra latinoamericana, 20: 423-434.
- Rivera-Cruz M. C. y Trujillo-Narcía A. 2004. Estudio de la toxicidad vegetal en suelos con petróleo nuevo e intemperizado. Interciencia, 29(7):369-376.
- Rao, N. S. 1982. Biofertilizers in agriculture. Oxford and IBH Publishing Co. New Delhi, India.
- Jenkinson, D. S. and D. S. Powlson. 1976. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil-I. Fumigation with chloroform. Soil Biol. Biochem. 8: 167-177.

- Thoumazeau A; Gay F; Alonso P; Suvannang N; Phongjinda A; Panklang P; Chevallier T; Bessou C; Brauman A. 2017. SituResp ®: un método de tiempo y costo efectivo para evaluar la respiración basal del suelo en el campo. *Applied Soil Ecology* 121:223–230.
- Vázquez-Luna, M; Montiel-Flores, A; Vázquez-Luna, D; Herrera-Tenorio, M. F. 2011. Impacto del petróleo crudo en suelo sobre la microbiota de vida libre fijadora de nitrógeno. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 13(3):511-523.

**EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL PETRÓLEO A TRAVÉS DEL TIEMPO SOBRE EL
CRECIMIENTO, PRODUCCIÓN Y PROTEÍNA DE *Leersia hexandra* Sw.**
EVALUATION OF THE EFFECT OF OIL THROUGH TIME ON THE GROWTH, PRODUCTION AND
PROTEIN OF *Leersia hexandra* Sw.

¹Orocio Carrillo JA, ¹Rivera-Cruz MC, ¹Aranda-Ibáñez EM, ²Hernández Galvez G, ³Mendoza
López MR

¹Colegio de Postgraduados Campus Tabasco. Periférico Carlos A. Molina, Km 3.5. Carretera
Cárdenas-Huimanguillo. H. Cárdenas, Tabasco 86500, México

²Universidad Popular de la Chontalpa. Carretera Cárdenas-Huimanguillo Km. 2, Ranchería Paso y
Playa, 86500 Heroica Cárdenas, Tabasco.

³Unidad de Servicios de Apoyo en Resolución Analítica (SARA), Instituto de Educación Superior
Pública, Universidad Veracruzana, Xalapa Veracruz.

Autor para correspondencia: orocio.alberto@colpos.mx

RESUMEN

Con la finalidad de conocer el efecto de la concentración de petróleo fresco en crecimiento, producción de materia seca y contenido de proteína cruda foliar de *L. hexandra* en suelo Gleysol se realizó el presente estudio. Se efectuó un experimento en microtúnel por 180 días con siete tratamientos basados en siete dosis de petróleo fresco (PF): 1383 biogénico, 3000, 30000, 60000, 90000, 120000 y 150000 mg kg⁻¹ base seca. Las variables que se evaluaron a los 15, 45, 90 y 180 días después de la siembra (dds) fueron: longitud de estolones (LE), plantas jóvenes (PJ) y tasa de crecimiento relativo (TCR) y proteína. Al día 180 se evaluó: materia seca (MS) aérea, MS radical y volumen radical (VR). El porcentaje de proteína [(MI HCl – MI blanco) *6.25] / peso de la muestra *100] se determinó por el método micro-Kjeldah. La LE, PJ y TCR tuvieron diferencias estadísticas al día 15, 45, 90 y 180 (Tukey p≤0.05). La MS radical y VR fueron incrementadas por el efecto de 150000 mgkg⁻¹ al día 180. El contenido de proteína presentó diferencias estadísticas significativas en las cuatro edades de corte. El mayor porcentaje de proteína fue al día 45 en 3000 y 60000 mg kg⁻¹, el contenido proteico es menor conforme aumenta la edad de la planta. Los resultados demuestran la habilidad de *L. hexandra* para aumentar el número de PJ, MS radical y VR, y su potencial debido a que las dosis del petróleo en Gleysol no causo efecto significativo en LE y TCR a los 180 días después de la siembra (dds). El contenido de proteína varió por efecto de la edad de corte y las concentraciones de petróleo fresco, siendo estimulada por dosis de 3000 y 60000 mg kg⁻¹ de petróleo a los 45 días.

Palabras clave: *petróleo fresco, proteína, pasto, tasa de crecimiento.*

INTRODUCCIÓN

Los hidrocarburos son combustibles fósiles ampliamente utilizados alrededor del mundo como generadores fundamentales de diversas formas de energía. Sin embargo, es posible que en su extracción se genere contaminación del suelo, debido a constantes derrames accidentales (Velásquez, 2017). El petróleo según el tiempo que permanece en el ambiente puede ser fresco (PF) o intemperizado (PI), por lo que su efecto tóxico, cancerígeno, mutagénico y genotóxico puede variar (Caravaca & Roldán 2003; Rainho, Corrêa, Mazzei, Aiub, y Felzenszwalb, 2013). Esta sustancia en el suelo tiende a acumularse y a formar una capa hidrofóbica, induciendo la fragmentación de los agregados, causando reducción, inhibición de la cobertura vegetal y la modificación de las poblaciones microbianas del ambiente edáfico (Díaz-Martínez *et al* 2013).

Serrano *et al.* (2013) reportan que la contaminación por hidrocarburos de petróleo ejerce efectos adversos sobre las plantas indirectamente, generando minerales tóxicos en el suelo disponible para ser absorbidos, además, conduce a un deterioro de la estructura del suelo; pérdida del contenido de materia orgánica; y pérdida de nutrientes minerales del suelo, tales como potasio, sodio, sulfato, fósforo, y nitrato. La presencia de estos contaminantes, ha dado lugar a la pérdida de la fertilidad del suelo (Velásquez, 2017). Los hidrocarburos del petróleo fresco en concentraciones de 50000 a 100 000 mg kg⁻¹ causan inhibición en el crecimiento y producción de biomasa, pero algunas gramíneas, como los pastos tropicales, se adaptan a las condiciones de estrés causadas por el petróleo (Sang-Hwan *et al.*, 2007; Maldonado-Chávez *et al.*, 2010). Los pastos han sido objeto de estudio debido a su

densa red de raíces que llegan hasta 2.7 m de profundidad, elongación superficial y su tolerancia a condiciones de estrés (Orozco-Soto *et al.*, 2014). *L.hexandra* es un pasto forrajero que se encuentra en las regiones tropicales húmedas donde produce dos t·ha⁻¹·año⁻¹ de materia seca. Invade humedales por la acumulación de follaje y raíz que forma sobre el suelo y el agua, lo que facilita el tránsito de animales en la pradera inundada. Presenta un follaje muy suave, semidecumbente, de tallos flexibles con hojas angostas y pequeñas (Vegetti, 2002). El pasto *L. hexandra* desplaza otras especies vegetales establecidas en humedales en el estado de Tabasco, contaminados con hidrocarburos del petróleo intemperizado (Rivera-Cruz, 2011) y con una producción de biomasa seca de 11 .5 t ha⁻¹·año⁻¹ (Rivera-Cruz y Trujillo-Narcía, 2013). El objetivo de esta investigación, fue determinar el efecto de diferentes concentraciones de petróleo fresco en el crecimiento, producción y acumulación de proteína cruda foliar de *Leersia hexandra* en suelo Gleysol.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en microtunel por 180 días, ubicado en las instalaciones del Colegio de Postgraduados Campus Tabasco. Para el bioensayo se recolecto suelo caracterizado como tipo Gleysol recolectado a partir del horizonte superficial (0-30 cm) en el Ejido Blasillo 2da Sección, La Venta Huimanguillo, Tabasco. Se secó bajo sombra y se tamizó en una malla de cinco mm de abertura. Los rizomas del pasto *L. hexandra* se colectaron en el ejido José Narciso Roviroso, a dos kilómetros del complejo procesador de Gas La Venta Huimanguillo, Tabasco. Se seleccionaron vástagos con yemas maduras. De los tallos maduros se cortaron estolones de cinco centímetros de longitud con raíces, se sembraron 33 días antes del establecimiento del bioensayo. Se empleó un diseño experimental completamente al azar con siete tratamientos y cuatro repeticiones. Los tratamientos fueron: 1383 origen biogénico, 3000, 30000, 60000, 90000, 120000 y 150000 mg kg⁻¹ de PF. Las unidades experimentales fueron contenedores de vidrio con 1.5 kg de suelo tamizado. El suelo (1500g) de cada unidad experimental se tamizó para ser mezclado por separado con las cantidades de 4.5, 45, 90, 135, 180 y 225 g de petróleo fresco, se homogeneizó con una espátula en charolas de aluminio. En cada unidad experimental se transplantó una planta de *Leersia hexandra* y se aplicó riego cada 24 horas para evitar estrés hídrico.

Crecimiento y producción.

Se evaluaron a los 15, 45, 90 y 180 días: longitud de estolones (LE), plantas jóvenes (PJ) y tasa de crecimiento relativa (TCR). La TCR se determinó mediante la fórmula de Hunt *et al.*, (2002):

$$TCR = (\ln w_2 - \ln w_1) / (t_2 - t_1)$$

Donde:

In: logaritmo natural

w: longitud de estolón

t: tiempo

La producción de MS aérea y radical de cada planta se evaluó a los 180 días. La biomasa vegetal se cosechó y se colocaron por separado en bolsas de papel, estas se sometieron a secado en una estufa de circulación de aire forzado a 60 °C durante 72 horas y se pesaron en balanza semianalítica (Ohaus, modelo Scout Pro SP202). El volumen radical se determinó con la técnica de desplazamiento de volumen de agua en probeta (Böhm, 1979).

Proteína.

La determinación del contenido de Nitrógeno total se realizó a los 15, 45, 90 y 180 días esta se extrajo por digestión con ácido sulfúrico (Page *et al.*, 1982) y cuantificación usando método micro-Kjeldhal (Jones *et al.*, 1992). El contenido de proteína se calculó con la fórmula:

$$\% \text{ Proteína} = \frac{MI \cdot HCL \cdot N \cdot X \cdot 1.4}{PM} \cdot X \cdot 6.25$$

Donde:

ML: Volumen del ácido sulfúrico empleado en titular la muestra

N= Normalidad exacta del ácido sulfúrico

PM= Peso de la muestra expresada en gramos.

Análisis estadísticos.

A las variables de estudio se les realizó un análisis de varianza (ANAVA) y se efectuó la prueba de comparación múltiple de medias por el método Tukey ($p \leq 0.05$) en el programa estadístico SAS (2010).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Crecimiento. La concentración de 3000 mg kg⁻¹ de petróleo se incrementó la LE y la TCR respecto al testigo a los 30 y 90 dds. Lo mismo sucede con la concentración de 60000 mg kg⁻¹ de petróleo la cual en los días 15, 45 y 90 se presentó un aumento en las mismas variables (Cuadro 1). Los resultados a los 180 dds en LE y TCR solo se presentó diferencias significativas en la concentración de 150000 mg kg⁻¹ de petróleo, las demás concentraciones fueron estadísticamente iguales, según Awah *et al.* (2012) un factor determinante que explica la adaptación de *L. hexandra* a factores de estrés abióticos es su forma de crecimiento y multiplicación estolonífera que le permite invadir con mayor facilidad ambientes alterados por el hombre. La máxima TCR fue de 5.6 cm día⁻¹ a los 45 dds en suelo con la concentración de 30000 mg kg⁻¹ de petróleo, esta disminuyó al aumentar el tiempo, alcanzando la mínima de 2.7 cm día⁻¹ a los 180 dds.

La Figura 1 muestra el efecto de las concentraciones del petróleo en PJ, se aprecia que los tratamientos fueron mayores que el testigo. A los 45, 90 y 180 dds mostró diferencias significativas por efecto de las concentraciones de petróleo fresco. La tendencia es creciente conforme el aumento de la dosis del PF, por lo tanto, la producción de nuevos hijuelos fue estimulada por la acción del petróleo. El mayor número de PJ (45) se contó en los dos últimos tratamientos (120000 y 150000 mg kg⁻¹ de PF).

Cuadro 1. Longitud de estolones (LE) y tasa de crecimiento relativo (TCR) en concentración de hidrocarburos totales del petróleo (HTP´s)

Fuente de variación	LE (cm)				TCR (cm día ⁻¹)			
	15	45	90	180	15	45	90	180
Días después de la siembra								
PF (mgkg ⁻¹)								
1383 Biogénico	31.33ab	135.97ab	326.73bc	503.83a	2.31a	3.52bc	4.52ab	2.96a
3000	26.87ab	159.37a	373.37ab	544.33a	2.06ab	4.2ab	4.65ab	2.73a
30000	21.33c	163.8a	406.37a	512.67a	1.59ab	5.62a	5.11a	2.73a
60000	32.7a	187.7a	383ab	487.83a	2.38a	5.14ab	4.92ab	2.72a
90000	27.57ab	82.03bc	324.77bc	456.17a	1.95ab	1.89cd	3.75ab	2.37a
120000	30.13ab	56.1c	258.63c	439.57a	1.66ab	1.46d	3.37b	2.22a
150000	23.47bc	37.33c	79.63d	157.1b	1.41b	0.68d	0.86c	0.97b

En columna letras diferentes indican que los valores son estadísticamente diferentes (Tukey, ≤ 0.05)

Materia seca y volumen radical. Se observaron diferencias significativas en MS aérea, MS radical y VR (Cuadro 2) en función de las concentraciones de petróleo fresco. La producción de MS aérea disminuyó por efecto del petróleo. La disminución de MS aérea del pasto se atribuye a que el petróleo forma una capa cerosa sobre los agregados del suelo y en la raíz, impidiendo la disponibilidad de nutrientes en el suelo y la asimilación por parte de la planta (Rivera Cruz *et al.*, 2004; Merkl *et al.*, 2005) La mayor cantidad de MS (45.25 g) aérea se obtuvo en el segundo tratamiento (3000 mg kg⁻¹ de PF) en cambio la menor (32.2 y 31.7 g) fue en suelo con 60000 y 150000 mg kg⁻¹. Los valores de MS radical y VR aumentaron con el incremento de la concentración de PF. La mayor cantidad de MS radical (12.03 g) y VR (90 cm³) se formó en plantas que crecieron en suelo con 150 000 mg kg⁻¹ de petróleo, el incremento fue 77.55 y 41.66% respecto a la planta cultivada en suelo sin petróleo (1383 biogénico).

Cuadro 2. Materia seca (MS) y volumen radical (VR) en función de las concentraciones de petróleo fresco (PF).

Fuente de variación PF (mg kg ⁻¹)	Aérea		VR (cm ³)
		Radical	
1383 Biogénico	43.5ab		
3000	45.25a		
30000	42.23ab		
60000	32.2b		
90000	36.23ab		
120000	33.08ab		
150000	31.73b		

En columna letras similares indican valores estadísticamente iguales (Tukey, ≤ 0.05)

Proteína en *Leersia hexandra* según petróleo y tiempo

En la Figura 2 se observa diferencias estadísticas significativas en los cuatro tiempos evaluados (Tukey, $p \leq 0.05$). A los 15 días la mayor acumulación de proteína (1.67 y 1.69%) fue en suelo con 60 000 y 120 000 mg kg^{-1} de petróleo y menor (0.84%) en suelo sin petróleo (1383 biogénico) y con 3000 mg kg^{-1} de petróleo. En el segundo corte (45 dds) el mayor contenido de proteína (22.6 y 22.13%) fue en suelo con 3 000 y 60 000 mg kg^{-1} de petróleo. A los 90 días se presentó en el último tratamiento con 150 000 mg kg^{-1} de petróleo y en el último día de evaluación el mayor porcentaje proteico (7.3%) se presentó en suelo con 60 000 mg kg^{-1} de petróleo. La tendencia es decreciente con respecto a la edad de corte, al respecto Juárez-Hernández y Bolaños-Aguilar (2007) menciona que el incremento en edad de los pastos tropicales, el contenido de proteína se reduce al aumentar la producción de materia seca. Se el envejecimiento de las hojas donde se encuentra el mayor contenido de proteína y posteriormente el incremento de la fibra, elongación y diámetro de los tallos (Fejmilehin *et al.*, 2008).

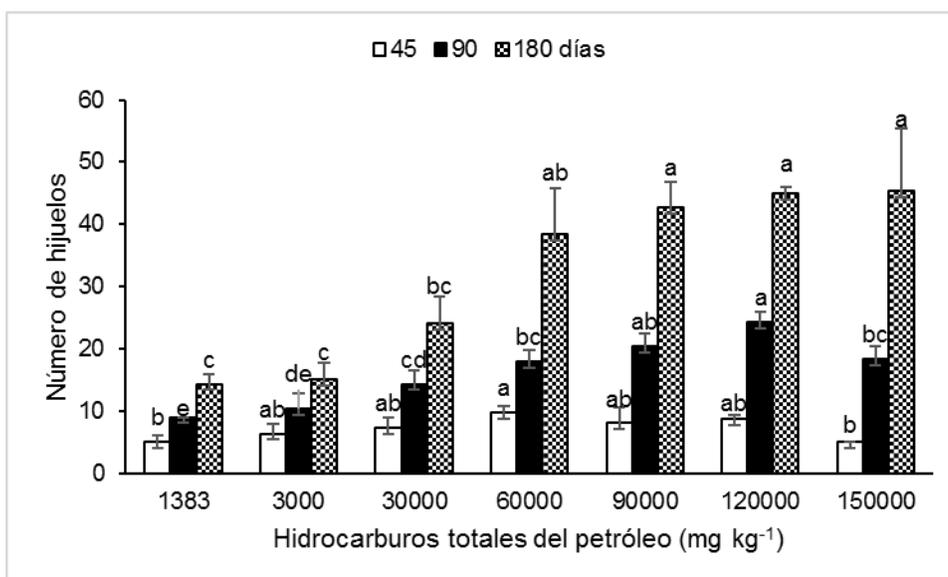


Figura 1. Variación de plantas jóvenes en *Leersia hexandra* por efecto de la concentración de petróleo. Barras con diferentes letras son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

CONCLUSIÓN

Las concentraciones de petróleo estimularon en *Leersia hexandra* la producción de plantas jóvenes, la materia seca radical y volumen radical. Se demostró su potencial de adaptación al no mostrar diferencias estadísticas al día 180 en longitud de estolones y tasa de crecimiento relativo en los primeros seis tratamientos. La elevada concentración de petróleo al día 180 causó la disminución de la materia seca aérea.

El contenido de proteína varió por efecto de la edad de corte y las concentraciones de petróleo fresco, siendo estimulada por dosis de 3000 y 60 000 mg kg^{-1} de petróleo a los 45 días. El bajo contenido de proteína se ve influenciado por la edad del pasto, a medida que el pasto envejece baja su valor nutritivo.

LITERATURA CITADA

- Awah, T., M., D., Kuitcha, A., Magha, A., Ndjama, J., y Kabeyene, B., V., K. 2012. Occurrence of macrophytes in the Mezam river system in Bamenda (Cameroon) and their role in nutrient retention. *Syllabus Rev., Sci. Ser.*, 3: 1-10.
- Böhm, W. 1979. Methods of studying root systems. In: ecological studies n° 33. Billing, W.D.F. Golley, O.L. Lange y J.S. Olson (Eds.). Springer Verlag. Berlin, Alemania. 188 p.

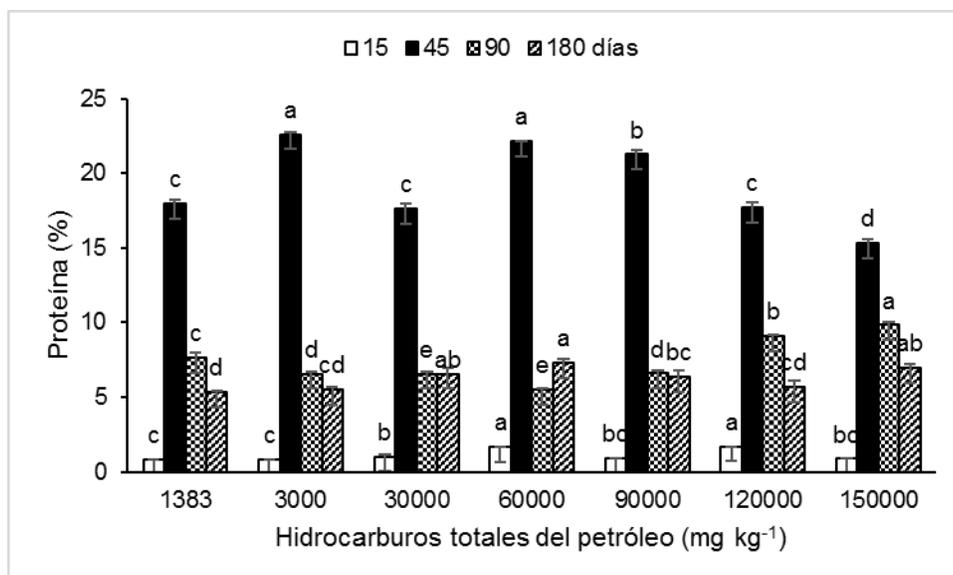


Figura 2. Variación del contenido de proteína foliar por efecto de la concentración de petróleo. Barras con diferentes letras son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

- Caravaca, F., y Roldan, A. 2003. Assessing changes in physical and biological properties in a soil contaminated by oil sludges under semiarid Mediterranean conditions. *Geoderma*, 117(1), 53-61.
- Díaz-Martínez, E., Alarcón, A., Ferrera-Cerrato, R., Almaraz-Suarez, J., J., y García-Barradas, O. 2013. Crecimiento de *Casuarina equisetifolia* (Casuarinaceae) en suelo con diesel, y aplicación de bioestimulación y bioaumentación. *Rev. Biol. Trop.* Vol. 61 (3): 1039-1052.
- Fajemilehin, O., K., Babayemi, O., J., y Fagbuaro, S., S. 2008. Efecto del fertilizante de sulfato de magnesio anhidro y la frecuencia de corte en el rendimiento y la composición química de *Panicum* máximo. *Revista Africana de Biotecnología. (AJB)* 7: 907-911.
- Hunt, R., Causton, D., R., Shipley, B., y Askew, P. 2002. A modern tool for classical plant growth analysis. *Ann. Botany*, 90: 485-488.
- Jones, J., B., Wolf, B., y Mills, H., A. 1992. *Plant Analysis Handbook. A Practical Sampling, Preparation, Analysis, and Interpretation Guide.* Micro-Macro Publishing, Inc., USA.
- Juárez-Hernández, J., y Bolaños-Aguilar, E., D. 2007. Las curvas de dilución de la proteína como alternativa para la evaluación de pastos tropicales. *Universidad y Ciencia*. 23(1): 81-90.
- Maldonado-Chávez, E., Rivera-Cruz, M., C., Izquierdo-Reyes, F., y Palma-López, D., J. 2010. Efectos de rizósfera, microorganismos y fertilización en la biorremediación y fitorremediación de suelos con petróleos crudo nuevo e intemperizado. *Universidad y Ciencia Trópico Húmedo*, 26: 121-136.
- Merkel, N., Schultze-Kraft, F., y Infante, C. 2005. Assessment of tropical grasses and legumes for phytoremediation of petroleum-contaminated soils. *Water Air Soil Poll.*, 165: 235-242.
- Orozco-Soto, M., Gutiérrez-Rojas, M., y Peralta-Pérez, M., R. 2014. Efecto de la composición de una mezcla de hidrocarburos en la respuesta fenotípica y la acumulación de azúcares por *Bouteloua curtipendula* Michx. Torr. En cultivo in vitro. *Polibotánica*, 38: 159-172.
- Page, A., L., Miller, R., H., y Keeney, D., R. 1982. Nitrogen total. In: Page, A.L., Miller, R.H. and Keeney, D.R. (eds.). *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties.* 2nd ed. ASA. SSSA, USA. pp. 595-629.
- Rainho, C., R., Corrêa, S., M., Mazzei, J., L., Aiub, C., A., F., y Felzenszwalb, I. 2013. Genotoxicity of polycyclic aromatic hydrocarbons and nitro-derived in respirable airborne particulate matter collected from urban áreas of Rios de Janeiro (Brazil). *Biomed Research International*, doi:10.1155/2013/765352.

- Rivera-Cruz, M., C., 2011. Flora y microflora rizosferica del pantano: indicadoras de perturbación causada por petróleo e inundación. *Agroregión*, **5**: 12-15.
- Rivera-Cruz, M., C., Ferrera-Cerrato, F., Sánchez-García, P., Volke-Haller, H., Fernández-Linares, L., y Rodríguez-Vázquez, M. 2004. Descontaminación de suelos con petróleo crudo mediante microorganismos autóctonos y pasto alemán (*Echinochloa polystachya* [H.B.K.] Hitchc). *Agrociencia*, **38**: 1-12.
- Rivera-Cruz, M., C., y Trujillo-Narcía, A. 2013. Dinámica de la biomasa vegetal y atenuación natural de los hidrocarburos del petróleo en un humedal del sureste de México. Memoria XXXVIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. La Paz Baja California Sur, México. pp. 55-62.
- Sang-Hwan, L., Won-Seok, L., Chang-Ho, L., y Jeong-Gyu, K. 2007. Degradation of phenanthrene and pyrene in rhizosphere of grasses and legumes. *J. Hazard Mater*, **141**: 519-525.
- SAS Institute, 2010. User`s Guide: Statistics, version 9.3. SAS Inst. Inc., Cary, North Caroline, USA.
- Serrano, M., F., Torrado, L., M., y Pérez, D., D. 2013. Impacto de los derrames de crudo en las propiedades mecánicas de suelos arenosos. *Ciencia y Tecnología*. **11**: 233-244.
- Vegetti, A., C. 2002. Caracterización de los sistemas de ramificación en especies de *Oryzae* (*Poaceae*). *Candollea*, **57**: 251-260.
- Velásquez, A., J., A. 2017. Contaminación de suelos y aguas por hidrocarburos en Colombia. Análisis de las fitorremediación como estrategia biotecnológica de recuperación. *Revista de investigación Agraria y Ambiental*. **8** (1): 151-167.

ESTUDIOS EDAFOLÓGICO Y DE IMPACTO AMBIENTAL EN UN ÁREA ALUVIAL EN TABASCO

EDAPHOLOGIC AND ENVIRONMENTAL IMPACT STUDIES IN AN ALLUVIAL ZONE IN TABASCO

¹Trujillo-Narcía A, ²Rivera-Cruz MC, ³Jiménez-Jiménez JC, ⁴Cázarez-Ruíz ED

¹Cuerpo Académico Energía y Medioambiente. Programa Educativo QFB. Universidad Popular de la Chontalpa. Carretera Cárdenas-Huimanguillo km 2, Ra. Paso y Playa. Cárdenas, Tabasco, Méx. CP 86500

²Laboratorio de Microbiología Agrícola y Ambiental. Colegio de Postgraduados Campus Tabasco.

³Área de Mantenimiento. Universidad Popular de la Chontalpa.

⁴Ingeniería en Sistemas Ambientales. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. IPN. Unidad Profesional Lázaro Cárdenas.

Autor para correspondencia: atrujillonarcia@gmail.mx

RESUMEN

Se realizó durante abril a junio de 2018 un estudio edafológico en una extensión de 20 hectáreas. Se realizaron barrenaciones agrológicas hasta dos metros de profundidad para la identificación de la distribución espacial, vertical y horizontal, de la granulometría y el color del suelo mediante comparación de colores con la tabla de Munsell. Las descripciones del sitio y del perfil se efectuaron de acuerdo con el manual de campo de Cuanalo (1981). Se excavaron siete calicatas para la inspección y exploración directa del perfil del suelo y sus horizontes, y se colectaron muestras compuestas de suelo de la parte central de cada horizonte. Las variables evaluadas fueron color, textura, estructura, humedad, densidad aparente, materia orgánica, pH, bases extractables, capacidad de intercambio de cationes y porcentaje de saturación de bases. Los grupos de suelo Fluvisol éutrico y Gleysol mólico fueron los representativos del área evaluada. Las modificaciones del Fluvisol son el color claro del horizonte superficial atribuible a la quema y requema del cultivo de caña, la acumulación de ceniza en la capa superficial, la presencia de fragmentos delgados de cerámica incrustados en el horizonte 4, además la compactación de los tres primeros horizontes del suelo. El Gleysol se caracteriza porque tiene el horizonte oscuro superficial mólico, rico en materia orgánica, arcilloso en todo el perfil, y las motas aumentan con la profundidad. El impacto ambiental agrupa la compactación y relleno del suelo con arena, anegamiento del agua de lluvia por obstrucción de cauces de agua por caminos elevados, anegamiento del suelo con agua residual sin tratamiento, y, por último, acumulación de residuos sólidos sobre la superficie del suelo. Se requiere un programa de tratamiento del agua residual, recuperación de residuos sólidos y también diseño y construcción de un sistema de drenaje que regule el anegamiento de áreas verdes, agrícolas y recreativas.

Palabras clave: *agua residual, anegamiento, Fluvisol, Gleysol, motas, obstrucción, residuos sólidos.*

INTRODUCCIÓN

El suelo es el material mineral y orgánico localizado en los dos metros superficiales del planeta Tierra, está en contacto con la atmósfera, se excluye los organismos vivos, las áreas con hielo continuo que no están cubiertas por otro material y los cuerpos de agua con profundidades mayores a dos metros, pero si se incluye la roca continua, los suelos urbanos pavimentados, de áreas industriales, de cuevas y los suelos subacuáticos (IUSS Working Group WRB, 2015; SEMARNAT, 2016). El suelo es un elemento determinante para la vida en nuestro planeta, es el principal soporte de la planta, es el hábitat de la biodiversidad; asimismo, interviene de manera esencial en el funcionamiento de cualquier ecosistema. A pesar de que el suelo es el soporte económico en muchas economías agrícolas del mundo, se encuentra bajo constante y creciente presión de deterioro derivado del crecimiento demográfico, de los patrones insostenibles de producción y consumo globales (SEMARNAT, 2016). Los servicios ambientales son los beneficios que la población obtiene, de manera directa o indirecta, se clasifican en servicios de soporte, regulación, provisión y culturales. El suelo es un recurso natural fundamental para los procesos biogeoquímicos, es el compartimento ambiental que proporciona refugio y hábitat a la microfauna, mesofauna, macrofauna, megafauna y a la microflora del suelo; funciona como soporte y reserva de nutrimentos para las especies vegetales, es indispensable para la

producción agroalimentaria, es filtro y amortiguador de contaminantes, además almacena el 65% del flujo global del agua (Enger y Smith, 2006; Craig et al., 2007; Masters y Ela, 2008; Cunningham y Cunningham, 2010; SEMARNAT, 2016). El uso del suelo en Tabasco ha estado asociado, en mayor medida, con las actividades agropecuarias y su intensidad de uso ha sido variable a través del tiempo. De acuerdo con de Alfaro et al. (1979), que realizó un censo poblacional en el siglo XVI, asimismo según Doporto (1979) y Santa Anna (1979), que utilizaron información de los siglos XVI y XVII, los pobladores de Tabasco construían en las partes altas sus viviendas, cerca de las márgenes de los ríos, para librarse de las inundaciones anuales y de sus efectos nocivos. El suelo era fértil y las cosechas eran ricas. Esta información sugiere que las inundaciones transportaban los sedimentos aluviales, de modo que el suelo en la planicie aluvial de Tabasco se rejuvenecía periódicamente durante los periodos de lluvia. Información de finales del siglo XIX y de la primera mitad del Siglo XX (Echeagaray et al., 1956) reporta frecuentes condiciones de lluvia y de eventos extraordinarios de inundaciones en Tabasco causadas por tormentas tropicales y ciclones, que originaron condiciones hidrodinámicas favorables para la sedimentación de partículas del suelo, de modo que contribuyeron en la incorporación de material mineral y orgánico en el suelo. Las avenidas extraordinarias de agua de lluvia ocurridas en la planicie tabasqueña durante 1879, 1880 a 1917, 1918, 1927, 1932, 1944, 1952 y 1955, causaron daños graves en la capital tabasqueña y catastróficos en las rancherías, en los campos agrícolas y ganaderos (Echeagaray et al., 1956; West et al., 1976), pero también aportaron grandes volúmenes de sedimentos que rejuvenecieron el suelo y su fertilidad. Un elemento importante en el proceso de acumulación estacional de sedimentos desbordados, desde los ríos y arroyos, cada cuatro a cinco años, corresponde a las inundaciones asociadas con las divagaciones de ríos por causas naturales y/o inducidas por la población nativa durante los siglos XVII, XVIII, XIX y XX (Anónimo, 1955; Echeagaray et al., 1956; Echeagaray, 1956; West et al., 1976). Con detalle Roviroso (1978) describe, en un viaje en cayuco que realizó durante noviembre de 1888, que los terrenos inundados recibían el agua y sedimentos del Río Mezcalapa a través de rompidos del aluvión acumulado en los diques naturales paralelos al cauce del río. La dinámica temporal de lluvias intensas en las cuencas alta y baja del Río Grijalva se percibió como un obstáculo para el desarrollo agropecuario y para la seguridad de la población, por ello desde 1952, a través de la Comisión del Río Grijalva, se diseñó el control y regularización de las avenidas de los caudalosos ríos mediante la construcción de presas en la cuenca alta, además en la cuenca baja, de manera complementaria se diseñó y ejecutó la construcción de cauces de alivio para el desalojo de agua, construcción de obras de protección como bordos, obras de drenaje, caminos y cortes o rectificaciones de cauces (Anónimo, 1955; Echeagaray et al., 1956; Echeagaray, 1957; Benassini, 1961). Durante los años 1947 y 1953 en el tramo Huimanguillo – Nueva Zelanda – Habanero ocurrieron diferentes divagaciones del cauce del Río Mezcalapa y se formaron sitios con erosión activa (Echeagaray, 1956), con los consecuentes desbordes de agua transportando sedimentos y su acumulación en el suelo aledaño. La carretera del cruce de Nueva Zelanda a la ciudad de Cárdenas también ya existía, funcionaba como dique que obstruía el flujo del sedimento aluvial transportado por los desbordes de agua. La lluvia extraordinaria ocurrida durante octubre de 1952 originó completa inundación de las rancherías Habanero y El Bajío (Echeagaray et al., 1956), localizadas cerca del sitio de estudio. A partir de 1965 se construyó infraestructura de drenes de diferentes profundidades para disminuir las inundaciones periódicas en el plan de desarrollo agropecuario conocido como Plan Chontalpa, cuya sección sureste se encuentra cerca del área de estudio del presente documento. Los drenes colectores denominados Sur 5 y Sur 10 aceleró el escurrimiento del agua a las direcciones oeste y noroeste. Esta modificación hidrodinámica originó la disminución de la fertilidad del suelo al evitar las inundaciones, se dejó de recibir la capa de sedimento que traía consigo una rica carga de nutrimentos (Barkin, 1978), igual se construyó un dique de 32 km de longitud denominado bordo Huimanguillo - Samaria - Oxiacaque (Revel-Mouroz, 1980), localizado a 1.7 km al este del sitio de estudio, para la contención de desbordamientos del Río Mezcalapa. La alteración de los ciclos de sedimentación a nivel de microcuenca fue originada por las desviaciones de cauces de los ríos en la cuenca baja del Grijalva, también por la construcción de infraestructura caminera e hidroagrícola. La modificación en el sitio de estudio es reciente, a partir del año 1999, a través de la construcción de una institución universitaria. La urbanización indujo el cambio de uso del suelo. Los caminos, aulas, laboratorios, edificios administrativos, restaurantes y áreas deportivas reemplazaron las áreas agrícolas y de reserva forestal. El relleno del suelo y la obstrucción de cauces intermitentes de corrientes de agua requieren la evaluación del impacto ambiental en los procesos naturales de formación del suelo, de igual manera la acumulación de residuos provenientes

1990), densidad aparente por la técnica de la parafina (Blake y Hartge, 1986), materia orgánica por combustión seca (Walkley y Black, 1934), pH por potenciometría (DOF, 2002), bases extractables y CIC mediante acetato de amonio (DOF, 2002) y PSB por cálculo matemático con los valores de las bases extractables y la CIC (DOF, 2002). Etapa III. Evaluación del impacto ambiental. Se utilizó la metodología de Canter (1998). Se realizaron recorridos y observaciones en toda el área evaluada para identificar la distribución y localización de residuos sólidos y líquidos, se complementó con resultados de investigación científica publicada. Etapa IV. Elaboración de cartografía. Se elaboraron cuatro planos, el primero muestra la localización de las barrenaciones, el segundo representa los pozos agrológicos, el tercero muestra los perfiles y horizontes de cada perfil; y el cuarto ubica las áreas afectadas por los factores de impacto ambiental.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Suelos y sus características morfológicas

La catena de tipos de suelo está constituida por siete perfiles distribuidos en un transecto de 860 metros con dirección oeste a noreste, los primeros cuatro corresponden por la granulometría media al grupo Fluvisol (FL), los restantes tres perfiles tienen textura fina, desde la superficie hasta los 150 cm de profundidad, pertenecen al grupo Gleysol (GL) (Figura 2). La catena de perfiles inició en el bordo derecho del cauce seco del río Mezcalapa, el primer perfil se localizó frente al km 2 de la carretera federal 187 (Figura 2) y el séptimo en una superficie de cuatro hectáreas de reserva forestal, localizada a 860 m de distancia.



Figura 2. Distribución y localización de la catena de perfiles de suelo dentro de la Universidad Popular de la Chontalpa. Mayo y junio de 2018

Grupo Fluvisol

El suelo Fluvisol se localiza desde la margen del cauce seco del río hasta 425 m al este. En esta sección la urbanización desplazó el uso de suelo con cultivo de caña azúcar. La primera infraestructura universitaria, construida durante los años 1999 y 2000, fue el edificio denominado Módulo A (Figura 1), y la más reciente, todavía en proceso, es el edificio del Centro Cultural Universitario, ubicado entre los puntos de barrenación 13 y 14 (Figura 1). La estratigrafía es típica de

un suelo originado por la acumulación de sedimentos transportados por las corrientes de agua desde cauces desbordados de ríos o arroyos. La secuencia típica de las partículas en la profundidad es la siguiente: limo-arcillo-arenosa, limo-arcillosa, limo, limo-arcillo-arenosa y en el horizonte más profundo, se encontró arena (Figura 3). Por otro lado, la transición entre los horizontes es horizontal y tenue debido a que el suelo es joven, el relieve es plano y la textura es media a gruesa, no existen condiciones que propicien inundación, en consecuencia, tampoco procesos de reducción. La transición morfológica en los perfiles 1 a 4 sugiere que el frente del avance de los desbordes, de agua + sedimentos, fue homogéneo, esto se fundamenta porque el tipo de material dentro de cada horizonte es similar y el límite entre horizontes es horizontal. Se identificó mayor presencia de arcilla en el perfil 4 localizado a 425 metros del perfil 1, esto hace suponer que es el punto de transición entre los suelos Fluvisol y Gleysol. De acuerdo con los análisis químicos, se identificó que es un Fluvisol éutrico (FLeu) porque tiene más de 50 por ciento de saturación de bases en el primer horizonte, localizado entre 0 y 29/33 cm de profundidad. Un rasgo interesante de los FLeu es la presencia de fragmentos de cerámica incrustados en el horizonte oscuro del perfil, a una profundidad variable entre 60 a 121 cm; la mayor cantidad de fragmentos se encontró en el sitio 1, localizado en el barrote del río seco (Figuras 3 y 4ab). Otro rasgo del FLeu es la presencia de suelo endurecido en los tres horizontes superficiales del perfil 1 por paso constante de maquinaria en el cultivo de caña de azúcar, la densidad aparente varió de 1.26 g/mL en el horizonte 3 (56 a 93 cm de profundidad) y aumentó a 1.51 g/mL en el horizonte superficial (0-19 cm). En este suelo cañero se identificó en el horizonte 1 color claro en seco (10YR6/4 (pardo amarillento claro) (Figura 4a) y cambió a color amarillo parduzco (10YR6/6) en el horizonte 2, posiblemente por la quema y requema anuales de la caña de azúcar (Figura 4c). Se encontró ceniza en grietas horizontales y verticales en el primer horizonte del perfil 2 (Figuras 4cd), mismo que fue reportado por Rivera-Cruz et al. (2017) en el mismo suelo cañero. La profundidad del manto freático disminuyó con el incremento de la distancia al cauce del río seco: en el perfil 1 el agua se encontró a 3.21 m de profundidad; en el perfil 2, ubicado a 134 m del perfil 1, el agua se localizó a 2.3 m de profundidad; en el perfil 3, ubicado a 287 m del cauce, el manto se ubicó a 1.95 m de profundidad; por último, en el perfil 4, localizado a 425 del perfil 1, el agua freática se localizó a 1.64 m. De acuerdo con IUSS Working Group WRB (2015) desde tiempos prehistóricos los asentamientos humanos prefirieron establecerse en sitios cercanos a los diques de ríos por la buena fertilidad del suelo y porque son sitios seguros de los efectos de las inundaciones. Los resultados sugieren hallazgos similares en el sitio de estudio.

Grupo Gleysol

El Gleysol se localiza en la sección este del polígono evaluado, se representa con los perfiles 5, 6 y 7 (Figura 3). Las barrenaciones efectuadas durante el mes de abril permitieron la ubicación de suelo con textura arcillosa asociada con manto freático elevado y la presencia de procesos de reducción, en particular muchas motas y marcadas desde el segundo horizonte del perfil. El grupo GL se localiza desde la barrenación no. 13 (Figura 1) y se extendió a través de un cauce de 6 m de ancho con dirección noreste, tal como se indica con la flecha color azul. Este suelo con rasgos de reducción y color grisáceo tiene textura arcillosa y textura arcillo-arenosa en todo el perfil. A partir de 2014 el proceso de reducción del suelo aumentó por el encharcamiento del agua de lluvia, originada por la obstrucción perpendicular del cauce por la estructura del nuevo edificio que albergará el Centro Cultural Universitario (Figuras 1, 2 y 3). Las edades de los GL son jóvenes al igual que los FL, se aprecia en el tipo de transición entre los diferentes horizontes en los tres perfiles representativos. La transición entre los primeros dos horizontes es tenue por la acumulación gradual de materia orgánica en las áreas receptoras en los perfiles 6 y 7, no así en el perfil 5 que tiene similitud del relieve plano con los FL. La transición es irregular debido a la presencia de galerías de hasta 8 cm de diámetro que se distribuyen entre el horizonte superficial con los subyacentes, a través de las cuales se desplaza hacia abajo el material sobreyacente más oscuro.

La estratigrafía por color muestra transición irregular y marcada en el perfil 6 pero cambia a irregular y tenue en el perfil 7; la diferencia entre ambos patrones aparentemente se relaciona con la madurez del perfil 7 localizado en una reserva forestal; en cambio, en el 6 es también parte del cauce, pero sin vegetación estable y madura, con obstrucción hace dos años, que origina periodos prolongados de anegamiento. Un rasgo típico del grupo GL es el incremento de tamaño y cantidad de motas a mayor profundidad, para el caso específico del perfil 7 (Figuras 2 y 3) en el horizonte más profundo (105/127 - 143 cm de profundidad) la matriz ocupa el 50% del área de los agregados y las motas marcadas y prominentes, muy finas, finas y medias, ocupa el otro 50% del espacio.

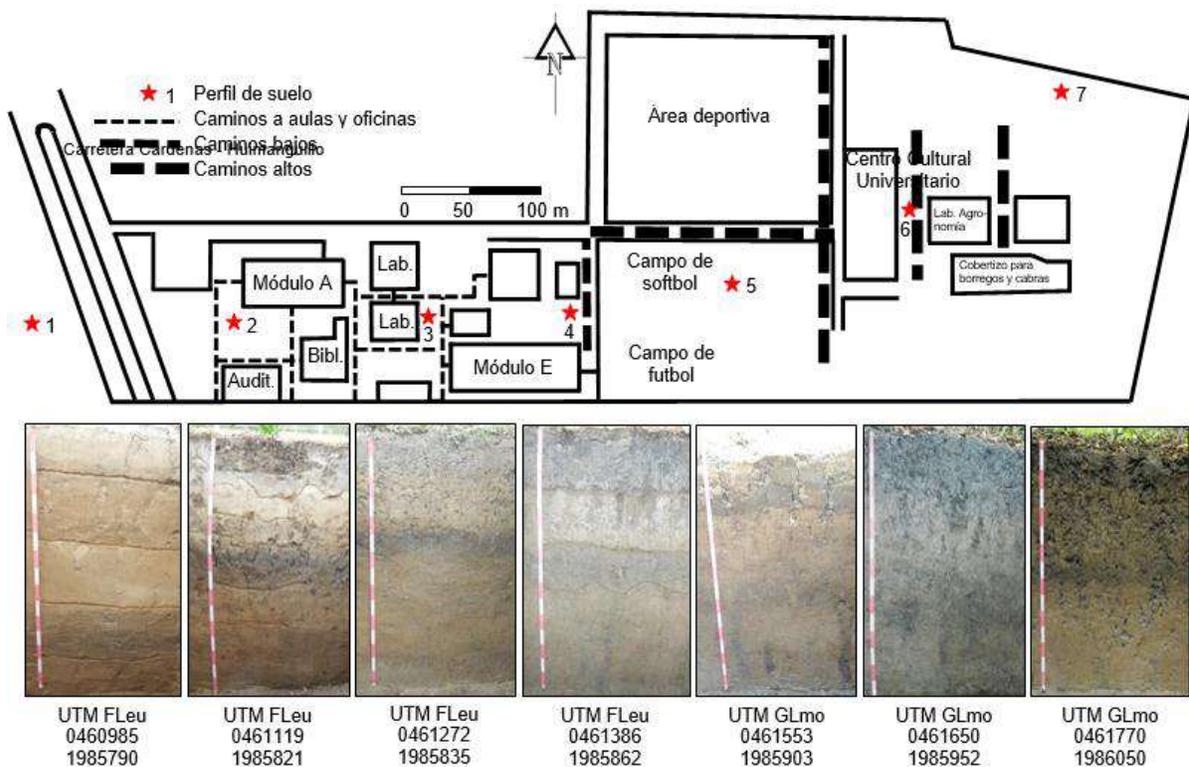


Figura 3. Localización de los perfiles de suelo y horizontes del Fluvisol éútrico (FLeu) y Gleysol mólico (GLmo) dentro de la Universidad Popular de la Chontalpa. Mayo y junio de 2018

De acuerdo con los análisis químicos, se identificó que es un Gleysol mólico (GLmo) porque tiene un horizonte superficial mólico (suave) superficial que posee seis características: color oscuro de horizonte superficial en los perfiles 5, 6 y 7 (Figuras 2 y 3), sus colores en seco son 10YR5/4, 10YR3/2 y 10YR2/1; moderado a alto contenido de materia orgánica (2.3 a 3.5%), alta saturación de bases, pH 6.9 en agua, además tiene estructura fuertemente desarrollada en bloques sub angulares muy fina, fina, media, gruesa y muy gruesa; y granular muy fina, fina, media y grande. Esta información obtenida en campo coincide con la información de IUSS Working Group WRB (2015). La localización del horizonte mólico correspondió al primer horizonte, se encontró en las profundidades 0-35/43 cm, 0 - 29/46 cm y de 0 - 18/26 cm en los perfiles 5, 6 y 7, respectivamente (Figuras 2 y 3). La profundidad del manto freático es más superficial respecto a la posición dentro del FLeu, varió de 140 a 154 cm.

Distribución de áreas con alteraciones antrópicas

La degradación del suelo es causada por la infraestructura de caminos y edificios, además por el agua residual derivada de la actividad de restaurantes, sanitarios y de los laboratorios universitarios (Figura 5). El agua residual de los sanitarios se acumula, de manera temporal, sobre la superficie del suelo en las partes contiguas norte de los módulos B y D, por taponamiento de registros y de la tubería que descarga esta agua. Otras áreas afectadas se localizan en la sección norte del módulo E, también al este del edificio de Rectoría, donde precisamente se localizan las presas del agua residual. A partir de las presas de captación y almacenamiento del agua se derivó, mediante tubería de PVC bajo el camino, al norte a través de un dren, sin revestimiento, de 0.4 m de plantilla, 1.2 m de corona y 150 de longitud, al final se encuentra una excavación para la captación del agua residual, localizado a dos metros al noreste del punto de barrenación no. 1 (Figura 1). El agua residual no recibe tratamiento, representa riesgos a la salud pública porque está contaminada con microorganismos patógenos (Martínez, 2014; Pérez, 2014; Trujillo-Narcía et al., 2014). Otro factor de degradación de los suelos FLeu y GLmo es la inundación por el encharcamiento del agua de lluvia, causada por los caminos elevados que obstruyen el flujo del agua hacia el noroeste, que es la dirección de descarga general, y también del este al noreste a través de un cauce natural (Figura 1). Al menos en la sección este del polígono, ocupado por suelos arcillosos, la gleyzación (Greenland y Hayes, 1981) puede aumentar por la mayor exposición del suelo a anegamiento y por efecto más prolongado del manto freático.

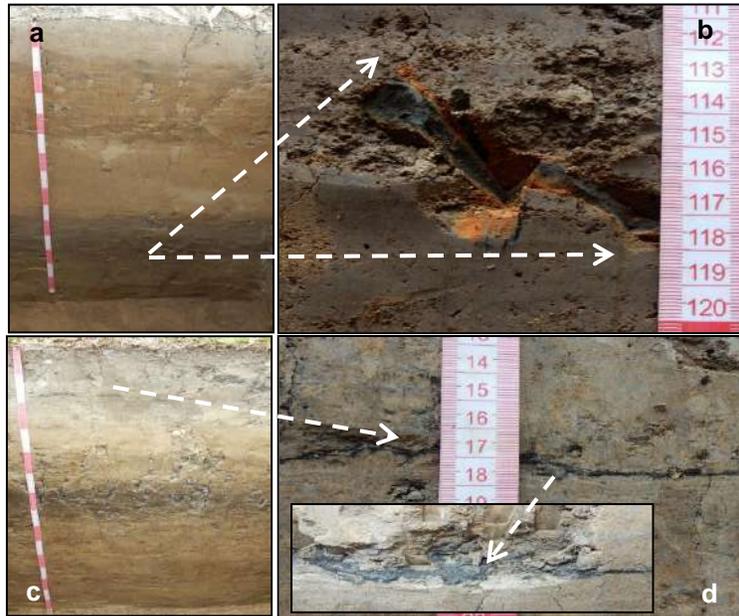


Figura 4. Presencia de fragmentos de cerámica y acumulación de ceniza en el suelo Fluvisol éutrico.

Las áreas más afectadas por la inundación incluyen el área deportiva de softbol y futbol, además en las partes del cauce obstruidas por escombros, localizadas en los puntos de barrenación 14 y 15 (Figura 1). La inundación del FLeu en la sección oeste del polígono (Figura 5), causada por los caminos que comunican a las aulas, laboratorios, biblioteca y oficinas, origina menor impacto ambiental porque la textura es media, el agua registra mayor velocidad de infiltración. El relleno del FLeu con 30 cm de arena en el área de la deportiva (Figuras 5 y 6) redujo la capacidad de almacenamiento de agua y de aireación del suelo, el impacto ambiental se manifiesta en la disminución de la disponibilidad de agua para la planta, en consecuencia, también en la calidad del suministro de nutrientes para la planta. La capa de arena, a pesar de la compactación, tiene el potencial de aumentar la tasa de lixiviación y la disminución de la mineralización por la menor cantidad de humedad, que puede limitar la actividad microbiana (Madigan et al., 2009).



Figura 5. Causas de impacto ambiental y su localización dentro de la Universidad Popular de la Chontalpa. Junio de 2018.

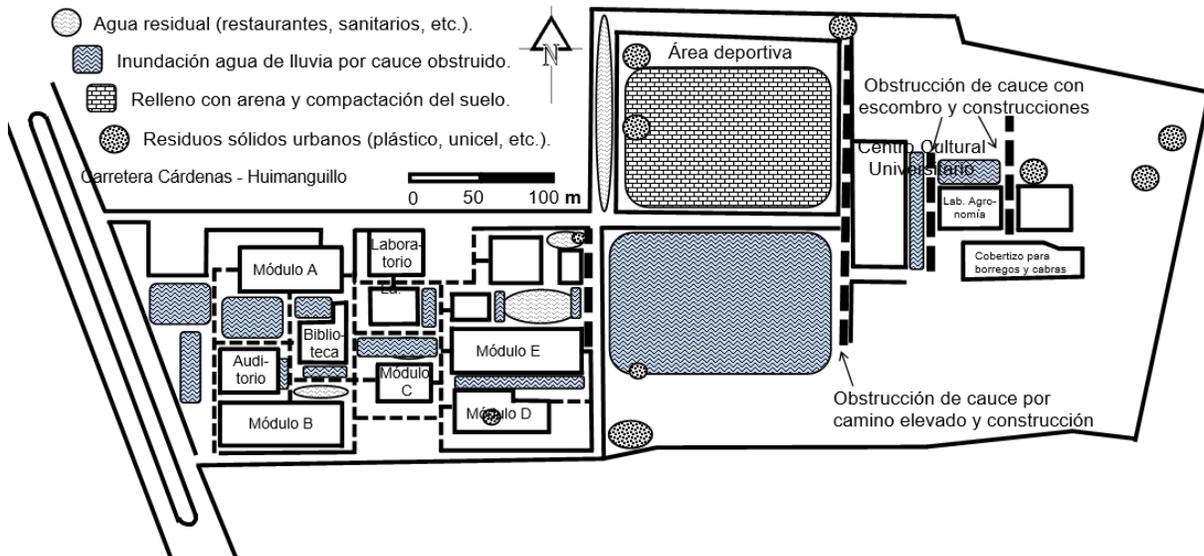


Figura 6. Causas de impacto ambiental y su localización dentro de la Universidad Popular de la Chontalpa. Junio de 2018.

Se ha observado la disminución del crecimiento de las especies vegetales como diversos pastos, algodón, zapote de agua y de palmas. Otro factor de impacto ambiental es la acumulación de los residuos producidos en los restaurantes, sanitarios y por el mobiliario escolar que no funciona para su uso, es decir, descompuesto o parcialmente destruido. Existen varios lugares del área evaluada donde el impacto ambiental es evidente por la acumulación crónica de residuos sólidos diversos, uno es el más visible, se localiza al este del Módulo D (Figura 5), es el basurero a cielo abierto que concentra cada día bolsas negras de plástico llenas de residuos sólidos: botellas de plástico de aguas azucaradas, vasos y platos de unicel, bolsas de plástico, papel, etc. Otros sitios afectados por la acumulación de residuos sólidos se distribuyen en el área deportiva, al sur del Módulo D, aquí existe un montículo de respaldos de sillas, constituidos por tela sintética y esponja. En el área de la reserva forestal también se encuentran tres sitios contaminados con botellas de vidrio y de plástico, vasos y platos de unicel, bolsas de plástico, bolsas de frituras, fragmentos de lias y plástico de colores utilizados durante eventos deportivos y para experimentos agrícolas. Estos experimentos, además de la degradación de la flora y del suelo, promueven el corte y la extracción de tallos y ramas de árboles y arbustos que conforman la reserva forestal; es decir, causa la deforestación.

CONCLUSIONES

El estudio edafológico permitió la identificación del Fluvisol éutrico porque tiene más de 50 por ciento de saturación de bases en el primer horizonte, localizado entre 0 y 29/33 cm de profundidad. El Gleysol mólico se identificó por la presencia un horizonte superficial mólico (suave), localizado entre 0 a 26/46 cm de profundidad, de color oscuro, tiene moderado a alto contenido de materia orgánica, pH 6.9 en agua y estructura fuertemente desarrollada.

La degradación del suelo es por la compactación del suelo por paso constante de maquinaria pesada, anegamiento del suelo por lluvia debido a caminos elevados que obstruyen el flujo del agua, contaminación con agua residual derivada de la red de tuberías de PVC y acumulación de montículos de residuos sólidos.

AGRADECIMIENTOS

El autor ATN agradece al Sr. José Hernández, propietario de la plantación de caña de azúcar, por las facilidades para la excavación de la calicata del perfil de suelo en el punto 1.

LITERATURA CITADA

Anónimo. 1955. Cuencas del Grijalva y del Usumacinta. Ingeniería Hidráulica en México IX: 15-40 + Anexos cartográficos escala 1: 1000000

- Barkin, D. 1978. Desarrollo regional y reorganización campesina. La Chontalpa como reflejo del problema agropecuario mexicano. 1a. ed. Centro de Ecodesarrollo. Editorial Nueva Imagen. México, D.F. 173 p.
- Benassini, O. 1961. Proyecto Integral del Grijalva. Ingeniería Hidráulica en México XV: 75-88.
- Blake, G.R., and Hartge, K.H. 1986. Bulk density. In: Klute A. (ed.) Methods of Soil Analysis. Part I. Physical and Mineralogical Methods. Agronomy Monograph N° 9 (2nd ed.). ASA/SSSA. Madison, WI. pp. 363-375.
- Bouyoucos, G.J. 1962. Hydrometer improved methods for making particles size analysis of soil. Agronomy Journal 54: 464-465.
- Canter, L.W. 1998. Manual de Evaluación de Impacto Ambiental. Técnicas para la elaboración de los estudios de impacto. 2a. ed. Mc-Graw Hill. Interamericana de España, S.A.U. Madrid, Esp. 841 p.
- Craig, J.R., Vaughan, D.J. y Skinner, B.J. 2007. Recursos de la Tierra: Origen, uso e impacto ambiental. 3a. ed. Pearson Prentice Hall. Madrid, Esp. 656 p.
- Cuanalo, de la C.H. 1981. Manual para la descripción de perfiles de suelo en el campo. 2a. ed. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados. Chapingo, Méx. 40 p.
- Cunningham, W.P., and Cunningham, M.A. 2010. Environmental Science. A Global Concern. 11th ed. McGraw-Hill. New York. 616 p.
- de Alfaro, S.M. et al. 1979. Relaciones Histórico Geográficas de la Provincia de Tabasco. Consejo Editorial del Gobierno del Estado de Tabasco. Villahermosa, Tab. 52 p. + plano
- DOF. 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación. Segunda Sección. M artes 31 de diciembre de 2002. 85 p.
- Doperto, U.S. 1979. Tabasco en la Época Precolombina. Consejo Editorial del Gobierno del Estado de Tabasco. Villahermosa, Tab. 54 p.
- Echeagaray, B.L. 1956. Somera descripción de las condiciones hidrológicas de la Cuenca Grijalva-Usumacinta. Ingeniería Hidráulica en México X: 27-32.
- Echeagaray, B.L., Cravioto, E. y Díaz, H.P. 1956. Las Inundaciones en Tabasco. Ingeniería Hidráulica en México X: 11-38. + anexos
- Echeagaray, B.L. 1957. Algunas consideraciones sobre planeación de las obras en la Cuenca del Grijalva. Ingeniería Hidráulica en México XI: 9-20.
- Enger, E.D. y Smith, B.F. 2006. Ciencia Ambiental. Un estudio de interrelaciones. 10a. ed. McGraw-Hill. México, D.F. 476 p. + Anexos
- Greenland, D.J., and Hayes, M.H.B. 1981. Soil Processes. In: Greenland D.J., and Hayes M.H.B. (eds.). The Chemistry of Soil Processes. John Wiley and Sons Ltd. Belfast. pp. 1-35
- IUSS Working Group WRB. 2015. Base Referencial Mundial del Recurso Suelo 2014, Actualización 2015. Sistema Internacional de Clasificación de Suelos para la Nomenclatura de Suelos y la Creación de Leyendas de Mapas de Suelos. Informes sobre recursos mundiales de suelos 106. FAO, Roma. 206 p.
- Madigan, M.T., Martinko, J.M., Dunlap, P.V. y Clark, D.P. 2009. Biología de los Microorganismos. 12a. ed. Pearson Educación. Madrid, Esp. 1296 p.
- Martínez, B.O. 2014. Efecto del agua residual tratada en el crecimiento de *Raphanus sativus* L. Tesis Licenciado Químico Fármaco Biólogo. Universidad Popular de la Chontalpa. H. Cárdenas, Tab. 57 p.
- Masters, G.M. y Ela, W.P. 2008. Introducción a la Ingeniería Medioambiental. 3a. ed. Pearson Prentice Hall. Madrid, Esp. 737 p.
- Munsell Color. 2000. Munsell® Soil Color Charts. Year 2000 Revised Washable Edition. Grand Rapids. MI.
- Pérez, H.E. 2014. Calidad microbiológica del agua residual tratada para la producción de rábano. Tesis Licenciado Químico Fármaco Biólogo. Universidad Popular de la Chontalpa. H. Cárdenas, Tab. 62 p.
- Revel-Mouroz, J. 1980. Aprovechamiento y colonización del trópico húmedo mexicano. La vertiente del Golfo y del Caribe. 1a. ed. Fondo de Cultura Económica. México, D.F. 391 p.
- Rivera-Cruz, M.C., Magaña-Aquino, M. y Trujillo-Narcía, A. 2017. Modificaciones en materia orgánica y actividad enzimática del suelo por fuego usado en la quema de la caña de azúcar. In:

- Seguridad Alimentaria: Aportaciones Científicas y Agrotecnológicas. 1a. ed. UJAT. INIFAP. Villahermosa, Tab. pp. 393-397
- Rovirosa, J.N. 1978. Una excursión a las lagunas de Atasta. Hallazgo de plantas sud-americanas en Tabasco. In: Obras Científicas de José N. Rovirosa (1887-1910). Ediciones de la Sociedad Mexicana de Historia Natural. México, D.F. pp. 173-179
- Santa, A.J.C. 1979. Notas para la Historia de la Agricultura en Tabasco. 1a. ed. Consejo Editorial del Gobierno del Estado de Tabasco. México, D.F. 90 p.
- SEMARNAT. 2016. Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave, de Desempeño Ambiental y de Crecimiento Verde. Edición 2015. Ciudad de México. 470 p.
- Trujillo-Narcía, A., Rivera, L.C.M., Hernández, A.C.V. y Rivera-Cruz, M.C. 2014. Tratamiento físico de agua residual urbana para la eliminación de bacterias coliformes. Sistema piloto. Investigación y Posgrado 4: 39-46,
- Walkley, A., and Black, I.A. 1934. An examination of Degjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science 37: 29-38
- West, R.C., Psuty, N.P. y Thom, B.G. 1976. Las Tierras Bajas de Tabasco en el Sureste de México. 1a. ed. Gobierno del Estado de Tabasco. Villahermosa, Tabasco. 199 p.

**DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DE RAÍCES, NÓDULOS Y DENSIDAD DE
Rhizobium spp EN LA LEGUMINOSA ZARZA *Mimosa pigra* L.**
SPATIAL AND TEMPORAL DISTRIBUTION OF ROOTS, NODULES AND DENSITY OF *Rhizobium*
spp. OF THE LEGUMINOUS SHAMEPLANT *Mimosa pigra* L.

¹Trujillo-Narcía A, ²Rivera-Cruz MC, ³Chávez AK, ³Ramírez SKA, ³Limón SE, ⁴Jiménez JJC

¹Cuerpo Académico Energía y Medioambiente. Programa Educativo Químico Farmacéutico Biología. Universidad Popular de la Chontalpa (UPCh). Carretera Cárdenas-Huimanguillo km 2, Ra. Paso y Playa. Cárdenas, Tabasco, Méx. CP 86500

²Laboratorio de Microbiología Agrícola y Ambiental. Colegio de Postgraduados Campus Tabasco.

³Programa Educativo Ingeniería Química Petrolera. UPCh.

⁴Área de Mantenimiento. UPCh

Autor para correspondencia: mariari@colpos.mx

RESUMEN

Se realizaron durante diciembre de 2017 a junio de 2018 estudios en campo y en laboratorio para identificar las distribuciones temporal y espacial del sistema radical, cantidad y tamaño de nódulos, viabilidad de los nódulos y la densidad poblacional de la bacteria *Rhizobium* aislada del nódulo. Se cultivaron en un Fluvisol éutrico plantas de la leguminosa zarza (*Mimosa pigra* L.) bajo sistema de riego para el aseguramiento de la humedad a capacidad de campo. Tres plantas fueron cosechadas a los 30, 60, 90, 120 y 150 días después del trasplante, para ello se excavó con pala recta un m³ del suelo y se separó la raíz y los nódulos de las capas 0-0.3, 0.3-0.6, 0.6-0.9 y 0.90-1.0 m de profundidad. Se lavó la raíz, se secó en horno a 72 °C durante 48 h y se pesó; los nódulos se lavaron, contaron y se midieron con vernier digital con precisión 0.001 mm. La viabilidad del nódulo se determinó por la presencia/ ausencia del color o anaranjado en su interior, que corresponde a la leg-hemoglobina; la densidad poblacional de *Rhizobium* se determinó mediante dilución seriada en medio de cultivo levadura manitol-agar e incubación a 28 °C. Las medias de las cinco variables evaluadas tienen diferencias estadísticas (Tukey, p≤0.05) por efecto de profundidad y de tiempo. La distribución y la viabilidad de los nódulos abarcó toda la profundidad evaluada, la presencia de *Rhizobium* se distribuyó en todo el perfil del suelo, las densidades de la bacteria alcanzaron hasta 60000 UFC por mL de extracto del nódulo. Estos resultados destacan los beneficios en la fertilidad y en la sustentabilidad del suelo aportados por esta leguminosa.

Palabras clave: bacteria, Fluvisol, leg-hemoglobina, nitrógeno, viabilidad.

INTRODUCCION

El grupo de plantas formadas por la Familia Leguminosae es muy variado y se distribuyen en todas las regiones climáticas de nuestro planeta. Según Rzedowski *et al.* (2016) en el mundo existen 727 géneros y 19325 especies de leguminosas, es la tercera más abundante en biodiversidad, sólo después de las orquídeas y compuestas (Cano y Marroquín, 1994). En nuestro país se han reportado 139 géneros y 1850 especies, forman una familia botánica extensa e importante por sus beneficios diversos ecológicos, económicos y sociales (Cano y Marroquín, 1994). Una especie es *Mimosa pigra* L., pertenece a la Subfamilia Mimosoideae, conocida en Tabasco como chapapul (López, 1980) y zarza (Magaña, 1995; Novelo, 2006). *M. pigra* es un arbusto perenne adaptado a zonas de marismas, terrenos húmedos inundables, a menudo en áreas arenosas bajas a lo largo de arroyos y ríos, frecuente en campos de tierras altas y en praderas. Se localiza también como maleza en cultivos de caña de azúcar, maleza muy común en terrenos inundables, en orillas de lagunas, manglares, pantanos, dunas costeras y vegetación secundaria. Es un arbusto rígido erecto, comúnmente de 1 a 2 metros de altura pero puede alcanzar hasta 4 m (Standley y Steyermark, 1946; Novelo, 2006; Martínez-Bernal *et al.*, 2008). Se sabe que no todas las leguminosas tienen nódulos en su sistema radicular pero estudios han demostrado que el 95% de las especies de la Subfamilia Mimosoideae forman nódulos (Subba, 2001). El nódulo radical es una estructura adherida a la raíz que contiene bacterias simbióticas fijadoras de nitrógeno (Lambers *et al.*, 1998; Madigan *et al.*, 2009), un tipo de bacteria es del género *Rhizobium* (Subba, 2001; Madigan *et al.*, 2009). La relación simbiótica planta - *Rhizobium* ocurre dentro de los nódulos y favorece la fijación del N atmosférico molecular mediante reacciones energéticas en presencia del O₂ con la molécula de leg-hemoglobina (Madigan *et al.*,

2009). Los usos reportados de esta planta son como especie melífera, medicinal y para fines tradicionales mágico-religiosos (Martínez-Bernal *et al.*, 2008), también como especie bioindicadora para estudios de niveles de tolerancia de suelos contaminados con petróleo (Rivera-Cruz *et al.*, 2005). No existen estudios de la parte subterránea de la planta de zarza que especifiquen las características morfológicas y microbiológicas de las raíces y de sus nódulos. La raíz desempeña funciones fundamentales en el soporte y en la nutrición vegetal, asimismo en la formación de nódulos y la simbiosis con el grupo de bacterias fijadoras de nitrógeno. La ausencia de esta información justifica el presente estudio para identificar las distribuciones temporal y espacial del sistema radical, cantidad y tamaño de nódulos, viabilidad de los nódulos y la densidad poblacional de la bacteria *Rhizobium* aislada del nódulo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y superficie del sitio. El sitio de estudio se localiza en la Universidad Popular de la Chontalpa, pertenece al municipio de Cárdenas, Tabasco. Las coordenadas UTM del sitio cultivado con plantas de zarza (*Mimosa pigra* L.) son 15Q 0461432 y 1985779, la superficie cultivada abarca 400 m² (Figuras 1 y 2).

Fecha de realización del estudio. Se efectuó durante siete meses a partir de principios de diciembre de 2017 a finales de junio de 2018.

Procedimiento y materiales utilizados. El estudio se integró de ocho etapas secuenciales. **Etapas I. Colecta de vainas y semillas.** Se realizó el uno de diciembre del año 2017. Las vainas maduras se cortaron y se introdujeron en bolsas de papel y se conservaron bajo sombra dos días en micro-túnel. Se separaron las semillas centrales de la vaina, y se seleccionaron las semillas sanas. **Etapas II. Establecimiento de vivero.** Se molió suelo seco y se tamizó en malla de 5 mm de abertura, se llenaron bolsas negras de vivero con 0.5 kg de suelo cada una, se sembró una semilla en cada bolsa y se aplicó riego a capacidad de campo. La producción de plántulas se realizó durante 45 días. **Etapas III. Trasplante.** El día 16 de enero se trasplantaron las plántulas de la bolsa al suelo Fluvisol éutrico en el sitio experimental de 400 m², la siembra fue cada dos metros en diseño marco real. **Etapas IV. Manejo agronómico.** La plantación de la leguminosa se mantuvo irrigada para la conservación de la humedad del suelo a capacidad de campo, además se controló de manera manual los brotes aislados del hemíptero piojo harinoso (*Planococcus* sp) que succionan la savia en el meristemo apical. **Etapas V. Cosecha mensual.** Los días 16 de febrero, marzo, abril, mayo y junio se cosecharon tres plantas de zarza, se extrajeron las raíces y los nódulos de un m³. A partir del tallo de la planta se midió con una cinta 0.5 m hacia los cuatro puntos cardinales, así se formó un m², después se excavó un metro de profundidad, en total fue un m³ de extracción de material biológico. La extracción de la raíz y de los nódulos se separó en cuatro capas del suelo: 0 - 0.3, 0.3 - 0.6, 0.6 - 0.9 y 0.9 - 1.0 m de profundidad. Se extrajo la raíz de cada capa y se separaron los nódulos; la raíz y el nódulo se lavaron con cuidado y se introdujeron en bolsa de papel y en frasco de vidrio con agua destilada, respectivamente. Se etiquetaron las bolsas y los frascos. Los frascos se preservaron en hielera con hielo. La biomasa aérea (tallo, flores y hojas) se introdujo en bolsas etiquetadas de papel. Se transportó el material vegetal al laboratorio, los frascos con nódulos se preservaron en refrigerador a 4 °C durante dos días. Se cosechó también el tallo, hojas, flores y frutos. **Etapas VI. Secado de la biomasa.** La raíz y la biomasa aérea se secaron en horno a 72 °C durante 72 horas, en seguida se pesó en balanza con precisión de 0.001 g. **Etapas VII. Biomasa y viabilidad de nódulos.** Se pesó la biomasa de los nódulos frescos en balanza analítica con precisión de 0.0001, después se realizaron cortes de los nódulos, se cortaron a la mitad con un bisturí y se observó el color del interior del nódulo, es viable si tiene coloración anaranjada o rojiza, que es el color indicativo de la presencia de la proteína leg-hemoglobina (FAO, 1995; Madigan *et al.*, 2009). **Etapas VIII. Siembra, incubación y conteo de bacterias.** La densidad de *Rhizobium* spp asociado con nódulos se realizó mediante incubación con la técnica de dilución seriada según Madigan *et al.* (2009), para ello se preparó medio levadura manitol-agar (CIAT, 1988). El conteo de las unidades formadoras de colonias (UFC) se realizó en un contador de colonias.



Figura 1. Cultivo de la leguminosa zarza; hojas, flores, vainas y granos de la misma planta. Junio 2018.



Figura 2. Raíces de la planta de zarza en las profundidades 0 a 100 cm. Junio de 2018.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Producción de nódulos en diferentes tiempos y profundidades del suelo

La producción de nódulos fue variable en función de la profundidad del suelo y del tiempo transcurrido. Se identificaron en las cinco fechas evaluadas diferencias estadísticas (Tukey, $p \leq 0.05$) entre medias de cantidades de nódulos en las cuatro profundidades (0-0.3, 0.3-0.6, 0.6-0.9 y 0.9-1.0 m) (Cuadros 1 a 5). La tendencia de la formación de nódulos mostró incremento a mayor profundidad a través del tiempo. El día 30 después del trasplante la altura de la planta fue 9.7 cm y solo formó 16 nódulos en la profundidad 0-30 cm (Cuadro 1), todos fueron pequeños, menores de un mm de tamaño. El día 60 la planta midió 15.9 cm de altura y la longitud de la raíz se extendió a las capas 1 (0-30 cm de profundidad) y a la capa 2 (30-60 cm). La formación de nódulos también se extendió a ambas capas y aumentó tanto la cantidad de nódulos como su tamaño (Cuadros 2 y 8, Figura 3). Los nódulos de 1 a 5 mm en los primeros 30 cm del suelo son 165, son los más abundantes, representan el 59% de todos

los nódulos del suelo evaluado. El día 90 la planta midió 83 cm de altura y la raíz se extendió en todo el perfil (0-100 cm de profundidad). La cantidad total de nódulos fue 147, menor 47% respecto a la cantidad del día 60 (Cuadros 2, 3 y 8). La distribución espacial de los nódulos abarcó las cuatro capas pero el 68% se extrajo de la capa superficial del suelo (Cuadro 3), además el tamaño más frecuente fue 5 a 10 mm, que representó el 25% de todos los nódulos.

Cuadro 1. Cantidades de nódulos de la planta de zarza en diferentes profundidades del suelo el día 30 después del trasplante. 16 de febrero 2018.

Profundidad (cm)/		Nódulos			<i>Rhizobium</i>	
Tamaño nódulo (mm)		Fresco	Oscuro	Sub-total	Viabilidad (%)	Densidad UFC/mL)
0-30	< 1	16	0	^s 16a	20a	0a
	1-3	0	0	0b		
	3-5	0	0	0b		
	5-10	0	0	0b		
	Sub-total	16	0	16		
30-60	< 1	0	0	0b	0b	0a
	1-3	0	0	0b		
	3-5	0	0	0b		
	5-10	0	0	0b		
	Sub-total	0	0	0		
60-90	< 1	0	0	0b	0b	0a
	1-3	0	0	0b		
	3-5	0	0	0b		
	5-10	0	0	0b		
	Sub-total	0	0	0		
90-100	< 1	0	0	0b	0b	0a
	1-3	0	0	0b		
	3-5	0	0	0b		
	5-10	0	0	0b		
	Sub-total	0	0	0		
0-100 cm		16	0	Total: 16		

^sMedias de cantidad de nódulos. Letras diferentes indican diferencias estadísticas (Tukey, $p \leq 0.05$, $a > b$, $n=3$).

El día 120 la altura de la planta fue 123 cm, inició la floración en todas las plantas sembradas, la raíz también creció a todo el m^3 estudiado; es decir, llegó hasta un metro de profundidad. La cantidad de nódulos formados fue 298, volvió a incrementarse y fue estadísticamente similar con la cantidad del día 60 (Cuadros 2, 4 y 8). La capa superficial tuvo 205 nódulos, representan el 68.8% del total. Las capas 2, 3 y 4, ubicadas en las profundidades 30-60, 60-90 y 90-100 cm, tuvieron de 23 a 39 nódulos, con tendencia decreciente al aumentar la profundidad (Cuadro 4). Los tamaños de nódulos más frecuentes fueron 1 a 3 mm, que coincide con el mismo tamaño modal encontrado el día 30 (Cuadros 1 y 4). El día 150 la altura de la planta alcanzó 243 cm, la inflorescencia generalizada en capítulo cubrió todas las partes terminales de las ramas y algunas axilares con flores individuales y hasta tres. La raíz se extendió a todo el volumen del suelo estudiado, un m^3 . El total de nódulos extraídos del suelo fue 251, disminuyó 18.7% respecto a la cantidad del día 120 (Cuadros 4, 5 y 8). La mayor proporción de nódulos se encontró en el suelo superficial (0-30 cm) con tamaño de 1-3 mm (Cuadro 5), en las demás capas también fueron los más numerosos. Se identificó que en la capa 2 se formó la mayor cantidad de nódulos, fue el 50% del total, disminuyó a 9 en la capa más profunda (90-100 cm), solo fue el 3.6%.

Producción de biomasa de raíz y nódulo

La formación de raíces y nódulos en la planta de zarza aumentó en forma gradual durante los 150 días evaluados (Figura 4). El incremento de la cantidad de nódulos tiene la misma tendencia que la elongación del sistema radical dentro del subsuelo. La madurez de los tejidos de la raíz, sugiere, contribuyó en la nutrición y condiciones favorables para la formación de mayor cantidad de nódulos habitados por bacterias fijadoras de nitrógeno. Por ejemplo, el día 30 la raíz solamente se encontró en la capa superficial, por ello solo se colectaron los 16 nódulos; el día 60 la raíz se extendió en la profundidad 0-60 cm, la humedad del suelo se mantuvo mediante irrigación entre 25 y 35% de humedad, fueron condiciones favorables que propiciaron la formación de 279 nódulos, cantidad que

representa un incremento de 1743% comparada con la cantidad de nódulos formados el día 30 (Cuadros 1 y 2, Figura 4).



Figura 3. Raíces y nódulos en la planta de zarza. Marzo de 2018.

A partir del día 90 hasta el 150 el suelo fue poblado por el sistema radical de la leguminosa zarza, esta estructura de absorción y transporte de agua y nutrimentos, complementada con la actividad fotosintética, favoreció la formación de nódulos, que varió de 147 en todo el perfil el día 90 y aumentó a 298 nódulos el día 120 (Figura 4). Ocurrió disminución de 18.7% de los nódulos el día 150 comparada a la población del día 120, es posible que fue causada por el inicio de la floración generalizada del día 122 al 150, algún proceso bioquímico influyó en la disminución de los nódulos. Se encontraron abundantes nódulos en procesos de descomposición, de colores oscuros por necrosis, de estructura muy suave y de consistencia masosa. De manera general se encontró que la relación entre las biomásas de la raíz y del nódulo mantuvieron una relación entre de 2.68 el día 90 y disminuyó a 1.58, el día 150 aumentó a 4.23, lo anterior se atribuye al cambio de etapa fenológica, de crecimiento a la floración

Cuadro 2. Cantidades de nódulos de la planta de zarza en diferentes profundidades del suelo el día 60 después del trasplante. 16 de marzo 2018.

Profundidad (cm)/ Tamaño nódulo (mm)		Nódulos			<i>Rhizobium</i>	
		Fresco	Oscuro	Sub-total	Viabilidad (%)	Densidad (UFC/mL)
0-30	< 1	18	38	^s 56b	30a	1430a
	1-3	51	33	84a		
	3-5	46	35	81a		
	5-10	4	2	6d		
	Sub-total	119	108	227		
30-60	< 1	11	0	11c	25b	153b
	1-3	17	0	17c		
	3-5	19	0	19c		
	5-10	5	0	5d		
	Sub-total	52	0	52		
60-90	< 1	0	0	0de	0c	0c
	1-3	0	0	0de		
	3-5	0	0	0de		
	5-10	0	0	0de		
	Sub-total	0	0	0		
90-100	< 1	0	0	0de	0c	0c
	1-3	0	0	0de		
	3-5	0	0	0de		
	5-10	0	0	0de		
	Sub-total	0	0	0		
0-100 cm		171	108	Total: 279		

^sMedias de cantidad de nódulos. Letras diferentes indican diferencias estadísticas (Tukey, $p \leq 0.05$, $a > b$, $n=3$).

Cuadro 3. Cantidades de nódulos de la planta de zarza en diferentes profundidades del suelo el día 90 después del trasplante. 16 de abril 2018.

Profundidad (cm)/ Tamaño nódulo (mm)		Nódulos			<i>Rhizobium</i>	
		Fresco	Oscuro	Sub-total	Viabilidad (%)	Densidad (UFC/mL)
0-30	< 1	15	4	19b		
	1-3	28	3	31ab		
	3-5	10	3	13c		
	5-10	22	15	37a		
	Sub-total	75	25	100	15ab	300x10 ² a
30-60	< 1	3	0	3de		
	1-3	6	0	6d		
	3-5	2	0	2de		
	5-10	0	0	0e		
	Sub-total	11	0	11	20a	106x10 ¹ b
60-90	< 1	24	0	24b		
	1-3	8	0	8d		
	3-5	0	0	0e		
	5-10	0	0	0e		
	Sub-total	32	0	32	10b	2x10 ¹ C
90-100	< 1	4	0	4d		
	1-3	0	0	0e		
	3-5	0	0	0e		
	5-10	0	0	0e		
	Sub-total	4	0	4	0c	0cd
0-100 cm		122	25	Total: 147		

^sMedias de cantidad de nódulos. Letras diferentes indican diferencias estadísticas (Tukey, p≤0.05, a>b, n=3).

Cuadro 4. Cantidades de nódulos de la planta de zarza en diferentes profundidades del suelo el día 120 después del trasplante. 16 de mayo 2018.

Profundidad (cm)/ Tamaño nódulo (mm)		Nódulo			<i>Rhizobium</i>	
		Fresco	Oscuro	Sub-total	Viabilidad (%)	Densidad (UFC/mL)
0-30	< 1	80	2	^s 82a		
	1-3	75	0	75a		
	3-5	37	0	37b		
	5-10	11	0	11cd		
	Sub-total	203	2	205	13a	300x10 ² a
30-60	< 1	3	0	3de		
	1-3	11	0	11cd		
	3-5	7	0	7d		
	5-10	2	0	2de		
	Sub-total	23	0	23	10ab	300x10 ² a
60-90	< 1	2	0	2de		
	1-3	19	0	19c		
	3-5	8	0	8d		
	5-10	5	2	7d		
	10-15	3	0	3de		
Sub-total	37	2	39	10ab	300x10 ² a	
90-100	< 1	10	1	11cd		
	1-3	10	3	13cd		
	3-5	5	1	6d		
	5-10	1	0	1de		
	Sub-total	26	5	31	5b	300x10 ² a
0-100 cm		289	9	Total: 298		

^sMedias de cantidad de nódulos. Letras diferentes indican diferencias estadísticas (Tukey, p≤0.05, a>b, n=3).

Viabilidad de nódulos y densidad de *Rhizobium*

La viabilidad de los nódulos según tiempo y profundidad muestra diferencias, de manera general se encontró mayor viabilidad de nódulos colectados de la capa superficial y también de los extraídos el día 150 (Cuadros 1 a 5). Esta afirmación se basó en la presencia de coloración rojiza dentro del nódulo (FAO, 1995; Madigan *et al.*, 2009), que es un indicador de presencia de la proteína leg-

hemoglobina. El día 30 solo se encontró nódulos en la capa 1, y del total el 20% fueron viables. Esta variable de fijación de N aumentó a 30% el día 60. La mayor viabilidad ocurrió en los nódulos colectados el día 150, varió de 10 a 70%. Estos valores altos (Cuadro 5) muestran el potencial para la fijación de nitrógeno de la planta de zarza en todo el perfil del suelo que abarca hasta 100 cm de profundidad (Cuadros 6, 7 y 8). La densidad poblacional de *Rhizobium* aislada de los nódulos confirman la validez de la viabilidad determinada por colorimetría (FAO, 1995). Respecto a la densidad poblacional de la bacteria *Rhizobium* spp, con excepción de las pruebas microbiológicas realizadas con el material biológico de los nódulos, se identificaron densidades bacterianas que fluctuaron de 20 a 61,000UFC por cada mL de solución madre (Cuadros 1 a 5, Figura 5). Los servicios ecosistémicos de la planta de zarza son evidentes ya que tiene el potencial, a través de la nodulación y la fijación de N atmosférico, aumenta la fertilidad del suelo, incrementa la aireación del suelo a través de los poros formados por las raíces y aporta materia orgánica.

Cuadro 5. Cantidades de nódulos de la planta de zarza en diferentes profundidades del suelo el día 150 después del trasplante. 16 de junio 2018.

Profundidad (cm)/ Tamaño nódulo (mm)		Nódulo			<i>Rhizobium</i>	
		Fresco	Oscuro	Sub-total	Viabilidad (%)	Densidad (UFC/mL)
0-30	< 1	0	0	^s 0d		
	1-3	61	2	63a		
	3-5	10	2	12c		
	5-10	5	2	7cd		
	Sub-total	76	6	82	70	61x10 ³ a
30-60	< 1	0	0	0d		
	1-3	45	4	49b		
	3-5	43	2	45b		
	5-10	31	1	32bc		
	Sub-total	119	7	126	20	54x10 ³ a
60-90	< 1	0	0	0d		
	1-3	13	1	14c		
	3-5	6	6	12c		
	5-10	3	5	8cd		
	Sub-total	22	12	34	60	22x10 ³ b
90-100	< 1	0	0	0d		
	1-3	3	1	4cd		
	3-5	0	1	1d		
	5-10	0	4	4cd		
	Sub-total	3	6	9	10	99x10 ¹ c
0-100 cm		220	31	Total: 251		

^sMedias de cantidad de nódulos. Letras diferentes indican diferencias estadísticas (Tukey, p≤0.05, a>b, n=3).

Cuadro 6. Tamaño de nódulos en cinco evaluaciones de la planta de zarza durante 150 días después del trasplante. Febrero a junio de 2018.

Tamaño de nódulo (mm)	Cantidad nódulos		
	Fresco	Oscuro	Sub-total
< 1	186	45	^s 231b
1-3	347	47	394a
3-5	193	50	243b
5-10	89	31	120c
10-15	3	0	3d
Totales	818	173	991

^sMedias de cantidad de nódulos. Letras diferentes indican diferencias estadísticas (Tukey, p≤0.05, a>b, n=15).

Cuadro 7. Efecto de profundidad en la cantidad de nódulos de la planta de zarza durante 150 días después del trasplante. Febrero a junio de 2018.

Profundidad suelo (cm)	Nódulo		
	Fresco	Oscuro	Sub-total
0 - 30	489	141	630 ^a
30 - 60	205	7	212 ^b
60 - 90	91	14	105 ^c
90 - 100	33	17	50 ^d
Totales	818	173	991

^aMedias de cantidad de nódulos. Letras diferentes indican diferencias estadísticas (Tukey, $p \leq 0.05$, $a > b$, $n=15$).

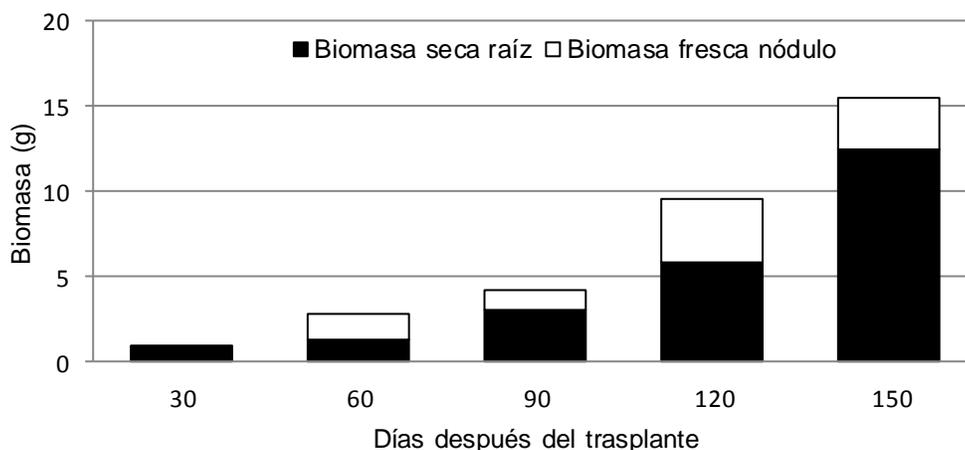


Figura 4. Producción de biomasa seca de raíz y biomasa fresca de nódulos de la planta de zarza durante 150 días. Junio de 2018.



Figura 5. Nódulos en la planta de zarza y colonias de la bacteria *Rhizobium* aisladas de nódulos.

CONCLUSIONES

La formación de raíces muestra tendencia creciente con el tiempo, el día 20 fue 0.75 g y el día 150 aumentó a 12.49 g de materia seca. Los datos la biomasa fresca de los nódulos fueron 0.039 y 2.95 g para los tiempos especificados antes. La producción acumulada durante los cinco meses fue 991 nódulos, de los cuales el 63.6% se colectó de la capa superficial del suelo (0-30 cm) y la menor fue 5% extraído de la capa más profunda (90-100 cm). El tamaño de todos los nódulos varió de < 1.0 a 15 mm, el 39.8% correspondió a los nódulos de 1 a 3 mm de longitud y solo el 0.03% fueron de tamaño

10 a 15 mm, la Figura 5 muestra la forma y el tamaño de los nódulos. En cuanto a la distribución temporal se identificó que el día 120 se formó la mayor cantidad de nódulos con 298, representa el 30% del total, y cerca con 279 nódulos el día 60 fue estadísticamente igual a los datos del día 120. Es posible que la floración generalizada, ocurrida entre los días 122 a 150, tenga alguna relación con la disminución de la cantidad de nódulos formados el día 150. La viabilidad de los nódulos fue mayor el día 150, varió de 10 a 70%, y según la capa en las cinco fechas fue mayor en la capa superficial, fluctuó de 13 a 70%. La densidad poblacional de la bacteria *Rhizobium* también registró la misma tendencia mayoritaria en la capa superficial y en el tiempo; fue mayor en la capa superficial el día 150, se contaron 66000 UFC.

Cuadro 8. Efecto de tiempo en la cantidad de nódulos de la planta de zarza durante cinco fechas después del trasplante. Febrero a junio de 2018.

Día	Nódulo		
	Fresco	Oscuro	Sub-total
30	16	0	[§] 16c
60	171	108	279a
90	122	25	147b
120	289	9	298a
150	220	31	251ab
Totales	818	173	991

[§]Medias de cantidad de nódulos. Letras diferentes indican diferencias estadísticas (Tukey, $p \leq 0.05$, $a > b$, $n = 15$).

LITERATURA CITADA

- Cano, y C.G. y Marroquín, de la F.J.S. 1994. Taxonomía de plantas superiores. 1a. ed. Editorial Trillas, S.A. de C.V. México, D.F. 359 p.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1988. Simbiosis Leguminosa-Rizobio. Manual de Métodos de Evaluación, Selección y Manejo Agronómico. Ed. Rev. Proyecto CIAT-UNDP de evaluación, selección y manejo de la simbiosis leguminosa-rizobia para aumentar la fijación de nitrógeno. Sección de Microbiología de Suelos del Programa de Pastos Tropicales y Sección de Microbiología de Suelos del Programa de Frijol. Cali, Col. 178 p.
- FAO. 1995. Manual Técnico de la Fijación Simbiótica de Nitrógeno. Leguminosa/ *Rhizobium*. Roma, Italia. 185 p.
- Lambers, H., Chapin, F.S. III, and Pons, T.L. 1998. Plant Physiological Ecology. Springer-Verlag New York, Inc. 540 p.
- López, M.R. 1980. Tipos de vegetación y su distribución en el estado de Tabasco y norte de Chiapas. 1a. ed. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, edo. México. 122 p.
- Madigan, M.T., Martinko, J.M., Dunlap, P.V. y Clark, D.P. 2009. Biología de los Microorganismos. 12a. ed. Pearson Educación. Madrid, Esp. 1296 p.
- Magaña, A.M.A. 1995. Catálogo de nombres vulgares y científicos de plantas de Tabasco. División Académica de Ciencias Biológicas. UJAT. Villahermosa, Tab. 205 p.
- Martínez-Bernal, A. Grether, R. y González-Amaro, R.M. 2008. Leguminosa I Mimosoideae: *Mimosa*. Flora de Veracruz Fascículo 147. Instituto de Ecología, A.C. Xalapa, Ver. 129 p.
- Novelo, R.A. 2006. Plantas acuáticas de la Reserva de la Biósfera Pantanos de Centla. 1a. ed. Espacios Naturales y Desarrollo Sustentable, A.C. México, D.F. 260 p.
- Rivera-Cruz, M.C., Trujillo-Narcía, A., Miranda, de la C.A. y Maldonado, C.E. 2005. Evaluación toxicológica de suelos contaminados con petróleos nuevo e intemperizado mediante ensayos con leguminosas. *Interciencia* 30: 326-331.
- Standley, P.C., and Steyermark, J.A. 1946. Leguminosae. Flora of Guatemala. *Fieldiana, Bot.* 24: 1-368.
- Subba, R.N.S. 2001. Soil Microbiology (Fourth edition of Soil Microorganisms and Plant Growth. 2nd ed. Science Publishers, Inc. India. 406 p.

CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA E HIDROLÓGICA DE UNA SUBCUENCA EN LA CUENCA BAJA DEL GRIJALVA
MORPHOMETRIC AND HYDROLOGICAL CHARACTERIZATION OF A SUB-BASIN IN THE LOWER BASIN OF THE GRIJALVA

Triana Acevedo LH, Galindo Alcántara A, Ruiz Acosta SC

Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica de la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiol) de la UJAT, Carretera Villahermosa-Cárdenas km 0.5 s/n, Entronque a Bosques de Saloya, Villahermosa, Tabasco, México.

Autor para correspondencia: VAMPIRE-LOVERS@outlook.com

RESUMEN

En el presente trabajo se analizaron algunas de las características morfológicas e hidrográficas de la subcuenca del río Teapa, para establecer el comportamiento de la red de drenaje y sus características físicas. Para conocer tales temas, se emplearon mapas además de un modelo digital de elevación (MED) para posteriormente procesarlos en el software ArcGis 10.1, de esta manera se obtuvo el área, la forma y elevación de la subcuenca, lo que dio como resultado el área de esta cuenca de 132,360 ha, y para su altitud: comprendidas por zonas altas de 1501 a 2200 msnm perteneciente al estado de Chiapas donde cruza por los municipios de Juárez, Pichucalco, Ixtacomitan, Chapultenango, Pantepec, Reforma, Ixhuitán, Ixtapangajoyá, Solosuchiapa y Tapalapa y la zona baja se ubican en el estado de Tabasco ocupando parte de los Municipios de Teapa y Centro.

se utilizó un mapa de geología para determinar qué tipo de rocas componen la cuenca, esta información fue descargada de INEGI, y se observó la distribución de los tipos de roca que hay en la subcuenca. El predominio fue principalmente de arenisca y lutita-arenisca y en menor proporción la ígnea extrusiva intermedia.

Agregando que también esta subcuenca tiene importancias socioeconómicas, ambientales, y económico financieras, que son de gran importancia para el desarrollo de actividades agroproductivas. Por todo esto podemos decir, que una caracterización morfológica e hidrológica es parte fundamental para el manejo sustentable de las cuencas.

Palabras clave: *Subcuenca, Tributarias, cauce, Modelo de elevación digital*

INTRODUCCION

Las cuencas hidrográficas se definen como el espacio de territorio delimitado por la línea divisoria de las aguas, conformado por un sistema hídrico que conducen sus aguas a un cauce principal, a un lago o a un mar. Este es un ámbito tridimensional que integra las interacciones entre la cobertura sobre el terreno, las profundidades del suelo y el entorno de la línea divisoria de las aguas (Ordoñez, 2011).

Con esto en mente la importancia de las cuencas reside en la principal función que desarrollan para las sociedades humanas en la cual, la cuenca hidrográfica representa una fuente de recursos naturales, como lo son particularmente el agua, suelo y vegetación, los cuales aseguran la calidad de vida y desarrollo sostenible de las sociedades cuando se emplea una gestión racional y equilibrada de estos recursos naturales (López *et al.*, 2013).

Sin embargo, su creciente deterioro propiciado por el comportamiento consumista y de desperdicio, ha acelerado los procesos de cambio climático, desastres, contaminación y destrucción de ecosistemas, poniendo de manifiesto la gravedad de la situación en muchos países. Atender este desafío es complejo,

ya que el camino a seguir debe permitir incluir de manera simultánea al menos las siguientes condiciones: luchar contra la erosión de suelo, la deforestación, los desastres por inundación o sequía, satisfacer las necesidades de calidad y cantidad de agua, asegurar la suficiencia agro-alimentaria con un buen manejo de las tierras agrícolas y/o una irrigación apropiada, desarrollar de forma armoniosa la industria, la producción energética, la recreación, así como, prevenir y combatir la contaminación del agua desde todos los orígenes (López, *op cit.*).

Particularmente México vive una degradación significativa de sus cuencas hidrográficas. La problemática general de pérdida de diversidad y degradación del suelo, así como el mal uso del agua y su contaminación por desechos industriales y domésticos; la pérdida masiva de cubierta vegetal en casi todos los ecosistemas forestales provocada por la deforestación y el atraso de la producción

primaria en el campo que no se ha podido resolver, deben ser motivo de una seria preocupación (Villanueva, 2002).

De esta manera para poder conocer las zonas de estudio de las cuencas y subcuencas del sureste que conforman a estos ecosistemas, es necesario conocer cómo se dividen, por lo que es importante comprender las regiones hidrológicas de Tabasco las cuales se divide en dos regiones hidrológicas (RH), la 29 o Coatzacoalcos y la 30 o Grijalva-Usumacinta definidas por los principales ríos que las forman. La RH29 se divide a su vez en siete subcuencas de las cuales la cuenca del río Tonalá y Lagunas del Carmen y Machona es la que influye en Tabasco con aproximadamente 24.8% de extensión territorial. La corriente principal es el río Tonalá, el cual tiene su origen en la sierra chiapaneca a 1000 msnm donde recibe el nombre de Tancochapa y desemboca en el Golfo de México. La RH30 comprende el 75.2% de la superficie del estado y se subdivide en tres cuencas: Río Usumacinta (29.2%), Laguna de Términos (4.5%) y Río Grijalva Villahermosa (41.5%). La cuenca Laguna de Términos es la que menor área del estado ocupa con tan solo 4.5% de la superficie total y se divide en las subcuencas Lagunas del Pom y Atasta, Río Chumpán, y varias zonas de inundación y escaso escurrimiento al inicio de las corrientes San Joaquín y El Pimiental (Ramos, 2009).

El río Grijalva es el segundo río más caudaloso del país, tiene un área de cuenca aproximada de 58,000 km², el cual nace en la República de Guatemala y desemboca en el Golfo de México, en el estado de Tabasco, después de haber cruzado el estado de Chiapas. Su aportación media anual hasta el sitio de la presa Peñitas es del orden de 22,840 mm³. El río Grijalva es un río continuo, que tiene su origen en la sierra guatemalteca de los Cuchumatanes. Resulta de la unión de dos corrientes importantes, el río San Miguel y el río San Gregorio. Una vez formado el río Grijalva por la convergencia de los ríos San Miguel y San Gregorio –prácticamente en la orilla oriental del vaso de la presa La Angostura–, sigue en dirección noroeste por el Valle de Chiapas. La parte de la cuenca del río Grijalva que se encuentra en Guatemala tiene un área de 5,260 km². En territorio mexicano, el cauce sigue una dirección sureste-noroeste, con sentido hacia el noroeste, a lo largo de la Depresión Central de Chiapas. Posteriormente atraviesa la Meseta Central por el Cañón del Sumidero, recorre las sierras del norte y desciende en la llanura tabasqueña hasta unirse al río Usumacinta, desembocando juntos en el Golfo de México (González, 2009).

De este modo se encuentra conformada la cuenca del río Grijalva, mientras que la subcuenca del río Teapa cuenta con una área de 132,360 ha, y una altitud de 1501 a 2200 metros sobre el nivel del mar (msnm), en sus zonas altas tiene de en zonas bajas tiene de 0 a 100 msnm, la cual se ubica en la zona central (Centro) y sur (Teapa) de Tabasco y el norte (Juárez, Pichucalco, Ixtacomitan, Chapultenango, Pantepec, Reforma, Ixhuatán, Ixtapangajoyá, Solosuchiapa y Tapalapa) de Chiapas, esta subcuenca pertenece a la cuenca baja del río Grijalva antes mencionada, tiene una altitud en sus zonas altas tiene de 1501 a 2200 msnm, en zonas bajas tiene de 0 a 100 msnm.

De acuerdo con lo antes mencionado, el presente proyecto tuvo como objetivo la caracterización morfológica de las cuencas, ya que es de gran importancia conocer la forma, tamaño y el área total donde se encuentra ubicado la cuenca (posicionamiento geográfico) lo que ayuda a determinar de manera eficiente el uso de suelo y al ser la morfometría de las cuencas una herramienta en el análisis hídrico nos ayuda a conocer la división de los cursos de los arroyos, con efecto a lo anterior otorgarle un manejo sustentable en el cual se promuevan y apliquen el uso sustentable de los ecosistemas como lo son las cuencas y subcuencas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Revisión bibliográfica:

Se realizó una búsqueda de información de interés relativa, a la temática en internet, artículos científicos, revistas, libros, cartografía, los temas que se investigaron y desarrollaron fueron: ¿que es una cuenca hidrográfica?, caracterización de una cuenca, delimitación de una cuenca, la forma de la cuenca, área, tamaño geográfico, línea divisoria de una cuenca, análisis morfológico y su relación con el funcionamiento hidrológico, la importancia de los conocimientos básicos de las cuencas hidrográficas y su relación con el ser humano, importancia de las cuencas en el abastecimiento de agua dulce, buen manejo de la cuenca, importancia de las cuencas hidrográficas, importancia socioeconómica, importancia económico-financiera, importancia ambiental, importancia física, e importancia social.

Una vez recopilada esta información bibliográfica se procedió a almacenarlos con la ayuda del Software Microsoft 2007, para así realizar el procesamiento de la información.

Digitalización:

La fotointerpretación tuvo como fin estudiar y analizar la información extraída mediante la descripción de un diseño con aplicaciones visuales y digitales de percepción remota como lo son las tablas, los mapas y fotos, y en la base de datos se puso todos los datos pertenecientes al tema de interés que se obtuvieron y se almacenaron sistemáticamente en un libro de Excel.

Instrumentación:

Los mapas que se descargaron fueron del Instituto Nacional de Estadísticas y Geografía (INEGI), Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO) se descargaron archivos en formato shape del año 2007 y con una escala de 1:250000, los cuales contienen información para la caracterización morfométrica e hidrológica de la cuenca.

Análisis de la información:

El software utilizado para el manejo de la información cartográfica fue el ArcGis 10.1, debido a la factibilidad de este para trabajar con Modelo digital de elevación de alta resolución con tamaño de celda de 5 metros, con lo que se obtuvo, la delimitación de la cuenca. Y gracias esto se pudo observar las pendientes con mayor y menor altitud.

Verificación en campo:

La aplicación de encuestas se realizó para obtener datos mismos que son utilizados para obtener información de alguna variable de interés y en el levantamiento de Información es el proceso mediante el cual se recopilaron los datos e información de la situación actual del sistema, con el propósito de identificar problemas y oportunidades de mejora.

Se visitó el área de estudio y se estuvo corroborado para ver si lo generado en el programa del software coincidía con la información de campo.

Vaciado de información:

En la base de datos aquí se procedió a poner toda la información obtenida del levantamiento de información, mediante las encuestas en la base de datos para obtener un parámetro, y saber el estado actual y sus condiciones actuales, y en la validación de información se mira de manera retrospectiva, lo que se hizo detalladamente para obtener los datos, y verificar si no hay ningún error, de igual manera si los datos obtenidos fueron de buena calidad y filiales.

Este trabajo se llevó a cabo en un periodo de 5 meses que abarcan los meses de agosto a diciembre 2017, en el laboratorio de sistemas de información geográfica de la división académica de ciencias biológicas (DACBIOL) de la UJAT, Carretera Villahermosa-Cárdenas km 0.5 s/n, Entronque a Bosques de Saloya, Villahermosa, Tabasco, México.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La subcuenca del río Teapa se ubica en la zona central (Centro) y sur (Teapa) de Tabasco y el norte (Juárez, Pichucalco, Ixtacomitan, Chapultenango, Pantepec, Reforma, Ixhutatán, Ixtapangajoya, Solosuchiapa y Tapalapa) de Chiapas, esta subcuenca pertenece a la cuenca baja del río Grijalva.

Área: Tiene un área de 132,360 ha.

Altitud: En sus Zonas altas tiene de 1501 a 2200 metro sobre el nivel del mar (MSNM), en zonas bajas tiene de 0 a 100 MSNM. (Ver Fig. 1)



Figura 1. Localización de la cuenca

(Ver con más detalle, en página 611).

En el mapa de la figura 2 se observa todos los municipios que se encuentran dentro de la subcuenca del río Teapa, de los cuales pertenecen dos municipios al estado de Tabasco siendo: Centro y Teapa

y diez municipios al estado de Chiapas siendo: Juárez, Pichucalco, Ixtacomitán, Chapultenango, Pantepec, Reforma, Ixhuatán, Ixtapangajoya, Solosuchiapa y Tapalapa.



Figura 2. Mapa de los municipios, que se encuentran dentro de la subcuenca del río Teapa.

Con ayuda del modelo digital de elevación se analizaron algunas de las características morfométricas e hidrográficas de la subcuenca de Teapa, para establecer el comportamiento de la red de drenaje y sus características físicas, para conocer tales temas, se emplearon mapas, y un modelo digital de elevación (MED) para posteriormente procesarlos en el software ArcGis 10.1 y de esta manera obtener el área, forma, elevación de la subcuenca, con este mapa también obtenemos la orientación de la pendiente. (Ver Fig. 3)

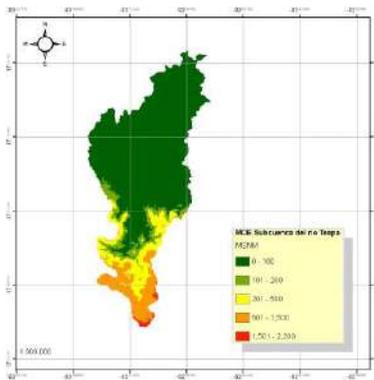


Figura 3. Modelo digital de elevación (MED)
(Ver con más detalle, en página 612).

Gracias a los sistemas de información geográfica se pudo obtener la red de escurrimientos dentro de las cuales se encuentran las corrientes tributarias que se presentan dentro de la cuenca que van desde el primer orden al quinto orden que conforman la cuenca, la cual inician en la parte de Chiapas para adentrarse en los municipios de Teapa y Centro del estado de Tabasco. (Ver Fig. 4)

En este mapa se observa el cauce principal de río que es de 141760 km de longitud, debido a que el parte aguas tiene una altitud mayor que el cauce principal, gran parte del agua que es por precipitación se escurre al cauce principal. (Ver Fig. 5)

En este mapa se representan el orden de las corrientes tributarias de la subcuenca de Teapa, Con un total de 622 corrientes tributarias de las cuales se clasifican por el nivel de bifurcación, siendo las de primer orden las que no tiene ramificaciones, las de segundo son cuando dos de primero orden se juntan y así sucesivamente. (Ver Fig. 6)

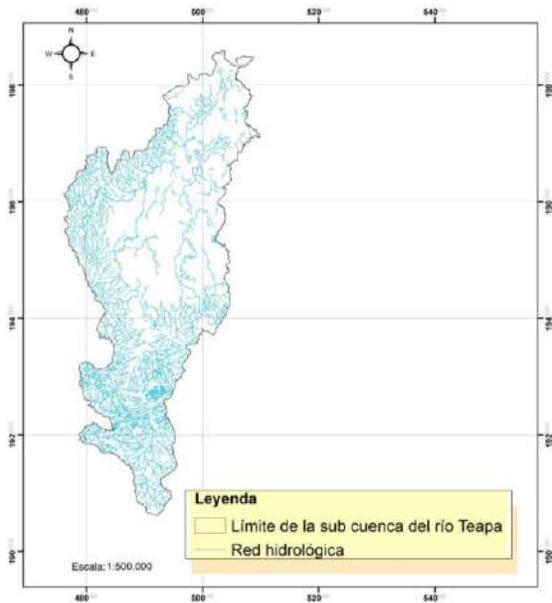


Figura 4. Mapa de escurrimiento

Primer Orden: 346 Corrientes tributarias
 Segundo Orden: 128 Corrientes tributarias
 Tercer Orden: 90 Corrientes tributarias
 Cuarto Orden: 40 Corrientes tributarias
 Quinto Orden: 18 Corrientes tributarias

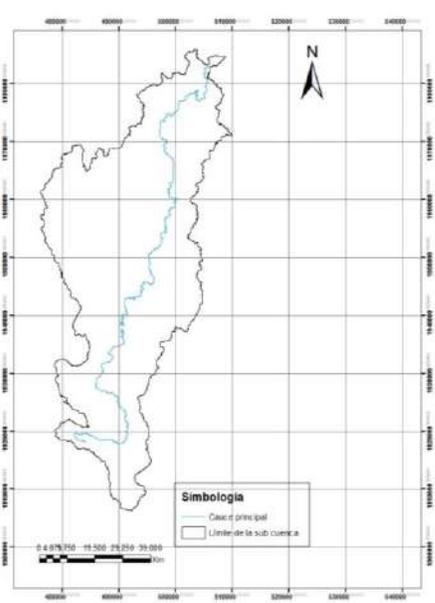


Figura 5. Mapa del cauce principal

En esta figura podemos observar que la altitud mayor del cauce es de 1800 metros y la menor es de 100 metros. La mayor pendiente comienza en el sur en la serranía de Chiapas y va descendiendo a los pastizales y pantanos de Tabasco en la parte norte de la cuenca. El tipo de curva hipsométrica que presenta la subcuenca es de Curva C: Es una cuenca sedimentaria (Fase de vejez) según Rojas, (2015) (Ver Fig. 7)

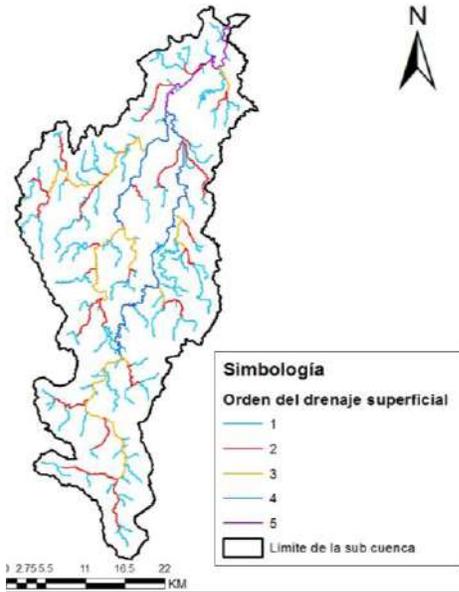


Figura 6. Mapa de clasificación de corrientes tributarias.

Viera *et al.*, (2012) clasificó en tres las corrientes; el “1” a las más pequeñas (no están ramificadas); el “2” tienen ramificaciones o tributarios de primer orden; el “3” con dos o más tributarios de orden dos o menor, Se digitalizaron las corrientes superficiales con base en las cartas topográficas escala 1:250 000 de INEGI (1992, 2000), El tipo de drenaje es dentrítico. En Tamaño de la cuenca. La cuenca ALIP presenta un área de 13,580.68 km² calculada con el módulo ArcMap (versión 9.2) del programa ArcGIS Desktop (Arcinfo Desktop), de acuerdo al polígono delimitado por la CNA (2008). Para la forma de la cuenca se obtuvo la relación de circularidad a partir de la fórmula de Morisawa (1959).

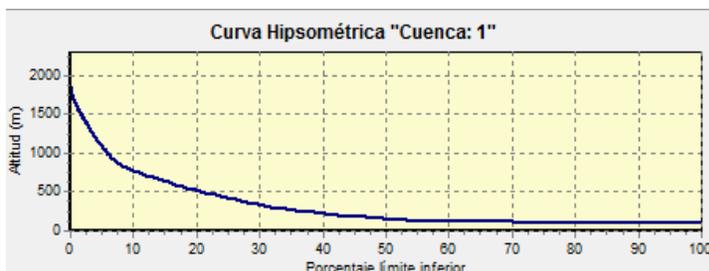


Figura 7. Grafica de curva hipsométrica

CONCLUSIONES

La caracterización morfométrica de las cuencas es una herramienta que ayuda a el análisis hídrico, que nos permite conocer sus características morfométricos e hidrográficas, para llevar a cabo un buen manejo de los recursos naturales que la componen y así de esta manera poder darles un uso racional sustentable.

Esto explica también que del análisis morfométrico de la cuenca y de la red de drenaje se desprende que la rapidez en la concentración de las aguas se ve favorecida por el tamaño de la cuenca y de los desniveles, más que por los índices de forma.

La forma es considerada una característica morfométrica cuyo concepto es complejo con muchos atributos específicos, Por esta razón es difícil caracterizar satisfactoriamente la forma de una cuenca mediante un simple valor numérico. Por lo que Gardiner, 1974 citado por Guerra & Gonzáles, 2002 propuso los atributos de la forma de una cuenca y así facilitar la interpretación de su forma. Por lo tanto, su forma es ovoide con la desembocadura en el extremo angosto, con una elongación alta y con una irregularidad del perímetro alta por lo cual su compatibilidad es baja.

El principal río que compone a la cuenca es el río Teapa, el cauce principal de río tiene una longitud de 141760 km.

El tipo de curva hipsométrica que presenta la subcuenca es de Curva C: Es una cuenca sedimentaria (Fase de vejez).

LITERATURA CITADA

Guerra, F. & Gonzáles, J.. (2002). Caracterización morfométrica de la cuenca de la quebrada, La Bermeja, San Cristóbal, estado Táchira, Venezuela. *Geoenseñanza*, 7, pp.88-108.

López, B.. (2013). Análisis del manejo de las cuencas como herramienta para el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales. *Revista chapingo serie zonas aridas*, 1, 40-45.

Viera-Briones, A., & López-Santos, A., & González-Barrios, J., & Trucios-Caciano, R. (2012). Caracterización de la cuenca alip con la ayuda de un sistema de información geográfica. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, XI (1), 23-34.

Villanueva, J.. (2002). *Microcuencas*. Texcoco, Mexico: Universidad Autónoma de Chapingo.

REFERENCIAS INFORMATICAS

Gonzáles, F. 2009. http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/ine_a1-027_2009.pdf Consultado el 09 de diciembre de 2017

Ramos, J. 2009. http://aestomas.org/wp-content/uploads/2009/05/cap1_introduccion.pdf (Consultado el 09 de diciembre de 2017).

PLANTA EN VIAS DE EXTINCION: *Licania platypus*, (Hemsl.) Fritsch DISTRIBUCION Y PROPAGACION EN LA REGION DE LA CHONTALPA, TABASCO
PLANTS IN EXTINTION ROUTES: *Licania platypus*, (Hemsl.) Fritsch DISTRIBUTION AND PROPAGATION IN THE REGION OF THE CHONTALPA TABASCO

¹Ruiz Beltrán P, ¹Salvador Esparza RM, ¹Olán Vidal Z, ¹Gerónimo Sánchez SJ, ²Rodríguez Cuevas M, ²Sumano López D

¹Universidad Popular de la Chontalpa, Carretera Cárdenas-Huimanguillo km.2 R/a Paso y Playa, H. Cárdenas Tabasco.

²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Carretera Federal Huimanguillo-Cárdenas Kilómetro 1, Huimanguillo Centro, 86400 Huimanguillo, Tabasco.
Autor para correspondencia: rossyfresh@hotmail.com

RESUMEN

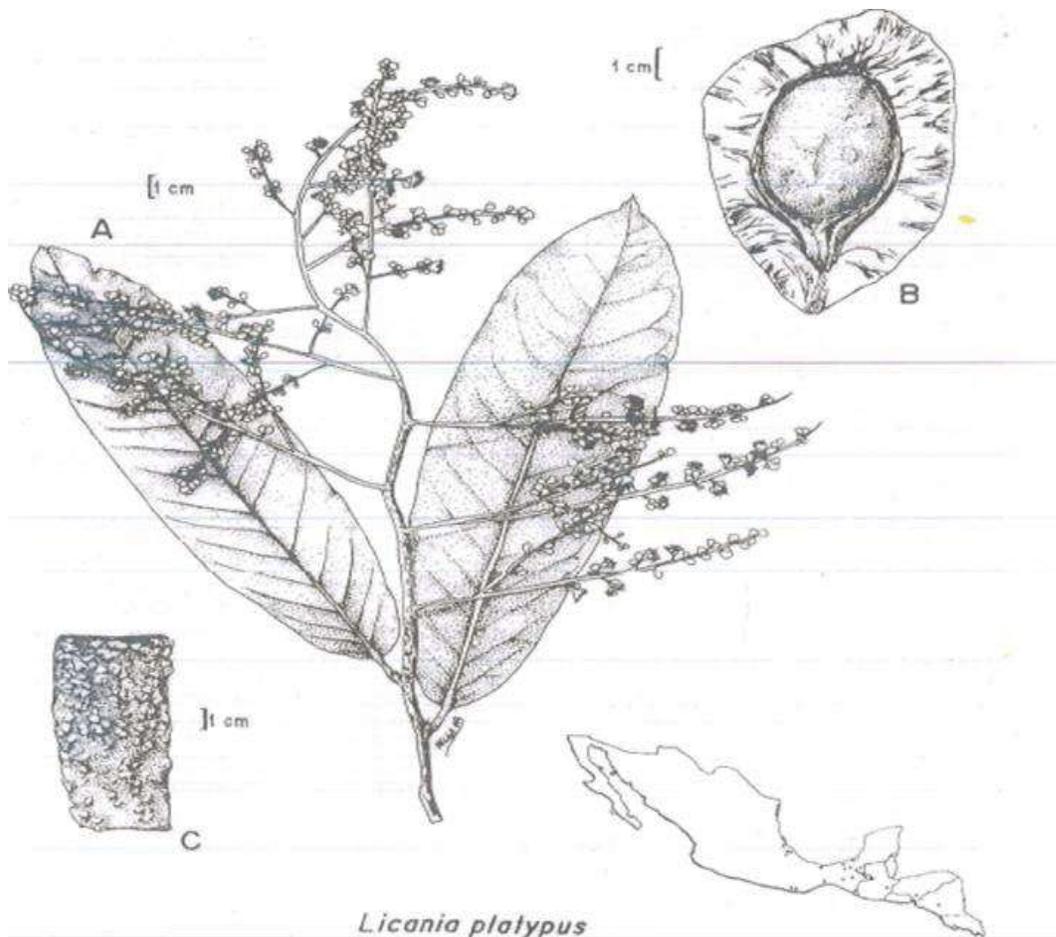
Licania platypus, es una especie originaria de América tropical, y se encuentra en peligro de extinción, la presente investigación tiene por objetivo evaluar el patrón de distribución de *Licania platypus* en los municipios de Cárdenas y Huimanguillo del Estado de Tabasco. Se realizaron cuestionarios en las poblaciones circundantes de los municipios mencionados, donde se buscaron indicios de la presencia de *Licania platypus*. Posteriormente se realizaron recorridos de campo en lugares señalados según la información obtenida de los cuestionarios para ubicar los ejemplares de *L. platypus*. Al localizar los ejemplares, cada uno de ellos se caracterizó *in situ*. Se geoposicionaron con ayuda de un GPS para ubicarlo en mapa digital. Se tomaron medidas de diámetro del árbol a la altura del pecho (DAP). La altura del árbol se obtuvo con el uso de una pistola HAGA. Se tomaron muestras del árbol que incluyeron hojas, flores (en algunos casos) y frutos; con el fin de realizar la caracterización morfológica en laboratorios con el uso de microscopio estereoscópico. Se localizaron un total de 18 ejemplares distribuidos en nueve comunidades en el estado de Tabasco. Los diámetros van desde 23 a 82 cm. Las edades aproximadas son de 15 a 50 años de edad. La distribución de los árboles indican la asociación con especies arbóreas, frutales y algunas maderables. En otros casos se encontró como frutal en huertos familiares o de traspatio. El desconocimiento de esta especie, ha orillado a la casi extinción de la misma. El crecimiento se da manera natural en acahuales, selvas medianas. Sin embargo, la disminución de estos espacios ha llevado a disminuir drásticamente los ejemplares de la especie. Por lo anterior es imprescindible contar con estrategias que permitan la propagación y conservación de esta especie para garantizar su permanencia.

Palabras clave: *Diversidad, conservación, descripción, abundancia*

INTRODUCCION

Árbol originario de América tropical, se consideran de los árboles más altos de la selva alta, mediana perennifolia y subcaducifolia, la especie se puede encontrar hasta los 950 msnm y en México en algunas regiones montañosas entre 300 y 600 msnm mezclado en los bosques de encino y pino. (Gelifus F, 1994) Es común en suelos lateríticos de material ígneo de origen calizo. Es con frecuencia ripario, y puede encontrarse en zonas de inundación periódica árboles de Centroamérica.

Licania platypus, también conocida como cabeza de mico en el Estado de Tabasco, es una especie **arbórea** que llega a crecer hasta 30 m con **copa** ancha redondeada y densa, ramas horizontales y colgantes, tiene un diámetro a la altura del pecho de hasta 1 m y contrafuerte bien desarrollados (Pennington y Sarukhán, 2005); la **corteza** externa es de textura irregular, muy finamente fisurada con escudos con lenticelas pardo verdosas o grisáceas. **Hojas** simples, alternas, de hasta 40 cm de largo distribuidas en 2 líneas, de ápice acuminado y base redondeada, coriáceas; las jóvenes son pendulosas pardo- rosáceas y muy vistosas. **Flores:** aromáticas, hermafroditas, blancas, amarillentas o verdosas, en amplias inflorescencias de la hasta 35 cm de largo que sobresalen de la copa. De cada inflorescencia se desarrollan de 1 a 5 frutos. **Frutos:** es una drupa de 15 a 20 cm de largo y de 10-15 cm de diámetro, con cascara rugosa, pulpa carnosa, amarilla, comestible. La semilla de 10 x 6 cm ocupa la mayor parte del fruto (Gelifus F, 1994). (FIGURA 1) Bajo el planteamiento de que esta especie se encuentra en peligro de extinción se estableció los siguientes objetivos: localización y ubicación de ejemplares de cabeza de mico (*Licania platypus* (Hemsl.) Fritsch) en la región de la Chontalpa Tabasco; lo siguiente se realizó la propagación y multiplicación y colecta de semilla de los ejemplares adultos localizados.



Licania platypus
Figura 1. Morfología de la Choya de Mico (*Licania platypus*, (Hemsl.) Fritsch. A) Rama con inflorescencia (Basada en J. Blanco Ochoa y B. Lucas); B) Corte Longitudinal del fruto (Basado en J. Zavala s.n.); C) Corteza (Basada en H. Hernández G. 276) y distribución de localidades de los ejemplares en FCME y MEXU. Ilustración presentada por Ochoterena-Booth H, Flores-Oliva H, 1992.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo es parte de un proyecto que se viene realizando en la Universidad Popular de la Chontalpa por los autores arriba citados, maestros y alumnos de la misma institución referente a plantas en peligro de extinción y en vías de desaparición de acuerdo a la NOM -059 SEMARNAT-2001 de especies de diferentes familias botánicas como; Anonáceas, Orchidiáceas, Sapotáceas, Meliáceas, Anacardiáceas por mencionar algunas. Para nuestros objetivos con respecto al primero, con alumnos y maestros de la carrera de Agronomía, se aplicaron cuestionarios sobre el conocimiento físico de la cabeza de mico en las diferentes comunidades de su incumbencia, bajo este resultado se constituyó puntos de localización de dichos ejemplares de árboles de *Licania platypus*, y se establecieron las rutas de recorridos para ubicar estos ejemplares en los terrenos donde se encuentran actualmente ubicados. Con esta información se trasladaba al lugar previamente donde se realizó la colecta de la especie bajo el método establecido de (Lot y Chiang, 1986) a su vez se tomaba los siguientes datos; altura, utilizando la Pistola HAGA instrumento de medición de altura, esta se realizó colocándose a una distancia de la base del árbol de 15 metros aprox. ajustándose a un punto donde se pueda observar el ápice del árbol, presionado el gatillo lateral de la pistola, seguido de esto se espera a que la aguja se detenga y marque dando la lectura correcta del árbol, este procedimiento se puede repetir de 2 a 4 veces para garantizar una medición exacta. El diámetro (DAP) del árbol se obtuvo utilizando una cinta métrica, la cual se coloca a la altura del pecho rodeando el tallo del árbol obteniendo el perímetro en metros, posteriormente se realizó la conversión para obtener el diámetro exacto del árbol en centímetros ($D = \text{perímetro} / \pi$) a como se recomienda en el Manual para la

recolección integrada de datos de campo (FAO, 2009). Para obtener los datos morfológicos, se tomaron muestras de cada ejemplar localizado y se llevaron al laboratorio y con auxilio de un microscopio Estereoscopio se realizó las mediciones y descripción cada órgano de la planta; hoja, flor y fruto (FIGURA 2).



Figura 2. Colecta, toma de datos de hojas, flores y frutos de *Licania platypus* (Hemsl.) Fritsch.

Ya establecidas las rutas se consideró necesario geoposicionar los ejemplares por medio de coordenadas geográficas.

Para la segunda fase de los objetivos establecidos de la especie, a los sitios ubicados y localizados procedíamos en los casos de los arboles a observar la posible presencia de semillas y/o plántulas de *Licania platypus* en los alrededores de la planta madre (ya que estas germinan bajo la sombra de la misma planta). Para cumplir este objetivo las semillas no germinadas se colectaban y en los frutos que consideraban en plena madurez se cortaban para ser trasladados a la Universidad para propagarlos (Figura 3).



Figura 3. Semillas y plántulas de *Licania platypus*.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se encontraron 18 ejemplares de la especie *Licania platypus* (Hemsl.) Fritsch distribuidos en 9 comunidades de los municipios de Cárdenas y Huimanguillo del Estado de Tabasco en alturas promedio que van de los 5 a 200 msnm (Figura 4). En el trabajo de campo se limitó a realizar recorridos y observaciones en huertos familiares, potreros o zonas con perturbación moderada donde se encontró la especie y prevalece en asociaciones con otras especies arbóreas (Cuadro 1).

La altura de los árboles encontrados va de los 15 a 30 m de altura, siendo el estrato de la selva mediana perennifolia de la reserva Agua Selva del municipio de Huimanguillo el lugar donde se encontraron árboles de más de 25 m de altura, donde originalmente se ubicaban en éste tipo de vegetación. Los diámetros (DAP) van de 23 a 82 cm, dato que no se contaba en ésta especie. Las edades de los árboles encontrados son de 15 a 50 años, este dato se obtuvo a través de las entrevistas que se realizaron a los propietarios de los huertos familiares, definiendo la historia del árbol en la que se observó que existen personas con la misma edad de dicho árbol, lo que asevera el significado de *Licania platypus* como indicador ecológico de zonas conservadas y actualmente prevalece en las comunidades visitadas a pesar que la vegetación se ha modificado. A su vez, *L. platypus* se encontró asociada con árboles

frutales como *Mangifera indica* L., *Annona muricata* L. *Psidium guajava* L., *Guazuma ulmifolia* y maderables como; *Tabebuia rosea* (Bertol) DC., *Ceiba pentandra* (L) Gaertn., *Gliricidia sepium* (Jacq), *Dialium guianense* (Aub) Sandw, *Calophyllum brasiliense* Cambess, *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake, *Poulsenia armata* (Miq) Standl, *Cymbopetalum baillonii* R.E Fries. Esta última de estrato de selva mediana – alta perennifolia.

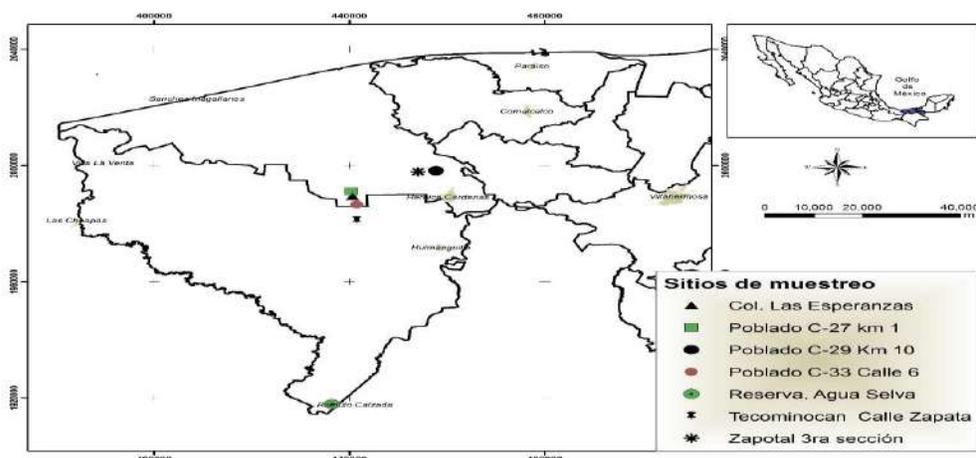


Figura 4. Mapa de Distribución Geográfica de *Licania platypus* en los Municipios de Cárdenas y Huimanguillo Tabasco, Mexico. Mapa elaborado por el M.C. Antonio Lopez Castañeda.

Cuadro 1. Distribución y parámetros de medición de *Licania platypus* en los municipios de Cárdenas y Huimanguillo Tabasco.

Comunidad	Coordenadas	msnm	Altura (m)	Diametro (cm)	Copa (m)	Edad (años)	Especies predominantes	Zona de vida
R/A el suspiro Huimanguillo Tab.		6	18	36.60	6	15	Mango, cítricos, cacao	Potrero
Poblado C-27 km 1, Cárdenas Tab.	0440452 1991209	5	25	67.16	9	30	Cacao, pochote, naranja, cacao,	Huerto familiar y orilla de camino
Poblado C-33 Calle #6	17' 58 141 093 33 797	14	15	79.57	9.30		Tamarindo, mango, naranja	Huerto familiar
Reserva, Agua Selva Huimanguillo Tab.	0436422 1917836	190	23	39.47	6.50	30 año	Barí, carne de pescado, guanacaste, guapaque	Estrato de selva mediana perennifolia
Reserva, Agua Selva Huimanguillo Tab.	0436422 1917836	200				25	Selva alta Perennifolia; Ramón, Ceiba, chicozapote, guácimo, platanillo de montaña,	Estrato de selva mediana Perennifolia,
Tecominocán Calle Emiliano Zapata, Huimanguillo Tab.	1755.260' 09333.824'	28	20	74	4	30	Cacao, coco, plátano, naranja	Huerto familiar

Comunidad	Coordenadas	msnm	Altura (m)	Diametro (cm)	Copa (m)	Edad (años)	Especies predominantes	Zona de vida
Poblado C- 33 Col. Las esperanzas, Huimanguillo Tab.	0440656 1989376	4	20	59.52	7	27	Coco, mango	
Poblado C-29 calle #7	0445303 1984507	22	30	82.76	7.80	30	Cocoíte, cedro, maculís	Huerto familiar
Zapotál 3ra sección Norte 10 Atrás del Panteón Cárdenas Tab.		23	16	35.65	6.50	15	Maculís, guácimo, mango Cedro, caña, candelero, guayaba	Huerto familiar
Zapotál 3ra sección Norte 10 Atrás del Panteón Cárdenas Tab.		23	22	39.15	7.10	50	Tamarindo, caña, guanábana, mango	Huerto familiar
Zapotál 3ra sección Norte 10 Atrás del Panteón Cárdenas Tab.		23	22	36.28	6.10		Tamarindo, caña, guanábana, mango	Huerto familiar
Zapotál 3ra sección Norte 10 Atrás del Panteón Cárdenas Tab.		23	16	50.9	7.20	40	Maculís, guácimo, mango cocoíte, guanábana	Huerto familiar

Datos tomados de las colectas de campo y pláticas con los propietarios de los huertos familiares y aledaños.

CONCLUSIONES

De la información obtenida se presenta por primera vez el listado de distribución de la especie *Licania platypus* (Hemsl.) Fritsch para la región de la Chontalpa. En el caso de México y principalmente el Estado de Tabasco esta especie ha presentado una disminución de su población debido a la deforestación y uso de cambio de suelo para la agricultura, la ganadería y asentamientos humanos.

Con respecto a la dispersión que es un aspecto funcional de una comunidad, su estudio aporta elementos esenciales para entender la composición, distribución y abundancia de las especies, así como su variación de espacio tomando en cuenta los aspectos ecológicos. Por esto, es primordial profundizar en las investigaciones que aclaren dichas bases ecológicas, para analizar y proponer en las Normas ambientales especies frutales como *Licania platypus* (Hemsl.) Fritsch, como muchas otras que se encuentran en ecosistemas con impactos perturbados por el hombre, pero que su hábitat natural se encontraba abundante en el estrato de selva altas perennifolias. Con esto y aunado a las poca poblaciones de estos árboles es necesario intervenir en estrategias de conservación utilizando diverso métodos de propagación para así garantizar la permanencia de dicha especie en las comunidades locales y en su lugar de origen

LITERATURA CITADA

- FAO. 2009. Manual para la recolección integrada de datos de campo. Documento de Trabajo NFMA 37/S. Roma. 214 pp.
- Gelifus F. 1994. El árbol al servicio del agricultor. Manual de Agroforestería para el Desarrollo Rural. Enda- Caribe/CATIE, Turrialba, Costa Rica. Vol. 2: Guía de especies. pp 265.
- Lot A, Chiang F (1986) Manual de herbario. Administración y manejo de colecciones, técnicas de recolección y preparación de ejemplares botánicos (comp.). Consejo Nacional de la Flora de México, A. C. México. D. F. 142 pp.

Ochoterena-Booth H, Flores-Oliva H. 1992. Tzontzapolt: *Licania platypus* (Chrysobalanaceae), un recurso potencial económico empleado desde México Prehispánico. Boletín de la Sociedad Botánica de México 52: 115-120.

Pennington T.D. y Sarukhán J. 2005. Árboles tropicales de México. Manual para la identificación de las principales especies. 3era. d. UNAM-FCE, 523 pp.

**ACTIVIDAD ENZIMATICA RIZOSFERICA DE *Laguncularia racemosa* EN SUELO
CONTAMINADO CON PETRÓLEO INTEMPERIZADO EN LA VENTA, TABASCO**
ENZYMATIC ACTIVITY RIZOSFERICA OF *Laguncularia racemosa* IN SOIL CONTAMINATED WITH
WEATHERED OIL, IN LA VENTA, TABASCO

¹Ventura Martinez G, ¹Rivera-Cruz MC, ¹Sol Sánchez A, ¹Moscoso Ramírez PA, ²Velázquez Carmona MA, ²Trujillo-Narcía A

¹Colegio de Postgraduados Campus Tabasco. Periférico Carlos A. Molina, Km 3.5. Carretera Cárdenas-Huimanguillo, Cárdenas, Tabasco. México. CP 86500; Tel. 9371300268.

²Universidad Popular De La Chontalpa. Carretera Cárdenas-Huimanguillo km 2, Ranchería Paso y Playa, 86500 Heroica. Cárdenas, Tabasco.

Autor para correspondencia: *ventura.genesis@colpos.mx

RESUMEN

El vertido de petróleo al suelo que ha sucedido desde hace varios años en un bosque de manglar de *Laguncularia racemosa*, probablemente tenga consecuencias desconocidas que impactan en la calidad de dicho suelo. El objetivo de la presente investigación fue obtener un diagnóstico situacional de la actividad bioquímica, y el carbono orgánico en suelo y rizosfera, su relación con los hidrocarburos del petróleo intemperizado (fracción media y pesada), en un ecosistema de mangle blanco *Laguncularia racemosa* que ha sido impactado por la actividad petróleo desde los años sesenta, presenta rasgos de contaminación y perturbación física por procesos de descontaminación en el suelo y subsuelo, localizado en el ejido José Narciso Roviroso, La Venta Tabasco. El área de muestreo se realizó en un área de 10000 m² con presencia de HTPI (hidrocarburos totales del petróleo intemperizado) en el cual se ubicaron 30 árboles de *Laguncularia racemosa* de aproximadamente misma edad, en base a la NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012, por punto de muestreo se tomaron cinco muestras (rizosfera norte, rizosfera sur, capa-1, capa-2 y capa-3) teniendo un total de 150 muestras en campo, los contenidos de HTPI encontrados en el área de estudio permitieron que se localizaran cinco zonas con diferentes grados de contaminación, presentando la mayor 111,514.72 mg kg⁻¹. La mayor concentración de carbono orgánico se encontró en la zona de contaminación con mayor presencia de HTPI, en la capa-1 del suelo. Por otro lado, en cuanto a las actividades enzimáticas evaluadas la ureasa presentó mayor actividad en la capa-2 del suelo en la zona de contaminación número 4 seguida de la capa-3 del suelo en la zona 5, mientras que la enzima fosfatasa presentó mayor actividad en rizoplano en la zona de contaminación número 5. El carbono orgánico y la actividad enzimática evaluadas presentaron incremento directamente proporcional al contenido de HTPI, los estudios de las actividades enzimáticas son indicadores de impacto de la industria petrolera en el suelo.

Palabras clave: *Actividad Enzimática, Hidrocarburos, Manglar, Rizosfera, Suelo.*

INTRODUCCION

El vertido del petróleo al suelo ha sucedido desde hace varios años, al respecto en el 2015 se recibieron 1,562 emergencias ambientales, de las cuales 1,331 fueron provocadas por derrames de hidrocarburos y otras sustancias químicas, 45 por explosiones, 11 por fugas de petróleo, 74 por incendios en las instalaciones y una por otras causas (PROFEPA, 2015).

Los cambios que los hidrocarburos del petróleo inducen en las plantas, propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo han sido documentados, e indican un efecto negativo que afectan la productividad del ecosistema y agroecosistema, la llamada degradación que reduce la capacidad de estos sistemas para desempeñar sus funciones. La degradación es un proceso importante que compromete grandes extensiones de suelo en América Latina. Entre 1982 y 2002 las superficies adicionales degradadas alcanzaron el 16.4% del territorio en Paraguay, 15.3% en Perú, 14.2% en Ecuador. Guatemala presenta la mayor proporción de tierras degradadas de Centroamérica (58.9% del territorio); seguida por Honduras (38,4%) y Costa Rica (29,5%) (Magrin *et al.*, 2014).

Por ello, La evaluación de impacto del petróleo en el manglar basada en bioindicadores de calidad del suelo y rizosfera para la sostenibilidad del ecosistema, será la base para proponer medidas correctivas y preventivas, las cuales deberá usar la industria petrolera y los propietarios del manglar.

MATERIALES Y MÉTODOS

El muestreo se realizó en la localidad del Ejido José Narciso Roviroso, localizado a 1.2 km al oeste del Complejo Procesador de Gas La Venta (CPG La Venta), Huimanguillo, Tabasco, realizando un sondeo de presencia de petróleo, con ayuda de barrenaciones, estas fueron realizadas en el pozo la venta 248, en bosque de manglar blanco tomando en cuenta árboles que oscilaban aproximadamente entre los 6 y 10 metros de altura, se ubicaron 30 puntos de muestreo de las cuales fueron colectadas rizosfera norte, rizosfera sur, estas últimas son la porción o capa fina del suelo que se encuentra adherida a la raíz de la planta, es la zona del suelo donde los exudados radicales se depositan y pueden estimular, inhibir y/o afectar la actividad de los microorganismos y la transferencia de agua y nutrientes (Uren, 2001; Porta *et al.*, 2003), suelo de capa 1, suelo de capa 2 y suelo de capa 3; dichas muestras fueron trasladadas al laboratorio de microbiología, del colegio de postgraduados campus tabasco en donde se llevaron a cabo las pruebas químicas y bioquímicas por espacio .

Uno de los parámetros principales a evaluar fue el nivel de contaminación en el área de estudio por ello se realizó Extracción y cuantificación de los hidrocarburos totales del petróleo (HTP), esta técnica se llevó a cabo en tres fases: preparación de las muestras extracción y cuantificación (EPA, 1996). La cuantificación se realizó gravimétricamente establecida en la norma NMX-AA-134-SCFI-2006 (Consuegra, 2006).

Actividades enzimáticas: la ureasa se estimó mediante el método de Kandeler y Gerber (1988) modificada por Kandeler *et al.* (1999), se basa en la determinación colorimétrica del amonio liberado en la incubación de una solución de suelo a 37°C. (sastre y lobo, 2003) La fosfatasa se determinó mediante el método establecido por Tabatabai y Bremner (1969), esta consiste en la determinación espectrofotométrica del p-nitrofenol liberado cuando el suelo es incubado a 37°C con una solución tamponada, por cada lote que se evaluó se utilizaron blancos y controles para tener una mayor calidad en los resultados finales.

El carbono orgánico se evaluó con la técnica de combustión seca, establecida por Nelson y Sommers 1982. Nitrógeno total fue evaluado por el método de Kjeldahl, 1883, mientras que, el fósforo total se evaluó con el método Olsen.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

los niveles de hidrocarburos totales del petróleo en el suelo se muestran por zona en las siguientes gráficas, donde se puede observar que la mayor concentración de HTPI, está localizada en la capa 2 del suelo con una mayor concentración en la zona 5 con 311,422.20 mg-kg-1.

CONCLUSIONES

Los altos contenidos de hidrocarburos totales del petróleo en el suelo rebasan los límites máximos permisibles según la NOM-138, siendo estos un factor alarmante para poblaciones naturales establecidas en el ecosistema, aunque al parecer tanto el rizoplano como la rizosfera no presentan diferencias en el comportamiento de las actividades enzimáticas así como en carbono y nitrógeno, este comportamiento se debe a que la mayoría de los exudados se encuentran presentes en la rizosfera, y que la concentración de HTPI se encuentra en las capas 2 y 3 del suelo.

Por otro lado, podemos decir que las actividades bioquímicas realizadas por las enzimas son capaces de adaptarse a un medio con diferentes niveles de contaminación y tomarlos a su favor para poder seguirse desarrollando, aunque en menores niveles, pero con el fin de asegurar su supervivencia.

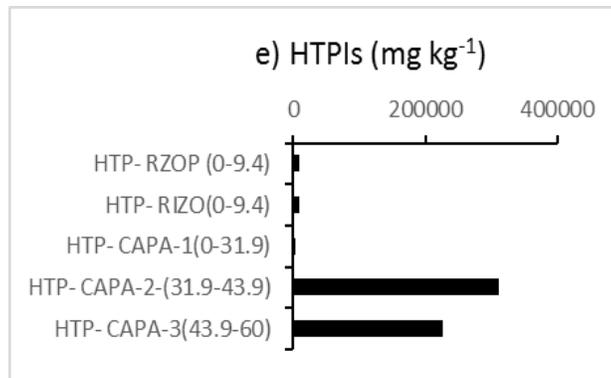
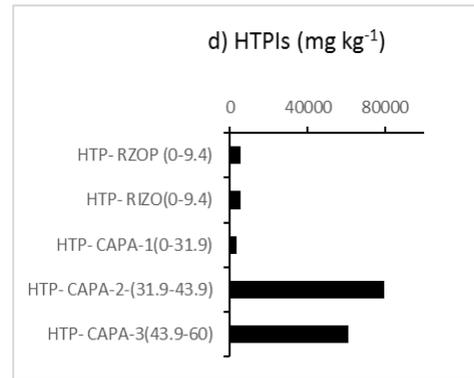
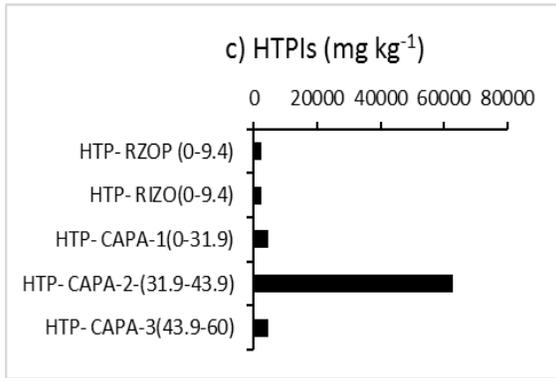
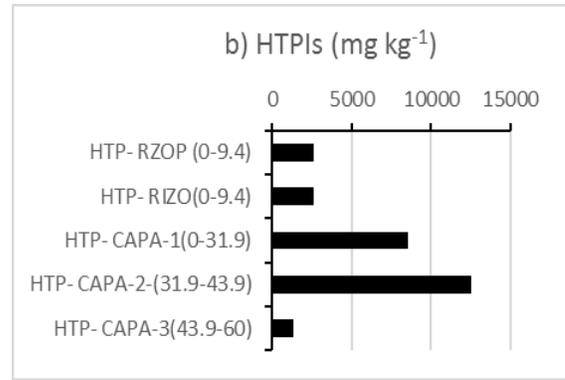
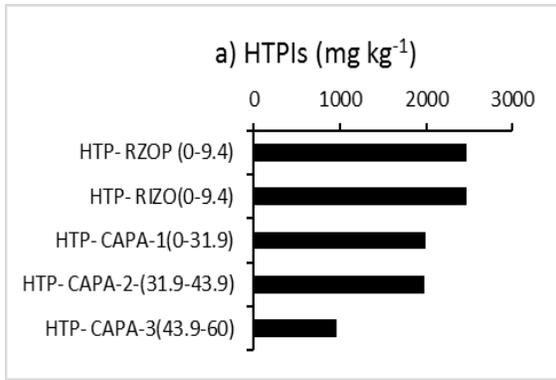


Figura.1 Distribución de hidrocarburos del petróleo intemperizado (mg-kg-1) por zona de contaminación a) zona 1, b) zona 2, c) zona 3, d) zona 4 y e) zona 5; en el bosque de manglar.

Cuadro 1. Carbono orgánico, Como se puede observar en el cuadro la mayor concentración de carbono orgánico se encuentra en el espacio 1 y 2 correspondientes a rizoplano y rizosfera, respecto al nivel de contaminación estas se encuentran en bajas concentraciones

COS

Duncan^{a,b}

ESPAC	N	Subconjunto		
		1	2	3
5	30	5.32389607074031	18.65698161276237	31.73171148110640
4	30			
3	30			
1	30			
2	30			
Sig.		1.000	1.000	.372

Cuadro 2. La actividad de la ureasa se encontró estable en este ecosistema siendo su mayor concentración en el espacio 5 correspondiente a la capa 3 del suelo, en relación a nivel de contaminación este se encuentra en baja concentración.

UREASA

Duncan^{a,b}

ESPAC	N	Subconjunto	
		1	2
1	30	85.61529	89.11214
4	30	86.04067	
2	30	89.11214	
3	30	90.92000	
5	30	96.72516	
Sig.		.204	.057

Cuadro 3. La actividad fosfatasa por su parte presento una mayor variación en los diferentes espacios presentando una mayor actividad en el espacio 1 correspondiente al rizoplano.

FOSFA

Duncan^{a,b}

ESPAC	N	Subconjunto			
		1	2	3	4
5	30	736.05	1788.26	2953.08	7853.79
4	30				
3	30				
2	30			3147.26	
1	30				
Sig.		1.000	1.000	.527	1.000

Cuadro 4. El nitrógeno total presente en el suelo tiene una relación con la presencia de carbono orgánico en el suelo siendo estos más presentes en el espacio 1 correspondientes a la rizosfera y rizoplano, estos últimos siendo los más libres de HTPI del espacio evaluado.

NT

Duncan^{a,b}

ESPAC	N	Subconjunto			
		1	2	3	4
5	30	.04247			
4	30	.07859			
3	30		.21233		
2	30			.27574	
1	30				1.18175
Sig.		.130	1.000	1.000	1.000

LITERATURA CITADA

- Consuegra G.R.C. 2006. NMX-AA-134-SCFI-2006. Suelo - hidrocarburos fracción pesada por extracción y gravimétrico - método de prueba. Dirección de Normalización. SEMARNAT-México. 27 pp. Calvo V. P; Meneses L. R. y Zúñiga D. D. 2008. Estudio de las poblaciones microbianas de la rizósfera del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) en zonas altoandinas. Ecol. apl. 7(1, 2):141-148.
- Magrin, G.O., J.A. Marengo, J.P. Boulanger, M.S. Buckeridge, E. Castellanos, G. Poveda, F.R. Scarano, and S. Vicuña (2014), Central and South America. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Barros, V.R., C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1499-1566.
- Sastre C.I. y Lobo B.M del C. 2003. Determinación de la actividad ureasa del suelo. En: García I.C., Gil S.F., Hernández F.T. y Trasar C.C. (eds). Técnicas de análisis de parámetros bioquímicos en suelos: Medidas de actividad enzimática y biomasa microbiana. Mundi-Prensa. Madrid, España. 125-147 p.
- Uren, C.N. 2001. Types, Amounts, and Possible Functions of Compounds Released into the Rhizosphere by Soil-Grow Plants. In: Pinton, R., Z. Vararanani and Nannipieri P (eds). The rhizosphere Biochemistry and Organix Substances at the Soil-Olant interfase. Marcel Dekker. New Your USA. pp:19-41.

REFERENCIAS INFORMATICAS

PROFEPA (2015) Informe de Actividades, www.Profepa.gob.mx/innovaportal/file/8233/1/web/versionfinal.pdf. (fecha de consulta: 17/03/17) 158 pag.

MODELACIÓN MATEMÁTICA PARA EL CRECIMIENTO DE GIRASOLES

MATHEMATICS MODELING FOR SUNFLOWER GROWTH

Sandoval Martínez M

Instituto Tecnológico Superior de Comalcalco.
Carretera vecinal Comalcalco-Paraíso. Ra. Occidente 3ra Secc.
Manuelsandoval804@gmail.com

RESUMEN

Se presenta el análisis matemático realizado al crecimiento de una población de 30 plantas de girasol silvestre. El crecimiento se cuantificaba midiendo la altura de las plantas desde el suelo hasta el punto más alto de la misma, dichas lecturas se realizaron durante 11 semanas por lo que se incluye la medida de la altura incluso cuando ya floreció. Se eligieron al azar 5 plantas de dicha población para modelar matemáticamente su crecimiento, se encontró que todas se podían modelar con un polinomio cuadrático hasta la semana seis o siete, pero a partir de la semana ocho el modelo cambiaba a uno cúbico con una exactitud del 98%. También se tomó en cuenta el modelo logístico para predecir su comportamiento completo, en este caso encontramos que el ajuste es muy similar al modelo cúbico; sin embargo el modelo logístico ajusta casi al 100% sobre todo a partir de las últimas cuatro semanas. Estos resultados nos indican que, para cuestiones prácticas de medidas de crecimiento y velocidad de crecimiento, se puede emplear el modelo cúbico ya que es más fácil de derivar y evaluar, comparado con el logístico.

Palabras clave: *Modelos matemáticos, velocidad de crecimiento, plantas de girasol, modelo logístico.*

INTRODUCCION

El girasol es una de las flores más conocida actualmente debido a sus múltiples propiedades, sus variados usos o simplemente porque es una flor hermosa. Respecto a la taxonomía del girasol se puede decir que es una planta anual ramificada con muchas cabezas de flores, pertenece al reino Plantae, del orden Asterales, la familia del girasol es la Asteraceae, también es miembro de la subfamilia Helianthoideae, se le conoce como ejemplar perteneciente a la tribu Heliantheae y su género se denomina como Helianthus, el nombre científico del girasol es Helianthus annuus, su nombre común proviene de la forma que posee la cabeza de la flor que se asemeja a el sol, también que esta da como impresión girarse lentamente hacia este astro (Bye et al, 2009).

Entre las características del girasol (Schneiter, 1997) podemos decir que posee un tallo áspero, peludo, erecto que alcanza una altura de tres metros en la mayoría de los ejemplares de esta planta, sin embargo, la planta de girasol más alta registrada alcanzó 9.17 metros, tres veces este tamaño.

Algunos girasoles naturales presentan firmeza a los herbicidas perteneciente a la familia imidazolinonas, esta mutación ha sido incorporada a los girasoles cultivados, el girasol natural posee bajo contenido graso saturado y no saturado además presenta tolerancia a suelos salinos y a la sequía (Redonda, Villaseñor, 2011).

Los cultivos de girasol se han considerado dentro de los más importantes en el mundo debido a su producción de aceite (Putt, 1997). De acuerdo a la FAO (2014), se considera que la demanda de aceites de girasol podría continuar aumentando. En Francia, por ejemplo, el potencial desarrollo de biodiesel ha estimulado las investigaciones del crecimiento del girasol (Pilorgué, 2010). Otras investigaciones se han enfocado al estudio de la cantidad de aceite que se puede acumular en las semillas de esta planta. Champolivier (1996), encontró que la dinámica de la concentración de aceite sigue un patrón sigmoideo, es decir que puede modelarse por medio de la ecuación logística.

Por otra parte, en Norte América se han realizado diversos experimentos para analizar el crecimiento de cultivos de girasol cuando se someten a ciertas dosis de nitrógeno y/o fósforo. Abbadi (2008), encontró que un incremento del nitrógeno trae un incremento en la cantidad de semillas en la cabeza de la flor. Shultz *et al* (2018) realizaron algunos experimentos para determinar la respuesta de los cultivos de girasol sometidos a nitrógeno, la mejor descripción se obtiene con un modelo cuadrático. Por otra parte, Adrianasolo (2016), encontraron también modelos cuadráticos para predecir la cantidad de aceite acumulado en las semillas de girasol, incluso por medio de su modelo se puede realizar un breve análisis financiero de la plantación.

Dentro de esta investigación se analiza el crecimiento de una pequeña población de girasoles para determinar el modelo matemático que puede describir y predecir su comportamiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se trabajó con una población de 30 plantas de girasol silvestre, a las cuales se les midió la altura a partir de la primera semana de nacimiento. El procedimiento realizado fue el siguiente, se sembraron las semillas de girasol en pequeños vasos de plástico que contenía (hasta la mitad) tierra con abono, se regaban todos los días. Al germinar las semillas se esperó una semana para trasplantarlas en el suelo, a partir de ese momento se comenzó a medir la altura de las plantas con ayuda de un flexómetro. Las medidas se realizaban tomando como referencia el nivel del suelo hasta el punto más alto de la planta; estas medidas se realizaban de manera semanal. A partir de la semana cuatro, se inició el proceso de modelación con los datos obtenidos hasta ese momento. Para las semanas consecutivas se continuó con las medidas de las alturas de las plantas, y tres semanas después se obtenía el nuevo modelo matemático. Al finalizar el crecimiento de las plantas (alrededor de once semanas) se obtuvo el modelo final; y debido al comportamiento de los datos se realizó un análisis con el modelo logístico y se decidió buscar las semejanzas o diferencias entre dichos modelos. La comparación de estos modelos permitirá interpretar el crecimiento de la planta de una manera más sencilla, y también permitirá calcular la velocidad de crecimiento. El principal objetivo de esta investigación es encontrar un modelo matemático que permita describir y predecir el comportamiento del crecimiento de la planta. Para determinar el nivel de ajuste de los datos se calculó el error relativo de cada modelo con los datos reales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Modelos polinómicos

Los datos correspondientes a la altura de las plantas se obtenían de manera semanal, se ordenaban en tablas, se graficaban y posteriormente se obtenía el modelo matemático a través de regresión lineal; también se calculó el factor de correlación. Para conocer de manera más detallada el comportamiento de la planta se obtuvo el modelo matemático en los intervalos 1-4; 1-9; 1-11 semanas. Los resultados encontrados indican que entre las semanas 1 a la 4, el crecimiento de las plantas era lineal, es decir que crecían a un ritmo constante; de la semana uno a la nueve el crecimiento cambia a no lineal, específicamente cuadrático lo que indica que la velocidad de crecimiento de las plantas va cambiando.

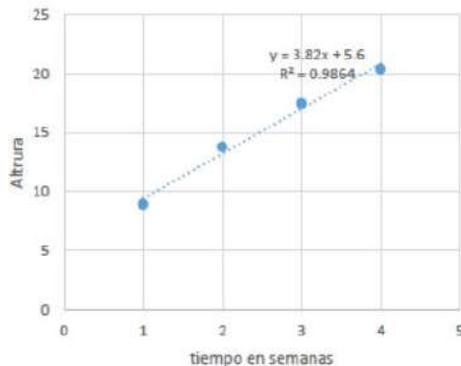


Figura 1a. Crecimiento lineal de las plantas.

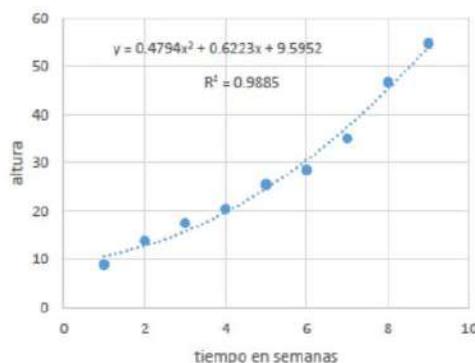


Figura 1b. Crecimiento cuadrático de las plantas.

De la figura 1a, podemos observar que la velocidad de crecimiento es $v = 3.82\text{cm/sem}$, en este caso la pendiente de la recta representa la velocidad de crecimiento. Para el caso de la Figura 1b, el crecimiento es cuadrático lo que indica que la velocidad no es constante. Para obtener un valor de tal velocidad de debe calcular la primera derivada: $v = \frac{dy}{dt} = 0.958t + 0.623$. Por ejemplo si deseamos conocer la velocidad de crecimiento a la semana 5, la velocidad será $v = 5.413\text{cm/sem}$. Las gráficas previas nos revelan que el crecimiento de la planta de girasol se comporta de diferentes maneras, ya que inicialmente crece a velocidad constante para después crecer a mayor velocidad. No obstante,

dicho crecimiento desacelera poco a poco hasta que alcanza su altura máxima y se estabiliza su crecimiento.

Modelo cúbico y modelo logístico

La toma de datos se desarrolló durante once semanas, para obtener el modelo matemático que describa el crecimiento completo de las plantas se analizaron los datos desde la semana uno hasta la once. En este caso, trabajamos con dos modelos matemáticos a saber: el cúbico y el logístico.

El modelo logístico permite analizar el crecimiento de poblaciones dentro de una determinada región limitada por ciertos parámetros. Matemáticamente se representa así (Zill, Cullen, 2008):

$$\frac{dP}{dt} = rP\left(1 - \frac{P}{K}\right)$$

Donde P , representa el tamaño de la población, r se llama factor de crecimiento y K se le conoce como capacidad sustentable, y depende del ambiente donde se desarrolle. La solución de esta ecuación tiene la forma:

$$P = \frac{P_0 e^{rt}}{\left(1 + \frac{P_0}{K}\right)e^{rt} - 1}$$

Como se puede observar es una función complicada para manipularla, algebraicamente hablando. Como se mencionó previamente, uno de los objetivos que se han trazado en esta investigación, es encontrar la velocidad de crecimiento para determinar en qué momento de su crecimiento se desarrolla más rápidamente la planta. El modelo logístico, dada su complejidad algebraica, complica esta actividad. Por tal razón se buscó un modelo matemático más fácil de manejar.

Por otro lado, analizando los datos encontrados y por medio de regresión lineal encontramos un modelo cúbico que ajusta un 98.8% los datos totales.

$$y = -0.175t^3 + 2.871t^2 - 5.15t + 8.954$$

Donde y , representa la altura de las plantas (en cm) y t es el tiempo en semanas. En la Figura 2, se muestran los datos del crecimiento de la planta de girasol; los puntos azules representan los datos reales, los puntos naranjas al modelo cúbico y, los puntos amarillos al modelo logístico ($r = 0.63 \text{ sem}^{-1}$, $K = 70 \text{ cm}$). De aquí podemos observar que el ajuste a través de ambos modelos es muy bueno, los márgenes de error son pequeños en ambos casos. Se calculó el error relativo de cada modelo matemático para aproximar los datos reales y, a esta serie de datos se le calculó la desviación estándar. Se encontró que el modelo cúbico tiene una desviación de 0.099 y, el modelo logístico es de 0.88.

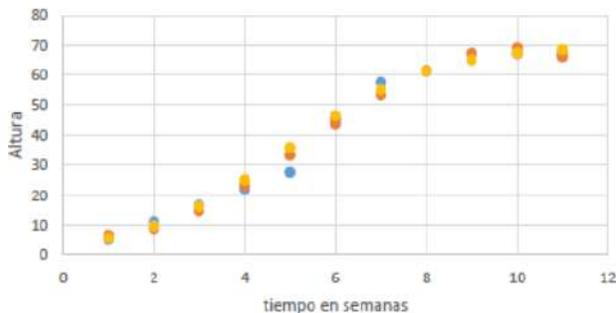


Figura 2. Comparación de los modelos matemáticos

Estos resultados indican que el crecimiento de las plantas de girasol puede modelarse con mucha exactitud con ambos modelos, no obstante para situaciones de mayor practicidad (y sobre todo para los posibles intereses de un productor) el modelo cúbico resulta ser de mayor comodidad para estudiar el crecimiento de la planta. A través del modelo cúbico podemos encontrar con facilidad el tiempo al cual se alcanza la máxima altura de la planta, así como el momento al cual se alcanza la máxima velocidad de crecimiento. Lo anterior se logra utilizando los criterios de la primera y segunda derivada, de esta manera los resultados obtenidos son:

- La altura máxima se alcanza a la semana número 10, con este valor un productor podría valorar con mayor seguridad el momento adecuado para cosechar.
- La máxima velocidad de crecimiento se alcanza a la semana 5.5, a partir de este momento la planta seguirá creciendo pero aun ritmo menor (Ver Figura 2).

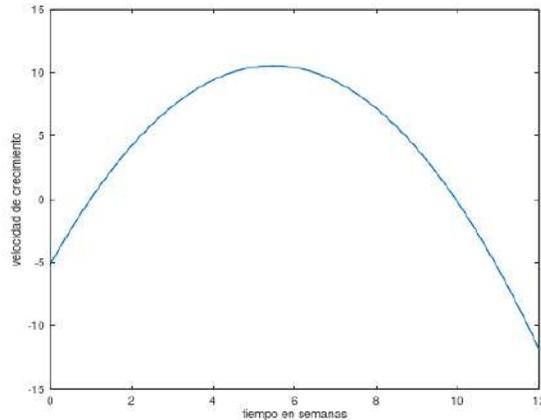


Figura 2. Velocidad de crecimiento de las plantas

Estos resultados serán considerados en la próxima siembra de girasoles dentro la universidad. Se tiene considerado realizar un comparativo entre dos diferentes tipos de fertilizantes para determinar cuál de ellos produce mejores resultados en su crecimiento.

CONCLUSIONES

La metodología planteada en este trabajo nos ha permitido analizar el crecimiento de las plantas de girasol de una manera clara y con mucha precisión. Al medir las alturas semanalmente pudimos modelar el crecimiento de las plantas prácticamente desde su germinación hasta su florecimiento. Encontramos que durante las primeras tres semanas las plantas crecen a una velocidad constante; a partir de la semana cuatro hasta la siete hay un crecimiento más rápido de la planta, en este caso el modelo matemático encontrado es uno de segundo grado (parábola). Por último, el análisis de su desarrollo, desde su germinación hasta su florecimiento completo, arroja un modelo cúbico con una exactitud del 98.8%. A través de este modelo podemos predecir la altura de planta así como calcular con facilidad la velocidad de crecimiento para cualquier instante de tiempo. Por otro lado, al comparar los resultados con el modelo logístico, se encontró que las diferencias entre estos dos modelos son mínimas, es decir ambos modelos ajustan con precisión los datos reales. La ventaja del modelo cúbico es que los cálculos para las predicciones son mucho más simples, dicho modelo indica que la altura máxima que alcanzará una planta se obtendrá a la semana número diez y, la máxima velocidad de crecimiento se alcanza entre la semana cinco y seis.

LITERATURA CITADA

- Abbadi, J. Gerendas, J. Sattelmacher, B. Effect of nitrogen supply on growth, yield, and yield component of safflower and sunflower. *Plant soil*, 306, 2008.
- Bye, R. Linares, E. Lentz, D. México: centro de la domesticación del girasol. *Revista especializada en ciencias químico-biológicas*, 12, 1, 5-12, 2009.
- Champolivier, L. Merrien, A. Évolution de la teneur en huile et des composition en acides gras chez deux variétés de tournesol (oleique ou non) sous l'effet de températures différentes pendant la maturation des graines. *Oilseed & fats crops and lipids*. 3, 1996.
- FAO, 2014. Food and agriculture organization of the United Nations. Disponible en <http://www.fao.org>.
- Pilorgué, E. Nouveau contexte environmental et réglementaire: quel impact pour la culture du tournesol? *Oilseed & fats crops and lipids*, 17, 2010.
- Redonda-Martínez, R. Villaseñor-Ríos, J.L. (2011). Flora del valle de Tehuacán-Cuicatlán. Instituto de Biología UNAM.
- Schneiter, A.A (1997). Sunflower technology and production. American Society of agronomy, Ed. Madison.
- Schultz, E. De Sutter, T. Sharma, L. Endres, G. Ashley, R. Bu, H. Markel, M. Krakaul, A. Franzen, D. Response of sunflower to nitrogen and phosphorus in North Dakota. *Agronomy Journal*. 110, 2, 2018.
- Putt, E.D. Early history of sunflower. Sunflower technology and production. Agron. Monogr. 35. ASSA and SSSA, Madison, 1997.

Zill, D. Cullen, M (2008). Matemáticas avanzadas para ingeniería, Vol. I. McGraw Hill, México.
Adrianasolo, F. Debaeke, P. Champolivier, P. Maury, P. Analysis and modelling of the factor controlling seed oil concentration on sunflower: a review. Oilseed & fats crops and lipids. 23, 2, 2016.

DIAGNÓSTICO DE LOS SUELOS ÁCIDOS EN LA AGRICULTURA DE LA FRAILESCA, ESTADO DE CHIAPAS

DIAGNOSIS OF SOIL ACIDS IN THE AGRICULTURE OF THE FRAILESCA, CHIAPAS STATE

¹Castillo-Pérez T, ²Aguilar-Rodas JF, ²Alvarado-Moreno E, ³Cruz-Sánchez E, ²Díaz-Sánchez EL,
²García-González G, Lara-López E, ²Limeta-Cuervo XV, ²López-Sánchez IS, ²Ocampo-Pérez M,
²Pineda-Bonilla AI

¹Universidad Autónoma Chapingo-URUSSE. Teapa, Tabasco. México. Profesor Investigador

²Universidad Autónoma Chapingo-URUSSE. Teapa, Tabasco. México. Estudiantes 4^o Año de la
CIAEZT

Autor de correspondencia: sinatafo@hotmail.com

RESUMEN

En México, los suelos ácidos se localizan en las regiones tropicales y bosques templados y comprenden una superficie cercana a los 14 millones de hectáreas, en los estados de Veracruz, Tabasco, Chiapas y Campeche, se concentra la mayor cantidad. Una de las regiones más afectadas por la acidez del suelo es la Frailesca, en el estado de Chiapas, presentando suelos con niveles de pH de 3.5 y 4.0, no recomendable para cultivos, que, junto con los problemas de erosión del suelo, son factores limitativos para la producción agrícola. El trabajo se llevó a cabo con estudiantes del cuarto año de la Carrera de Ingeniero Agrónomo Especialista en Zonas Áridas (CIAEZT), que se imparte en la Unidad Regional Universitaria Sursureste (URUSSE), de la Universidad Autónoma Chapingo, como parte de la asignatura de Trabajos de Campo Integrador I (TCI I), en donde los estudiantes eligen un tema y lugar, para llevar a cabo la investigación con el apoyo de un profesor investigador. La Región de la Frailesca, reporta una superficie agrícola de 230,750 Ha, de las cuales 83,750 Ha, son de planicie, de esta superficie el 40% presenta afectaciones provocadas por la acidez de los suelos (33,500 Ha), causando pérdidas en rendimiento de grano de maíz de 800 a 1400 kg/Ha. Estos suelos presentan un pH promedio de 4.7, saturación de aluminio del 20% y bajo contenidos de materia orgánica de 1 a 1.5%, debido en gran parte por las dosis de fertilizantes utilizadas por los productores son muy altas, alcanzando niveles de 180 a 200 kg de Nitrógeno/Ha, y con ello elevando significativamente los costos de producción del cultivo de maíz (Nieukoop, *et al*, 1992).

Palabras clave: *suelos ácidos, zonas tropicales, pH del suelo, fertilización nitrogenada*

INTRODUCCION

Debido a la oferta limitada de tierras de buena calidad para cultivar, el recurso suelo se encuentra sometido a una mayor presión por parte de los agricultores; en consecuencia, para aumentar el área de terreno disponible, se ha recurrido a áreas frágiles y de laderas que no son aptas para las actividades agrícolas. Esta situación ha traído como resultado una degradación marcada de los suelos, deforestación de áreas boscosas y alteración del ciclo hidrológico.

A pesar de la importancia económica del sector agropecuario en el estado de Chiapas y específicamente en la Región Frailesca, estas actividades se han desarrollado sin una adecuada planificación en el uso y aprovechamiento de los recursos naturales, específicamente de los suelos. La escasez de terrenos nuevos y aptos para cultivar, aunado al acelerado crecimiento demográfico han intensificado el uso de este recurso natural para la producción agropecuaria con el propósito de obtener ganancias inmediatas.

El uso indiscriminado de fertilizantes de base ácida, ha ocasionado graves problemas en los suelos y un decremento en su nivel de productividad, ya que la acidez de los suelos limita el rendimiento de los cultivos e influye negativamente en la disponibilidad de nutrientes elementales para el desarrollo de los cultivos (López, *et al* 2017).

En México existen diversas regiones tropicales y templados con problemas de suelos ácidos, una de ellas, se encuentra en la Frailesca estado de Chiapas, en donde se han observado niveles de pH de 3.5 a 4.0, lo cual no es recomendable para los cultivos (Lazcano 1996).

Este trabajo fue realizado por estudiantes de la Carrera de Ingeniero Agrónomo Especialista en Zonas Tropicales, como parte de la asignatura de Trabajos de Campo Integrador (TCI), donde uno de los objetivos es realizar un diagnóstico de la problemática de los suelos ácidos, para conocer los grados de afectación que existe en la región para la producción de cultivos básicos, principalmente el cultivo

de maíz. Para ello se realizaron barrenaciones y perfiles de suelos en el área, siguiendo el criterio de transectos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se localiza en la llanura costera del pacífico y la depresión central de Chiapas, denominada Región Frailesca y está conformada por cinco municipios: Villaflores, Villacorzo, Ángel Albino Corzo, La Concordia y Montecristo de Guerrero. Su territorio 778,899 hectáreas, siendo la segunda región de mayor extensión en el estado (Nieukoop, *et al* 1992).

Para el estudio de los suelos ácidos se realizaron recorridos y muestreos de suelos por toda el área, con la apertura de perfiles de suelo representativos y barrenaciones a dos profundidades de 0-20 cm y 20-40 cm, diferentes transectos, en las que se realizaron determinaciones cualitativas en campo sobre variables como la textura al tacto, pH del suelo con peachímetros móviles, pruebas de reacción al agua oxigenada para conocer el contenido de materia orgánica, pruebas de reacción al ácido clorhídrico para visualizar la presencia de carbonatos de calcio, color del suelo con la Tabla Munsell, entre otras.

Con esta información de campo y mediante el uso de sistemas de información geográfico, fue posible elaborar los mapas de pH y contenido de materia orgánica, los cuales muestran gráficamente donde se presentan los mayores problemas de acidez en la región de la Frailesca.

La variable de estudio más importante de este trabajo, es el pH del suelo y para tener una mejor claridad en la interpretación, se utilizó el criterio de clasificación de la Asociación Española de Fabricantes de Agronutrientes (AEFA).

Cuadro 1. Clasificación del pH del suelo de acuerdo a la AEFA

Clasificación	pH	Descripción
Extremadamente ácido	< 4.5	Condiciones de suelo muy desfavorables
Fuertemente ácido (Al)	4.5 - 5.0	Existe posibilidad por efecto de aluminio
Fuertemente ácido	5.1 - 5.5	Deficiencia de Ca, K, Mg, N, P, S, Mo y exceso de Cu, Fe, Mn y Zn. Poca actividad bacteriana y presencia de clorosis férrica
Medianamente ácido	5.6 - 6.0	Suelo adecuado para la mayoría de los cultivos
Ligeramente ácido	6.1 - 6.5	Existe disponibilidad máxima de nutrientes
Neutro	6.6 - 7.3	Los efectos tóxicos de los elementos son mínimos
Medianamente básico	7.4 - 7.8	Presencia de carbonato de calcio en el suelo
Básico	7.9 - 8.4	Baja disponibilidad de P y B y deficiencia creciente de Cu, Fe, Mn, Zn y Co.
Ligeramente básico	8.5 - 9.0	Aparecen problemas mayores de clorosis férrica
Alcalino	9.1 - 10.0	Presencia de carbonato sódico en grandes cantidades
Fuertemente alcalino	> 10.0	Alta cantidad de Na intercambiable, poca actividad microbiana y baja disponibilidad de micronutrientes excepto del Mo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tecnología de producción cultivo de maíz

Como resultado de las entrevistas realizadas durante la fase de campo, se pudo apreciar que la mayoría de los productores sembraban diversos cultivos, los cuales manejan sus parcelas mediante un sistema de cultivos intercalados, este sistema consiste en la combinación de 2 o más cultivos en la misma parcela y en el mismo ciclo, diversificando su producción, con especies como maíz-frijol, maíz-canavalia, Maíz Intercalado con Árboles Frutales (MIAF), donde se observa que el 100% de los productores siembran maíz, y en menor grado otros cultivos como cacahuate, chile, sandía, calabaza, papaya, sorgo y frutales como limón.

La tenencia de la tierra, predomina la ejidal, la superficie promedio por productor es de 4.48 Ha (Cuadro 2), destinadas principalmente a la agricultura. Sin embargo, hay productores con extensiones mayores de terreno de 18 hectáreas (Propiedad privada), cuyo enfoque agrícola es comercial. Dentro de las parcelas el arreglo topológico se establece con distancias entre surco 80 cm y planta 30 cm, en

algunos casos con dos semillas y en otros una semilla teniendo una densidad de población promedio de 69,517 plantas/ha.

Los insumos que utilizan los productores de maíz, en su mayoría aplican fertilizantes nitrogenados a base de Sulfato de amonio (61.50%), lo cual está determinada por la economía, no es lo mismo aplicar 100 kilogramos de sulfato que 50 kilogramos de Urea, ya que los fertilizantes más baratos son más voluminosos y se pueden distribuir mejor en la superficie, aunque la concentración en nitrógeno es menor. También aplican fertilizantes fosfatados y potásicos, pero en menor cantidad, de tal forma que la fórmula de fertilización que aplican es 139-27-15 (N,P,K) en promedio en la zona. Aun cuando la fuente de fertilizante nitrogenada es el sulfato de amonio, algunos productores utilizan la Urea (38.50%). La mayoría de los productores realizan dos aplicaciones (92.30%), generalmente de manera manual. Los costos de producción se elevan significativamente con el uso de los insumos, ya que, según registros, se llegan aplicar de 400 a 800 kg de sulfato de amonio por hectárea. Con el uso indiscriminado de estos agroquímicos, los productores han ocasionado graves problemas a sus suelos, se han acidificado ya que son más sales que unidades de nitrógeno, en los cuales los productores tienden a utilizar fórmulas de fertilización que van desde los 82 - 197 unidades de nitrógeno ha⁻¹ por ciclo. Al mismo tiempo para poder completar sus fórmulas de fertilización, utilizan otras fuentes comerciales como el cloruro de potasio y DAP (Cuadro 2).

Las dosis de fertilización y la calidad de los suelos influye en gran medida en los rendimientos de cada productor, debido a los tipos de suelo, los suelos de vega en la zona baja de la región (Ejido Revolución Mexicana, transecto 2) son muy productivos donde el rendimiento llega alcanzar 8 ton ha⁻¹ con dosis bajas de fertilización 82-00-00, mientras que en las zonas altas de la frailesca (Ejido Guadalupe Victoria, Transecto 6) las dosis son mayores de hasta 165.5-23-00 con rendimiento de 3.2 ton/ha. El rendimiento promedio en la región Frailesca se ubica en los 5.1 ton ha⁻¹.

Cuadro 2. Tecnología de producción para el cultivo de maíz en la Región Frailesca, Chiapas

No.	Superficie (Ha)	D.P. (miles plantas/Ha)	Formula de fertilización	Rendimiento (ton/Ha)	Precio (\$/ton)	Destino de la producción
1	0.50	46800	82-00-00	3	3500	Autoconsumo
2	3.00	71500	103-00-00	8	3200	Coyote
3	4.00	71500	118-92-00	4	3500	Coyote
4	5.00	62500	180-23-15	6	3400	Coyote
5	2.00	62500	143-12-15	4	3500	Coyote
6	18.00	83300	150-60-60	7.5	3350	Empresas avícolas
7	3.00	55000	124-23-30	4	3100	Coyote
8	10.00	82000	197-92-60	7.5	3400	Alpesur
9	1.75	70000	82-00-00	8	3400	Coyote
10	1.00	83300	164-00-00	7	3400	Tuxtla
11	0.50	83300	164-00-00	4	3000	Coyote
12	5.00	62500	166-23-00	3.2	5000	Tortillería
PROM	4.48	69517	139-27-15	5.52	3479.167	

Análisis del muestreo de suelos obtenidos de los transectos

Para obtener información técnica sobre las características físicas y químicas de los suelos agrícolas de la región frailesca se realizaron una serie de barrenaciones ubicados en diferentes transectos, de tal manera que se pudieran captar el máximo de observaciones, entendiéndose como transecto, las rutas o recorridos de campo donde se pueda observar el comportamiento de las variables relacionadas con la calidad de los suelos, como son la profundidad, textura (al tacto), contenido de materia orgánica (reacción al agua oxigenada), contenido de carbonatos de calcio (reacción al ácido clorhídrico), color del suelo (Tabla Munsell) y pH del suelo (peachimetro digital móvil), entre otras características. Estas determinaciones se realizaron en campo de manera cualitativa, con el instrumental básico, como son la barrena para el muestreo de suelos a dos profundidades (0-20 y 20-40 cm). Durante estos recorridos de campo se realizaron barrenaciones y perfiles de suelo en los diferentes transectos establecidos en toda el área de trabajo:

- 1.- Villaflores – El Horizonte – 16 de septiembre – Villahidalgo
- 2.- Villaflores – Jericó – Revolución Mexicana – Villacorzo – Rancho la Guadalupeana, El parral.

- 3.- Villaflores – Nuevo México – Rancho El Brillante – Rancho Zaragoza
- 4.- Villaflores – Agua prieta – Rancho El Alto, La concordia
- 5.- Villaflores – La Frailesca – Villacorzo
- 6.- Villaflores – Rancho La Palma – Guadalupe Victoria – Jesús M. Garza

Lo que a continuación se presenta, son los resultados de las barrenaciones y descripción de perfiles de suelo y su análisis, que se realizaron dentro del área de estudio, durante el tiempo que abarcó el trabajo de campo. Los muestreos de suelos a través de las barrenaciones fueron realizadas a dos profundidades, la primera de 0-20 cm y la segunda de 20-40 cm de profundidad. Los perfiles de suelos se realizaron en los lugares representativos de cada transecto. A las muestras de suelo se realizaron algunas determinaciones físicas y químicas básicas de las variables siguientes: Textura del suelo, Color del suelo, Materia orgánica, Carbonatos de calcio y pH del suelo.

Durante los recorridos de campo a través de la metodología de transectos, se pudo observar que los suelos presentan texturas franco arcillo arenosos (transecto 1), sin embargo, en algunas rutas la presencia de texturas de partículas más gruesas fue notoria ya que osciló de una textura franco arenoso a franco arcillo arenoso, predominando las arenosas (transecto 2 y 3), a diferencia de los transectos 4 y 5, la presencia de texturas finas arcillosas a franco arcillosas es más evidente. Finalmente, en el transecto 6 se presentan texturas de suelo arenosas a franco arenosos, aunque en uno de los puntos de muestreo se observa un poco de arcilla (francos arcillosos), es muy evidente la presencia de las texturas finas.

Al determinar los colores de las muestras de suelo de la zona de estudio, se tiene que los colores predominantes son muy oscuros, marrones, marrones oscuros, marrón rojizo oscuro y marrón amarillento oscuro, todos con tonalidades oscuras, y la mayor parte de estas pertenecen a los valores de matiz 10 YR en la escala de colores, representando aproximadamente un 64 % de la zona de estudio. Otros colores de suelo de menor cobertura se encuentran dentro de los valores 7.5 YR, 5 YR Y 2.5 YR, con colores que van desde rojos oscuros hasta grises se localizaron en localidades de los municipios de Villaflores y Villacorzo (transectos 5 y 6). (Cuadro 3 y Figura 1).

El valor medio de pH para la primera capa es de 5.5, y para la segunda capa es de 5.8, por lo tanto, podemos afirmar que los niveles de acidez se hacen presentes en mayor medida en los primeros 20 centímetros de suelo, lo cual influye directamente en la producción agrícola de la zona, dado que, según la literatura, un suelo con condiciones de pH de 5.5 o inferior, presenta ya problemas en cuanto a niveles de producción y aprovechamiento de nutrientes. Según la Norma Oficial Mexicana (NOM 021), estos suelos están dentro del rango de moderadamente ácidos.

En lo que respecta a los transectos, las partes medias y altas de ellos, es donde se presentan los niveles de pH más altos, presentándose en el transecto 6 los valores de pH superiores a 6.0. La NOM 021 clasifica estos suelos como moderadamente ácidos. Los rangos promedio de pH más ácidos se hacen presentes en el transecto número 5, oscilando entre 5.2 y 5.4, sin embargo, aunque el transecto 4 tiene una media de pH de 5.5, es donde se presenta el valor de pH más ácido, que fue de 4.5, clasificado según la Norma Oficial Mexicana como Fuertemente Ácido.

Con base en la información obtenida en campo de los muestreos de suelos, realizados en la región a través de los transectos, y mediante el uso de herramientas de Sistemas de Información Geográfico (SIG) y de la base de datos digitales de INEGI, se procesaron los datos de pH del suelo y se obtuvieron mapas, en donde se especifica claramente las áreas con diferentes índices de pH, clasificados con base al criterio de la Asociación Española de Fabricantes de Agronutrientes (AEFA). Con base a este criterio y con los datos de pH obtenidos en campo se definieron las diferentes categorías para la Región de la Frailesca y se elaboraron mapas de pH del suelo a dos profundidades de muestreo 0-20 cm y 20-40 cm. Una vez definidas las áreas por clasificación de pH se cuantificaron las áreas que ocupa cada clasificación de pH del suelo (Cuadro 3 y Figura 1).

En el Cuadro 3, se presentan los datos obtenidos del análisis geográfico realizado y se observa que a nivel de la región de estudio el pH del suelo predominante va de moderadamente ácido (pH 5.6 a 6.0) a fuertemente ácido (pH 5.1 a 5.5) ocupando el 91% de la superficie, lo que indica que los problemas de acidez en la zona son fuertes e impacta directamente en la producción de los cultivos, ya que suele ir acompañado de deficiencias de calcio, potasio, magnesio, azufre y molibdeno y exceso de cobre, manganeso y zinc, así también escasa actividad bacteriana que induce a la aparición clorosis férrica. Cabe señalar que esta información es a una profundidad de 0-20 cm. (Mapa 2). La fijación de zinc al complejo de adsorción es más fuerte a medida que aumenta el pH del suelo, por lo que, en suelos con

reacción neutra a alcalina disminuye su disponibilidad, así como en suelos con pH muy ácidos (Valenciana, 2003).

Cuadro 3. Distribución de las áreas por pH del suelo a una profundidad de 0-20 cm en la Región de la Frailesca, Chiapas.

Clasificación pH	Superficie (Ha)	Porcentaje
Fuertemente ácido (Al)	12,196	2
Fuertemente ácido	338,998	43
Moderadamente ácido	373,959	48
Ligeramente ácido	53,746	7
Total	778,889	100

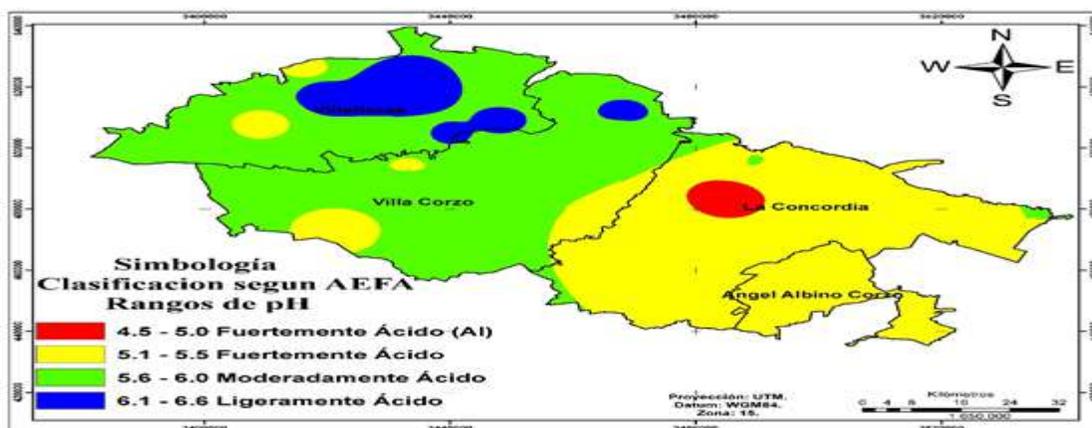


Figura 1. Zonificación de rangos de pH obtenidos de muestreos de suelos a una profundidad de 0-20 cm, en la Región de la Frailesca, Chiapas.

Este mismo análisis se realizó para una profundidad de 20-40 cm, en donde se observa que los niveles de acidez disminuyen ligeramente, ya que la mayor parte de la superficie se ubica en la clasificación moderadamente ácido con el 74%, e donde de acuerdo a la AEFA, es un suelo adecuado para la mayoría de los cultivos (pH 5.6 a 6.0). Esto se puede indicar que los valores de pH aumentan a mayor profundidad, que para el caso del cultivo de maíz puede ser una ventaja para la producción, sin embargo, el área radicular se localiza en mayor medida en la parte superficial (Cuadro 4 y Figura 2). Si existe una deficiencia de boro no se forman nuevas raíces y tampoco nuevas brotaciones. Los óxidos de aluminio fijan más boro que los óxidos de hierro a pH 6.0, la adsorción de boro es aproximadamente 20 veces mayor en los óxidos de aluminio que en los óxidos de hierro (Yamada, 2000).

Cuadro 4. Distribución de las áreas por pH del suelo a una profundidad de 20-40 cm en la Región de la Frailesca, Chiapas

Clasificación pH	Superficie (Ha)	Porcentaje
Fuertemente ácido	56,330	7
Moderadamente ácido	575,785	74
Ligeramente ácido	146,784	19
Total	778,889	100



Figura 2. Zonificación de rangos de pH obtenidos de muestreos de suelos a una profundidad de 0-20 cm, en la Región de la Frailesca, Chiapas

CONCLUSIONES

- La mayoría de los productores maneja un sistema policultivos como maíz – frijol, maíz – canavalia, maíz – calabaza.
- Predomina el tipo de tenencia de la tierra ejidal con una superficie promedio de 4 ha por productor.
- El sistema de producción es tradicional, debido a los altos costos de producción que implica utilizar las nuevas tecnologías.
- Los productores carecen de asesoría técnica de calidad y de manera oportuna que retribuya en mejores niveles de producción.
- El destino de la producción es con intermediarios o coyotes ya que son los que ofrecen los mejores precios y de manera efectiva, pero sin precios de garantía.
- Los valores de pH de los suelos de la región frailesca son moderadamente ácidos según la AEFA, de acuerdo con el muestreo de suelos realizada a dos profundidades.
- Los contenidos de materia orgánica en el suelo son de rango bajo a medio debido a la poca incorporación de rastrojo del cultivo de maíz.
- El tipo de textura predominante en la primera capa de 0-20 cm obtenido de los muestreos de suelos fueron de textura franco arenosas y arenosas.
- El problema de compactación generalmente se presentó en la segunda capa de 20-40 cm, debido al uso excesivo de maquinaria en la preparación de los suelos.
- La problemática de los suelos ácidos está relacionada directamente con la compactación de los suelos, los bajos contenidos de materia orgánica y el uso de fertilizante amoniacales.

LITERATURA CITADA

- López, B.W., Reynoso, S. R., López, M. J., Camas, G. R., Tasistro, A., (2017) Diagnóstico de la compactación en suelos cultivados con maíz en la Región Frailesca, Chiapas. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Vol. 9(1). 65-79 p.
- Lazcano, F. I. 1996. El encalado una buena parte de la solución al problema de los bajos rendimientos del maíz de la Frailesca en Chiapas. INPOFOS Informaciones Agronómicas Vol. 11, pp. 2-3, Querétaro, México.
- Nieukoop. M. V., W. López B., A. Zamarripa M., P Cadena I., B. Villar S. y R. de la Piedra C. 1992. Uso y conservación de los recursos naturales en la Frailesca, Chiapas: Un diagnóstico, CIMMYT. pp. 32-34, México, D. F.
- Valenciana, G. M. 2003. La función de los nutrientes secundarios y microelementos. 2ª. Edición. Editorial "ASAJA, pp. 13-19, Irapuato Guanajuato, México.
- Yamada, T. 2000. Boro: ¿Se están aplicando las dosis suficientes para el adecuado desarrollo de las plantas? INPOFOS, Informaciones Agronómicas No.41, pp. 8-12, Brasil.

REFERENCIAS INFORMATICAS

- SIAP, 2013. <http://www.siap.gob.mx/> (consultado el 18 de marzo de 2018).

Sección H:
Acuacultura

EFICIENCIA ENERGÉTICA EN GRANJAS ACUICOLAS ENERGY EFFICIENCY IN AQUACULTURE FARMS

Márquez Rocha FJ, Jiménez Rodríguez DJ, Ruiz Rodríguez CJ, Sánchez Ramos CA

Centro Regional para la Producción más Limpia Unidad Tabasco/Instituto Politécnico Nacional.
Circuito Tabasco Pte. s/n, Edif. FINTAB, Parque Industrial Tabasco Business Center, Carr. Reforma–
Dos Bocas Km 17+920, Ra. Pechucalco 2ª Sección, C.P. 86691, Cunduacán, Tabasco, México. Tel.
Autor para correspondencia: fjmrocha@yahoo.com.mx

RESUMEN

La actividad acuícola en el mundo y en México está teniendo un rápido crecimiento, debido al incremento de las necesidades alimentarias y el elevado agotamiento de los recursos pesqueros en los océanos, mares y zonas costeras, la actividad acuícola representa importantes fuentes de empleo y de desarrollo de zonas rurales, se estima que aproximadamente el 80% de los cultivos acuícolas en el país son de tipo extensivo y con bajo rendimiento, teniendo baja producción y requiriendo extensas zonas de cultivo; el empleo de tecnologías de aireación y recirculación de agua permiten mejorar el rendimiento y la productividad de las granjas acuícolas, ya que se mejoran las condiciones biológicas de los organismos acuáticos. La eficiencia energética es importante para mantener el crecimiento en las empresas e industrias a través de instalaciones y equipos más eficientes que permitan ahorrar energía y reducir los costos de producción sin afectar la calidad ni la productividad. Con la elaboración de un diagnóstico de eficiencia energética en una instalación acuícola se pudo determinar de forma general las áreas de oportunidad para mejorar la eficiencia, se analiza la distribución de la carga energética existente y la distribución del consumo de energía eléctrica siendo los mayores consumidores los sistemas de aireación y bombeo, se analizan de forma general las oportunidades de mejora encontradas, la eficiencia en los sistemas de aireación y la importancia de utilizar indicadores energéticos en instalaciones acuícolas.

Palabras clave: *eficiencia, acuicultura, indicador, ahorro energía, aireación*

INTRODUCCION

La acuicultura es una de las mejores técnicas ideadas por el hombre para producir alimentos y aprovechar los recursos acuáticos. Se está desarrollando para sumarse a la pesca y complementarla (CEDRSSA, 2015). La actividad acuícola está creciendo rápidamente en todo el mundo debido a la acción combinada de un fuerte aumento de la demanda de los productos pesqueros y el agotamiento de las poblaciones de peces en los océanos (SustainAqua, 2009). En el ámbito económico, la acuicultura representa una actividad de gran importancia, ya que constituye una fuente de empleo y una fuente de divisas.

En México la acuicultura es una de las actividades con mayor potencial y desarrollo en los últimos años; la cual arroja beneficios sociales y económicos que se traducen en una fuente de alimentación para la población, con elevado valor nutricional y costos accesibles. No obstante este desarrollo ha sido insuficiente. Aproximadamente el 80% de los cultivos que se desarrollan en el país son de tipo extensivo y con rendimiento bajo (SAGARPA, 2015).

Para mejorar el rendimiento de los cultivos acuícolas es necesario emplear tecnologías de aireación y recirculación del agua, garantizando las necesidades de oxígeno disuelto de los organismos acuáticos e incrementando la producción; el uso de estas tecnologías trae consigo el incremento de los costos energéticos de operación, ya que las necesidades energéticas son mayores.

Para mantener la competitividad y la rentabilidad de una granja acuícola es necesario reducir costos, sin embargo esta reducción no debe afectar la calidad del producto ni la producción, por ello una de las formas de reducir costos sin tener consecuencias es incrementar la eficiencia energética de operación de los equipos eléctricos que se encuentran en la instalación.

En las grandes instalaciones acuícolas se debe tener en cuenta que una de las variables de mayor importancia es el elevado consumo energético que se requiere para mantenerlas. El ahorro de energía que se puede conseguir podría ayudar a reducir los costos e incrementar la rentabilidad de la instalación acuícola y también permitir mitigar los efectos ambientales generados por la actividad productiva. (Obando, 2013).

La eficiencia energética como afirma Cicone *et al.* (2007) es una medida fundamental para mantener un crecimiento saludable en las empresas a través de instalaciones más eficientes. También nos permite dar respuesta a cuatro grandes retos del sector energético mundial: el cambio climático, la calidad y seguridad del suministro, la evolución de los mercados y la disponibilidad de las fuentes de energía (FENERCOM, 2007).

Una gran cantidad de los ahorros de energía se puede obtener de las prácticas aplicadas en el día a día en la forma de operación y uso de equipos. La energía es algo que se puede gestionar, al hacerlo, se obtiene reducción de costos y el incremento de la competitividad (CONUEE/GIZ, 2016).

En México durante el año 2017 la producción acuícola y pesquera alcanzo 1.8 millones de toneladas, con un valor de 38 mil millones de pesos, siendo el sector con mayor crecimiento (7%) entre las actividades agroalimentarias (CONAPESCA, 2018). La actividad acuícola del país durante el 2017 alcanzó una producción de 393,000 toneladas. En el contexto internacional México se ubica en el lugar número 17 en producción pesquera y el 24 en producción acuícola. De forma específica el país ocupa el tercer lugar como productor de pulpo; cuarto en atún; séptimo en camarón, y séptimo en sardina; y a nivel nacional las principales especies por volumen fueron sardina, camarón, mojarra, túnidos y anchoveta (SAGARPA, 2018).

En Tabasco la acuicultura es una actividad productiva muy importante que ha permitido el desarrollo de granjas acuícolas en zonas rurales del estado, durante el año 2017 se tuvo una producción acuícola y pesquera de 53,004 toneladas (SIAP, 2017).

Debido al impacto económico y social que tiene la acuicultura en el país, es necesario incrementar la competitividad y mejorar la rentabilidad de las instalaciones acuícolas. En este artículo se analizan diferentes áreas de oportunidad para mejorar la eficiencia energética en las instalaciones acuícolas, la aplicación de las diferentes tecnologías de aireación y la eficiencia con la que operan, también la forma en que se debe dar seguimiento al uso de la energía y los recursos empleando indicadores.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la identificación y el desarrollo de áreas de mejora de la eficiencia energética en granjas acuícolas se realizó un Diagnostico de Eficiencia Energética (DEE) Tipo 1 en las instalaciones de una granja acuícola. Fue realizado de acuerdo a la "Guía para elaborar un diagnóstico energético en inmuebles" establecida por la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE, 2013). La elaboración de un DEE incluye un conjunto de técnicas para determinar el grado de eficiencia con la que es utilizada la energía (FIDE/CNEE, 2010) en los procesos y equipos consumidores de energía, y a partir de éste, se detectaron oportunidades de mejora en las instalaciones eléctricas y procesos correspondientes. El DEE debe considerar los factores como la relación consumo-producción, o sea, indicadores energéticos que reflejen los verdaderos costos energéticos por unidad de producción (Salazar, Olivera, & Vidal, 2012). También se emplearon técnicas de investigación bibliográfica y documental para obtener una retroalimentación de información referente a eficiencia energética en granjas acuícolas.

El procedimiento seguido para la realización de DEE es el siguiente:

I. Recopilación de información. En este primer punto de la metodología se elaboró la estrategia de trabajo para analizar los principales consumidores de energía eléctrica y térmica de la instalación a evaluar. Por tanto, se solicitó al personal de la granja acuícola información de sus instalaciones: factura y/o recibos de consumos energéticos (electricidad, agua y combustibles) de por lo menos un año, registros de la producción de forma mensual (cantidad de biomasa producida por periodo de tiempo). Adicionalmente, se solicitó información general de la empresa, tal como: número de empleados, turnos de trabajo y días de operación al año.

También, se solicitaron las especificaciones técnicas de los sistemas consumidores de energía (iluminación, bombeo, sistemas de aireación, etc.) tal como: tipo de tecnología, antigüedad promedio, capacidad, potencias, formas y tiempos de operación. Con la información anterior, se procedió a identificar preliminarmente las áreas de oportunidad de ahorro de energía; asimismo, se preparó un plan de trabajo para visitar las instalaciones y recolectar información adicional de los sistemas de mayor consumo de energía.

II. Mediciones y censos en las instalaciones. Debido a que las visitas e inspecciones se realizaron en un periodo donde no había producción, no se pudieron realizar las mediciones eléctricas correspondientes, aun así, se lograron identificar algunos problemas existentes en las instalaciones

eléctricas. Durante las visitas se realizaron recorridos para obtener la información de los equipos existentes en la instalación y los datos de placa.

III. Análisis de información y desarrollo de oportunidades. Esta etapa se analizó el comportamiento histórico del consumo de energía eléctrica y su relación con la producción de biomasa, esto permitió la generación de indicadores energéticos. La evaluación y control de la eficiencia energética requiere de los indicadores energéticos, los cuales reflejan los resultados alcanzados a nivel energético (IEA, 2015), para evaluar oportunidades de mejora y dar seguimiento a las medidas que se implementen para mejorar la eficiencia energética de la instalación y con ello reducir el consumo de energía.

De manera consecuente, se evaluaron los potenciales de ahorro de energía, primero por la aplicación de medidas administrativas y prácticas operacionales. Segundo por prácticas eficientes y programas de mantenimiento. Además, se detectaron aquellas actividades que por ajuste a los sistemas y equipos, y/o por la aplicación de alternativas tecnológicas, aprovecharían adecuadamente la energía.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Derivado del censo de cargas de los equipos que están en operación en la granja acuícola, se obtuvo la Figura 8 donde se aprecia el porcentaje de la carga total que aporta cada uno de los sistemas; siendo los sistemas de aireación tipo paletas el de mayor aporte con 46% de la carga total, mientras que el grupo de equipos de sistema de iluminación y misceláneos aporta el 1% a la carga total.

Respecto al consumo de energía eléctrica en la Figura 9 se puede apreciar los porcentajes de distribución, los sistemas de aireación tipo paleta son los mayores consumidores de energía con el 65%, seguido de los blowers con el 16%.

El sistema de bombeo a pesar de aportar el 43% de la demanda total de energía, consume solamente el 8%, esto debido a que solo opera de forma constante durante el llenado de los estanques, y el resto del tiempo por periodos pequeños, cuando se requiere hacer recambios del agua o bien para recuperar las pérdidas de agua por evaporación y filtraciones, y así mantener los niveles de profundidad. Las mayores áreas de oportunidad ahorrar energía eléctrica se encuentra en los sistemas de aireación tipo paleta, ya que es el grupo de equipos que mayor cantidad de energía eléctrica consumen.



Figura 8. Distribución de la demanda eléctrica (kW) de los equipos



Figura 9. Distribución del consumo de energía (kWh) de los equipos

En la Figura 10 se aprecia la relación que existe entre el consumo de energía y la producción mensual de biomasa, se observa que existen cierta correspondencia entre la energía eléctrica consumida y la producción de biomasa, si incrementa la producción incrementa el consumo energético, también se puede notar que tanto la producción de biomasa como el consumo energético no incrementan ni disminuyen de forma proporcional, en el mes de noviembre se obtuvo la producción máxima de biomasa la cual fue de 14 toneladas mientras que el consumo energético fue 11,550 kWh, mientras que la mínima producción se obtuvo durante el mes de septiembre con únicamente 0.5 toneladas y un consumo energético de 3,344 kWh.

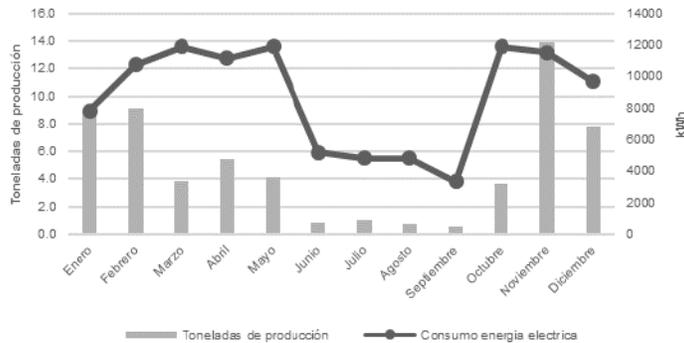


Figura 10. Consumo eléctrico y producción de biomasa 2017.

En la Figura 11 se observa una gráfica de dispersión entre el consumo de energía y la producción de biomasa, de acuerdo al coeficiente de determinación $R^2=0.74$, existe una cierta asociación entre la producción de biomasa y el consumo de energía eléctrica, se aprecia en la curva de potencial que entre mayor sea la producción mayor será el consumo energético; los puntos mostrados debajo de la curva resultan ser los periodos menos eficientes debido a que reflejan un alto consumo energético con una producción menor, mientras que los puntos observados por arriba de la curva de potencial de producción vs consumo energético reflejan periodos donde el aprovechamiento de la energía eléctrica fue mayor debido a que la producción en esos periodos fue más elevada, por tanto son periodos altamente productivos.

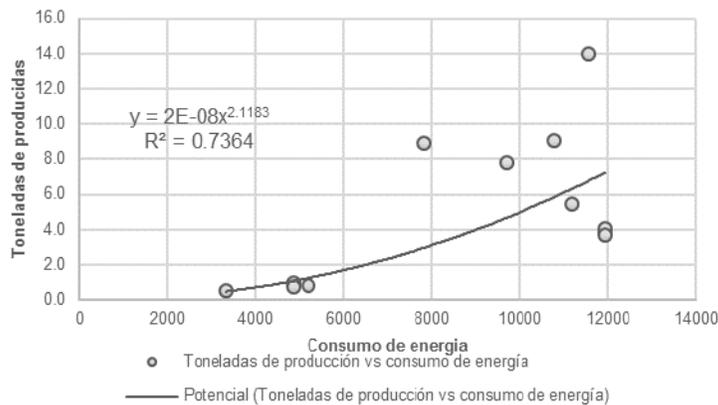


Figura 11. Dispersión del consumo eléctrico y producción de biomasa 2017

Derivado de los recorridos realizados y el análisis de la información recolectada se encontraron áreas de oportunidad para mejorar la eficiencia energética y disminuir el consumo de energía, en la Figura 12 se representa mediante un diagrama de Ishikawa o causa-efecto las principales deficiencias encontradas en las instalaciones, cabe destacar que para mostrar un panorama general de las deficiencias principales en las granjas acuícolas se complementó el diagrama de acuerdo a los resultados obtenidos en estudios energéticos de instalaciones acuícolas realizados por (Obando, 2013) y (Echemendía, Ortega, & Borges, 2015).

Es importante señalar que estas oportunidades pueden ser aplicables a otras granjas acuícolas, existiendo variaciones de acuerdo al nivel de equipamiento y tecnologías, siendo necesario para mayor precisión, realizar un estudio energético como el DEE que permita evaluar las instalaciones de forma concreta. Las áreas de oportunidad encontradas con el DEE son:

Sustitución de cableado en mal estado y selección del calibre correcto

El cableado alimentador principal se encuentra recalentado, debido a las altas corrientes que fluyen a través de este y también a la elevada temperatura ambiente, esto produce perdidas por calentamiento por efecto joule en el cableado, que de no corregirse podría tener mayores consecuencias.

Disminuir la caída de voltaje de la instalación

Se identificó que existen problemas de bajo voltaje en la instalación, esto ha provocado fallas en los equipos de la instalación dejándolos inclusive fuera de servicio, el voltaje al que operan los equipos debe ser el mismo que se indica en sus datos de placa, en motores y bombas las variaciones de voltaje tienen consecuencias como: operación con baja eficiencia energética, incremento de la corriente eléctrica, sobrecalentamiento en el bobinado, reducción de la vida útil del equipo, variación de la carga entregada (flujo de agua, oxígeno, etc.). Para una solución concreta se tendría que realizar un estudio de mayor alcance, de forma general se pueden tomar las siguientes medidas: informar a la empresa suministradora de energía de estos problemas de voltaje para que sea asesorado por ellos; en caso de recibir suministro de energía eléctrica en media tensión es posible que pueda mejorar el voltaje de baja tensión moviendo el tap de regulación de voltaje que se encuentra en el transformador, esta operación deberá realizarse por personal especializado. También se deberá verificar que los interruptores y protecciones se encuentren en estado óptimo, verificar que las conexiones y terminales no estén sueltas o flojas, para que el voltaje sea el adecuado, a grandes distancias se recomienda sobredimensionar el cableado, esto deberá realizarse con personal especializado. Entre otras soluciones que deben evaluarse de forma concreta para cada instalación.

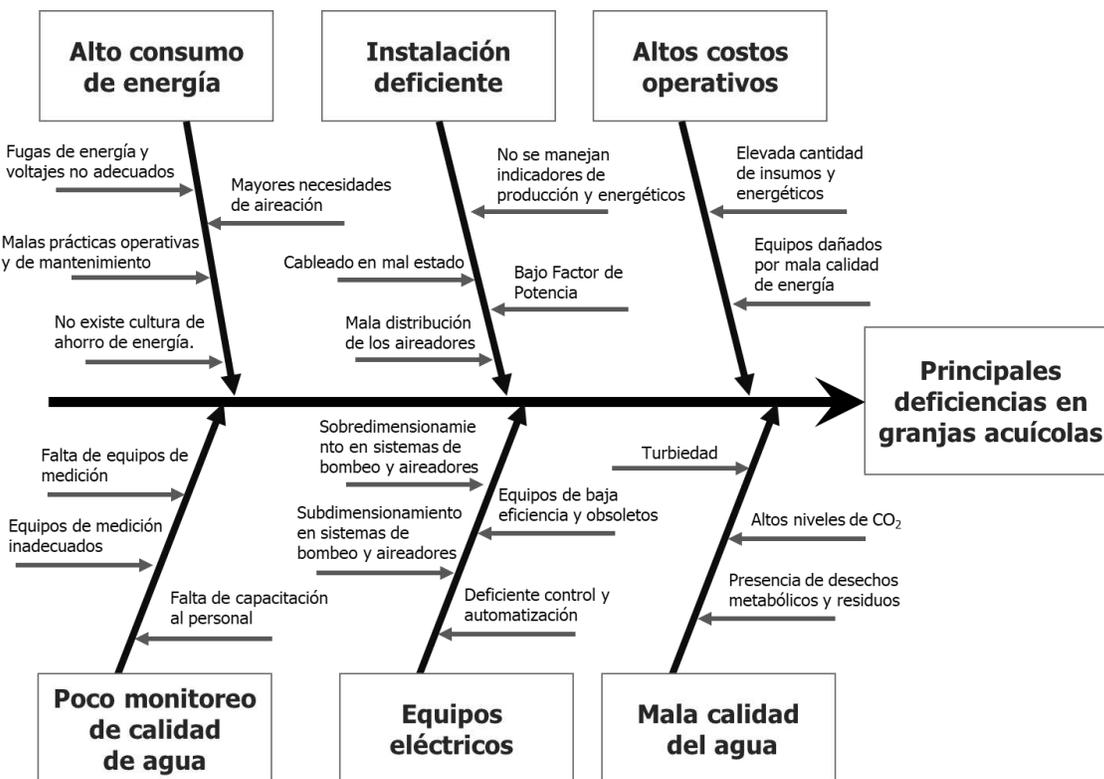


Figura 12. Principales causas de deficiencia en instalaciones acuícolas.

Instalación de arrancadores de estado sólido

Para los sistemas de bombeo de mayor capacidad deberá instalarse de preferencia arrancadores de estado sólido, estos dispositivos electrónicos de potencia ofrecen arranques de máquinas eléctricas suaves y progresivos, controlando la corriente de entrada al momento del arranque y reduciendo tanto el desgaste mecánico como el eléctrico, teniendo el beneficio de no variar el voltaje de suministro de la instalación durante el arranque de estas cargas y mantener la demanda eléctrica controlada. No se recomienda arrancar varias cargas grandes de forma simultánea, siempre se deberá hacer de forma escalonada para evitar variaciones de voltaje e incremento instantáneo de la demanda eléctrica.

Redistribución de la carga eléctrica en las líneas de alimentación

Es necesario verificar que las cargas de la instalación estén balanceadas, para evitar líneas sobrecargadas, pérdidas por calentamiento y desbalances de voltaje.

Automatización del sistema de bombeo y aireación (blowers, inyección, paletas)

Automatización es el uso de sistemas de control y de tecnología informática para reducir la necesidad de la intervención humana en un proceso. Teniendo grandes ventajas como: incremento de la producción, mejora de la calidad de un producto, mayor control de un proceso, operación eficiente de un proceso, entre otras ventajas. La automatización de un proceso requiere de una elevada inversión inicial, sin embargo con las mejoras de producción y operación que se obtengan la inversión se recuperará, dándole a la empresa una línea de producción con altos índices de ingresos.

Un sistema automatizado genera que la operación de los equipos sea de forma más precisa y con mayor eficiencia, ya que los arranques y paradas de los equipos están controlados por las variables críticas como la cantidad de oxígeno disuelto. Para llevar a cabo la automatización de una granja acuícola se necesitan diferentes dispositivos como PLC's, módulos de expansión de entradas y salidas digitales y analógicas, contactores, botones de arranque y paro, sensores de oxígeno, interruptores de nivel, arrancadores suaves, entre otros (García & Ramírez, 2012).

Instalación de banco de capacitores para mejorar el factor de potencia

El factor de potencia es un indicador sobre qué tan eficiente se aprovecha la energía eléctrica en una instalación, la empresa suministradora de energía eléctrica en México penaliza a los servicios de media tensión que tengan un factor de potencia por debajo del 90% mientras que bonifica a los servicios con factor mayor al 90%, el tener un bajo factor de potencia a parte de la penalización tiene como consecuencia: mayor flujo de corriente eléctrica en los conductores, pérdidas por calentamiento (efecto joule), sobrecalentamiento en los bobinados de motores, caída de voltaje, disminución de la eficiencia de operación en motores; para la corrección del factor de potencia se requiere realizar estudios detallados y mediciones eléctricas en la instalación y también de la asesoría de personal especializado.

Implementar un programa de mantenimiento

Se identificó que no existe un programa de mantenimiento de los equipos que se encuentran en la granja acuícola, los equipos únicamente reciben mantenimiento correctivo cada que alguno de ellos sufre una avería, en algunos casos los equipos se tienen que sustituir. Para mantener los equipos operando a su máxima eficiencia es necesario realizar mantenimiento preventivo e inspecciones periódicas dando prioridad a los equipos más críticos para el proceso productivo. Es necesario elaborar y aplicar un programa de mantenimiento preventivo.

Mejorar las prácticas operativas del personal

Se debe capacitar al personal operativo de la granja acuícola en temas afines a sus funciones, para mejorar el desempeño de cada uno de ellos; es necesario también elaborar manuales y guías de las funciones y procedimientos que se llevan a cabo en las instalaciones.

Sustituir los sistemas de aireación por sistemas eficientes

Actualmente la granja acuícola cuenta con sistemas de tipo paleta en su mayoría, también cuenta con sistemas de tipo inyección y blowers, la desventaja es que la gran mayoría se encuentran en malas condiciones operativas debido a que no se les realiza mantenimiento preventivo, también la eficiencia de operación de estos equipos se ha disminuido debido a que operan con variaciones de voltaje, por lo que antes de sustituir los sistemas de aireación será necesario mejorar las instalaciones eléctricas y garantizar el correcto suministro de energía; debido al alcance del diagnóstico de eficiencia energética no fue posible evaluar las opciones para la sustitución de los aireadores, será necesario que se realice un proyecto para seleccionar los aireadores más adecuados para las condiciones operativas de la granja acuícola.

Sistemas de aireación

Los sistemas de aireación mejoran la calidad ambiental en la que se encuentran las especies cultivadas en los estanques (Boyd, 1998) y permiten el correcto desarrollo de las especies. Otro aspecto importante de la aireación es que puede minimizar la acumulación de materia orgánica y reducir la densidad de floraciones de algas que normalmente conduce a incrementos de demanda de oxígeno disuelto dentro del estanque (Hargreaves, 2003), cuando se desea incrementar la producción acuícola es necesario el uso de la aireación ya que la demanda de oxígeno disuelto del estanque incrementa (Galli & Sal, 2007).

Tipos de aireadores aplicados a la acuicultura

Existen varios tipos y configuraciones de aireadores que se pueden usar para aumentar las concentraciones de oxígeno disuelto en estanques de acuícolas. La selección adecuada del sistema de aireación se basa en varios factores, incluidos los siguientes: Forma, tamaño y profundidad del

estanque, disponibilidad de la energía eléctrica, tipo de aireación (emergencia o continua), eficiencia de aireación, requerimientos de oxígeno disuelto (Oakes, Gullett, & Bobowick, 2011).

El rendimiento del aireador se mide como la tasa de transferencia de oxígeno estándar (SOTR) o la eficiencia de aireación estándar (SAE). El SOTR es la cantidad de oxígeno que se agrega al agua en 1 hora en condiciones estándar, expresada en libras de O₂/hora o kg de O₂/hora. El SAE es la tasa de transferencia de oxígeno estándar dividida por la potencia (hp o kW) de la unidad, expresada en libras de O₂/hp-hora o kg de O₂/kW-hora transferidas al agua. (Boyd, 1998).

En el siguiente Cuadro 1 se aprecia las eficiencias de aireación estándar de diferentes sistemas de acuerdo a algunos autores, se puede ver que el tipo de aireador más eficiente es el difusor de microburbujas con una eficiencia de aireación máxima de 8 Kg O₂/kWh, este tipo de sistema de aireación inyecta aire en forma de microburbujas hacia un cuerpo de agua, la efectividad de la transferencia de oxígeno depende del diámetro de la microburbuja y la profundidad a la que este sumergido el difusor. Entre más pequeña y mayor la profundidad a la que es liberada la microburbuja, este sistema de aireación se hace más eficiente (Talavera *et al.*, 2001).

Cuadro 1: Resumen de las eficiencias estándar de aireación de 6 tipos de aireadores.

Eficiencia de diferentes tipos de aireadores			
Aireador	SAE (Kg O ₂ /kWh) promedio	SAE (Kg O ₂ /kWh) rango	Referencias
Aireador de aspiración con hélice	-	1.73-1.91	(Boyd & Martinson, Evaluation of propeller-aspirator pump aerators , 1984)
	-	0.73-1.52	(Boyd & Ahmad , Evaluation of aerators for channel catfish farming , 1987)
	0.58	1.28-1.82	(Oakes, Gullett, & Bobowick, 2011)
Bomba vertical	1.4	0.67-1.82	(Oakes, Gullett, & Bobowick, 2011)
	-	0.73-1.52	(Boyd & Ahmad , Evaluation of aerators for channel catfish farming , 1987)
Bomba tipo spray	-	1.34-1.41	(Boyd & Martinson, Evaluation of propeller-aspirator pump aerators , 1984)
	1.28	0.91-1.886	(Oakes, Gullett, & Bobowick, 2011)
Difusor de aire	1.18	-	(Boyd & Martinson, Evaluation of propeller-aspirator pump aerators , 1984)
	0.91	0.67-1.21	(Oakes, Gullett, & Bobowick, 2011)
Aireador de paletas	2.19	1.095-2.98	(Oakes, Gullett, & Bobowick, 2011)
Difusor de microburbujas		3-5.9	(Ovezea, 2009)
		2.5-8	(Xylem, s.f.)

El siguiente sistema de aireación en cuanto a eficiencia es el tipo paleta con una eficiencia máxima de 2.98 Kg O₂/kWh, este sistema presenta la ventaja de ser más eficaces revolviendo el agua del estanque y manteniendo grandes áreas de alimentación limpias. En los sistemas de tipo paleta la tasa de transferencia de oxígeno dependerá del diámetro del cilindro de rotación, profundidad dentro del agua, curvatura de las paletas y velocidad de rotación del eje.

Para tener un mayor control del proceso productivo y los insumos utilizados es posible la implementación de indicadores los cuales son una herramienta importante para analizar interacciones entre variables relevantes como: la actividad económica y humana, el consumo de energía eléctrica y combustibles, alimentos, costos, cantidad de producción, etc. Para el caso de un indicador energético además de proveer información sobre las tendencias respecto al consumo histórico de energía, puede ser utilizado en la modelización y la predicción de la demanda futura de energía (IEA, 2015).

Se propone la utilización del indicador de consumo energético en kWh entre kilogramos de producción de forma mensual, esto permitirá llevar un control sobre la cantidad de energía eléctrica requerida por kilogramo de producción, en caso de implementar mejoras en las instalaciones o bien un programa de ahorro de energía el indicador energético permitirá dar seguimiento a la eficiencia energética con la que opera la instalación e identificar si las mejoras realizadas están teniendo efecto.

En la Figura 13 se muestra el grafico que relaciona el indicador energético con la producción en kilogramos, este indicador se puede obtener de forma mensual para un mejor análisis. Se observa que entre menor sea el valor del indicador la producción es mayor, debido a que se está utilizando menor cantidad de energía eléctrica (kWh) por kilogramo de producción. La máxima eficiencia se alcanzó durante el periodo de noviembre de 2017 con un indicador energético de 0.83 kWh/kg de producción mientras que la menor eficiencia se tuvo en el periodo de agosto de 2017 con 6.37 kWh/kg de producción, requiriendo una mayor cantidad de energía eléctrica por kilogramo producido.

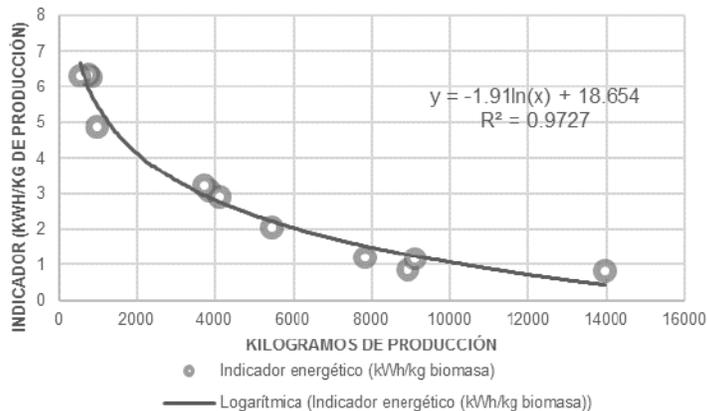


Figura 13. Dispersión de indicador energético y kilogramos de producción 2017

CONCLUSIONES

El diagnóstico de eficiencia energética permitió identificar las áreas de oportunidad existentes en la granja acuícola; debido al alcance del diagnóstico no se evaluaron técnicamente ni económicamente las propuestas, aun así se puede concluir que existen importantes oportunidades para reducir el consumo de energía eléctrica que a su vez permitirá disminuir los costos de producción e incrementar la productividad y rentabilidad de la granja acuícola; se determinó que la mala calidad de la energía eléctrica, la falta de mantenimiento preventivo, los sistemas de control deficientes y las malas prácticas operativas han influido notablemente en el deterioro y baja eficiencia operativa de los sistemas de bombeo y aireación. También se analizó la importancia que tienen los sistemas de aireación en la acuicultura, ya que permiten incrementar la productividad y mantener las condiciones del agua de los estanques en óptimo estado, mejorando las condiciones biológicas de los organismos acuáticos. Asimismo, se hizo una comparativa de los sistemas de aireación y se encontró que los tipo difusor de microburbuja tienen la mejor eficiencia de aireación estándar, alcanzando los 8 kg O₂/kWh, pero su eficiencia puede variar notablemente dependiendo del diseño y condiciones del estanque, la profundidad de liberación y el tamaño de microburbuja inyectada, el tipo de difusor y su distribución en el estanque. Finalmente, se concluye que es importante formular, implementar y dar seguimiento a indicadores energéticos que permitan mantener un control sobre la eficiencia energética y productiva de la granja acuícola, se deben fijar valores estándares de indicadores energéticos a los que deberá operar, e inclusive valores de indicadores a los que se desea llegar en caso de iniciar un programa de ahorro de energía.

LITERATURA CITADA

- Boyd, C. E. (1998). Pond Water Aeration Systems. Department of Fisheries and Allied Aquacultures, Auburn University, p. 9-40.
- Boyd, C. E., & Ahmad, T. (1987). Evaluation of aerators for channel catfish farming. Alabama Agricul. Exp. Station, Auburn University, Auburn, AL, Bull., p. 52.
- Boyd, C. E., & Martinson, D. J. (1984). Evaluation of propeller-aspirator pump aerators. Aquaculture, p.36, p. 283-292.
- CEDRSSA. (2015). La acuicultura. Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria.
- Cicone, D., Correa, F., Morales, M. E., & Baesso, J. A. (2007). Atratividade financeira e tomada de decisão em projetos de eficiência energética. Revista Brasileira de Energia, v. 13, n. 2, p. 129 - 146.
- CONUEE/GIZ. (2016). Manual para la Implementación de un Sistema de Gestión de la Energía. Ciudad de México, México: Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE), en colaboración con Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.
- Echemendía, I., Ortega, A., & Borges, A. H. (2015). Diagnóstico Energético y propuestas en la entidad "Induspir" de la empresa pesquera de Sancti Spiritus. Revista multitemática de desarrollo local y sostenibilidad Universidad Sancti Spiritus José Martí Pérez, p. 3-15.

- FENERCOM. (2007). Guía de gestión energética en el sector hotelero. Madrid, España: Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid.
- Galli, O., & Sal, F. M. (2007). Sistemas de recirculación y tratamiento de agua. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos (Santa Ana - Corriente), p. 2-10.
- García, J. A., & Ramírez, M. (2012). Automatización de la producción de tilapia. Tesis de Ingeniería. Distrito Federal, México: Instituto Politécnico Nacional.
- Hargreaves, J. A. (2003). Pond Mixing. Southern Regional Aquaculture Center, SRAC Publication No. 4602, United States Department of Agriculture, Cooperative State Research, Education, and Extension Service.
- IEA. (2015). Indicadores de eficiencia energética: Bases esenciales para el establecimiento de políticas. Paris, Francia: International Energie Agency.
- Oakes, P. L., Gullett, K., & Bobowick, T. (2011). Aeration of ponds used in aquaculture. Agricultural Engineering Technical Note No. AEN-3, p. 5-11.
- Obando, K. A. (2013). Análisis y evaluación para la determinación de la eficiencia energética en una piscicultura. Tesis de Ingeniería. Chile: Instituto de Acuicultura.
- Ovezea, A. (2009). Saving energy: Using fine bubble diffusers. Filtration & Separation.
- SAGARPA. (2015). Situación actual de la acuicultura en Tabasco, problemática y perspectivas de desarrollo a través de la innovación tecnológica. Secretaría de Agricultura, ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.
- Salazar, C., Olivera, E., & Vidal, J. R. (2012). La eficiencia energética como herramienta de gestión de costos. Revista del Instituto Internacional de Costos, p. 50-51.
- SustainAqua. (2009). A handbook for sustainable aquaculture. Madrid, España.
- Talavera, V., Sánchez, D., Zapata, L. M., & Salazar, M. C. (2001). Aireación en estanques de cultivo de camarón. Boletín Nicovita, p. 2-3.

REFERENCIAS INFORMATICAS

- CONAPESCA, 2018. Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca. <https://www.gob.mx/conapesca/articulos/aumenta-en-2017-la-produccion-pesquera-y-acuicola-nacional-a-1-8-millones-de-toneladas-conapesca-152749> (consultado el 30 de mayo de 2018).
- CONUEE, 2013. Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/92091/Guainm2013.pdf> (consultado el 30 de mayo de 2018).
- FIDE/CNEE, 2010. Comisión Nacional de Energía Eléctrica Guatemala. [http://www.cnee.gob.gt/EficienciaEnergetica/FIDE/001%20M%C3%B3dulo%20I%20\(Diagn%C3%B3sticos%20Energ%C3%A9ticos\).pdf](http://www.cnee.gob.gt/EficienciaEnergetica/FIDE/001%20M%C3%B3dulo%20I%20(Diagn%C3%B3sticos%20Energ%C3%A9ticos).pdf) (consultado el 31 de mayo de 2018).
- SAGARPA, 2018. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. <http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/nayarit/boletines/2018/marzo/Documents/BNSAGM-AR222018.pdf> (consultado el 31 de mayo de 2018).
- SIAP, 2017. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. http://pesca.siap.gob.mx/produccion/rep_mensual_est_opc_gobmx.php?tipo=0&anioRep=2017&entidadFed=90 (consultado el 6 de junio de 2018).
- Xylem, s.f. Aquaculture Xylem US. <https://www.xylem.com/en-us/industries-applications/aquaculture/> (consultado el 6 de junio de 2018).

ÍNDICE DE AUTORES

A

- Aceves Navarro, 598
Adalberto Galindo, 591
Aguilar Caballero, 281
Aguilar Duarte, 158, 563, 585
Aguilar Rivera, 473
Aguilar Sánchez, 164, 201
Aguilar-Rodas, 651
Alados-Arboledas, 482
Alejo J, 240
Almenares López, 274
Alonso Báez, 86
Alvarado-Moreno, 651
Álvarez Martínez, 289, 295
Andrés-Meza, 138, 473
Angeles Núñez, 531
Aranda-Ibáñez, 301, 603
Arellano Galicia, 417
Argüello García, 245
Arias de la Cruz, 400
Ariza Flores, 8, 15
Arredondo Moreno, 168
Arreola Enríquez, 39
Arroyo Falconi, 341
Avilés Baeza, 76
Azpeitia Morales, 261
Báez Ruiz, 306
Barrientos-Ramírez, 301
Barrios Gómez, 39
Barrón Freyre, 124, 131, 150
Bastos Barbudo, 80
Basulto Graniel, 181
Bautista, 563
Bautista-Martínez, 323
Becerra Leor, 473
Bolaños-Aguilar, 301
Bolio-López, 274, 301, 368, 473
Brito Vega, 45
Buendía-Rodríguez, 492
Burgos Díaz, 80, 181
Cadena Hinojosa, 55
Cadena-Iñiguez, 460, 466, 546
Cahuich, 563
Cámara Cabrales, 552
Cámara-Córdova, 114, 487
Camas-Gómez, 466
Cano-González, 158, 447
Cappello García, 216
Cariñanos-González, 482
Castañeda Mendoza, 502
Castelán Estrada, 69
Castillo-Pérez, 651
Cázarez-Ruiz, 205, 609
Cebada-Merino, 138
Chávez AK, 619
Cob Uicab, 226
Colorado-Torres, 368
Contreras Hinojosa, 439
Córdova De La Cruz, 316
Córdova-Sánchez, 368
Cortazar R, 240
Corzo-Ríos, 363, 383, 389
Coutiño-Estrada, 466
Cruz Santos E, 546
Cruz Tamayo, 281
Cruz-Guzmán, 23
Cruz-Sánchez, 651
Cruz-Santos, 460
De Dios L., 144
De la Cruz-Martínez, 138
De los Santos Posadas, 502
De Los Santos-Ricardez, 150, 252
Del Rivero-Bautista, 191
Del Rosario Arellano, 473
de-la-Cruz-Pérez, 216
Delgado-Ramírez, 540
Denise Herrera, 172
Díaz Fuentes, 578
Díaz-Huacuz, 63, 377
Díaz-Sánchez, 651
Dominguez C, 240
Durán-Prado, 114
Espinosa Paz, 8, 15
Espinosa Trujillo, 8, 11, 80, 323
Espinosa-Calderón, 138, 473
Estefania-Ojeda, 377
Estrada Medina, 585
Estrada-Avalos, 540
Euan Ávila, 585
Felix Ocaña, 424
Fernández Montes, 172
Ferral-Piña, 95
Figueroa Millán, 289, 295
Flores López R, 55
Galindo Alcántara, 552, 628
Gálvez Marroquín, 86, 91
Gamboa, 181
Gámez-Meza, 358
García Galindo, 333
García Hernández, 311
García Jiménez, 348
García S, 144
García Sandoval, 34, 49
García-Cuevas, 226, 492, 497, 511, 519
García-Espinoza, 497

García-González, 651
 García-Magaña, 497
 Garrido-Ramírez, 258
 Gerónimo Sánchez, 635
 Gijón Yescas, 585
 Gil Muñoz, 383
 Gómez Méndez, 45
 Gómez-Montiel, 138
 Gómez-Valenzuela, 269
 González Cortés, 430
 González Garduño, 281
 González-Chavira, 328, 377
 González-Hernández, 519
 González-Pérez, 328
 Grajales Solís, 86
 Granados-Rivera, 323
 Guillén González, 216
 Gutiérrez B., 144
 Guzman-Maldonado, 377
 Hayano-Kanashiro, 358
 Hernández Becerra, 333, 348
 Hernández Díaz, 261
 Hernández Domínguez, 316, 400
 Hernández Galvez, 603
 Hernández Nataren, 316, 417
 Hernández Pérez, 95
 Hernández Vélez, 341
 Hernández-Gómez, 150, 258, 354
 Hernández-Ramos, 460, 492, 497, 511, 519, 546
 Hernández-Villegas, 274, 301, 368
 Herrera Corredor, 531
 Honorato Salazar, 164, 221
 Ibarra Gómez, 201
 Jaime Mondragón, 311
 Jiménez Hidalgo, 591
 Jiménez JJC, 619
 Jiménez Rodríguez, 658
 Jiménez-Jiménez, 609
 Jiménez-Martínez, 363, 383, 389, 424
 Joaquín Cancino, 323
 Juárez-Bonilla, 191
 Lagunes-Espinoza, 23, 69, 191
 Lara Viveros, 69
 Lara-López, 651
 Leyva Ovalle, 138, 473
 Limeta-Cuervo, 651
 Limón SE, 619
 López Acevedo, 323
 López Báez, 546
 López Carrillo, 45
 López Cruz, 348
 López Hernández, 2, 39, 306
 López-Báez, 460
 López-Domínguez, 150
 López-González, 412
 López-Jiménez, 301, 598
 López-López, 114, 245, 424, 540
 Lopez-Martínez, 258
 López-Sánchez, 651
 Lozano Contreras, 19, 59
 Lucien Veleza, 368
 Luna Jiménez, 430
 Luna Rodríguez, 216
 Lyamani, 482
 Magaña-Aquino, 572
 Maldonado Méndez, 86
 Manjarrez Juárez, 63
 Márquez Rocha, 658
 Martínez Cuestas, 430
 Martínez Sánchez, 8, 15, 439
 Martínez Valencia, 258, 354, 578
 Martínez Zurimendi, 552
 Martínez-Ángel, 497, 519
 Martínez-Herrera, 114, 245, 363, 383, 389, 424
 Medina Esquivel, 585
 Medina-Juárez, 358
 Mejía Ramírez, 69
 Meléndez-Hernández, 104
 Melero Meraz, 172
 Mendoza de Gives, 311
 Mendoza López, 603
 Mendoza-Hernández, 191, 316
 Meneses Márquez, 473
 Miguel-Valle, 540
 Milián Vicente, 430
 Mirafuentes Hernández, 261
 Moguel Ordóñez, 19, 59, 406, 563
 Montes Molina, 8
 Montes R, 240
 Moo-Huchín, 412
 Morales Cruz, 341
 Morales Guerra, 439
 Morales Hernández, 552
 Morales-Valenzuela, 30
 Moscoso Ramírez, 641
 Muñoz-Flores, 460, 546
 Murguía Olmedo, 406
 Murguía OM, 285
 Murguía-González, 138, 473
 Nah CHE, 285
 Nájera Domínguez, 578
 Nava García, 80
 Nava-Padilla, 95
 Nila Méndez, 400
 Noriega Cantú, 439
 Obrador Olán, 69
 Ocampo-Pérez, 651
 Ochoa Flores, 333, 348
 Olán Vidal, 635
 Olivera-de los Santos, 104

Olmedo Juárez, 311
 Ordoñez Prado, 502, 511
 Orocio Carrillo, 603
 Oropeza Salín, 158
 Ortiz-García, 216
 Ovando Cruz, 86, 91
 Pablo P, 240
 Pablo-Pérez, 23
 Palma-López, 256, 473
 Pecina Quintero, 531
 Pérez-Miranda, 519
 Pineda-Bonilla, 651
 Pinzón López, 39
 Pons-Hernández, 328, 377
 Prado García, 63
 Quintanar Olguin, 455, 527
 Quiñonez Barraza, 502, 511
 Ramírez Córdova, 8, 15
 Ramírez García, 552
 Ramírez Jaramillo, 19, 59, 158
 Ramírez Sandoval, 261
 Ramírez Silva, 19, 158, 447
 Ramírez SKA, 619
 Ramírez-Guillermo, 114, 150, 252, 258
 Ramos-Cruz, 540
 Rangel Fajardo, 34, 80, 95
 Rebolledo García, 164
 Reveles-Torres, 186
 Reyes Reyes, 196
 Reygadas Prado, 563
 Reynoso-Santos, 460, 492, 546
 Rico Ponce, 196
 Rincón-Ramírez, 191
 Rivera Hernández, 245, 473
 Rivera Leyva, 226
 Rivera Torrez, 274
 Rivera-Cruz, 205, 572, 598, 603, 609, 619, 641
 Rivero Bautista, 417
 Rodríguez Blanco, 333
 Rodríguez C, 144
 Rodríguez Chávez, 546
 Rodríguez Cuevas, 635
 Rodríguez Escobar, 232
 Rodríguez Falconi, 232
 Rodríguez Montalvo, 124, 131, 138
 Rodríguez Quibrera, 232
 Rodríguez Robles, 168
 Rodríguez Sánchez, 333
 Rodriguez-Vivas, 295
 Rojas RO, 285
 Rojas-Martínez, 289, 295
 Rojo Rubio, 311
 Rosario Arellano, 138
 Rosas Gonzales, 473
 Rubio Covarrubias, 55
 Ruiz Acosta, 552, 591, 628
 Ruíz B., 144
 Ruiz Beltrán, 635
 Ruíz Cruz, 578
 Ruiz García, 2
 Ruiz Rodríguez, 658
 Ruiz Santiago, 348
 Ruíz-Victoria, 383
 Salaya Domínguez, 45
 Salinas Cruz, 439
 Salvador Esparza, 635
 Sánchez Chino, 383, 389, 424
 Sánchez Martínez, 15
 Sánchez Monsalvo, 221
 Sánchez Ramos, 658
 Sánchez Tosca, 341
 Sánchez-Chino, 363
 Sandoval Martínez, 646
 Sarracino Martínez, 598
 Sauri-Duch, 412
 Serna-Lagunes, 138, 473
 Sierra Macías, 124, 131, 138, 473
 Sol Sánchez, 598, 641
 Solís-Bonilla, 258, 354
 Sosa P, 240
 Soto Rocha, 95
 Stern, 455
 Sumano L., 144
 Sumano López, 635
 Tadeo-Robledo, 138, 473
 Tamarit Urias, 492, 502, 511
 Torres Hernández, 281
 Torres-de-la-Cruz, 216
 Triana Acevedo, 628
 Trujillo-Narcía, 205, 206, 572, 598, 609, 619, 641
 Tucuch Haas, 34, 80, 95
 Turrent-Fernández, 466
 Uresti-Durán, 482
 Urrieta Saltijeral, 341
 Uzcanga-Pérez, 447
 Valadez Villarreal, 348
 Valerio Cárdenas, 368
 Vásquez Ortiz, 439
 Vázquez Carrillo, 55, 473
 Vázquez Hernández, 245
 Vázquez-Navarrete, 191
 Vega-López, 205
 Velázquez Carmona, 641
 Ventura Martinez, 641
 Villalobo.Reyes, 328
 Villalobos González, 2, 34, 39, 49, 80
 Zaldívar Cruz, 316, 400, 412, 417
 Zamarripa Colmenero, 354
 Zambrano López, 15
 Zaragoza Vera, 281

Zarza Albarrán, 311
Zegbe, 172, 173, 186

Zúñiga Aguilar, 417

DIRECTORIO DE INSTITUCIONES PARTICIPANTES

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación

Baltazar Hinojosa Ochoa

Secretario

Jorge Luis Zertuche Rodríguez

Subsecretario de Agricultura

Raúl Enrique Galindo Favela

Subsecretario de Desarrollo Rural

Ignacio de Jesús Lastra Marín

Subsecretario de Alimentación y Competitividad

Francisco Herrera León

Delegado Estatal Tabasco

Gobierno del Estado de Tabasco

Arturo Núñez Jiménez

Gobernador Constitucional

Manuel Desiderio Fuentes Esperón

Secretario de Desarrollo Agropecuario, Forestal y Pesca

Víctor Manuel López Cruz

Secretario de Educación

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

José Fernando De la Torre Sánchez

Director General

Raúl Gerardo Obando Rodríguez

Coordinador de Investigación, Innovación y Vinculación

Jorge Fajardo Guel

Coordinador de Planeación y Desarrollo

Eduardo Francisco Berterame Barquin

Coordinador de Administración y Sistemas

Centro de Investigación Regional del Golfo Centro

Sergio Alberto Curti Díaz

Director Regional

Julio César Vinay Vadillo

Director de Investigación

Francisco González Naranjo

Director de Administración

Jorge Martínez Herrera

Director de Coordinación y Vinculación en Tabasco

Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Tabasco

Mirna Cecilia Villanueva Guevara

Directora General

Tilo Tosca Chablé

Director de Vinculación Investigación y Desarrollo

Aurora Hidalgo Castillo

Directora de Formación de Recursos y Apoyo a Investigadores

Fundación Produce Tabasco, A. C.
Ing. Heberto Ramón Cabrera Jasso
Presidente
Lic. Carlos Mario Cornelio Arce
Gerente

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
Dr. José Manuel Piña Gutiérrez
Rector
Dra. Dora María Frías Márquez
Secretaria de Servicios Académicos
C.D. Arturo Díaz Saldaña
Secretario de Investigación, Posgrado y Vinculación
M.A. Rubicel Cruz Romero
Secretario de Servicios Administrativos
L.C.P. Marina Moreno Tejero
Secretaria de Finanzas

División Académica de Ciencias Agropecuarias
Dr. Roberto Antonio Cantú Garza
Director
Dra. Nadia Florencia Ojeda Robertos
Coordinador de Investigación y Posgrado
Dr. Carlos Alberto Corzo Sosa
Coordinador de Docencia
Dr. José Nava Ayala
Coordinador de Difusión Cultural y Extensión
M. A. Ramiro Olive López
Coordinador Administrativo

Universidad Tecnológica de Tabasco
Fernando Calzada Falcón
Rector
Sergio Octavio Valle Mijangos
Secretario Académico
Ricardo Amado Moheno Barrueta
Secretario de Vinculación

Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas
Campus Tabasco
José Francisco Juárez López
Director
Angel Galmiche Tejeda
Subdirector de Educación
Saúl Sánchez Soto
Subdirector de Investigación
Ángel Martínez Becerra
Subdirector de Vinculación

Instituto Tecnológico de Villahermosa
Angel Francisco Velasco Muñoz
Director
Brissa Roxana de León de los Santos
Subdirectora Académica
José Luis Madrigal Eliseo
Subdirector de Planeación y Vinculación

Instituto Tecnológico de la Zona Olmeca
José Javier Peralta Cosgaya
Director
Salomón Hernández Hernández
Encargado de la Subdirección de Planeación y Vinculación
Carlos Mario Marín Valenzuela
Subdirector Académico

El Colegio de la Frontera Sur
Unidad Villahermosa
Johannes Cornelis Van Der Wal
Director
Ramiro Robles Jardón
Unidad de Gestión y Servicios Tecnológicos
María Luisa Martínez Gutiérrez
Coordinadora de Vinculación

Universidad Politécnica Mesoamericana
José Armando Paz Morales
Rector
Mtro. Héctor Sánchez Sanlúcar
Secretario Académico
Juan Carlos Martínez Beuló
Director de Vinculación

Universidad Popular de La Chontalpa
Querubín Fernández Quintana
Rector
Francisco José Pedrero Morales
Secretario Académico
José Omar Castro Castillo
Encargado de la Dirección de Vinculación

COMITÉ CIENTÍFICO PARTICULAR DE LA PUBLICACIÓN

Dra. Alma Delia de la Cruz Ascencio	Dr. Roberto Osorio Osorio
Dra. Cintya Valerio Cárdenas	Dr. Roberto de la Rosa Santamaría
Dra. Cristian Jiménez Martínez	Dr. Roberto Reynoso Santos
Dra. Elsa Chávez García	Dr. Rodimiro Ramos Reyes
Dra. Eustolía García López	Dr. Rodolfo Figueroa Brito
Ed.D. Graciela Beaurgard Solis	Dr. Rubén García de la Cruz
Dra. Lilia Fraire Sierra	Dr. Rufo Sánchez Hernández
Dra. Luz del Carmen Lagunes Espinoza	Dr. Rutilo López López
Dra. Marivel Domínguez Domínguez	Dr. Saúl Sánchez Soto
Dra. Nadia Elizabeth Rodríguez Guzmán	Dr. Sergio Octavio Valle Mijangos
Dra. Nelyda Solano Villanueva	Dr. Ulises Rodríguez Robles
Dra. Silvia del Carmen Ruíz Acosta	MC Agrícola Arrieta Rivera
Dra. Xariss M. Sánchez Chino	MC Bertha Lila de los Santos Ricardez
Dr. Adalberto Galindo Alcántara	MC Elizabeth Argüello García
Dr. Adolfo Bucio Galindo	MC Iris Antonina Sánchez González
Dr. Ángel Sol Sánchez	MC Ivone Alemán de la Torre
Dr. César Jesús Vázquez Navarrete	MC Norma del Carmen Hernández Rivera
Dr. David Jesus Palma López	MC Alejandro Flores Rodríguez
Dr. David Jesús Palma López	MC Dante Sumano López
Dr. Eduardo Daniel Bolaños Aguilar	MC Edgardo Bautista Ramírez
Dr. Emeterio Payró de la Cruz	MC Esteban Domínguez Castillo
Dr. Héctor Malvárez Tobar	MC Felipe Mirafuentes Hernández
Dr. Jorge Luis Corzo Ríos	MC Gustavo Malagón Marín
Dr. Jorge Martínez Herrera	MC José Cisneros Domínguez
Dr. Jorge Oliva Hernández	MC José Miguel Hernández Cruz
Dr. Jorge Quiroz Valiente	MC Lorenzo Granados Zurita
Dr. Josafat Alberto Hernández Becerra	MC Luis Ulises Hernández Hernández
Dr. José Edith. Poot Matu	MC Manuel Barrón Arredondo
Dr. José Guadalupe Chan Quijano	MC Mario Rodríguez Cuevas
Dr. José Jesús Obrador Olán	MC Mauro Sierra Macías
Dr. Juan Javier Castillo Ramírez	MC Miguel Ángel Ramírez Guillermo
Dr. Juan Manuel Zaldivar Cruz	MC Roberto Omar Castañeda Arriola
Ph.D. Julio Cámara Córdova	MC Ulises Hernández Hernández
Dr. Lorenzo Armando Aceves Navarro	MC Uriel Agustín Báez Ruíz
Dr. Mepivoseth Castelán Estrada	Ing. Francisco Javier Catzim Rojas
Dr. Pedro Antonio Moscoso Ramírez	Ing. Jorge Alberto Vidal García
Dr. Pedro Salvador Morales	Ing. Sabel Barrón Freyre
Dr. Ricardo Amado Moheno Barrueta	

SEMBLANZA DE LOS EDITORES



Ph.D. Jorge Martínez Herrera.

Licenciado en Química Industrial (Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Veracruzana), Maestro y Doctor en Ciencias de los Alimentos (Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del Instituto Politécnico Nacional), Estancia Posdoctoral en el Centro de Investigaciones Tropicales de la Universidad Veracruzana. Perteneció al Sistema Nacional de Investigadores Nivel 1. Actualmente es Director de Coordinación y Vinculación del Estado de Tabasco, del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, adscrito al Campo Experimental Huimanguillo. Ha desempeñado labores de Administración e Investigación en el Programa de Biocombustibles, como *Jatropha curcas* o piñón mexicano, en la línea Biodiesel, Alimentos, Aprovechamiento Agroindustrial, Proteínas, Factores No Nutricionales. Cuenta con más de 30 trabajos internacionales, ha impartido conferencias magistrales dentro y fuera del país y ha realizado estancias de investigación en el Departamento de Nutrición Animal y Acuicultura de la Universidad de Hohenheim (Stuttgart, Alemania).



MC Miguel Ángel Ramírez Guillermo.

Ingeniero Agrónomo (Instituto Tecnológico de la Zona Olmeca) y Maestro en Ciencias (Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, Campus Tabasco). Actualmente es investigador en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, en el área de Sanidad Forestal y Agrícola y adscrito al Campo Experimental Huimanguillo. En el Programa Cacao trabaja en la línea de fitopatología y mejoramiento genético asistido por marcadores moleculares, para la búsqueda y selección de germoplasmas nativos de cacao en México. Ha recibido cursos internacionales en el Instituto de Cultivos Tropicales de Perú, en el CATIE de Costa Rica y en el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.



Ph.D. Julio Cámara-Córdova.

Ingeniero Agrónomo, especialista en Agricultura Tropical (1985; Colegio Superior de Agricultura Tropical, H. Cárdenas, Tabasco); Ph.D. en Biología con especialidad en Ciencias del Suelo (1995; Facultad de Ciencias del Suelo de la Universidad Estatal de Moscú "Mijaíl Vasilievich Lomonósov", Moscú, Federación Rusa). Inició actividades de investigación en 1983, en el CSAT y desde entonces las ha realizado en otras instituciones, como el CINEVESTAV-IPN, los Institutos de Ciencias del Mar y Limnología y el de Geografía de la UNAM, en la Universidad Estatal de Moscú "MV Lomonósov", en el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y en el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, en el CE Huimanguillo del INIFAP y en las Universidades Autónoma de Aguascalientes, de Colima, Popular de La Chontalpa y en la Intercultural del Estado de Tabasco (participando en la fundación de éstas dos últimas), en El Colegio de la Frontera Sur, así como para el Gobierno del estado de Tabasco y la UJAT.



DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

Consejo Editorial Divisional:

Ph.D. Roberto Antonio Cantú Garza
Presidente

Dra. Nadia Florencia Ojeda Ramírez.
Secretaria

PE de Ingeniería en Acuacultura

- 1) Dr. Metodio Nicolás Vite García
- 2) Dra. Marta Alicia Perera García
- 3) MC LEnín Rangel López

PE de Ingeniería en Agronomía

- 1) Dr. César Márquez Quiroz
- 2) MC Álvaro Marín Aguilar

PE de Ingeniería en Alimentos

- 1) MCE María Esther Pavón Jiménez
- 2) Dr. José Rodolfo Velázquez Martínez
- 3) Dr. Pedro García Alamilla
- 4) Dra. Angélica Alejandra Ochoa Flores

PE de Medicina Veterinaria y Zootecnia

- 1) Dr. Ricardo Alfonso García Herrera
- 2) MC Guadalupe Arjona Jiménez
- 3) Dr. Alfonso Juventino Chay Canul

*Investigaciones Científicas y Agrotecnológicas para la Seguridad Alimentaria
se terminó de diagramar y compilar el 30 de noviembre de 2018
en la División Académica de Ciencias Agropecuarias de la UJAT.
Km 25 de la carr. fed. 195, tramo Villahermosa-Teapa.
Ra. La Huasteca, 2ª sección, C.P. 86298, Centro, Tabasco, México.
Tel. +52 (993) 358 1500, extensión 6601.*



Universidad Juárez
Autónoma de Tabasco

inifap

Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias

COLECCIÓN
JOSÉ N. ROVIROSA
Biodiversidad, Desarrollo Sustentable y Trópico Húmedo