

Tópicos selectos en agronomía tropical

Volumen 2

COLECCIÓN
JOSÉ N. ROVIROSA
Biodiversidad, desarrollo sustentable y trópico húmedo

José Manuel Piña Gutiérrez

Rector

Alma Catalina Berumen Alatorre

Directora de la División Académica de Ciencias Agropecuarias

Tópicos selectos en agronomía tropical

Volumen 2

Editores

Juan de Dios Mendoza Palacios
Efraín de la Cruz Lázaro
Eusebio Martínez Moreno
Rodolfo Osorio Osorio
Maximiano Antonio Estrada Botello



Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

Tópicos selectos en agronomía tropical / Ed. Juan de Dios Mendoza Palacios... [et al.] -- 1ª ed. - Villahermosa, Tabasco : Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, 2013.

V. 2. : il. -- (colección: José N. Roviroso. Biodiversidad, desarrollo sustentable y trópico húmedo)

Incluye referencias bibliográficas

ISBN: 978-607-606-133-6

1. Agricultura – Trópicos \ 2. Agricultura – Investigación – Trópicos. I. TITULO
II. AUTORES III. SERIE

L.C. S604.37 T67 2013

Primera edición, 2013

D.R. © Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
Av. Universidad s/n. Zona de la Cultura
Colonia Magisterial, C.P. 86040
Villahermosa, Centro, Tabasco.

El contenido de la presente obra fue arbitrado y aprobado mediante dictamen de una comisión interinstitucional de evaluadores externos, y es responsabilidad exclusiva de los autores. 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. Se autoriza su reproducción parcial siempre y cuando se cite la fuente. La revisión editorial estuvo a cargo del Consejo Editorial de la División Académica de Ciencias Agropecuarias.

El contenido y los puntos de vista expresados en los diversos trabajos que se presentan en este documento, son responsabilidad exclusiva de los autores.

ISBN: 978-607-606-133-6

Coordinación editorial: Francisco Morales Hoil
Diseño y formación: Ricardo Cámara Córdova
Corrección de estilo: Blanca Quiriarte Fernández

Hecho en Villahermosa, Tabasco, México

Los autores externan su agradecimiento al Programa Integral de Fortalecimiento Institucional 2011 (PIFI-2011), por el financiamiento para la publicación de esta obra.

Índice

Comportamiento agronómico de híbridos y variedades de maíz validados en la región tropical de Veracruz	15
Palafox Caballero Artemio, Mauro Sierra Macías, Flavio A. Rodríguez Montalvo y Sabel Barrón Freyre	
Análisis dialélico para deterioro controlado en semilla F₂ de genotipos tropicales de maíz	29
Cervantes Ortiz Francisco, Gabino García de los Santos, Aquiles Carballo Carballo, Enrique Andrio Enríquez, J. Guadalupe Rivera Reyes, Elvira Cortez Baheza, Hugo César Cisneros López y Mariano Mendoza Elos	
Parámetros genéticos para calidad de semilla en cruzas dialélicas de variedades criollas de maíz	41
Andrio Enríquez Enrique, Sergio A. Rodríguez Herrera, Francisco Cervantes Ortiz, Arturo Palomo Gil, Armando Espinoza Banda, J. Guadalupe Rivera Reyes, Elvira Cortez Baheza, Wendy Mondragón Moreno y Mariano Mendoza Elos	
Diversidad genética, clasificación y distribución racial del maíz nativo en los estados de Veracruz, Puebla y Tabasco, México	53
Sierra Macías Mauro, Isaac Meneses Márquez, Artemio Palafox Caballero, Nestor Francisco Nicolás, Andrés Zambada Martínez, Miguel Uribe Bernal, Sabel Barrón Freyre, Rosalío López Morgado, Flavio Rodríguez Montalvo, Juan Manuel Hernández Casillas, Pablo Andrés Meza y Alejandro Ortega Corona	

Formación de híbridos triploides en tomate de cáscara (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot. Ex Hornem.)	65
Ramírez Godina Francisca, Rahim Foroughbakhch P., Valentín Robledo Torres, Adalberto Benavides Mendoza y Manuel Humberto Reyes Valdés	
Influencia del periodo de polinización en el prendimiento de frutos de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.)	77
Azpeitia Morales Alfonso, Paulina Y. Barrón García, Felipe Mirafuentes Hernández, Ramón Castillo González y P. Alejandro López Andrade	
Uso de RAPD'S para estimar la variabilidad genética del nanche en Tabasco, México	85
Martínez Moreno Eusebio, Julia María Lesher Gordillo, Guillermo Castañón Najera, Efraín de la Cruz Lázaro y Yasmín Hernández D.	
Exploración y aislamiento de hongos entomopatogenos asociados a <i>Diaphorina citri</i> en la península de Yucatán	95
Cortez Madrigal Hipólito, Gustavo Mora Aguilera y Richard A. Humber	
Patogenicidad de aislados de <i>Metarhizium anisopliae</i> sobre <i>Aeneolamia</i> spp. en el estado de Tabasco, Mexico	109
Bautista Galvez Arely, Juan F. Barrera, Emeterio Payró de la Cruz, Sergio Salgado García, Jaime Gómez Ruiz y Juan Florencio Gómez Leyva	
Patogenicidad de <i>Phytophthora</i> spp. en aguacate mexicano <i>Persea americana</i> mill. var. <i>drymifolia</i> (schltdl. & cham.) S.F. Blake	117
Lara Chávez Ma. Blanca Nieves, Teresita del Carmen Ávila Val, José Luis Morelos Reyes, Luis Enrique Pacheco Banda, Héctor Guillén Andrade y Margarita Vargas Sandoval	
Manejo integrado de la mosca pinta de la caña de azúcar (<i>Aeneolamia</i> spp.) en Veracruz, México	127
Rodríguez Lagunes Daniel Arturo, José Velázquez Alonso, Adolfo Castillo Morán, Noé Aguilar Rivera, Nelson Milanés Ramos y Agustín Herrera Solano	

Recursos maderables en el sistema agroforestal cacao en Cárdenas, Tabasco, México	139
Sánchez Gutiérrez Facundo, Julián Pérez Flores, José Jesús Obrador Olán, Ángel Sol Sánchez y Octavio Ruíz Rosado	
Tipificación de los sistemas de ganado bovino en el municipio de Amatepec, Estado de México	149
Alcántara Jiménez Florina, Francisca Avilés Nova, Benito Albarrán Portillo y Anastacio García Martínez	
Aptitud de suelos para el cultivo de palma de aceite (<i>Elaeis guineensis</i> jacq l.) en Tenosique, Tabasco	163
Morales Garduza Marcos Antonio, David Jesús Palma-López, Antonio López Castañeda y Raquel Jiménez Ramírez	
Necesidades hídricas y programación del riego para caña de azúcar en Tabasco, México	173
López López Rutilo y Osias Ruíz Álvarez	
Estudio de la precipitación máxima diaria anual en el Río Usumacinta aplicando componentes principales	185
Castillo Bolainas, Hermelinda, Juan de Dios Mendoza Palacios, Lorenzo Velasco Martínez, Rufo Sánchez Hernández y Maximiano Antonio Estrada Botello	
Descripción de un método que combina información hidrométrica local y regional para predicción de crecientes	199
Velasco Martínez, Lorenzo, Juan de Dios Mendoza Palacios, Hermelinda Castillo Bolainas y Rufo Sánchez Hernández	
Producción forestal comercial de primavera (<i>Tabebuia donnell-smithii</i> rose.) en la región Soconusco Chiapas, México	209
Gutiérrez Castellanos, José, Margarita C. Escobar Sandoval, Saúl Espinosa-Zaragoza, Ramón Valdivia Alcalá, Mario Jiménez Suárez, Jorge Reyes Reyes y Brenda E. Meza Sandoval	

- Rendimiento de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) en respuesta al sistema de conducción y densidad de población en invernadero e hidroponía** 217
 Gómez Méndez Edmundo, Maximiano Antonio Estrada Botello, Ernesto Gabriel Alcántar González, Hortencia Brito Vega y Melchor Hernández
- Evaluación de cuatro variedades de nopal (*Opuntia ficus-indica* L.) Miller) bajo condiciones de túnel** 227
 García Osuna Hermila Trinidad, Catalina Rivas Morales, Julia Verde Star, Eufemia Morales Rubio, René Miranda Ruvalcaba y Adalberto Benavides Mendoza
- Uso de malla sombra de color en la producción de chile poblano** 237
 Márquez-Quiroz César, Pedro Cano-Ríos, Arturo Palomo-Gil, Maximiano Estrada-Botello, Efraín de la Cruz-Lázaro y Sayani López-Espinosa
- Aplicación de abonos orgánicos sólidos en la producción de tomate** 247
 Gómez Pérez Gerardo, Candelero de la Cruz Juan, Fernando Peraza Luna, Gustavo Gío Escalante y Nery Ma. Ruz Febles
- Uso de abonos orgánicos en la producción de chile jalapeño en invernadero** 255
 Márquez-Quiroz César, Pedro Cano-Ríos, Arturo Palomo-Gil, Alejandro Moreno-Reséndez, Uriel Figueroa-Viramontes, Maximiano Estrada-Botello, Efraín De la Cruz-Lázaro y Sayani López-Espinosa
- Evapotranspiración en la producción de *Capsicum chinense* jacq. en condiciones de invernadero** 267
 Moreno Sanchez Samuel, Vicente Reyes Oregel, Helbert Mena Martín, Alfonso Pérez Gutierrez y Julio Rodríguez Pérez
- Producción de tres variedades de *Pennisetum purpureum* fertilizadas con dos diferentes fuentes nitrogenadas en Yucatán** 277
 Ramos Trejo Olivier, Juan Sandoval Gio, Luis Salas Noh y Fernando Duarte Vera

Características químicas del abono líquido fermentado de estiércol ovino	283
León-Nájera José Armando, Maximiano Estrada-Botello, Miguel Ángel Pérez-Méndez, Julio César Álvarez-Rivero y Rosa Ma. Salinas-Hernández	
Cultivo de tejidos vegetales in vitro para la propagación de orquídea (<i>Laelia anceps</i> Lindl.)	291
Aguilar Jiménez Daniel, José Luis Rodríguez de la O y José Guadalupe Álvarez Moctezuma	
Evaluación de la actividad exopeptidasa durante la germinación de cacao criollo (<i>Theobroma cacao</i> L.)	303
Sánchez-Mundo María de la Luz, Consuelo Bautista-Muñoz y María Eugenia Jaramillo-Flores	
Efecto de <i>Bacillus subtilis</i> y <i>Trichoderma harzianum</i> en plantas de chile dulce (<i>Capsicum annuum</i> L.)	311
Tun-Suárez José María, Roberth Canul-Tec, Luis Latournerie-Moreno, Jairo Cristóbal-Alejo y Roberto Araujo-Vargas	
Fenología del tamarindo (<i>Tamarindus indica</i> L.) en la región central del estado de Veracruz, México	321
Zetina Lezama Rigoberto y Andrés Rebolledo Martínez	
Rendimiento y recambio de tejido foliar del pasto <i>Brachiaria híbrido 36061</i> a diferente manejo	335
Cruz Hernández Aldenamar, Alfonso Hernández Garay, Armando Gómez Vázquez y Efraín de la Cruz Lázaro	
Materiales regionales alternativos como sustratos y su comportamiento en dos cultivos	347
Martínez-Gutiérrez Gabino Alberto, Cirenio Escamiroso Tinoco, Yolanda Donají Ortiz-Hernández, Juana Yolanda López-Cruz y Paulina Alejandra Flores-Ríos	

- Transferencia de tecnología de semillas mejoradas de frijol, para fomentar e incrementar la productividad en el centro y sur de Veracruz, México** 361
Ugalde-Acosta Francisco Javier, Oscar Hugo Tosquy-Valle,
Ernesto López-Salinas, Aurelio Morales-Rivera,
María Elisa Manterola-Sainz, Ignacio Vargas-Cerdán
y Gumaro González-Serrano
- Determinación molecular de *Glomerella cingulata* Penz y su efecto en la calidad del aguacate Hass** 371
Vázquez-Hernández Ma. Cristina, Ramón Guevara-González,
Cristina Pérez-Pérez y Claudia Muñoz-Sánchez
- La biomasa microbiana de los suelos y su relación con la fertilidad** 381
López Noverola Ulises, Efraín de la Cruz Lázaro,
Maximiano A. Estrada Botello, Armando Gómez Vázquez,
Juan de Dios Mendoza Palacios, Nancy P. Brito Manzano
y Rufo Sánchez Hernández
- Aplicación de dolomita en suelos ácidos cultivados con piña MD-2 en Veracruz, México** 395
Zetina Lezama Rigoberto, Andrés Vázquez Hernández,
Yunci I. Cárdenas, Jorge Benavidez Ursúa
y Javier Román Reyes
- Efecto de la escarificación en la germinación de palmas en riesgo de Tabasco, México** 409
Mayo Mosqueda Alberto, Dora Centurión-Hidalgo,
Judith Espinosa Moreno y Jaime Gabriel Cázares Camero
- Quitosano como alternativa para extender vida poscosecha en cebollín** 419
García López Alejandro Manelik, Leopoldo Partida Ruvalcaba,
Manuel Cruz Villegas, Juan Francisco Ponce Medina,
Teresa de Jesús Velázquez Alcaraz, Edwin Gilberto Caballero Montes
y Tomás Díaz Valdés

Control de la roya del cafeto <i>Hemileia vastatrix</i> Berk. et br. con el hongo <i>Verticillium hemileiae</i> bouriquet	429
Díaz Vicente Víctor Manuel, José Nelson Pérez Quintanilla, Ricardo Magallanes Cedeño, Erika Patricia Pinson Rincón, Martha Elena de Coss Flores, Mario Ernesto Cabrera Alvarado y Humberto Esquinca Ruiz	
Sobre los autores	437

Comportamiento agronómico de híbridos y variedades de maíz validados en la región tropical de Veracruz

Agronomic behaviour of hybrids and varieties of maize validated in the tropical region of Veracruz

Palafox Caballero, Artemio*, Sierra Macías, Mauro, Rodríguez Montalvo, Flavio A. y Barrón Freyre, Sabel

INIFAP-Campo Experimental Cotaxtla. Km. 34 Carretera Veracruz Córdoba., INIFAP-Campo Experimental Cotaxtla. Km. 34 Carretera Veracruz Córdoba. INIFAP-Campo Experimental Cotaxtla. Km. 34 Carretera Veracruz Córdoba, INIFAP-Campo Experimental Huimanguillo. Km 1 carretera Huimanguilo Cárdenas. *E-mail: palafox.artemio@inifap.gob.mx

Resumen. En Veracruz se siembran anualmente con maíz 530000 ha, con rendimiento promedio de 2 t ha⁻¹; a pesar de que el INIFAP ha generado genotipos y tecnología de producción, que superan de 100 a 200 % estos rendimientos. Con el objetivo de validar y avanzar en la transferencia de híbridos y variedades sobresalientes, durante el ciclo de temporal 2010 se establecieron dos módulos de validación, en los municipios de Cotaxtla y Medellín de Bravo, en la región central del estado de Veracruz. Los genotipos validados fueron los híbridos H-520, H-564C, H-519C, HEA-17, el testigo comercial A-7573, las variedades VS-536, V-537C, V-556 AC y la variedad experimental SINTÉTICO 3 SEQUÍA; bajo un diseño de bloques al azar con dos repeticiones. Se registraron diversas variables agronómicas durante el desarrollo del cultivo y en la cosecha. El análisis de varianza para rendimiento de grano reportó diferencia altamente significativa entre genotipos. Los mayores rendimientos promedio de las dos localidades fueron para el híbrido H-520, el testigo A-7573, el híbrido experimental amarillo HEA-17 y la variedad V-537C, con 6.16, 5.42, 5.39 y 5.14 t ha⁻¹. Los genotipos validados en ambas localidades presentaron comportamiento similar con 49 a 54 días a floración masculina. El híbrido H-520 fue el mejor en cuanto a sanidad de planta y de mazorca, con menor incidencia de achaparramiento y pudriciones de mazorca. Por lo que se concluye que existen híbridos y variedades, así como tecnología adecuada, con potencial de rendimiento y con adaptación a las condiciones de la región tropical del estado de Veracruz, que permiten incrementar los rendimientos en más de 100% con respecto al promedio estatal.

Palabras clave: Genotipos, validación, trópico.

ABSTRACT. In Veracruz State, every year are planted 530 thousand hectares of maize with an average 2 tons per hectare. INIFAP has generated genotypes and crop technology for increasing yield from 100 to 200 %. The objective of this research was to validate elite maize hybrids and varieties. Thus, during the spring-summer search 2010 there were established two validation plots in Cotaxtla and Medellin region in Veracruz State. The genotypes included were the hybrids H-520, H-519C, HEA-17, the commercial check A-7573 and the varieties VS-536, V-537C, V-556AC and SINTETICO 3-SEQUIA, and they were arranged under blocks at random design with two replications. There were registered several agronomic trails during development and harvest time. The analysis of variance for grain yield showed high significant difference for genotypes. The best grain yield across the two locations was for H-520, commercial check A-7573, HEA-17 and V-537C, with 6.16, 5.42, 5.39 and 5.14 t ha⁻¹. All genotypes registered similar biological cycle with 49 to 54 days to tassel. The hybrid H-520 expressed the best behavior in plant and ear aspect, with less incidence of corn stunt and earth rot. As a conclusion we can say that exist hybrids, varieties and crop technology for increasing grain yield than 100% in relation with the state average adapted to the humid tropic in Veracruz State.

Key words: Genotypes, validation, tropic.

Introducción

En el mundo se producen anualmente 790 millones de toneladas de maíz, en casi 150 millones de hectáreas; de las cuales, 140 millones se consumen como alimento humano, en tanto que 380 millones de toneladas se usan en la alimentación animal y el resto se industrializa (WASDE, 2009). En México se siembran 8 millones de hectáreas al año de las cuales, 2.5 millones corresponden a la región tropical. Específicamente en el estado de Veracruz, la superficie sembrada es de 530 mil hectáreas con un rendimiento promedio de 2 t ha⁻¹. En este Estado se dedican al cultivo de maíz un promedio de 200 mil productores; la mayoría de ellos siembran de 1 a 3 hectáreas, se localizan principalmente en regiones marginadas y con mediano o bajo potencial productivo y cuyo destino es básicamente el autoconsumo (INEGI, 2007). En contraste, existen productores medianos y grandes que destinan su producción al mercado, utilizan altos niveles de tecnología y explotan mejor el potencial agroecológico. La siembra se distribuye en dos ciclos agrícolas: 380 mil hectáreas en temporal o primavera-verano y 150 mil de humedad residual (Tapachole) y de riego que se desarrollan durante el ciclo Otoño-Invierno. Aproximadamente el 90% de la superficie sembrada con maíz se destina a la producción de grano, 5% a la

producción de elote cubriendo principalmente las zonas de riego y el 5% restante se destina a la producción de forraje para ensilar. Los bajos rendimientos obtenidos en la región tropical se deben, entre otros factores, al escaso uso de semillas mejoradas, ya que solo 22% de la superficie se siembra con semilla certificada de variedades e híbridos y el resto con generaciones avanzadas de material mejorado y criollos regionales, de bajo potencial de rendimiento (Tosquy *et al*, 1998; Cano *et al*, 2000). Una forma de lograr aumentos significativos en la producción es mediante el uso de semillas mejoradas, los cuales son más eficientes en el aprovechamiento de los recursos naturales disponibles.

En los últimos años, el Campo Experimental Cotaxtla perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en colaboración con el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz Y Trigo (CIMMYT) han generado y evaluado variedades e híbridos de maíz normales y con alta calidad de proteína (MCP) o QPM, (Quality Protein Maize), los cuales presentan mayor rendimiento que las variedades criollas regionales. Sin embargo, para obtener los mejores rendimientos y buena calidad en el producto, es necesario generar, validar y transferir tecnología adecuada, ya que el problema principal es el desconocimiento de la tecnología adecuada de producción, por lo que se requiere realizar acciones de validación y transferencia que pongan al alcance de los productores los adelantos tecnológicos y los capaciten para su correcta utilización. Atendiendo a este tipo de demandas, el INIFAP ha generado híbridos, variedades y tecnología de producción, que superan en 100 a 200 % a los materiales genéticos y a la tecnología tradicional. De acuerdo con Jiménez (1990), las actividades del INIFAP se han orientado a elevar la producción y promover el desarrollo de la empresa agrícola comercial con base en su rentabilidad, lo que requiere de inversión y métodos de cultivo e insumos modernos así como tierras irrigadas. Lo anterior contrasta con los bajos ingresos que obtienen los habitantes del medio rural en Tlaxcala. La remuneración de los trabajadores en el medio rural es menor que en los otros sectores de la economía (Escalante, 2006). Datos obtenidos por medio de la encuesta muestran, en el bajo gasto promedio anual de los productores en cinco conceptos. El modelo de trabajo que utiliza el INIFAP incluye cuatro etapas: experimentación, validación, transferencia y adopción. La experimentación genera el conocimiento que sustenta la validez de la tecnología; la validación evalúa la aplicabilidad de los resultados de la investigación en el contexto comercial; la transferencia de tecnología se define como la difusión de las innovaciones tecnológicas a los usuarios y la adopción es la incorporación del componente tecnológico a los sistemas de producción (Laird, 1977). Por lo que el nivel de adopción disminuye en forma proporcional a la diferencia observada entre el total de los componentes tecnológicos y los adoptados por el productor (Galindo, 2007).

La tecnología disponible para los cultivos mejora su rendimiento y calidad si se utiliza en forma adecuada. Los principales factores que limitan el uso y la aplicación correcta de la tecnología son: acceso limitado a factores de la producción, relevancia de las prácticas tradicionales, desempeño de otras actividades complementarias, bajos ingresos, migración y escasa asesoría técnica, (Damián et al, 2007). El manejo agronómico del cultivo incluye todas las prácticas, entre ellas: preparación del suelo, fecha de siembra, labores culturales, densidad de siembra, aplicación de fertilizantes y pesticidas, entre otros, que el productor lleva a cabo durante el ciclo del cultivo, y la forma en que se combinan los factores de producción en cada una de las prácticas. Por último, el rendimiento es una variable biológica compleja que resume el efecto de otras: clima, suelos, acceso al capital, programas públicos de fomento agrícola, y muestra la productividad de los factores que participan en la producción (Turrent *et al.*, 1999, Rogers y Svenning (1979) propusieron que la transferencia de tecnología determina el grado de modernización de la actividad agrícola y de la sociedad rural y plantearon la teoría “difusión de innovaciones” para investigar los factores que afectan la adopción de una innovación tecnológica. El indicador de esta transición es el “espíritu de innovación”, entendido como el grado de anticipación con que un individuo adopta ideas nuevas respecto a otros miembros de la comunidad.

Para hacer realidad y generalizar los rendimientos, en la medida del potencial indicado por el INIFAP, es preciso que los agricultores conozcan y pongan en práctica estos adelantos tecnológicos en sus unidades de producción. Por ello, el objetivo del presente trabajo consistió en integrar, validar y demostrar tecnología de producción adecuada para el cultivo de maíz en la región central del estado de Veracruz.

Materiales y métodos

Durante los ciclos agrícolas primavera-verano 2010, bajo condiciones de temporal, se llevó a cabo el trabajo de campo correspondiente al establecimiento y conducción de dos módulos de validación-demostración ubicados en las localidades Bajos de Tlachiconal, municipio de Cotaxtla y Campo Experimental Cotaxtla, municipio de Medellín de Bravo, con el sistema tradicional del cultivo de maíz con fines de producción de grano. El trabajo se desarrolló a través de tres actividades principales o etapas: 1).- Integración del paquete tecnológico para la producción de maíz de grano, adecuado a las condiciones agroecológicas de las regiones maiceras del centro del estado de Veracruz. 2).- Establecimiento y conducción de

módulos de validación-demostración y realización de eventos para la presentación de sus resultados a productores. 3).- Elaboración y distribución de un folleto con la integración de la tecnología validada.

El manejo tecnológico utilizado en las parcelas de validación-demostración, se dio de acuerdo con el paquete tecnológico del INIFAP, recomendado para el cultivo de maíz para grano, (Palafox *et al*, 2010), de acuerdo a las condiciones de clima y suelo de la región central del estado de Veracruz; siendo el factor principal el uso de híbridos y variedades que en su fase experimental y en evaluaciones semicomerciales demostraron tener alto potencial de rendimiento y adaptación, (Tabla 1).

Tabla 1.

Genotipos sobresalientes del INIFAP conducidos en parcelas de validación, ciclo P-V 2010

Tratamiento	Genotipo	Tipo de material
1	H-564 C	Híbrido de grano blanco, de alta calidad de proteína
2	H-520	Híbrido de grano blanco, normal
3	H-519 C	Híbrido de grano blanco, de alta calidad de proteína
4	Testigo A-7573	Híbrido de empresa comercial de uso regional
5	HEA-17	Híbrido precomercial de grano amarillo
6	VS-536	Variedad de grano blanco, normal
7	V-537 C	Variedad de grano blanco, de alta calidad de proteína
8	V-556 AC	Variedad de grano amarillo, de alta calidad de proteína
9	SINT.-3 SEQ	Variedad experimental

- **Preparación del terreno.** Se realizó en forma mecanizada y consistió en un chapeo para eliminar malezas y residuos de cultivo anterior; se realizó un barbecho a una profundidad 20 a 30 cm, para romper y aflojar la capa arable e incorporar los residuos del cultivo anterior; posteriormente se realizó un rastreo con el fin de mullir el suelo, para dar a las semillas una buena cama de siembra; y el surcado con el arado de mariposa, para alinear la siembra.
- **Preparación de semilla y siembra.** La semilla para siembra se trató con el insecticida Semevín para prevenirla del ataque de plagas del suelo. La siembra se realizó en franjas de 10 surcos de 33 metros, para cada genotipo, con dos repeticiones. La siembra se realizó en forma manual con espeque, a una distancia entre mata de 40 cm y entre surco de 80 cm, depositando 3 semillas, para aclarar a dos plantas por mata. Control de maleza. Se realizó mediante la aplicación de los herbicidas Glifosato (Faena) a una dosis de 2 L ha⁻¹, Atrazina

90% (Gesaprim Calibre 90) en dosis de 3 kg ha⁻¹ y Nicosulfurón 4.17 % (Sansón 45 C) en dosis de 1 L ha⁻¹.

- **Control de plagas.** Para el control de plagas se realizaron dos aplicaciones del insecticida Cipermetrina 21.42 % (Arrivo 200) en dosis de 250 ml ha⁻¹ por aplicación.
- **Fertilización.** Se realizó mediante la fórmula 156-46-00, que fue aplicada con los fertilizantes comerciales urea (46-00-00) y fosfato diamónico (DAP 18-46-00). Se realizaron dos aplicaciones; la primera a los 15 días después de la siembra, aplicando todo el fosfato diamónico y la mitad de la urea; la segunda fertilización, con el resto de la urea a los 25 días después de la primera fertilización, antes del aporque previo al aporque.
- **Labores de cultivo.** Se dio un paso con cultivadora a los 25 días de la siembra, para eliminar las malezas durante el periodo crítico del cultivo, el cual se presenta durante los primeros 30 a 40, labor que también permitió tapar el fertilizante de la primera aplicación. A los 40 días de la siembra se realizó el atierre o aporque, para acercar tierra al pie de la planta, para un mejor soporte y para cubrir la segunda fertilización.
- **Dobla y cosecha.** La dobla se realizó a los 90 días después de la siembra con el propósito de acelerar el secado de la mazorca y para evitar daños por pájaro y por el viento. La cosecha se realizó de forma manual a los 120 días de la siembra, cosechando por separado los 2 curcos centrales de cada parcela, para tomar datos correspondientes al rendimiento y calificaciones de aspecto de mazorca, sanidad de mazorca, % de humedad del grano, mazorcas totales y mazorcas podridas.
- **Tecnología del Productor.** En forma anexa al conjunto de híbridos validados, el productor cooperante de la localidad Bajos de Tlachiconal, municipio de Cotaxtla manejó una superficie de 2 ha, sembradas con el híbrido H-520, con el manejo del cultivo que se da de manera tradicional. En este tratamiento del productor se observaron diferencias en tres componentes tecnológicos principalmente: 1).- La densidad de siembra fue menor, con la misma separación entre surcos pero con distanciamiento de 60 cm entre matas, obteniendo una densidad de 48,000 plantas por hectárea; en comparación con la densidad de los tratamientos de validación, que fue de 62,500 plantas por hectárea. 2).- La dosis de fertilización en la parcela sembrada por el productor fue de 115-35-00, que es menor a la recomendada o validada (156-46-00). 3).- Combate de maleza, menos eficiente en la siembra del productor, en comparación con los módulos de validación, ocasionado principalmente por la menor densidad de plantas en el tratamiento del productor, favoreció el desarrollo de malezas.

- **VARIABLES EVALUADAS.** Durante el desarrollo del ensayo de validación se registraron las siguientes variables:1).- Días a la floración masculina y femenina, 2).- Altura de la planta, 3).- Altura de la mazorca. 4).- Aspecto y sanidad de la planta, 5).- Plantas acamadas, 6).- Mazorcas con mala cobertura, 7).- Plantas y mazorcas con daños por achaparramiento, 8).- Aspecto y sanidad de mazorca, 9).- Porcentaje de humedad y 10).- Rendimiento de grano; variables que fueron tomadas de acuerdo con la metodología de Reyes (1990).
- **DISEÑO EXPERIMENTAL.** En las dos localidades de validación se utilizó un diseño de bloques al azar, constituidos por 9 tratamientos con dos repeticiones. La unidad experimental estuvo formada por parcelas de 8 surcos de 33 m.
- **ANÁLISIS DE RENTABILIDAD.** Con el fin de conocer las ventajas económicas de utilizar los híbridos sobresalientes y la adecuada tecnología de producción, se registraron los costos de producción y se llevó a cabo el análisis de rentabilidad, con base en el precio de venta del producto.

Resultados y discusión

Rendimiento de grano localidad Campo Experimental Cotaxtla. Cabe mencionar que esta localidad resultó muy afectada por excesos de humedad durante la mayor parte del ciclo de cultivo y que esto se reflejó en bajos rendimientos. El análisis de varianza, detectó diferencias significativas, lo cual indica diferencias entre tratamientos en rendimiento de grano. El mayor rendimiento correspondió al híbrido H-520, con un promedio de 4.782 t ha⁻¹; mientras que el rendimiento más bajo con 2.4 t ha⁻¹, correspondió a la variedad V-556 AC.

Tabla 2.

Análisis de varianza para rendimiento de grano, Campo Experimental

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F _{obs}	Ft _{0.05}	Ft _{0.01}
Tratamientos	8	8.10	1.01	4.50*	3.44	6.03
Bloques	1	0.19	0.19	0.86 ^{NS}	5.32	11.26
Error	8	1.80	0.22			
Total	17	10.09				

C.V. = 14.45 %. * Significativa, ** Altamente significativa, NS-no significativa

Rendimiento de grano en la localidad Bajos de Tlachiconal. El análisis de varianza para rendimiento de grano, reportó diferencia significativa entre tratamientos. El tratamiento con mayor rendimiento con un promedio de 7.907 t ha⁻¹, correspondió

al Testigo Comercial; en segundo lugar el híbrido H-520, con un rendimiento de 7.5 t ha⁻¹; el rendimiento más bajo con un promedio de 5.408 t ha⁻¹, correspondió al híbrido H-564 C, Cuadro 3. Los híbridos y las variedades que se condujeron en las parcelas de validación y demostración, tanto en la localidad Bajos de Tlachiconal, como en el Campo Experimental Cotaxtla, presentaron comportamiento similar en las principales variables agronómicas registradas, por lo que se describen los datos del Campo Experimental.

Tabla 3.

Análisis de varianza para rendimiento de grano, Bajos de Tlachiconal

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F _{obs}	Ft _{0.05}	Ft _{0.01}
Tratamientos	8	11.75	1.47	4.10*	3.44	6.02
Bloques	1	0.08	0.08	0.23 ^{NS}	5.32	11.26
Error	8	2.87	0.36			
Total	17	14.70				

C.V. = 9.13 %.

- **Días a la floración masculina.** La floración masculina indica la precocidad de los genotipos. En esta variable se observaron diferencias significativas entre tratamientos, indicando que hubo variación en días a floración masculina; presentando mayor precocidad la variedad V-537 C y el testigo comercial, con 49 días a floración masculina y 50 días a floración femenina; los genotipos más tardíos, con 54 días a floración masculina y 55 días a floración femenina fueron los híbridos H-564 C y HEA-17.
- **Altura de planta y de mazorca.** Esta variable es importante para definir genotipos con menor altura, tolerantes al acame y poder disminuir riesgos en la producción. Se observaron diferencias altamente significativas, lo cual indica que hubo variación en la altura de planta entre tratamientos. El tratamiento que presentó el porte más bajo fue el híbrido H-564 C con una altura de 1.93 m; mientras que el porte más alto correspondió a la variedad VS-536 con una altura de 2.45 m. El tratamiento que presentó menor altura de mazorca fue el Testigo Comercial, con una altura de 0.90 m y el de mayor altura de mazorca fue la variedad VS-536 con 1.35 m.
- **Aspecto y sanidad de planta.** Estas variables corresponden a una calificación visual la resistencia o susceptibilidad al acame, la uniformidad de altura que presenta el cultivo, la susceptibilidad o resistencia que tienen los genotipos a las plagas y enfermedades. También en estas variables se observaron diferencias significativas entre tratamientos. El mejor comportamiento correspondió

- al híbrido H-520; mientras que la variedad V-556AC fue la más afectada, presentando severos daños por achaparramiento.
- **Acame.** El por ciento de plantas acamadas es importante para determina los genotipos resistentes, para ser recomendadas en zonas donde haya presencia de vientos, como es en la región de estudio. El análisis de varianza, indicó diferencia altamente significativa, reportando menos porcentaje de acame el híbrido H-564 C, con un porcentaje promedio de 1.5% de plantas con acame; mientras que la variedad V-556 AC fue la que presento mayor daño, con un porcentaje promedio de 44 %.
 - **Cobertura de mazorca.** Esta variable es muy importante, ya que determina los materiales donde las brácteas cubren adecuadamente la punta de la mazorca y evitan daños. Se observaron diferencias altamente significativas entre tratamientos. El híbrido HEA-17 presentó menor porcentaje de mala cobertura, 1.6%; mientras que el Testigo Comercial fue el que presentó mayor porcentaje de mala cobertura, con 16.4%.
 - **Sanidad de planta y de mazorca.** Esta variable permite definir materiales con resistencia a enfermedades como el achaparramiento y pudriciones de mazorca. El análisis mostró diferencia significativa entre tratamientos, siendo el híbrido H-520 el que presentó menor porcentaje de achaparramiento, con promedio de 2.35%; H-519C fue el que presentó mayores daños, con un promedio de 5.9%. En cuanto a sanidad de mazorca, el análisis reportó diferencia altamente significativa entre tratamientos. El híbrido H-520 fue el que presento mayor resistencia; mientras que el Testigo Comercial fue el más dañado.
 - **Análisis Beneficio Costo:** En el proceso de validación de la tecnología, uno de los fines principales consiste en conocer su adecuación a las condiciones agroecológicas de la región donde se valida; así como su adecuación a las condiciones socio económicas de los productores. Para ello se llevó un registro de los costos del manejo tecnológico, según el Cuadro4. El análisis de rentabilidad se realizó con base al rendimiento promedio obtenido con los módulos, que fue de 5.5 toneladas por hectárea. Los cálculos se hicieron tomando como base el precio medio rural al momento de la cosecha, que fue de \$ 3,500 por tonelada; por lo tanto, el ingreso bruto obtenido fue de \$ 19,250 y con el costo de producción estimado de \$ 11,660, se obtuvo la siguiente relación beneficio costo: B/C= 1-1.65; que indica que por cada peso invertido se recupera la inversión y se obtienen \$ 0.65 de utilidad, que en total representa \$ 7,590 por hectárea.

Tabla 4.

Costos por hectárea para el cultivo de maíz en parcelas de validación

Concepto	Descripción	Precio unitario	Costo por hectárea
Preparación del terreno	Barbecho	800	800
	Dos pasos de rastra	500	1,000
	Surcado	500	500
Siembra	Costo de la semilla	700	700
	Siembra 5 jornales	130	650
Combate de maleza	Herbicida Faena	120	120
	Herbicida Gasaprim C-90	140	420
	Aplicación 3 jornales	130	390
Fertilización	Urea 5 bultos	300	1,500
	DAP 3 bultos	300	900
	Aplicación 4 jornales	130	520
Control de plagas	Semevín	500	500
	Cipermetrina 0.5 L	640	320
	Aplicación 3 jornales	130	390
Labores de cultivo	Cultivo y atierro	500	1,000
Dobla	5 jornales	130	650
Cosecha y desgrane	10 jornales	130	1,300
Total			11,660

Conclusiones

El híbrido H-520 y el testigo comercial A-7573 sobresalieron en rendimiento, por lo que presentan potencial para ser cultivados en las regiones en que fueron validados y en otras con condiciones similares. El híbrido H-520 fue el mejor en cuanto a sus características agronómicas, principalmente en sanidad de planta y mazorca, lo que representa mayor calidad de grano.

Literatura citada

Cano R. O.; Sierra M. M.; Jeffers, D.; Tosquy V. O. H.; Palafox C. A.; Preciado O. R.E. 2000. Respuesta de híbridos de maíz QPM y normales a infestación con

- Dalvulus maydis* vector del achaparramiento del maíz. In décima Tercera Reunión científica Tecnológica Forestal y Agropecuaria del estado de Veracruz. Veracruz México. (Memoria en CD).
- Cano R. O.; Tosquy V. O. H. Sierra M. M. y Rodríguez M. F. 2001. Fertilización y densidad de población de maíz cultivado bajo condiciones de temporal. *Revista Agronomía Mesoamericana*. 12 (2): 199-203
- Castillo, M. L. E. 2008. Introducción a la estadística experimental. 4ta ed. Universidad Autónoma Chapingo. México, D.F. 301 p.
- Damián H., M. A.; Ramírez V., B.; Gil M., A.; Gutiérrez R., N.; Aragón G., A.; Mendoza R., R.; Paredes S., J. A.; Damián J., T. y Almazán J., A. 2007. Apropiación de tecnología agrícola. Características técnicas y sociales de los productores de maíz de Tlaxcala. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología–Sistema de Investigación Zaragoza y Congreso del estado de Tlaxcala. México. 284 p.
- Espinosa, C. A.; Gómez, M.N.; Sierra, M.M.; Betanzos, M.E. y Caballero, H.F. 2006. Variedades e híbridos de maíz de calidad proteínica en México. *Ciencia*. 57 (3): 28-34
- Escalante, R. 2006. Desarrollo rural, regional y medio ambiente. *Economía*, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México. 3(8):69–94.
- García, E. 1981. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. 3ª Edición. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México D. F. México. 252 p.
- Gómez, M. N. 1986. Aptitud combinatoria de maíces tropicales y subtropicales en la región de transición baja de Guerrero. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 8 (1):3-19
- González, G.C.; Molina, G. J.D. y Martínez G.A. 1990. Implicaciones del rendimiento per se y de la ACG de líneas autofecundadas de maíz (*Zea mays* L.) en la predicción de cruza simples de alto rendimiento. *Agrociencia* 1(2):29-42.
- Galindo G., G. 2007. El servicio de asistencia técnica a los productores de chile seco en Zacatecas. *Convergencia* 14(43): 136:165
- INEGI, 2007. VIII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal 2007. Síntesis metodológica. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. <http://www.inegi.org.mx>
- Jiménez V., M. 1990. La Fundación Rockefeller y la investigación agrícola en América Latina. *Comercio Exterior*. 40 (10):972
- Laird R. J. 1977. Investigación agronómica para el desarrollo de la agricultura de temporal. Escuela Nacional de Agricultura, Colegio de Postgraduados, Chapingo, Estado de México. México. pp: 55–56

- Mertz, E.T.; Bates, L. S. and Nelson, O. E. 1964. Mutant gene that changes protein composition and increase lysine content of maize endosperm. *Science*. 145: 279-280
- Damián Huato M.A., Benito Ramírez Valverde, Filemón Parra Inzunza, Juan Alberto Paredes Sánchez, Abel Gil Muñoz, Artemio Cruz León y Jesús Francisco López Olguín. 2007. Apropiación de tecnología por productores de maíz en el estado de Tlaxcala, México. *Agricultura Técnica Mexicana* 33(2) 163-173
- Nadal, A. T. y Wise, A. 2005. Los costos ambientales de la liberalización agrícola: El comercio de maíz entre México y EE. UU. en el marco del NAFTA. En *globalización y medio ambiente: lecciones desde las Américas*. Publicado por Heinrich Böll Foundation North América. pp: 49–92
- Palafox, C. A. Sierra, M. M., Rodríguez, M. F. A. y Ugalde, A. F. J. 2010. Tecnología de producción para maíz de grano y elote para el trópico húmedo de México. Folleto para Productores Núm. 14. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla. Veracruz, México. 14 p.
- Reyes, C. P. 1990. *Diseño de experimentos aplicados*. Editorial Trillas. México. 348p.
- Rogers E., M. y Svenning, L. 1979. *La modernización entre los campesinos*. Fondo de Cultura Económica. México. 397 p.
- Salinas, M. Y. y Vázquez, C. M. G. 2006. Metodología de análisis de calidad nixtamalera-tortillera en maíz. Campo Experimental valle de México. INIFAP. Chapingo, Estado de México. México. Folleto Técnico Núm. 22. 80 p.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2004. *Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera*. Subsistema de Información Agrícola. D. F., México. Versión CD.
- SIAP. 2010. *Información del sector agroalimentario*. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2da. Ed. Quinta del Agua Ediciones S. A. de C. V. México, D. F. 249 p.
- Sierra, M. M., Palafox, C. A.; Rodríguez, M. F. A.; Espinosa, C. A.; Vázquez, C. G.; Zambada, M. A.; Rodríguez, R. J. R. y Barrón, F. S. 2008. H-564C, híbrido de maíz con alta calidad de proteína para el trópico húmedo de México. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla. Desplegable Técnica 6
- Sierra, M. M., Palafox, C. A.; Rodríguez, M. F. A.; Espinosa, C. A.; Vázquez, C. G.; Gómez, M. N. y Barrón, F. S. 2011. H-564C, híbrido de maíz con alta calidad de proteína para el trópico húmedo de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 2 (1):71-84
- Sierra, M. M.; Palafox, C. A.; Becerra, L. E. N.; Córdoba, O. H.; Rodríguez, M. F. A. 2007. Comportamiento de híbridos de maíz con alta calidad de proteína, por su

rendimiento y tolerancia al Achaparramiento. *Agronomía Mesoamericana*. 18(1):27-35

- Tinoco, A. C. A.; Rodríguez, M. F. A.; Sandoval, R. A.; Barron F.S.; Palafox, C. A.; Esqueda, E. V. A.; Sierra, M. M. y Romero, M. J. 2002. Manual de producción de maíz para los estados de Veracruz y Tabasco. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Papaloapan. Libro Técnico Núm. 9. Veracruz. México. 113 p.
- Tosquy, V. O. H.; De la Garza, G. R.; Castañón, N. G. y Morones, R. R. 1998. Fertilización edáfica y densidades de población para producción de semilla de líneas de maíz. *Agricultura Técnica Mexicana* 24(2):111-119
- Turrent F., A.; Camacho C., R.; Francisco N., N.; Uribe G., S.; Cortés F., J. I. y Mendoza R., R. 1999. Posibilidades técnicas de lograr la soberanía alimentaria de origen vegetal en México. *Terra Latinoamericana* 17(1):59–76
- USDA (Foreign Agricultural Service). 2010. Production, Supply and Distribution. <http://www.fas.usda.gov/psdonline/psdQuery.aspx>. (Acceso el 02/03/2011).
- Vasal, S.K. y Córdoba, O. H. 1996. Heterosis en maíz: acelerando la tecnología de híbridos de dos progenitores para el mundo en desarrollo. *En: Memorias del Curso Internacional de Actualización en Fitomejoramiento y Agricultura Sustentable*. Buenavista, Saltillo Coahuila. pp: 32-54
- World Agricultural Supply and Demand Estimates (WASDE). 2009. Approved by the World Agricultural. United States Department of Agriculture. <http://www.usda.mannlib.Cornel.edu/>

Análisis dialélico para deterioro controlado en semilla F_2 de genotipos tropicales de maíz

Diallel analysis for controlled deterioration in seed F_2 in tropical maize genotypes

Cervantes Ortiz Francisco^{1*}, Gabino García de los Santos², Aquiles Carballo Carballo², Enrique Andrio Enríquez¹, J. Guadalupe Rivera Reyes¹, Elvira Cortez Baheza¹, Hugo César Cisneros López¹ y Mariano Mendoza Elos¹.

¹Profesor–Investigador, Instituto Tecnológico de Roque. Km. 8 Carretera Celaya-J. Rosas, C.P. 38110. Roque, Celaya, Gto. Tel. (461) 611 63 62 ext. 141. ²Producción de Semillas. Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados. Km 36.5 Carretera. México-Texcoco. C.P. 56230. Montecillo, Texcoco, México. *E-mail: cervan74@yahoo.com.mx

Resumen. El objetivo fue determinar el tipo de acción génica para la resistencia al deterioro controlado en genotipos de maíz F_2 . Se usó un diseño de cruza dialélicas involucrando seis líneas endogámicas de maíz tropical, tres de alto y tres de bajo vigor de semilla. En el ciclo Primavera-Verano/2004 se hicieron los cruzamientos entre las seis líneas en Tlaltizapan, Morelos. La semilla F_2 se produjo al sembrar la F_1 en el ciclo Invierno-Primavera/2005 en Tepalcingo, Morelos. La semilla F_2 se sometió a deterioro controlado en una cámara de envejecimiento acelerado bajo condiciones de 100% de humedad relativa (HR) y 32 °C. Se realizaron cinco muestreos a los 30, 60, 90, 120 y 150 días de almacenamiento; se realizó un muestreo inicial para determinar el vigor de la semilla a través de la prueba de envejecimiento acelerado (100% HR y 42 °C). Hubo diferencias ($p \leq 0.01$) entre genotipos para el deterioro de semilla. Los efectos de aptitud combinatoria general (ACG) para todos los muestreos realizados fueron significativos ($p \leq 0.01$) y mayores a los de aptitud combinatoria específica (ACE). Los efectos recíprocos fueron significativos en todos los muestreos realizados, lo cual indica que estos fueron influenciados por los efectos del progenitor femenino utilizado en la producción de semilla. Las líneas CML 307 y CML 407 presentaron la más alta ACG para el vigor de semilla evaluado a través de la prueba de envejecimiento acelerado. Los progenitores CML 396, CML 411 y CML 307 manifestaron la mejor ACG en los muestreos realizados para evaluar la resistencia al deterioro de semilla a través de la prueba de germinación estándar y así mismo, las cruza entre ellas presentaron las mejores combinaciones específicas.

Palabras clave: *Zea mays* L., germinación estándar, envejecimiento acelerado y componentes genéticos.

ABSTRACT. The objective was to determine the type of gene action for resistance to controlled deterioration in F_2 genotypes of maize. A diallel cross design was used involving six tropical maize inbred lines, three high and three low seed vigor. In the spring-summer cycle /2004 the crosses were made between the six lines at Tlaltizapan, Morelos. The seed F_2 was produced after showing the F_1 at the winter-spring cycle /2005 at Tepalcingo, Morelos. The F_2 seed was subjected to controlled deterioration in a chamber of ageing accelerated under conditions of 100% relative humidity (RH) and 32 °C. Five samplings were made to the 30, 60, 90, 120 and 150 days of storage, initial sampling was take to determine seed vigor through accelerate ageing test (100% HR and 42 °C). There were significant differences ($p \leq 0.01$) among genotypes for seed deterioration. The effects of general combining ability (GCA) for all samples taken were significant ($p \leq 0.01$) and higher than those of specific combining ability (SCA). Reciprocal effects were significant at all samplings, indicating that those were influenced by the effects of the female parent used in the production of seed. CML 307 and CML 407 lines presented the highest GCA for seed vigor evaluated by accelerated ageing test. CML 396, CML 411 and CML 407 parents showed the best GCA in the sampling carried out to assess the resistance to the resistance to the deterioration of seed through standard germination test and likewise, the crossing between them were the best specific combining ability (SCA).

Keywords: *Zea mays* L., standard germination, ageing accelerated and genetic component.

Introducción

En México las prácticas de almacenamiento son deficientes, debido a la falta de infraestructura de secado y almacenes adecuados a el nivel rural y además debido a que las condiciones ambientales son desfavorables (condiciones tropicales) para el deterioro de granos y semillas; en este sentido, se tiene la necesidad de estudiar y encontrar formas de disminuir este deterioro; entre ellas sería la resistencia genética al deterioro. En relación a esto se ha encontrado que existen diferencias en el comportamiento de diversos genotipos de maíz en cuanto a su capacidad de mantener su viabilidad bajo condiciones adversas de almacenamiento (Moreno y Christensen, 1971; Moreno *et al.*, 1978; Cervantes *et al.*, 2006). Existen dos tipos de variación importantes en el mejoramiento genético de plantas; la ambiental y la hereditaria. Las variaciones hereditarias son el resultado de la constitución

genética de un organismo o población, que determina caracteres o funciones en las plantas (Ramet *al.*, 1991). Al respecto, Hartmann *et al.* (1990) mencionan que los factores genéticos y ambientales son los que determinan la tasa de germinación, la velocidad de germinación y el vigor de semilla y de plántula, aunque Ram *et al.* (1991) señalan que la variabilidad genética en semilla es la de mayor interés para los fitomejoradores. Por lo tanto, la tarea principal de los mejoradores es ordenar esas variaciones heredables que puedan ser útiles para el mejoramiento de los cultivos; sin embargo, el desarrollo de variedades mejoradas toma un tiempo considerable y es costoso. Una forma de realizar progresos rápidos en el mejoramiento de plantas, puede ser mediante la determinación del potencial de crecimiento inicial y vigor de semillas en los genotipos (Ajala y Fakorede, 1988).

Existen reportes de ciertos niveles de heterosis en el vigor de la semilla en maíz (Fakorede y Agbana, 1983) y de plántula en sorgo (Yu y Tuinstra, 2001). Asimismo, se señala que existen alelos recesivos con efectos pleiotrópicos que afectan el vigor de semillas (Dollinger, 1985); en este sentido Lindstron (1972) concluyó que la longevidad de las semillas es heredable, aunque compleja. Por otro lado, se señala que existe más avance genético para vigor de semilla y de plántula en maíz al seleccionar combinaciones de híbridos específicos, que seleccionando líneas basadas sólo en efectos de Aptitud Combinatoria General (ACG) (Revilla *et al.*, 1999); sin embargo, Gómez *et al.* (1988) y Reyes *et al.* (2004) en caracteres diferentes, concluyen que una cruce simple será de alto rendimiento sí al menos uno de sus progenitores es de alta ACG o si su efecto de aptitud combinatoria específica (ACE) es alto, al menos una de sus líneas es de alta ACG. El método de cruces dialélicas permite estimar la ACG y ACE y se considera eficaz para detectar fuentes de germoplasma útiles para el mejoramiento genético del maíz. El apareamiento de cruzamientos dialélicos es útil para la evaluación de componentes genéticos en la variación del rendimiento de los progenitores y para calcular la capacidad productiva de sus cruces (Baker, 1978). Con relación al tipo de acción génica que determina la aptitud combinatoria de las líneas, se considera que la ACG determina la porción aditiva de los efectos genéticos, en tanto que la ACE, los efectos no aditivos, esto es, la acción génica de dominancia y epistasis (Poehlman y Allen, 2003).

El vigor de las semillas ha sido definido como la suma total de aquellas propiedades que determinan el nivel de actividad y el comportamiento de las semillas o de un lote de semillas durante la germinación y emergencia de las plántulas. Las semillas que muestran un buen comportamiento son consideradas de alto vigor y aquellas que presentan un pobre comportamiento son llamadas semillas de bajo vigor (ISTA, 1995). Los aspectos del comportamiento asociados con el vigor de las semillas incluyen: a) tasa y uniformidad de germinación de semillas y crecimiento

de plántulas; 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. Según Powell (1995), la prueba de deterioro controlado permite distinguir entre lotes de semillas que están sufriendo una disminución en su supervivencia, por estar sometidas a niveles similares de deterioro por alto contenido de humedad y elevada temperatura.

El deterioro controlado a un contenido de humedad constante, refleja el método de almacenamiento de muchas especies en sacos de papel aluminio más que en almacenamiento abierto, reflejando su potencial de almacenamiento, lo que también ocurre en el envejecimiento acelerado (Powell, 1995). El objetivo de esta investigación fue determinar el tipo de acción génica en la resistencia al deterioro controlado de semillas F_2 en líneas endogámicas de maíz tropical y sus combinaciones híbridas

Materiales y métodos

Se utilizaron seis líneas con un alto nivel de endogamia ($F=1$, es decir, homocigotas en su constitución alélica) de maíz tropical previamente caracterizadas por su resistencia al deterioro controlado; donde las líneas CML 307, CML 396 y CML 407 fueron de lato vigor y las líneas CML 254, CML 399 y CML 411 (Cuadro 1). Las líneas se formaron en el Programa de Mejoramiento del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). En el ciclo Primavera-Verano (P-V) 2004; se hicieron los cruzamientos entre las seis líneas en Tlaltizapan, Morelos, obteniéndose 15 cruzas directas y 15 cruzas recíprocas; al mismo tiempo se efectuaron autofecundaciones en las líneas, originándose un total de 36 genotipos. Las cruzas F_1 y los progenitores se cosecharon separadamente; la F_2 se produjo al sembrar la F_1 en el ciclo invierno-primavera de 2005 (I-P, 2005) en la localidad de clima tropical, Tepalcingo, Morelos. La polinización se realizó de forma manual mediante la técnica de medios hermanos (cruzamientos planta a planta) para evitar contaminación y avanzar a la generación F_2 . Obtenida la semilla F_2 se sometió a deterioro controlado en una cámara de envejecimiento acelerado bajo condiciones de 100% de humedad relativa y 32°C. Se realizaron cinco muestreos a los 30, 60, 90, 120 y 150 días de almacenamiento y un muestreo inicial para determinar el vigor de semilla a través de la prueba de envejecimiento acelerado (100% HR y 42°C) como lo indica Moreno (1996).

Tabla 1.

Líneas endogámicas de maíz tropical utilizadas en un diseño de apareamiento dialélico.

Línea endogámica	Pedigree	Origen	Color de grano	Comportamiento al deterioro	Potencial heterótico
CML 307	SINT.AM.TSR-61-3-2-8-2-BB-f	SA TSR	Amarillo	Resistente	Pops-24,28,36 y pool26
CML 396	P21C5HC109-3-1-5-4-B-4-3-##-2-B*6	Pop21	Blanco	Resistente	CML268, CML48 y CML264
CML 407	(G24TSR19*P21F199)-1-1-B-2-2-BBB-1-B-#-B*8	Pool24	Blanco	Resistente	CML48 y CML247
CML 254	TEXSEQ-149-2-BBB##-1-BB-f	Pop21	Blanco	Susceptible	Pops-25, 32, 43; pools 23, 24
CML 399	P21C5HC72-3-1-2-BBBB-##-1-BBB-###-B*8	Pop21	Blanco	Susceptible	CML247
CML 411	P28C7-S4-#-BBBBBBBBB	Pop28	Amarillo	Susceptible	CL-00331

En los 30 genotipos de la generación F_2 , para cada muestreo realizado se determinó la resistencia al deterioro controlado a través de la prueba de germinación estándar como lo indica la ISTA (1995). La evaluación se llevó a cabo en el Laboratorio de Análisis de Semillas del Colegio de Postgraduados en Montecillo, Texcoco, México, de octubre de 2005 a marzo de 2006. Se aplicó un diseño completamente al azar con tres repeticiones; y se utilizaron 25 semillas como tamaño de muestra por unidad experimental.

El análisis de varianza para calcular la aptitud combinatoria general (ACG), aptitud combinatoria específica (ACE), efectos recíprocos (ER), efectos maternos (EM) y efectos no maternos (ENMAT) se realizó de acuerdo con el Método III de Griffing (1956), Modelo II (efectos aleatorios), usando el programa Diallel-SAS Method III propuesto por Zhang y Kang (2003). El análisis estadístico se hizo con el programa SAS (2002).

Resultados y discusión

La variación atribuible a genotipos, ACG, ER y ENMAT fue significativa ($p \leq 0.01$) para todas las evaluaciones realizadas para resistencia al deterioro de semilla (Tabla 2). Los efectos de ACE fueron altamente significativos ($p \leq 0.01$) para vigor a través de

la prueba de envejecimiento acelerado (EA), germinación estándar (GE) a los 30, 120 y 150 días de almacenamiento controlado (100% humedad relativa y 32 °C) y significativo ($p \leq 0.05$) para germinación estándar a los 90 días de almacenamiento. No se encontró efecto de ACE en la germinación estándar registrada a los 60 días de almacenamiento. Los efectos maternos (EM) presentaron efecto significativo ($p \leq 0.01$) para vigor (EA) y la GE a los 90 días de almacenamiento, en el porcentaje de GE registrada a los 120 y 150 días de almacenamiento el efecto fue significativo con $p \leq 0.05$; sin embargo, no hubo EM para los muestreos realizados para determinar el porcentaje de GE a los 30 y 60 días de almacenamiento (Cuadro 2). Resultados similares fueron obtenidos por Moreno y Christesen (1971) y Moreno *et al.* (1978) al señalar la diversidad genética para resistencia al deterioro de semilla. La significancia estadística de la ACG y ACE indica que hay efectos genéticos aditivos y dominantes involucrados en la resistencia al deterioro de semilla. Estos resultados coinciden con los de Antuna *et al.* (2003) y Cervantes *et al.* (2006). Los cuadrados medios de los efectos de ACG fueron mayores que los de ACE en todos los muestreos hechos para evaluar la resistencia al deterioro de semilla (Tabla 2); lo que resalta la importancia de los efectos genéticos aditivos (Baker, 1978; Poelhman y Allen, 2003). Resultados similares a los anteriores han sido reportados por Antuna *et al.* (2003), Cervantes *et al.* (2006), Cervantes *et al.* (2007) y Cervantes *et al.* (2011). En este mismo contexto, Ajala y Fakorede (1988), Revilla *et al.* (1999), Antuna *et al.* (2003) y Cervantes *et al.* (2006) señalan que los efectos aditivos son importantes para seleccionar caracteres de vigor de semilla y plántula en maíz.

Los efectos recíprocos (ER) fueron significativos ($p \leq 0.01$) para todos los muestreos realizados durante el deterioro controlado de semilla (Tabla 2), lo que permite inferir que para este carácter la resistencia que se obtiene de la cruce (i, j) es diferente a la cruce inversa (j, i). Antuna *et al.* (2003), Cervantes *et al.* (2006) y Cervantes *et al.* (2007) reportaron diferencias recíprocas para vigor de semilla y de plántula en maíz. Los efectos maternos fueron significativos para el vigor (EA), el porcentaje de GE registrado a los 90, 120 y 150 días de almacenamiento. Los efectos no maternos fueron significativos ($p \leq 0.01$) en todos los muestreos realizados para determinar resistencia al deterioro de semilla (Tabla 2). Es importante señalar que de acuerdo con Zhang y Kang (1997) el efecto materno (recíproco general) se refiere al efecto del genotipo o tejido materno sobre alguna característica de su descendencia, mientras que Kang *et al.* (1999) señalaron que el componente no materno (recíproco específico) es la interacción entre factores extranucleares y nucleares de las cruces.

Las líneas progenitora CML 307 y CML 407 mostraron los valores positivos más altos para vigor (EA), esto indica que estos materiales contienen genes de

efectos aditivos que se expresan favorablemente en el vigor de la semilla; en contraste, la CML 399 presentó un valor negativo. A los 60 días de almacenamiento controlado, la línea CML 399 fue el progenitor con el peor comportamiento para resistencia al deterioro de semilla. A los 90 y 120 días de almacenamiento, sobresalen las líneas CML 307, CML 396 y CML 411 con un buen comportamiento para resistencia al deterioro. Durante los 150 días de almacenamiento los mejores progenitores fueron las líneas CML 396 y CML 411 y los progenitores con el peor comportamiento fueron las líneas CML 254 y CML 399 (Tabla 3).

Por otro lado, al analizar los valores de ACE, se observó que las cruzas CML 399 X CML 396, CML 407 X CML 396 y CML 407 X CML 399 presentaron la más alta ACE para vigor (EA) y las cruzas CML 411 X CML 399, CML 399 X CML 254 y CML 396 X CML 399 presentaron el valor más bajo de ACE para este carácter. En la prueba de GE realizada a los 30 días de almacenamiento sobresalieron las cruzas CML 254 X CML 396 y CML 407 X CML 254 con la mejor ACE. A los 60 días de almacenamiento, aparecieron las cruzas CML 407 X CML 396 y CML 254 X CML 307 al mostrar estimadores positivos y significativos para la GE. En el muestreo a los 90 días de almacenamiento para determinar la GE la mejor crusa fue la CML 399 X CML 407. A los 120 días de almacenamiento, las mejores cruzas con estimadores positivos y significativos fueron la CML 411 X CML 407 y CML 407 X CML 411.

Tabla 2.

Cuadrados medios para Aptitud Combinatoria General (ACG), Especifica (ACE), Efectos recíprocos (ER), Efectos Maternos (EM) y Efectos no Maternos (ENMAT) para deterioro controlado entre líneas endogámicas de maíz tropical.

F.V	G.L	Vigor	GE (30d)	GE (60d) %	GE (90d)	GE(120d)	GE (150d)
Repeticiones	2	49.20	201.27	51.51	7.57	19.48	5.43
Genotipos	29	771.68**	108.02**	104.54**	280.73**	172.81**	83.96**
ACG	5	1259.05**	172.13**	71.42	724.55**	382.42**	222.90**
ACE	9	368.01**	111.83**	58.95	53.21*	97.58**	50.63**
ER	15	851.43**	84.53**	142.94**	269.30**	148.08**	57.64**
EM	5	928.66**	29.16	34.81	279.01**	86.20*	45.36*
ENMAT	10	812.82**	111.95**	197.01**	264.45**	179.02**	63.67**
Error	58	82.64	29.83	43.52	25.25	27.01	18.38
C.V (%)	—	14.46	8.71	11.64	16.08	22.51	29.02

*, ** Significativo al $p \leq 0.05$ y $p \leq 0.01$; GE = Germinación estándar a los 30, 60, 90, 120, y 150 días de deterioro controlado.

Tabla 3.

Aptitud Combinatoria General para deterioro controlado en semilla F_2 en genotipos de maíz tropical.

Líneas	Vigor	GE (30d)	GE (60d) %	GE (90d)	GE(120d)	GE(150d)
CML 307	6.29**	1.01	2.32	2.36*	2.13*	1.40
CML 396	-1.91	0.82	-0.52	3.26**	2.60**	2.18**
CML 407	6.25**	1.14	1.31	-0.79	1.62	-1.25
CML 254	0.94	0.30	-0.82	-6.93**	-5.49**	-4.32**
CML 399	-13.26**	-5.34	-2.58*	-5.41**	-4.62**	-1.95*
CML 411	1.68	2.05	0.30	7.52**	3.75**	3.94*

*, ** Significativo al $p \leq 0.05$ y $p \leq 0.01$; GE = Germinación estándar a los 30, 60, 90, 120, y 150 días de deterioro controlado.

Para la germinación estándar registrada a los 150 días de almacenamiento sobresalen las cruzas CML 396 X CML 307 y CML 407 X CML 307 con el mejor comportamiento para resistencia al deterioro (Tabla 4). En General, hubo poca consistencia entre las líneas con la mejor ACG y las combinaciones para ACE; a este respecto, Revilla *et al.* (1999) señalaron que existe mayor avance genético al seleccionar combinaciones de híbridos específicos para vigor inicial de plántula en maíz, que seleccionando líneas con base sólo en efectos de ACG. Al analizar los efectos de ACE fue notable que en la cruza donde intervienen las líneas CML 407, CML 411 y CML 396 que mostraron efectos significativos de ACG, que al combinarse entre ellas o con la línea CML 254 manifestaron valores aceptables de ACE para resistencia al deterioro de semilla. Estos resultados coinciden con los de Gómez *et al.* (1988), Reyes *et al.* (2004), Cervantes *et al.* (2006), Cervantes *et al.* (2007), Avila *et al.* (2009) y Cervantes *et al.* (2011) quienes encontraron cruza con altos efectos de ACE donde al menos interviene una línea de alta ACG. También se puede observar grandes diferencias entre la cruza en este estudio de resistencia al deterioro de semilla, lo que indica que estos no pueden ser predichos con los valores de ACG de los progenitores (Baker, 1978).

Tabla 4.

Aptitud Combinatoria Específica (ACE) para deterioro controlado de semilla F₂ en genotipos de maíz tropical. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.

Genotipos	Vigor	GE (30d)	GE(60d) %	GE (90d)	GE (120d)	GE (150d)
307 x 396D	0.39	0.89	0.74	-1.40	-1.07	0.21
307 x 407D	-1.91	2.24	-1.16	-0.17	2.60	1.65
307 x 254D	0.42	-1.86	-2.16	3.17*	-0.77	-0.56
307 x 399D	7.03*	2.99	1.77	-1.23	-0.51	-0.99
307 x 411D	-5.21	4.26*	0.80	-0.36	-0.25	-0.31
396 x 407D	-5.48	-5.07**	3.54	2.29	-3.09	-1.63
396 x 254D	7.34*	0.33	-3.01	-2.23	-3.95*	-1.41
396 x 399D	-10.38**	4.13*	2.24	0.71	4.66**	-0.94
396 x 411D	8.86**	-0.28	-3.52	0.63	3.46	3.77**
407 x 254D	-6.58*	4.99**	3.05	-5.19**	1.31	2.91*
407 x 399D	9.74**	-1.83	-4.14*	2.34	4.02*	-2.85*
407 x 411D	2.64	1.02	-3.20	1.95	6.87*	1.36
254 x 399D	0.14	-6.80**	-0.88	1.70	4.85**	3.61**
254 x 411D	-1.32	3.34	3.00	2.54	-1.43	-4.55**
399 x 411D	-6.55*	1.52	1.01	-3.54*	-4.97**	1.17
396 x 307R	4.03	-4.76*	-4.52	-1.24	-1.51	5.40**
407 x 307R	-1.10	0.56	-0.77	-3.37	3.96	4.54*
254 x 307R	3.14	3.45	6.90*	5.80*	2.41	-0.88
399 x 307R	-1.22	-1.29	-1.75	0.72	-9.69**	-2.82
411 x 307R	-8.87*	-5.03*	-4.39	0.03	-5.62*	-3.76*
407 x 396R	10.72**	-3.07	6.97**	1.61	4.12	-2.02
254 x 396R	7.18*	6.85**	-7.68**	-12.15**	2.57	-1.95
399 x 396R	31.83**	-3.22	-8.10**	-10.98**	2.26	-2.02
411 x 396R	-3.46	-6.99**	4.45	-2.69	-7.41**	-4.58*
254 x 407R	-6.14	-3.25	-4.53	5.15*	-3.17	3.97*
399 x 407R	-9.35*	2.55	0.32	14.20**	4.03	0.56
411 x 407R	-2.46	-0.95	1.95	2.80	7.56**	3.71*
399 x 254R	-11.85**	2.36	0.82	9.69**	-6.28**	-2.83
411 x 254R	7.88*	1.51	-5.87	1.67	-3.55	-0.56
411 x 399R	-22.20**	2.71	-3.64	4.41*	-1.20	-0.23

*, ** Significativo al $p \leq 0.05$ y $p \leq 0.01$; GE= germinación estándar a los 30, 60, 90, 120, y 150 días de deterioro controlado; D=cruzas directas; R=cruzas recíprocas.

Conclusiones

La resistencia al deterioro de semilla se determinó en mayor proporción por efectos de ACG aunque los efectos de ACE, ER, EM y ENMAT fueron también significativos para este grupo de líneas. Los progenitores CML 307 y CML 407 presentaron la mayor ACG para el vigor de semilla evaluado a través de la prueba de envejecimiento acelerado (100% HR y 42°C). Las líneas CML 411, CML 396 y CML 307 mostraron la más alta ACG y las mayores combinaciones híbridas para resistencia al deterioro controlado de semilla.

Literatura citada

- Ajala S.O., Fakorede M.A.B. 1988. Inheritance of seedling-vigor and its association with mature plant traits in maize population at two levels of breeding. *Maydica* 33:121-129.
- Antuna G.O.; Rincón S.F.; Gutiérrez Del R.E.; Ruiz T.N.A., Bustamante G.L. 2003. Componentes genéticos de caracteres agronómicos y de calidad fisiológica de semillas en líneas de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana* 26(1):11-17.
- Ávila P.M.A.; Rodríguez, H.S.A.; Vázquez B.M.E.; Borrego E.F.; Lozano R.A.J., López B.A. 2009. Aptitud combinatoria y efectos recíprocos en líneas endogámicas de maíz de Valles Altos de México. *Agricultura Técnica en México*. 35(3): 285-293.
- Baker R.J. 1978. Issues in diallel analysis. *Crop Science* 18:533-536.
- Cervantes O.F.; García D.S.G.; Carballo C.A.; Bergvinson D.; Crossa J.; Mendoza E. M., Moreno M.E. 2006. Análisis dialélico para vigor de semilla y de plántula en genotipos de maíz tropical. *Agricultura Técnica México* 32(1): 77-87.
- Cervantes O.F.; García D.S.G.; Carballo C.A.; Bergvinson D.; Crossa J.; Mendoza E. M., Moreno M.E. 2007. Herencia del vigor de plántula y su relación con caracteres de planta adulta en líneas endogámicas de maíz tropical. *Agrociencia* 41(4):425-433.
- Cervantes O.F.; García D.S.G.; Carballo C.A.; Bergvinson D.; Crossa J.L.; Mendoza E.M.; Andrio E.E.; Rivera R.J.G., Moreno M.E. 2011. Estimación de efectos genéticos relacionados con el vigor de la semilla y de la plántula en maíces tropicales mexicanos. *Phyton International journal of experimental botany* 80: 19-26.
- Dollinger E.J. 1985. Effects of visible recessive alleles on vigor characteristics in a maize hybrid. *Crop Science* 25:819-821.

- Fakorede M.A.B., Agbana S.B. 1983. Heterosis effects and association of seedling vigor with mature plant characteristics and grain yield in some tropical maize cultivars. *Maydica* 38:327-338.
- Gómez M.N.; Valdivia B.R., Mejía A.H. 1988. Dialélico integrado con líneas de diferentes programas de maíz para la región cálida. *Revista Fitotecnia Mexicana* 11:103-120.
- Griffing B. 1956. Concepts of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Australian Journal Biological Science* 9:463-493.
- Hartmann H.T.; Kester E.D., Davies F.T. (1990). Principles of propagation by seed. *In: Plant propagation, principles and practices*. Chapter 6. Prentice-Hall International, Inc. pp. 104-136.
- International Seed Testing Association (ISTA) 1995. Rules. Seed of vigor test methods. 2. ed. Zurich, 117 p.
- Kang M.S.; Kushairi D.A.; Zhang Y., Magari R. 1999. Combining ability for rind puncture resistance in maize. *Crop Science* 39:368-371.
- Lindstrom E.W. 1972. Inheritance of seed longevity in maize inbreds and hybrids. *Genetics* 27:154-160.
- Moreno M.E., Christensen C.M. 1971. Differences among lines and varieties of maize in susceptibility to damage by storage fungi. *Phytopathology* 61:1498-1500.
- Moreno M.E. 1996. Análisis físico y biológico de semillas agrícolas. Tercera Edición. UNAM. México. 393p.
- Moreno M.E.; Morones R.R., Gutiérrez L.R. 1978. Diferencia entre líneas, cruces simples dobles de maíz en su adaptabilidad al daño por condiciones adversa de almacenamiento. *Turrialba* 28(3):233-237.
- Poehlman J.M., Allen D. 2003. Mejoramiento genético de las cosechas. Guzmán, O. M.; Hernández, C. M. A., Serrano, C. L. M. (Trad.). Editorial Limusa. México. 511p.
- Powell A.A. 1995. The controlled deterioration test. *In: Congress of the international seed testing association, 24. Copenhagen. Seed vigour testing: contributions to a seminar*. Zurich: International Seed Testing Association, 1995. pp: 73-87.
- Ram C.; Singh O.; Kharb R.P.S.; Kumari P., Yadav T.P. 1991. Seedling vigour in pigeonpea. *Seed Science and Technology* 19:627-631.
- Revilla P.; Butrón A.; Malval R.A., Ordás A. 1999. Relationships among Kernel Weight, Early Vigor, and Growth in Maize. *Crop Science* 39:654-658.
- Reyes L.D.; Molina G.J.D.; Oropeza R.M.A., Moreno P.E.C. 2004. Cruces dialélicas entre líneas autofecundadas de maíz derivadas de la raza tuxpeño. *Revista Fitotecnia Mexicana* 27:49-56.

- SAS Institute Inc. 2002. SAS/STAT user's guide. Version 9, SAS Institute Inc., Cary, NC.
- Yu J., Tuinstra M.R. 2001. Genetic analysis of seedling growth under cold temperature stress in grain sorghum. *Crop Science* 41:1438-1443.
- Zhang Y., Kang M.S. 2003. Diallel-SAS: A program for Griffing's diallel methods: Handbook of formulas and software for plant geneticists and breeders, M S Kang (ed.). FPP. New York London Oxford. pp: 1-19.
- Zhang Y., Kang M.S. 1997. DIALLEL-SAS: A SAS program for Griffing's diallel analyses. *Agronomy Journal* 89:176-182.

Parámetros genéticos para calidad de semilla en cruzas dialélicas de variedades criollas de maíz

Genetic parameters for seed quality in diallel crosses in native maize varieties

Andrío Enríquez Enrique^{1*}, Sergio A. Rodríguez Herrera¹, Francisco Cervantes Ortiz¹, Arturo Palomo Gil², Armando Espinoza Banda², J. Guadalupe Rivera Reyes¹, Elvira Cortez Baheza¹, Wendy Mondragón Moreno¹ y Mariano Mendoza Elos²

^{1*} Estudiante Doctorado Ciencias Agrarias UAAAN-UL, ²Profesor investigador UAAAN-UL, Torreón, Coah. ²Profesor investigador Instituto Tecnológico de Roque, Km 8 Carr. Celaya-J. Rosas, Celaya, Gto.
*E-mail: subtec33@yahoo.com.mx, andrío@itroque.edu.mx

Resumen. La utilización de la variabilidad germoplásmica es de importancia esencial en el fitomejoramiento, un aspecto importante en las nuevas variedades de maíz, además de las características agronómicas, es la calidad de su semilla. Se considera que la varianza aditiva contribuye mayormente en caracteres de semilla y plántula que los efectos de dominancia. El objetivo de la presente investigación consistió en estimar los componentes genéticos para características de semilla en cruzamientos dialélicos de variedades criollas. El trabajo experimental se realizó en el Instituto Tecnológico de Roque, en Celaya, Guanajuato, en los ciclos P-V 2008 y 2009; se utilizó un diseño de cruas dialélicas 10x10 y se evaluó el comportamiento de los cruzamientos directos, recíprocos y de los progenitores. Se realizó el ANAVA para calcular los efectos de Aptitud Combinatoria General, Aptitud Combinatoria Específica, Efectos Maternos y Efectos Recíprocos, de acuerdo con el método I (Modelo I) de Griffing, se utilizó el programa Diallel-SAS Método I. El ANAVA mostró diferencias significativas para los genotipos, en los caracteres evaluados; encontrándose genotipos sobresalientes y otros con pobre comportamiento en estos parámetros. La ACG contribuye en mayor proporción que la ACE en las variables analizadas y además se observan efectos maternos. Las mejores cruzamientos para germinación estándar fueron en los que intervinieron las variedades de la raza Jala, Pepitilla, Ancho pozolero y Tabloncillo; en relación al vigor, en las mejores cruas intervinieron las variedades Pepitilla, Ancho pozolero y Celaya. En las cruas más destacadas para peso de mil semillas, intervino el progenitor Ancho pozolero.

Palabras clave: calidad de semilla, componentes genéticos, cruas dialélicas, razas.

ABSTRACT. The use of germoplasmic variability is of essential importance in plant breeding, an important trait in new varieties of maize, in addition to agronomic traits, it is the quality of their seed. There is evidence that the additive variance has a greater contribution on seed characters and seedling than the effects of dominance. The objective of this research was to estimate the genetic components for seed characteristics of diallelic crosses of maize landraces. Experimental work was held at the Instituto Tecnológico de Roque, Celaya, Guanajuato, in the spring-summer cycles 2008 and 2009, in a 10 x 10 mating design. The performance of the direct and reciprocal crosses, as well as the parents was evaluated. ANOVA was performed to calculate general combining ability, specific combining ability, maternal and reciprocal effects based on the method I (model II) of Griffing using the Diallel-SAS method I programme. The ANOVA showed significant differences for genotypes, in the evaluated characters; finding outstanding genotypes and others with poor performance in these parameters. The ACG contributed in greater proportion than the ACE in the analyzed variables and also maternal effects are observed. The best crosses for standard germination were those involving the varieties Jala, Pepitilla, Ancho pozolero and Tabloncillo; in relation to the seed vigor, in the best crossing involves the varieties Pepitilla, Ancho pozolero and Celaya. In the most important crossing for thousand seed weight, intervened the parent Ancho pozolero.

Key words: seed quality, genetic components, diallel mating, landraces.

Introducción

La disponibilidad de fuentes de germoplasma de amplia variabilidad genética y el conocimiento de su aptitud combinatoria en maíz (*Zea mays* L), es importante para la generación de nuevos cultivares que posean características deseables de comportamiento agronómico y de calidad de semilla (Coutiño *et al.*, 2010). Se ha señalado, por diversos investigadores, la necesidad de ampliar la base genética del germoplasma que se está utilizando en la generación de nuevas variedades, ya que sólo se explota una pequeña porción de la misma, pero se reconoce también la dificultad para que científicos que trabajan de manera aislada logren evaluar gran cantidad de materiales y puedan detectar genotipos que resulten con buen potencial para utilizarse como nuevos cultivares (Crossa *et al.*, 1987; Goodman y Brown, 1988). La importancia del maíz a nivel mundial la determina la diversificación de usos que se incrementan cada vez, las tendencias en los hábitos alimenticios en las economías emergentes y esto conlleva al incremento continuo de la superficie cultivada; en este contexto, en 2011 el Departamento de

Agricultura de los Estados Unidos (USDA) estima que se producirán 866.17 millones de toneladas en aproximadamente 160 millones de hectáreas, donde Estados Unidos de Norteamérica, China, la Unión Europea, Brasil, Argentina, México e India son los mayores productores (Agropanorama.com); la producción nacional se estima para este mismo ciclo en 24.5 millones de toneladas. México es el principal centro de origen del maíz, se reporta el registro de 65 razas y subrazas (Coutiño, 2010), lo que lo ubica como el de mayor diversidad en esta especie; sin embargo, el aprovechamiento de esta gran riqueza germoplásmica es limitada, ya que solo se emplea una mínima porción del vigor híbrido existente entre los diversos patrones heteróticos, enfocándose básicamente a características como el rendimiento, a pesar de que autores como Eberhart (1971), Hallauer y Miranda (1981), Holley y Goodman (1988) y Pollak *et al.* (1991) señalan la importancia de incorporar germoplasma exótico en los programas de mejoramiento de este cultivo.

La variabilidad puede ser atribuida al genotipo, al ambiente ó a ambos que afectan la expresión de los caracteres de las plantas y se considera que la varianza aditiva contribuye en mayor proporción que la de dominancia en diversas características de calidad de semilla y de plántula (Ajala y Fakorede, 1988 y Antuna *et al.*, 2003, Cervantes *et al.*, 2006). La calidad de la semilla es un concepto múltiple, incluye atributos físicos como el tamaño, fisiológicos como el vigor y el poder germinativo; sanitario y genético, y es conocido que la herencia de la misma es compleja y es de vital importancia para los agricultores y en la industria semillera. Para el agricultor, porque determina el número de plantas a establecerse por unidad de superficie cultivada, prefiriendo aquellos lotes que muestran alto vigor; para la industria, la calidad de la semilla es trascendente, por la gran variación existente en tipos, formas y tamaños de semilla que presentan las variedades de maíz (Delouche y Cadwell, 1962). Una herramienta útil para caracterizar progenitores y estimar los parámetros genéticos de éstos y sus cruza, son los análisis dialélicos y permiten establecer la metodología de mejoramiento más apropiada (Hallauer y Miranda, 1981). El objetivo de la presente investigación fue estimar los parámetros genéticos para atributos de calidad de semilla en variedades criollas de maíz de diferente grupo racial.

Materiales y métodos

Se realizó un diseño de cruza dialélicas involucrando 10 variedades de maíz representativas de las razas Tepecintle, Tuxpeño, Jala, Pepitilla, Ancho pozolero, Celaya, Dulce, Reventador, Bolita y Tabloncillo, las cuales se solicitaron al Banco de

germoplasma del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) y al Programa de mejoramiento genético de maíz del Instituto Tecnológico de Roque (ITR) en base a los estudios que realizó Castro *et al.* (1968) y que Crossa *et al.* (1990), recomiendan utilizar para aprovechar el potencial heterótico manifestado (Cuadro 1).

Cuadro 1.

Colectas de maíces criollos utilizados en cruzamientos.

Raza de Maíz	No. Colecta CIMMYT	Origen	Tipo endospermo	Altitud de adaptación
Tepecintle	756	Chiapas	Dentado	1100 m
Tuxpeño	1	Michoacán	Dentado	1300 m
Jala	1655	Nayarit	Dentado	1000 m
Pepitilla	1346	Guerrero	Dentado harinoso	1500 m
Ancho Pozolero	ITR-01	Guanajuato	Semident- harinoso	1700 m
Celaya	1670	Guanajuato	Dentado	1500 m
Dulce	1060	Guanajuato	Dentado cristalino	1700 m
Reventador	1671	Nayarit	Cristalino	100 m
Bolita	5983	Oaxaca	Cristalino	1250 m
Tabloncillo	331	Jalisco	Semident-cristalino	1350 m

Los cruzamientos se realizaron en el ciclo primavera-verano de 2008, en el campo experimental del ITR, en Celaya, Gto., el cual se ubica en las coordenadas 20°31' de LN y 100°50' de LO, a una altura de 1766 m; las características del sitio experimental de acuerdo a García (1988), se considera un clima semicálido, subhúmedo, con una temperatura media anual de 19°C y una precipitación de 600 a 800mm al año; el suelo, según la clasificación de FAO-UNESCO es Vertisol pélico, de textura franco-arcillosa, plano, pH neutro o ligeramente ácido y de alta fertilidad. Con la finalidad de lograr mayor coincidencia en la floración se establecieron dos fechas de siembra, el 24 de marzo y 14 de abril de 2008. El manejo agronómico se realizó de acuerdo a las recomendaciones del paquete tecnológico para producción de maíz del INIFAP-CEBAJ (1993). Se realizaron todos los cruzamientos posibles ($n(n-1)$) y se incrementó a los progenitores por cruzamientos fraternales. La semilla de las cruces F_1 y los progenitores se cosechó separadamente en noviembre de 2008, se desgranó y puso a secar hasta homogenizar su contenido de humedad al 12%, posteriormente se procedió a realizar las pruebas de calidad de semilla en el Laboratorio de Análisis de semillas del ITR; se utilizó un diseño completamente aleatorizado con cuatro repeticiones de 100 semillas cada una, para determinar los caracteres: Germinación

estándar (GE), Vigor al 1er conteo de GE (4to día) y para el peso mil semillas (PMS) se utilizaron ocho repeticiones de 100 semillas, como lo indica Moreno (1996) e ISTA (2005). Se realizó el ANAVA para calcular aptitud combinatoria general (ACG), aptitud combinatoria específica (ACE), efectos recíprocos (ER) y efectos maternos (EM), de acuerdo con el método I (Modelo I) de Griffing (1956), utilizando el programa Diallel-SAS Método I, propuesto por Zhang y Kang (2003).

Resultados y discusión

El análisis de varianza mostró diferencias significativas entre genotipos ($p \leq 0.01$) en todos los caracteres evaluados; germinación estándar (GE), vigor y peso de mil semillas (PMS) (Cuadro 2). Mediante la descomposición de los cuadrados medios de Genotipos se detectó que la ACG, ACE, ER y EM, también presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.01$) en las características señaladas.

Las diferencias estadísticas de la ACG y ACE señalan que en estos caracteres se encuentran involucrados genes de efectos aditivos y no aditivos, tal como lo aseveran Antuna *et al.* (2006) y Cervantes *et al.* (2006) en líneas endogámicas de maíz y Cho y Scott (2000), en *Glycine max* (L). En este mismo sentido, se muestra que los cuadrados medios de ACG son mayores a los de ACE; lo que indica que los efectos de varianza aditiva son más importantes que los de varianza de dominancia para las características evaluadas. Estos resultados coinciden con los señalados por Ajala y Fakorede (1988), Antuna *et al.* (2003) y Cervantes *et al.* (2006), pero difieren de los reportados por Cano *et al.* (2000) en semilla de melón. Del mismo modo, los efectos recíprocos y maternos presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.01$), lo que indica la importancia de seleccionar el progenitor femenino para favorecer la producción y calidad de la semilla, lo que coincide con lo reportado por Cervantes *et al.* (2006).

Cuadro 2.

Cuadrados medios para caracteres de calidad de semilla de variedades criollas de maíz.

Fuente de Variación	GI	GE	VIGOR	PMS
Repeticiones	3	25.28	271.88**	30.58
Genotipos	99	282.04**	1075.49**	52020.23**
ACG	9	1254.01**	2807.92**	199297.48**
ACE	45	371.03**	950.54**	8212.79**
ER	45	351.43**	1320.48**	48503.97**
EM	9	1262.29**	3052.89**	200837.49**
Error	99	14.46	38.75	52.50
C.V		4.12	7.55	1.80

** Diferentes a una probabilidad de 0.01. GE, VIGOR y PMS, corresponden a la germinación estándar, vigor al primer conteo (4° día) y peso de mil semillas, respectivamente.

En cuanto a la ACG, se detectaron variedades sobresalientes y otros con pobre comportamiento en los parámetros de calidad de semilla (Cuadro 3). En la variable GE todos los progenitores presentaron valores positivos y significativos, lo que indica que todas las variedades estudiadas presentaron un comportamiento favorable; sin embargo, sobresalió la variedad de la raza Tabloncillo (10) con el mejor comportamiento. En relación al vigor de semilla, las variedades evaluadas exhibieron valores positivos y negativos significativos, en este parámetro, el mejor comportamiento lo presentó la variedad de la raza Reventador (8) y la variedad con el vigor más bajo fue la perteneciente a la raza Tabloncillo (10) la cual, aunque exhibió la mayor germinación (datos no mostrados); al evaluar el vigor de la semilla no fue consistente. Con respecto al peso de mil semillas, la variedad Ancho pozolero (5) manifestó el mayor peso de semilla; comportamiento esperado por el tamaño de grano que presenta esta variedad, que es superior a todos los materiales evaluados; en este sentido, Palemón *et al.* (2008) señalan que el peso de semilla de genotipos pertenecientes a esta raza están comprendidos entre 733 a 1040 gr. Por otro lado, las variedades Reventador (8), Tepecintle (1) y Tuxpeño (2) presentaron el más bajo peso de semilla. Al respecto Preciado *et al.* (2005) afirman que cuando se detectan efectos grandes en la ACG, es factible explotar la porción aditiva de la varianza genética disponible, a través de cualquier variante de la selección recurrente.

Cuadro 3.

Efectos de Aptitud Combinatoria General (ACG) para caracteres de calidad de semilla en 10 variedades criollas de maíz.

Raza	GE	Vigor	PMS
Tepecintle(1)	6.093800**	2.623289**	-21.318560**
Tuxpeño (2)	7.441022**	8.534678**	-19.943283**
Jala (3)	5.298244**	9.383289**	19.901717**
Pepitilla (4)	1.617689**	1.091623 ^{ns}	-17.018977**
Ancho Poz (5)	3.593939**	1.725928*	123.211440**
Celaya (6)	7.701022**	7.563845**	-0.205644 ^{ns}
Dulce (7)	3.659494**	6.249817**	61.507588**
Reventador (8)	7.964911**	14.689678**	-55.758560**
Bolita (9)	8.812133**	12.391067**	-4.165366**
Tabloncillo (10)	-52.182255**	-64.253215**	36.804821**

GE, VIGOR y PMS, corresponden a la germinación estándar, vigor al primer conteo (4° día) y peso de mil semillas, respectivamente.

Al analizar los valores de ACE, para la GE las mejores cruzas fueron 3x5D, 6x10D, 4x5R, 1x4R y 1x5R (Cuadro 4), en estas combinaciones híbridas están involucradas las variedades 3,4,5 y 10 (Jala, Pepitilla, Ancho pozolero y Tabloncillo); esto muestra la falta de consistencia entre los valores expresados en la ACG, donde sobresalen las variedades Bolita, Reventador, Celaya y Tuxpeño con los mayores valores en esta característica; este comportamiento ha sido reportado por otros autores como Revilla *et al.*, 1999, Baker, 1978 y Cervantes *et al.*, 2006, quienes señalan la poca o nula correspondencia entre los valores de ACE y ACG, aunque con diferentes genotipos de maíz. Por otro lado, se señala en estudios de parámetros genéticos con líneas élite de maíz, que en las mejores cruzas específicas participó al menos un progenitor de alta ACG (Gómez *et al.*, 1988 y Antuna *et al.*, 2003). Dentro de las cinco cruzas con más baja ACE, el cruzamiento menos sobresaliente fue el 4x10R (Tabloncillo x Pepitilla) y en las cuatro restantes combinaciones híbridas intervino también como hembra el progenitor 10 (Tabloncillo); caso contrario ocurrió cuando participó como progenitor masculino (Cuadro 4). Esto indica la acción de los efectos maternos, lo cual es respaldado por los resultados de los efectos de las varianzas aditivas y no aditivas, siendo de mayor magnitud los efectos maternos (Cuadro 2).

El comportamiento del vigor de la semilla, es de gran importancia en la capacidad de establecimiento y desarrollo inicial de los cultivos y en la determinación de su potencial de almacenamiento (Delouche, 1985) y depende en gran medida del genotipo; en este estudio cuando se analizó el comportamiento de cruzas específicas

(ACE), se observó a las cruzas 5x6D, 2x6D, 1x4R (Cuadro 4), como las de mayor vigor y en ellas están involucrados los progenitores 4, 5 y 6, que no necesariamente observaron valores altos de ACG para esta característica (Cuadro 3), e incluso en el progenitor 4 (Pepitilla) este efecto no fue significativo; esta inconsistencia en la manifestación de la aptitud combinatoria de las variedades para este carácter, indica que el comportamiento de los cruzamientos no necesariamente tiene que coincidir con la habilidad combinatoria a través de sus cruzas (ACG), tal como lo manifestó Baker (1978). En relación a las cruzas que en vigor manifestaron la menor ACE, en todas estuvo involucrada la variedad 10 (Tabloncillo) como progenitor femenino (Cuadro 4), y esto sucedió también en la variable germinación, lo que resalta la importancia de los efectos maternos en la calidad fisiológica de la semilla (Cuadro 2).

Cuadro 4.

Efectos de Aptitud Combinatoria Específica (ACE) para caracteres de calidad de semilla, de los 10 cruzamientos más sobresalientes y los cinco menos destacados, entre variedades criollas de maíz.

Cruza	GE	Cruza	Vigor	Cruza	PMS
3x5D	7.92**	1x8D	12.60**	8x10D	94.31**
4x9D	6.39**	2x6D	14.31**	2x8D	41.98**
2x10D	6.63**	2x9D	9.43**	6x7D	39.21**
3x10D	6.10**	4x6D	12.26**	3x8R	92.60**
6x10D	6.60**	5x6D	15.12**	4x7R	43.74**
1x4R	8.00**	6x7D	10.10**	5x6R	161.87**
1x5R	7.50**	6x10D	12.33**	5x8R	240.51**
2x7R	5.75**	1x4R	13.00**	5x9R	66.49**
3x7R	5.62**	3x5R	8.00**	6x7R	97.18**
4x5R	8.50**	4x5R	11.50**	6x8R	85.66**
1x10R	-65.84**	3x10R	-79.95**	1x5R	-124.57**
7x10R	-63.48**	4x10R	-90.74**	2x5R	-120.07**
4x10R	-69.03**	8x10R	-75.39**	4x5R	-98.96**
9x10R	-60.83**	9x10R	-77.94**	4x10R	-146.80**
3x10R	-59.10**	6x10R	-60.77**	7x10R	-113.62**

*, ** Diferente a una $p \leq 0.05$ y 0.01 , respectivamente. D, R, GE, Vigor y PMS, corresponden a las cruzas directas, cruzas recíprocas, germinación estándar, vigor por 1er. conteo de GE y peso de mil semillas, respectivamente.

De las características físicas, el tamaño de semilla también puede tener influencia en el comportamiento de la calidad y en este estudio se puede observar que

los progenitores que presentaron la mayor ACG no fueron consistentes en sus combinaciones híbridas específicas; por ejemplo la variedad Ancho pozolero tuvo la más alta ACG para PMS sin embargo, cuando se analizaron las mejores 10 cruzas específicas ésta participó solo en tres y la más sobresaliente para esta variable fue la 5x8R (Reventador x Ancho pozolero). Los cruzamientos menos destacados en este mismo carácter fue la cruza 4x10R (Tabloncillo x Pepitilla); no obstante el progenitor 5 (Ancho pozolero) participó en tres combinaciones híbridas de bajo valor de ACE para PMS, esto se puede atribuir a que los efectos genéticos de ACG son 25 veces más grandes que los efectos genéticos de ACE, además de que se encontraron efectos maternos significativos (Cuadro 2). Respecto a estos resultados, Baker en 1978, estableció que el comportamiento de los cruzamientos no puede ser predicho con base en la ACG de sus progenitores.

Conclusiones

Los efectos de la ACG fueron mayores que los de ACE en todas las variables analizadas. Esto indica la presencia de genes aditivos que se pueden aprovechar a través de alguna técnica de mejoramiento, que puede ser hibridación y/o selección recurrente. Por su ACG, para germinación el mejor progenitor fue la variedad Tabloncillo; para vigor, la variedad Reventador y para peso de mil semillas la variedad Ancho pozolero. Mientras que los cruzamientos con los mayores valores de ACE para germinación fueron Pepitilla x Ancho pozolero y Tepecintle x Pepitilla; para vigor la cruza Ancho x Celaya y Tuxpeño x Celaya; para peso de mil semillas Ancho pozolero x Reventador y Ancho pozolero x Celaya. En este grupo de razas de maíz, se encontraron efectos maternos significativos en estos atributos de la calidad de semillas, por lo tanto deben considerarse para la elección del progenitor femenino en la producción de semillas.

Literatura citada

- Ajala, S.O and M.A.B. Fakorede. 1988. Inheritance of seedling vigour and its association with mature plant traits in maize populations at two levels of breeding. *Maydica* 33:121-129.
- Antuna G, O., F. Rincón S, E. Gutiérrez del R, N.A. Ruíz T., L.A. Bustamante G. 2003. Componentes genéticos de caracteres agronómicos y de calidad fisiológica de semillas en líneas de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 26(1)11-17.

- Baker, R.J. 1978. Issues in diallel analysis. *Crop Sci.* 18:533-536.
- Cano R, P., G. Ramírez R, J. Ortegón P, J.H. Esparza M., S. Rodríguez H. 2000. Análisis dialélico para vigor de semilla en melón. *Agrociencia* 34:337-342.
- Castro G M, C O Gardner, J H Lonquist.1968. Cumulative gene effects and the nature of heterosis in maize crosses involving genetically diverse races. *Crop Sci.* 8. 97-101.
- Cervantes, O. F, G. García, A. Carballo C., D. Bergvinson, J. Crossa, M. Mendoza E., E. Moreno M. 2006. Análisis dialélicos para caracteres de vigor de semilla y de plántula en genotipos de maíz tropical. *Agricultura Técnica en México* 32:(1)77-87.
- Cho, Y., R.A. Scoot. 2000. Combining ability of seed vigor and seed yield in soybean. *Euphytica* 112:145-150.
- Coutiño E.B. 2010. www.sinarefi.org.mx/cursospoliticasmaiz/Mexico.pdf
- Coutiño, E B, V.A Vidal M, B. Cruz G, C. Cruz V. 2010. Aptitud combinatoria general y específica del contenido de azúcares en maíces criollos elotereros. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 33 (Núm. Especial 4): 57 – 61.
- Crossa, J., C.O. Gardner, R.F. Mumm. 1987. Heterosis among populations of maize (*Zea mays* L.) with different levels of exotic gemoplasm. *Theor. Appl. Genet.* 73:445-450.
- Crossa J, S Taba, E. Wellhausen. 1990. Heterotic patterns among mexican races of maize. *Crop Science* 30:1182-1190.
- Delouche, J. C. 1985. Nuevos caminos en la investigación sobre tecnología de semillas. *In: Memorias Tecnológicas de Semilla.* CIAT. Colombia. 34p.
- Delouche, J. C. and W.P. Cadwell. 1962. Seed vigour and vigour test. *Proc. Assoc. Offic. Seed Anal.* 50:124–129.
- Eberhart, S.A. 1971. Regional maize diallels with US and semiexotic varieties. *Crop Sci.* 11:911-914.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen para adaptarlos a las condiciones de la República Mexicana. UNAM. México. 246 p.
- Gómez, M.N., R. Valdivia, B., H. Mejía A. 1988. Dialélico integrado con líneas de diferentes programas de maíz para la Región cálida. *Rev. Fitotec. Mex.* 11:103-120.
- Goodman, M.M., W.L. Brown, 1988. Races of corn. *In: G.F. Sprage, J.W. Dudley (eds.). Corn and corn improvement.* Agron. Monogr. Num. 18. ASSA, CSSA and SSSA, Madison, WI. USA. pp: 39-79.
- Griffing B. 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Aust. J. Biol. Sci.* 9: 463-493.

- Hallauer, A.R., J.B. Miranda. 1988. Quantitative genetics in maize breeding. 2nd Ed. Iowa State Univ. Press. Ames.USA. 468p.
- Holley, R.N., M.M. Goodman. 1988. Yield potential of tropical hybrid maize derivatives. *Crop Sci.* 28 213-218.
- INIFAP. 1993. Guía para cultivar maíz de riego y temporal en Guanajuato. Folleto para productores No. 3. CEBAJ, Celaya, México. 33p.
- ISTA (International Seed Testing Ass). 2005. International rules for seed testing. Published by The International Seed Testing Association. Switzerland. 243p.
- Moreno, M.E. 1996. Análisis físico y biológico de semillas agrícolas. UNAM. México. 389p.
- Palemón, A.F., F. Castillo, G., N.O. Gómez, M., P. Ramírez, V, J.D. Molina G., S. Miranda C. 2008. Diversidad Fenotípica de Maíz ancho. XXII Congreso Nacional y 2°. Internacional de Fitogenética. Somefi, A.C. U.A. Chapingo.
- Pollak, L.M., S. Torres C, A. Sotomayor R. 1991. Evaluation of heterotic patterns among Caribbean and tropical x temperate maize populations. *Crop Sci.* 31:1480-1483.
- Preciado O R E, A Terrón, N Gómez M, E Robledo G. 2005. Componentes genéticos en poblaciones heteróticamente contrastantes de maíz de origen tropical y subtropical. *Agron. Mesoam.* 16:145-151.
- Zhang, Y., M.S. Kang. 2003. Diallel-SAS: A program for Griffing's diallels methods: Handbook of formulas and software for plant geneticists and breeders, M.S. Kang (ed.). FPP. New York-London-Oxford. pp 1-9.

Diversidad genética, clasificación y distribución racial del maíz nativo en los estados de Veracruz, Puebla y Tabasco, México

Genetic diversity, classification and racial distribution of native maize in Veracruz, Puebla and Tabasco states, Mexico

Sierra Macías Mauro^{1*}, Isaac Meneses Márquez¹, Artemio Palafox Caballero¹, Nestor Francisco Nicolás¹, Andrés Zambada Martínez¹, Miguel Uribe Bernal², Sabel Barrón Freyre³, Rosalío López Morgado¹, Flavio Rodríguez Montalvo¹, Juan Manuel Hernández Casillas⁴, Pablo Andrés Meza¹ y Alejandro Ortega Corona⁵.

¹Investigador de la Red de maíz Campo Experimental Cotaxtla, INIFAP. ²Campo Experimental San Martinito, INIFAP. ³Campo Experimental Huimanguillo, INIFAP. ⁴Campo Experimental Valle de México, INIFAP. ⁵Campo Experimental Valle del Yaqui, INIFAP.*Email: sierra.mauro@inifap.gob.mx, mauro_s55@hotmail.com

Resumen. El coleccionar y conservar los recursos genéticos en maíz, permitirá usar esta variabilidad en los programas de mejoramiento actual y futuro. Así, con los objetivos de conocer la diversidad y distribución actual del maíz nativo, de mayo del 2009 hasta junio del 2010 se coleccionaron maíces criollos, en las regiones norte, sur y región intermedia del estado de Veracruz, Puebla y Tabasco. Los criterios para coleccionar fueron la importancia del cultivo y la siembra de maíz criollo. Se coleccionaron 1452 muestras de maíz criollo, de las cuales 657 fueron en el estado de Veracruz, 756 en Puebla y 39 en Tabasco. Dichas muestras fueron caracterizadas y enviadas al Banco de germoplasma, ubicado en el Campo Experimental Valle de México del INIFAP para su conservación. Para la región tropical en altitudes de 0-1300 msnm, se encontraron: 283 muestras de la raza Tuxpeño, 104 Olotillo, 21 Ratón, 18 Tepecintle 3 Vandeño y 1 Onaveño y mezclas de razas: 128 Tuxpeño-Olotillo, 79 Olotillo-Tuxpeño 22 Tuxpeño-Tepecintle, 27 Tuxpeño-Ratón, 13 Ratón-Tuxpeño, 11 Ratón -Olotillo, 15 Olotillo- Ratón, 11 Olotillo-Tepecintle, 7 Ratón-Tepecintle, 3 Tepecintle-Tuxpeño, 5 Tepecintle-Olotillo. De la región intermedia y alta en Veracruz y Puebla con altitudes mayores a los 1500 msnm con climas templados y fríos, se identificaron 292 muestras, donde las razas más frecuentes fueron: Arrocillo (51), Cónico (45), Coscomatepec (33), Elotes Cónicos (21) Chalqueño (6), Cacahuazintle (5) Celaya (4) y Olotillo (4); y mezclas de razas Cónico Arrocillo (20), Celaya Arrocillo (9) Arrocillo Cónico (5).

Palabras clave: Maíz nativo, trópico húmedo, conservación de germoplasma, diversidad genética

Abstract. Collecting and keeping the genetic resources in maize, will permit to use this variability in actual and future maize breeding programs. Thus, with the objectives of knowing the diversity and actual distribution of native maize, during may 2009 to june 2010, there were collected native maize varieties in the north, intermediate and south regions in Veracruz, Puebla and Tabasco states. The criteria for collecting, were considered the importance of the maize crop and those locations where the native varieties are planted. There were collected 1452 samples of native maize, which of them 657 were collected in Veracruz state, 756 in Puebla and 39 in Tabasco. These samples were characterized and sent to germplasm bank, located in Valle de México experiment station, INIFAP for keeping. For tropical region from 0 to 1300 meters above sea level, there were found principally: 283 samples of Tuxpeño race, 104 for Olotillo, 21 Ratón, 18 Tepecintle, 3 Vandeño and 1 Onaveño; Mixture of races like: 128 Tuxpeño-Olotillo, 79 Olotillo-Tuxpeño, 22 Tuxpeño-Tepecintle, 27 Tuxpeño-Ratón, 13 Ratón-Tuxpeño, 11 Ratón-Olotillo, 15 Olotillo- Ratón, 11 Olotillo-Tepecintle, 7 Ratón-Tepecintle, 3 Tepecintle-Tuxpeño and 5 Tepecintle-Olotillo. From the intermediate and high region in Veracruz and Puebla states up of 1500 meters above sea level with temperate and cold climate there were identified 292 samples where the most important races were: Arrocillo (51), Cónico (45), Coscomatepec (33), Elotes Cónicos (21), Chalqueño (6), Cacahuazintle (5), Celaya (4) and Olotillo (4); and mixture of races: Cónico Arrocillo (20), Celaya Arrocillo (9) and Arrocillo Cónico (5).

Key words: Native maize, humid tropic, conservation of germplasm, and genetic diversity.

Introducción

Para México y a nivel mundial, desde el punto de vista alimenticio, económico, social e industrial, el maíz es el cereal más importante. En 2010, la producción de maíz fue de 840.3 millones de toneladas, en una menor superficie, rebasó a la del trigo que fue 653.6 millones de toneladas y a la de arroz con 696.3 millones de toneladas. Estos tres cereales aportan el 89% al sostenimiento de la humanidad. En el caso de México, el maíz contribuye con el 69% del sostenimiento alimenticio (FAO, 2012). Particularmente, en México el maíz es el cultivo alimenticio más importante, por ser el alimento principal de la población, por su superficie sembrada, valor de la producción y ocupar el 20% de la población económicamente activa. Contribuye con 69% al sostenimiento alimenticio, proporciona el 39% de la proteína asimilable y el 59 por ciento de la energía que ingieren los mexicanos, el cual forma parte de

su dieta alimenticia. El consumo anual aparente es de 209.8 Kilogramos per cápita, (Morris y López, 2000). Particularmente, se siembran 8.2 millones de hectáreas con maíz al año en las que se producen 18 millones de toneladas de grano. De éstas, se consumen 12.3 millones de toneladas de maíz en forma de tortilla, de los cuales el 64% es a través del método tradicional maíz-masa-tortilla y el 36% es a través de la industria de la harina (SAGARPA, 2008).

En el área tropical húmeda de México, donde se siembran anualmente, una superficie de 3 millones de hectáreas de maíz con un rendimiento medio de 2 t ha⁻¹, de las cuales 70% se siembran con materiales criollos principalmente de las razas Tuxpeño, Vandeño, Olotillo, Tabloncillo Perla y Zapalote (Sierra, 1990), de esta superficie, un millón están comprendidas en provincias agronómicas de buena y muy buena productividad y 100 mil hectáreas son sembradas bajo condiciones de riego, (Betanzos, 2003; Sierra *et al.*, 2004). En la región Golfo Centro que comprende los estados de Veracruz, Puebla y Tabasco, se sembraron 1'276,964 hectáreas con un rendimiento medio de 1.94 t ha⁻¹. De esta superficie, el 80% se siembra durante el ciclo primavera verano en condiciones de temporal y 20% en el ciclo otoño invierno en condiciones de tonalmil, que se logra con la humedad residual del temporal y las lluvias ocasionadas por los vientos “nortes”, sobre todo en las regiones norte y sur de Veracruz, oriente de Puebla y estado de Tabasco (SAGARPA, 2008).

Mesoamérica es considerada a nivel mundial como uno de los centros de diversidad primaria y el posible centro de origen y domesticación del maíz (Hernández, 1994). Esta especie en México, más que en otros países en América, tiene una gran diversidad genética y ha tenido un importante papel en el desarrollo de las razas modernas y altamente productivas de las Américas (Goodman y Bird, 1977). Se han identificado y descrito en diferentes tiempos, las razas de maíz; así Wellhausen *et al.* (1951) describieron 25 y siete sin definir; Hernández y Alanís (1970) agregaron cinco más; Ortega (1991) identificó 41 y Sánchez *et al.*, (2000), agruparon 59 en total. Aunque su origen todavía es debatido, es cierto que es una planta cultivada de gran antigüedad en México. Así mismo, se ha demostrado que México supera a cualquier otro país en la diversidad de maíz.

En la raza de maíz Tuxpeño que se distribuye en el estado de Veracruz y sureste de México en elevaciones bajas en condiciones tropicales con climas Aw, Am y Af, de acuerdo con García (1981), existen poblaciones que se pueden aprovechar como nuevo plasma germinal en un programa de mejoramiento genético para el trópico húmedo. Esta raza además de ser de alto rendimiento tiene amplia adaptación y frecuentemente entra como progenitor en cruces de alto rendimiento tanto en México como en otros países del mundo. (Reyes *et al.*, 1955; Reyes, 1971; Reyes, 2000; Roberts, 1950; Sierra *et al.*, 2004; Sierra *et al.*, 2008). Específicamente

la Cuenca del Balsas en México, es la región con mayor consenso y evidencias para considerarse el principal centro de origen en México. La colección de maíz para mantener la diversidad genética en bancos de germoplasma, se inició desde 1940 por la Oficina de Estudios Especiales (Wellhausen *et al.*, 1951). A la fecha, en el Banco de Germoplasma de Maíz del INIFAP se conservan alrededor de 11000 accesiones (Sánchez, 1989), 2500 en la UACH, 4000 en el Colegio de Postgraduados (Ortega, 2003), y existen muestras en otros lugares como la Universidad de Guadalajara y la Antonio Narro de Saltillo; la colección de maíces nativos en México se inició en 1943, otro fuerte impulso se tuvo en los 70's, y desde entonces no se había hecho un esfuerzo constante y continuo para actualizar la situación que guarda la diversidad genética de los maíces nativos en México, a pesar de las advertencias de Hernández (1971), quien sugiere que no se debe coleccionar una sola vez, sino que hay que regresar y volver a regresar una y otra vez por nuevas colectas (Ortega, 2003).

Las poblaciones de los maíces nativos en poder de los agricultores continúan evolucionando, mejorando su rendimiento y características agronómicas, ganando especificidad para sus nichos ecológicos con selección natural para usos especiales; sin embargo, también se está perdiendo la diversidad de los maíces nativos por erosión genética y cultural, el uso de semilla mejorada, la modernización del agro, cambio de cultivo, por la migración, catástrofes naturales o sociales y el apoyo a la industria de la harina, entre otras causas (Ortega, 2003). El germoplasma existente en algunas áreas del país, como la Península de Baja California, las partes montañosas de Tamaulipas, Tabasco y Norte de Chiapas, están deficientemente estudiados, debido principalmente a que no se ha recolectado extensivamente en estas regiones (Ortega *et al.*, 1991). Gran parte de los acervos de las diferentes colecciones han sido evaluados en diferentes ocasiones y ambientes (Velásquez *et al.*, 1994; Taba *et al.*, 1998; López *et al.*, 1998; Herrera *et al.*, 2002; Turrent y Serratos, 2004), principalmente desde el punto agronómico; sin embargo, no se dispone de catálogos descriptivos de las muestras individuales. En el mejor de los casos, a los datos de colecta se han agregado o cotejado los datos de color y textura de grano, así como su posible raza. Esta última información es muy valiosa, ya que proporciona una idea global de las características de las muestras, y permite estudios fitogenéticos y de regionalización de las áreas maiceras (Ortega *et al.*, 1991).

Los maíces criollos han sido utilizados en el mejoramiento a través de la introgresión genética de germoplasma mejorado mediante el método de retrocruza limitada, usando fuentes cuantitativas para bajar la altura de planta y mazorca y a través de la integración de compuestos germoplásmicos de amplia base genética como fuente de germoplasma para la derivación de líneas o bien en programas de selección recurrente. Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue conocer

y caracterizar la diversidad y distribución actual del maíz nativo en los estados de Veracruz, Puebla y Tabasco para conservarlos y aprovechar la variabilidad en el mejoramiento genético actual y futuro.

Materiales y métodos

Localización. El área de estudio comprende los estados de Veracruz, Puebla y Tabasco cuya ubicación geográfica se encuentra entre los 22° 26' y 17° 00' , 20° 50' y 17° 50' y 18° 35' y 17° 15' , de latitud norte y entre los 93° 30' y 98° 20', 99° 05' y 90° 40' y 91° 57' y 94° 08' de longitud oeste para los estados de Veracruz, Puebla y Tabasco respectivamente (INEGI 2006).

Determinación de los sitios de colecta. Los sitios de colecta fueron determinados considerando la importancia del cultivo, pero sobre todo donde se tiene conocimiento de la presencia de maíces criollos. Las colectas se realizaron en el área tropical en siembras de otoño invierno y primavera verano, bajo condiciones de humedad residual y temporal, que fueron cosechadas principalmente durante los meses de mayo y noviembre. Para la parte intermedia y alta solo fue un período de colecta en virtud de que solamente se tiene un ciclo de cultivo al año y la cosecha se realiza en los meses de noviembre, diciembre y enero.

Procedimiento. Las colectas se realizaron durante los meses de mayo y junio del 2009 correspondientes al ciclo otoño invierno y en noviembre del 2009 hasta junio del 2010 correspondiente al ciclo primavera verano 2009 y otoño invierno 2009/10. Se colectaron maíces criollos en las regiones Norte, Sur y Región intermedia del estado de Veracruz, Puebla y Tabasco. Hacia el norte del estado de Veracruz en los municipios de Tamiahua, Espinal, Papantla, Tuxpan, Castillo de Teayo, Coatzintla, Alamo, Chicotepec, Benito Juárez; En el Centro Región de Jalapa, en los municipios de Acatlán, Chiconquiaco, Landero y Coss, Miahuatlán, Naolinco, Tonayan, Teocelo y Xico. En la región de Orizaba, en los municipios de La Perla, Mariano Escobedo, Tequila, Atahuilco, Tlaquilpa, En la región de Coscomatepec, los municipios de Alpatlahuac, Chocamán, Ayahualulco, Ixhuatlán de los Reyes, Coscomatepec y Calchualco; En la región de Perote, los municipios de Villa Aldama, Altotonga, Atzalan y Jalacingo. Hacia el sur de Veracruz cubriendo los municipios de San Andrés Tuxtla, Santiago Tuxtla, Mecayapan, Tatahuicapan, Hueyapan de Ocampo, Catemaco, Acayucan y Jesús Carranza.

En el estado de Tabasco la colecta se realizó en las áreas maiceras bajo condiciones de tonalmil, durante el ciclo otoño invierno y primavera verano bajo condiciones de temporal principalmente en los municipios de Huimanguillo, Balancán, Tenosique, Tacotalpa y Centla. En el estado de Puebla, en los municipios de Atlixco, Huaquechula, Tilapa, Tepeojuna, Huehuetlán, Teotalco, Chietla, Tepexco, Tecomatlán, Tulcingo del Valle, Nopalucan, Ixtoyucan, Soltepec, Tepatlaxco, Acajete, Tlaxco, Tepeaca, Huejotzingo, Chipilo, Ocoyucan, Atzalán, Teotlalcingo, San José Acateno, Tenanpulco, Tocatepec, Tepeaca, Tlaltenango, Coronango, Cholula, Tehuacán, Izúcar de Matamoros, Libres, Oriental, Cuyuaco, Ocotepec, Tlatlauquitepec, Ciudad Serdán, Mazapiltepec, San Salvador El seco, Tecuilapa, Aljoluca, San Juan Atenco, Morelos, La Esperanza, Guadalupe Victoria, Tlachichuca, Tlaltenango, Zacatepec, San Martín Texmelucan, Calpan, Ahuazotepec, Metlaltoyucan, Teola, Chiconcuautila, Chignahuapan, Zacatlán, Chichicaxtla, Aquixtla, Tetela de Ocampo, Zapotitlan, Ahuacatlan, Zihuateutla, Ahuazotepec, Juan C. Bonilla, Zaragoza, Zacapoaxtla, Nausantla, Cuetzalán, Xonotla, Tuzamapan, Zoquiapan, Ayototxco.

Para la colecta se consideró una muestra entre 20 y 50 mazorcas y se utilizó como base la hoja pasaporte en la que se compendia información del cultivar, del productor y del sitio de colecta. Particularmente en cada lugar de colecta se registró las coordenadas: latitud norte, longitud oeste y la altura sobre el nivel del mar, nombre común de cultivar y el nombre del agricultor. Las muestras fueron caracterizadas en mazorca y se llevaron al banco de germoplasma del INIFAP.

Resultados y discusión

Se colectaron un total de 1452 muestras de maíz criollo, de las cuales 657 fueron en el estado de Veracruz, 756 en el estado de Puebla y 39 muestras corresponden al estado de Tabasco, donde el tamaño de colecta varió desde 20 hasta 50 mazorcas. Estas colectas fueron identificadas a nivel de raza, las cuales se clasificaron de la siguiente manera: Para la región tropical en altitudes que van de 0-1300 msnm, se encontraron 283 muestras de la raza Tuxpeño, 104 Olotillo, 21 Ratón, 18 Tepecintle, 3 Vandeyo y 1 Onaveño, y mezclas de razas entre ellas 128 Tuxpeño-Olotillo, 79 Olotillo-Tuxpeño, 22 Tuxpeño-Tepecintle, 27 Tuxpeño-Ratón, 13 Ratón-tuxpeño, 11 Ratón-Olotillo, 15 Olotillo-Ratón, 7 Ratón-Tepecintle, 3 Tepecintle-Tuxpeño, 5 Tepecintle-Olotillo, 11 Olotillo -Tepecintle, 1 Tuxpeño-Pepitilla, 5 Tuxpeño- Zapalote grande, 2 Zapalote grande-Tuxpeño, 1 Olotillo Zapalote grande, 1 Zapalote grande-Olotillo, 1 Zapalote grande-Tepecintle. Como puede observarse, la raza más frecuente es la Tuxpeño con 283 muestras lo que sugiere que es la más importante

en el sureste mexicano, por su rendimiento, adaptación y que se ha venido usando en los programas de mejoramiento de maíz para el trópico como lo sugieren Reyes *et al.*, 1955; Reyes, 1971; Reyes, 2000; Roberts, 1950; Sierra *et al.*, 2004 y Sierra *et al.*, 2008.



Figura 1. Razas más frecuentes en la Región Tropical húmeda (Tuxpeño y Olotillo).

En la región norte del estado de Veracruz y oriente del estado de Puebla, se encontraron muestras con mayor longitud y calidad del totomoxtle. Lo anterior, debido a que el productor selecciona, beneficia y vende la hoja de la mazorca, lo que le genera ingresos importantes, adicional a la producción de grano. Esto definitivamente es un valor agregado para el cultivo de maíz en esa región y el productor ha seleccionado para esta característica.

Para la región intermedia (1300-2000 msnm) y partes altas de los estados de Veracruz y Puebla (> 2000 msnm), se encontraron: 121 muestras de la raza Cónico, 64 Elotes Cónicos, 80 Coscomatepec, 62 Chalqueño, 53 Arrocillo amarillo, 21 Celaya, 19 Cacahuazintle, 4 Nal tel, 10 Bolita, 1 Mushito, 2 Pepitilla y mezclas de razas 9 Celaya Arrocillo, 7 Arrocillo Celaya, 6 Elotes cónicos Arrocillo, 1 Arrocillo Elotes Cónicos, 2 Celaya Olotillo, 2 Arrocillo Olotillo, 5 Arrocillo Cónico, 20 Cónico Arrocillo, 2 Tuxpeño Arrocillo, 1 Olotillo Elotes Cónicos, 1 Coscomatepec Arrocillo, 2 Coscomatepec Elotes Cónicos, 2 Coscomatepec Tabloncillo, 1 Tabloncillo Olotillo, 2 Celaya Bolita, 1 Bolita Celaya, 4 Coscomatepec Oloton, 1 Oloton Coscomatepec, 1 Coscomatepec Pepitilla, 1 Coscomatepec Tehua, 11 Conico Pepitilla, 5 Arrocillo Pepitilla, 3 Elotes Cónicos Pepitilla, 1 Pepitilla Elotes Cónicos, 1 Tuxpeño Celaya, 2 Pepitilla Cónico, 9 Palomero toluqueño Arrocillo, 2 Arrocillo Palomero toluqueño, 33 Cónico Chalqueño, 9 Chalqueño Cónico, 4 Chalqueño Cacahuazintle, 1 Elotes cónicos Chalqueño, 3 Chalqueño Pepitilla, 6 Arrocillo Tuxpeño, 16 Cónico Elotes Cónicos, 1 Palomero Toluqueño Cónico, 2 Cónico Palomero Toluqueño, 3 Cónico Cacahuazintle, 6 Cónico Bolita, 2 Bolita Cónico, 17 Cónico Celaya, 8 Celaya Cónico, 2 Cacahuazintle Arrocillo, 7 Chalqueño Celaya, 9 Celaya Chalqueño, 2 Chalqueño Coscomatepec, 4

Cónico Coscomatepec, 8 Coscomatepec Cónico, 2 Cónico tepecintle, 1 Nal tel de altura Cónico y 2 Celaya Coscomatepec. La mayor frecuencia de mazorcas fue de grano blanco, seguida de color crema y de color morado o negro.



Figura 2. Selección y beneficio de la hoja del totomoxtle en el Norte de Veracruz y Oriente de Puebla.

La mayoría de los productores siembra para autoconsumo, a través de consumo directo en sus diferentes formas en la alimentación humana, para forraje y alimento de los animales de traspatio. En las partes altas de los estados de Veracruz y Puebla, estos criollos son sembrados bajo condiciones de temporal y la mayoría de ellos toleran la sequía y plagas del almacén ya que tienen un solo ciclo de siembra al año, que generalmente va desde los meses de febrero y marzo hasta noviembre y diciembre.



Figura 3. En la región alta las razas más importantes son Cónico, Chalqueño, Arrocillo Amarillo y Elotes Cónicos

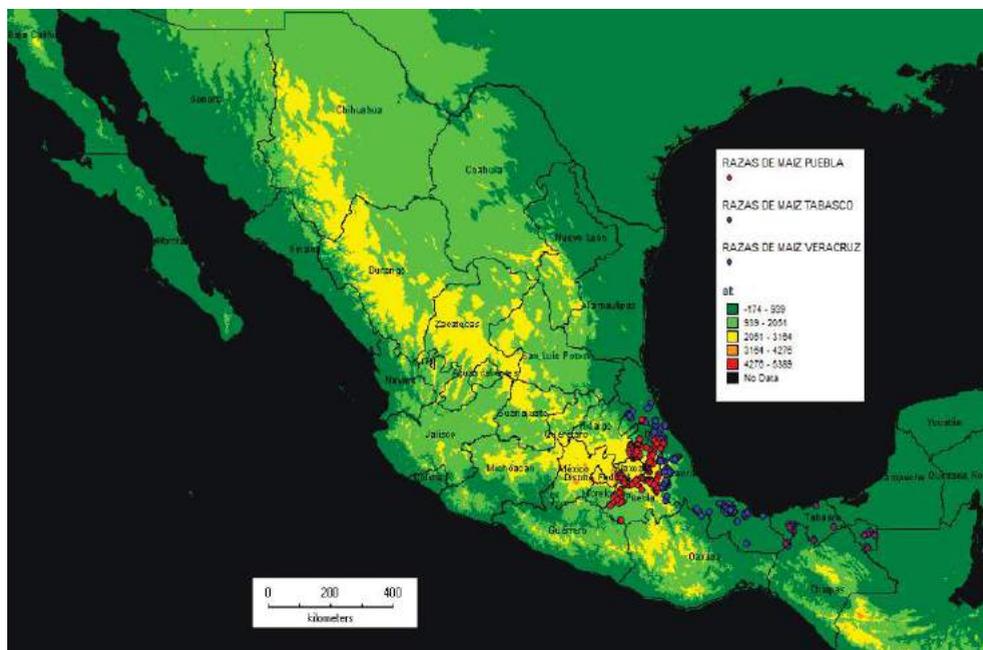


Figura 4. Diversidad y distribución de razas de maíz en los estados de Veracruz, Puebla y Tabasco.

Conclusiones

Se colectaron 1452 muestras de maíz criollo en los estados de Veracruz, Puebla y Tabasco, dentro de las cuales se encontraron las razas Tuxpeño, Olotillo y mezclas de razas con la presencia de Tuxpeño y Olotillo en altitudes de 0-1300 msnm. En la región intermedia las razas más frecuentes fueron: Coscomatepec y Celaya, mientras que en altitudes mayores a los 2000 msnm las razas más importantes fueron: Cónico, Elotes cónicos, Chalqueño, Arrocillo amarillo y Cacahuazintle. Existe diversidad genética en maíz que debe conservarse y aprovecharse en los programas de mejoramiento; particularmente en la Región Norte del estado de Veracruz y oriente de Puebla, la longitud y la calidad del totomoxtle representa un valor agregado en la producción de maíz. De las colectas realizadas se encontró una mayor frecuencia de maíces criollos con grano de color blanco y crema y en menor proporción amarillo, negro pinto y rojo.

Literatura citada

- Betanzos M., E.; Gómez M., N.; Ortega C., A.; Peña R., A.; Preciado O., R.E.; Ramírez D., J.L.; Velásquez C., G. 2003. Propuesta de reorganización del programa nacional de mejoramiento genético de maíz del INIFAP. Documento de trabajo. INIFAP. 66 p.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO. 2012. Feeding the World. En: FAO Statistical Yearbook Rome. Italy. 362 p.
- García E. 1981. Modificaciones al sistema climático de Koppen. Instituto de Geografía. UNAM. 246 p.
- Goodman M. M., R. Mck Bird. 1977. The races of maize: IV Tentative grouping of 219. Latin American Races. Econ. Bot. 31: 204-221.
- Hernández X; E. 1971. Exploración etnobotánica y su metodología, México, Colegio de Posgraduados, Escuela nacional de Agricultura, Chapingo, México. 43 p.
- Hernández X., E., G. Alanís F. 1970. Estudio morfológico de cinco nuevas razas de maíz de la Sierra Madre Occidental de México: Implicaciones fitogenéticas y fitogeográficas. Agrociencia 5: 3-30.
- Herrera C., B. E., A. Macías L., R. Díaz R., M. Valadez R., A. Delgado A. 2002. Uso de semilla criolla y caracteres de mazorca para la selección de semilla de maíz en México. Rev. Fitotec. Mex. 25: 17-23.
- INEGI. 2006. Anuario de estadísticas por entidad federativa. INEGI, México. 286 p.
- López, P. A., H. López S., A. Muñoz O. 1998. Selección de maíces criollos en nichos ecológicos del Estado de Puebla. En: Ramírez V., P., F. Zavala G., O. Gómez M., F. Rincón S., A. Mejía C. (eds.). Memorias del XVII Congreso de Fitogenética. p:236.
- Morris M.L.; López P., M.A. 2000. Impactos del mejoramiento de maíz en América Latina 1966-1997. México D.F. CIMMYT 45 p.
- Ortega P., R. 2003. La diversidad de maíz en México. In: Sin Maíz no hay País, G. Esteva y C. Marielle, coordinadores, CONACULTA, México, pp. 123-154.
- Ortega P., R. A., J. J. Sánchez G., F. Castillo G., J. M. Hernández C. 1991. Estado actual de los estudios sobre maíces nativos en México. En: Ortega P., R. A., G. Palomino H., F. Castillo G., V. A. González H., M. Livera M. (eds.). 1991. Avances en el estudio de los recursos fitogenéticos de México. SOMEFI. Chapingo, México. pp. 161-185.
- Reyes C., P. 2000. Cincuenta años de investigación agrícola de maíz para tierra caliente en México. Agricultura Técnica en México. 26 (1): 49-62
- Reyes C., P. 1971. Genotecnia del maíz para tierra caliente. División de Ciencias Agropecuarias y Marítimas. ITESM. Monterrey N.L. México. 138 p

- Reyes C., P.; L., S. Wortman, E., J. Wellhausen. 1955. Maíz híbrido para tierra caliente. Folleto de divulgación Núm. 18. Oficina de Estudios Especiales. SAG. México. 38p.
- Roberts L., M. 1950. Las razas mexicanas de maíz más útiles como material básico para su mejoramiento. In: Primera asamblea Latinoamericana de Fitogenetistas Folleto misceláneo Núm 3. Oficina de Estudios Especiales. SAG. México. p:71-84
- Sánchez G., J.J. 1989. Relationships among the mecian Races of Maize. Ph. D. Diss. North Carolina State University Departament of crop Sciencie, Raleigh, N.C. 187 p.
- Sánchez G. J.J., M.M. Goodman, C.W. Stuber. 2000. Isozomatic and morphological diversity in the Races of maize of México. *Econ. Bot.*, 54 (1): 43-59.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2008. Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera. Anuario estadístico de la producción agrícola de los estados unidos Mexicanos. Disponible en: <http://www.siap.sagarpa.gob.mx> (11 de septiembre 2008). s/p.
- Sierra M., M. 1990. Formación y uso de variedades mejoradas de maíz. In: Memorias del curso teórico práctico de capacitación sobre el cultivo de maíz. Programa Nacional de Maíz de Alta Tecnología. pp: 39-46.
- 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. *Agricultura Técnica en México* 30 (2): 169-181.
- Sierra M., M.; Palafox C., A.; Rodríguez M., F. Espinosa C., A.; Gómez M., N.; Caballero H., F.; Barrón F., S.; Zambada M., A.; Vásquez C., G. 2008. H-520. Híbrido trilineal de maíz para el trópico húmedo de México. *Agricultura Técnica en México*. 34 (1): 119-122.
- Taba, S., F. Aragón C., J. Díaz C., F. H. Castro G. J. M. Hernández C. 1998. Cultivares locales de maíz para su conservación y mejoramiento en Oaxaca, México. En: Ramírez V., P., F. Zavala G., O. Gómez M., F. Rincón S., A. Mejía C. (eds.). Memorias del XVII Congreso de Fitogenética. pp. 218.
- Turrent, A., J. A. Serratos. 2004. Context and background on maize and its wild relatives in México. In: *Maize and Biodiversity: The effects of transgenic maize in México*, Chapter 1. pp: 1-55.
- Velázquez R., P., A. Santacruz V., A. Muñoz O. 1994. Selección de maíces criollos en el área de Paracho-Pichataro, de la sierra Tarasca, Michoacán. En: Ramírez V., P., F. Zavala G., N. E. Treviño H., E. Cárdenas C., M. Martínez R. (Comp.). Memorias del 11° congreso Latinoamericano de Genética y XV Congreso de Fitogenética. SOMEFI. México. p:352

Wellhausen, E., L. M. Roberts, E. Hernández X., P.C. Mangelsdorf. 1951. Razas de maíz en México, su origen, características y distribución. Folleto Técnico No. 5, México: Oficina de Estudios Especiales, S.A.G. 237 p.

Formación de híbridos triploides en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. Ex Hornem.)

Formation of triploids hybrids in husk tomato (*Physalis ixocarpa* Brot. Ex Hornem.)

Ramírez Godina Francisca¹, Rahim Foroughbakhch P.², Valentín Robledo Torres³, Adalberto Benavides Mendoza³ y Manuel Humberto Reyes Valdés³.

¹Alumna de Doctorado en Ciencias con Acentuación en Manejo y Administración de Recursos Vegetales. Facultad de Ciencias Biológicas UANL, ²Profesor Investigador del Depto. de Botánica de la Facultad de Ciencias Biológicas de la UANL, ³Profesores Investigadores de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. *E-mail: framgod@uaaan.mx

Resumen. La obtención de híbridos triploides, abre nuevas posibilidades en la selección y mejora de esta especie para obtener genotipos con altos rendimientos y calidad de fruto. Se utilizaron tetraploides seleccionados de *P. ixocarpa* Brot. formados por la acción de la colchicina y diploides criollos y mejorados. El objetivo del trabajo fue formar híbridos triploides mediante la cruce diploides x tetraploides de alto rendimiento y calidad de fruto. Los progenitores se establecieron en macetas y suelo en invernadero, colocando las plantas en pares, diploide con tetraploide. Las cruces fueron manuales en un sentido, sin cruces recíprocas. Para determinar la autoincompatibilidad de diploides y tetraploides se cubrieron plantas individuales. La viabilidad de polen de los progenitores tetraploides fue de 54.8 a 69.8%, mientras que los diploides presentaron una viabilidad de 90.7 a 91.1%, los diploides presentaron un diámetro de polen de 23.4 a 25.5 μm y los tetraploides de 28.7 a 31.1 μm . Todos los tetraploides formaron frutos con semilla, por lo tanto la duplicación cromosómica redujo la autoincompatibilidad. El estudio de células en diacinesis mostró que el 83.76% de plantas analizadas de las cruces diploide x tetraploide presentó la poliploidía esperada 3x triploide, mientras que el 10.25% fueron 4x tetraploides y el 5.98% fue 2x diploide. Las plantas 2x y 4x serán descartadas y solo se utilizarán las plantas híbridas triploides para su evaluación futura en campo.

Palabras clave. Tetraploides, diploides, colchicina, polen, autoincompatibilidad.

Abstract. The obtaining of hybrid triploids, opens new possibilities in the selection and improvement of this species to obtain genotypes with higher yield and fruit quality. Selected tetraploids of *P. ixocarpa* Brot. formed by action of the colchicine, creole and improved diploids were used. The objective of the work was to form hybrid triploids by means of diploid x tetraploid crosses with high yield and fruit quality. The progenitors were established in flowerpots and soil in greenhouse, placing the plants to pair off, diploid with tetraploid. The crosses were manual in a sense, without to make reciprocal crosses. Individual plants were covered to determine autoincompatibility in the diploids and tetraploids. The pollen viability in tetraploids was 54.8 to 69.8%, while in the diploids was 90.7 to 91.1%, the diploids presented a pollen diameter of 23.4 to 25.5 μm and tetraploids of 28.7 to 31.1 μm . All the tetraploids formed fruits with seed, therefore the chromosomic duplication decreased the autoincompatibility. The study of cells in diacinesis showed that 83.76% of analyzed plants from diploid x tetraploid crosses presented the expected polyploidy 3x triploid, while 10.25% was 4x tetraploid and 5.98% was 2x diploid. The 2x and 4x plants will be discarded and alone the triploids plants will be used for their future evaluation in field.

Key words: tetraploids, diploids, colchicine, pollen, autoincompatibility.

Introducción

El tomate de cáscara (*P. ixocarpa* Brot.) es una especie nativa de México y América Central, es actualmente una de los cultivos más importantes en nuestro país en superficie sembrada (Cantwell *et al.* 1992), en el 2010 ocupó el cuarto lugar entre las hortalizas, con una superficie producida de 48,475.17ha (SIAP-SAGARPA 2010). Esto es debido a su alto consumo en el país y su exportación a los Estados Unidos de América y Canadá. También se cultiva en la India, Australia y Sudáfrica, así como en el sureste de los Estados Unidos. El rendimiento promedio del tomatillo (*P. ixocarpa*) en México es de 15.58 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$, el cual es bajo, si se considera como potencial de rendimiento de esta especie en 40 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Peña y Santiaguillo 1999). No obstante que el tomatillo es originario de México, su mejoramiento genético ha sido limitado, por lo que el proceso de producción se sustenta en gran medida en variedades nativas. Una de las limitaciones en la mejora genética es la autoincompatibilidad de esta especie (Pandey 1957), lo cual descarta la posibilidad de hibridación clásica, por el problema para generar líneas por autofecundación, aunque la formación de híbridos mediante el uso de líneas dihaploides, obtenidas por cultivos de anteras y la formación de híbridos intervarietales, planta a planta puede tener potencial

(Peña *et al.* 2002). El nivel de ploidía del tomatillo, tanto de los tipos silvestres como de los cultivados tienen una constitución cromosómica diploide $2n=2X=24$, aunque algunas especies del género son poliploides (Menzel 1951), mientras que otras presentan cromosomas accesorios. La utilización de tetraploides $2n=4X=48$ seleccionados de *P. ixocarpa* formados por acción de la colchicina, y el uso de materiales diploides comerciales, así como la obtención de híbridos triploides, abre nuevas posibilidades en la selección y mejora de esta especie para obtener genotipos con altos rendimientos y mayor calidad de fruto. El objetivo del trabajo fue formar híbridos triploides $2n= 3X = 36$ a partir del cruzamiento de diploides x tetraploides de alto rendimiento y calidad de fruto.

Materiales y métodos

El experimento se realizó en el 2010 en la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” en Saltillo Coahuila. El material vegetal utilizado fueron: 5 tetraploides experimentales previamente formados por la acción de colchicina (2, 5,11,16 y 20), seleccionados en base a rendimiento y calidad de fruto, con características generales; fruto es una baya de color verde cubierto por un cáliz acrecente, fruto de forma ligeramente aplanado de los polos, con diámetro ecuatorial de 50.4 mm y diámetro polar de 35.4 mm, con habito de crecimiento semierecto (Ramírez *et al.* 2009) y 5 diploides, dos materiales comerciales Rendidora(19) y Gran Esmeralda (13); tres colectas, una del Valle de Acatzingo, Puebla (1), otro de Tamazula, Jalisco (18) y otra de Palmarito, Puebla (21). Se sembraron 50 semillas por genotipo en charolas de poliestireno con turba canadiense como sustrato. Posteriormente las charolas se llevaron a invernadero donde se desarrollaron las plántulas, y a los 30 días cuando alcanzaron de 10 a 12cm de altura y dos pares de hojas verdaderas, fueron trasplantadas.

Se trasplantaron 50 plántulas 5 por genotipo en macetas de plástico, colocándolas en pares una diploide con una tetraploide (1-2, 1-5, 1-11, 1-16, 1-20. 13-2, 13-5, 3-11, 13-16, 13-20. 18-2, 18-5, 18-11, 18-16, 18-20. 19-2, 19-5, 19-11, 19-16, 19-20. 21-2, 21-5, 21-11, 21-16, 21-20), cuando empezaron a florear fueron cubiertas con bolsas de malla de prolipropileno blanco hechas de forma casera de 1.20 de alto por 1.00 metro de ancho, para evitar cruzamientos por insectos y además evitar el paso de polen de otras plantas, ya que el tomate de cáscara a pesar de tener flores hermafroditas presenta autoincompatibilidad gametofítica y se comporta como alógama obligada. Los cruzamientos se realizaron de forma manual, pasando polen de los genotipos diploides (utilizados como machos) a las

flores de los tetraploides (utilizados como hembras) los cruzamientos solo fueron en un sentido, de acuerdo al diseño II de Carolina del Norte. Se polinizaron de 5 a 10 flores diarias por planta hasta el término de la floración.

Se trasplantaron 50 plántulas 5 por genotipo en invernadero, en suelo con acolchado y fertiriego, colocando 5 diploides y 5 tetraploides quedando en pares, de la misma forma que en las macetas. Los cruzamientos se realizaron de forma manual igual que en las macetas, pasando polen de las flores de los diploides a las flores de tetraploides, previamente emasculadas. Cada una de las flores fecundadas se marcó con una etiqueta y se cubrió con una bolsa de papel. Igual que en macetas se polinizaron de 5 a 10 flores diarias por planta hasta el término de la floración.

Para el estudio de autoincompatibilidad en diploides y tetraploides se cubrieron plantas individuales con bolsas de malla blanca, 2 de cada genotipo, moviendo las plantas constantemente para favorecer la autopolinización y detectar si los tetraploides presentan la autoincompatibilidad reportada en los diploides. Antes de realizar los cruzamientos se realizaron pruebas de viabilidad y se estimó el tamaño de polen para los genotipos que se utilizaron como progenitores. Para el análisis de polen se tomaron flores de las plantas a los 35 días después del trasplante. La viabilidad de polen fue estimada en las 25 plantas tetraploides y en las 25 plantas diploides, de la siguiente forma; se colectaron 3 flores por planta entre 8:00 y 9:30 de la mañana previo a la anthesis, se colocaron en bolsas de papel estraza y se llevaron al laboratorio, el análisis se hizo en polen fresco, de inmediato se sacudió cada flor sobre un portaobjetos se puso una gota de colorante Búfalo Black al 1% y un cubreobjetos. Los granos de polen redondeados y coloreados se consideraron viables y los constreñidos y sin teñir, no viables, los conteos de polen se efectuaron en 4 campos por preparación, en cada campo se contabilizó el número de granos de polen viables e inviables y se estimó el porcentaje de viabilidad, se midió el diámetro en (μm) de tres granos de polen por campo del microscopio, de acuerdo con Stone *et al.* (1995), Lagos-Tulio *et al.* (2005) y Srinivasan y Gaur (2012). Todas las observaciones se hicieron con el objetivo 40X en un microscopio Carl Zeiss con cámara digital Pixera Winder Pro y un software de medición AxionVision. Con los datos obtenidos se obtuvieron valores medios.

Se cosecharon los frutos amarrados en las plantas tetraploides producto de los cruzamiento entre diploides y tetraploides, Aparte se colectaron frutos que se formaron en las plantas tetraploides que habían sido cubiertas individualmente para verificar la autoincompatibilidad. La semilla se obtuvo triturando el fruto completo en una licuadora y con la ayuda de un colador se separó la pulpa de la semilla, la cual se puso a secar a la sombra y temperatura ambiente. De los 25 cruzamientos realizados, solo se obtuvo semilla de 18 cruas. Además se cosecharon frutos de las

plantas tetraploides que a pesar de estar cubiertas con una bolsa de malla blanca formaron frutos con semilla.

El estudio meiótico para verificar el nivel de ploidía se realizó en 11 de las cruzas realizadas (Cuadro 3), ya que fue de las que se obtuvo suficientes plantas para dicho estudio y posterior evaluación en campo. Para el análisis meiótico se utilizaron 15 plantas de cada una de las cruzas. Para ello cuando las plantas estaban en floración se colectaron botones florales de plantas individuales los cuales se fijaron en una solución 3:1 etanol-ácido acético glacial por 24 horas. Los botones fijados se colocaron en cajas de Petri con agua destilada para extraer las anteras, las cuales se depositaron en portaobjetos con una gota de acetocarmín. Posteriormente se cortaron en mitades para liberar los microsporocitos. Después de que se eliminaron los restos de tejido, se colocó un cubreobjetos y se calentó la preparación en una parrilla y se presionaron los microsporocitos de forma manual. Las células se analizaron en diacinesis, en un microscopio compuesto, y se contó el número de cromosomas de 10 células por planta y de acuerdo a resultados se determinó el nivel de ploidía de las plantas híbridas, únicamente se realizó estudio meiotico para determinar el nivel de ploidia de las plantas híbridas, dado que el objetivo de este trabajo era solo ver la factibilidad de formar híbridos triploides en tomate de cascara, falta por realizar un estudio más amplio como análisis de viabilidad y tamaño de polen, rendimiento y calidad de fruto de los híbridos triploides.

Resultados y discusión

La viabilidad de polen de los progenitores tetraploides fue de 54.8 a 69.8%, mientras que los diploides presentaron una viabilidad de 90.4 a 91.1%. Los diploides presentaron aproximadamente 21.94 a 35.37% más viabilidad de polen que los tetraploides, (Cuadro 1). De acuerdo con el criterio de Stebbins (1947) los autopoliploides están caracterizados por la presencia de multivalentes en meiosis, por la herencia tetrasómica y además, por el desarrollo más lento y la fertilidad reducida por lo tanto baja viabilidad de polen. La determinación de la viabilidad del polen posibilita hacer estimaciones confiables de la fertilidad, además de utilizarse para el estudio de incompatibilidades en los cruzamientos (González *et al.* 1992). En cuanto a las mediciones de granos de polen los diploides presentaron un diámetro de polen de 23.42 a 25.53 μm y los tetraploides de 28.75 a 31.10 μm , el tamaño de polen separa claramente los diploides de los tetraploides ya que los tetraploides presentaron mayores tamaños que los diploides, en este sentido se puede inferir que el tamaño de los granos de polen aumenta al incrementar el nivel de ploidía.

El estudio de autoincompatibilidad mostró que el progenitor diploide (rendidora) de donde se formaron los tetráploides y el Tamazula no dieron frutos, sin embargo dos progenitores diploides formaron frutos partenocápicos (sin semilla) y sólo el cultivar Palmarito formó frutos con pocas semillas esto muestra que este diploide no es totalmente autoincompatible (Cuadro 1), esto coincide con (Peña *et al.* 1998), quien menciona que la autofecundación artificial favorece la presencia de frutos partenocápicos y un número reducido de frutos con semilla. La formación de frutos con semilla en el criollo diploide de la región Palmarito, sugiere que el sistema de autoincompatibilidad descrito para tomate de cáscara (Pandey 1957) no es completo, por lo que existe la posibilidad de autofecundación, tal como lo señalaron Peña *et al.* (1998) e Inzunza *et al.* (1999). Con respecto a los progenitores tetráploides, el 100% de las plantas cubiertas formaron frutos pequeños con semilla. Esta semilla puede ser sexual o apomíctica (Inzunza *et al.* 1999), la sexual puede significar la posibilidad de generar líneas endogámicas, caso que en tomate de cáscara falta por investigar. Este resultado indica de que, con la duplicación cromosómica inducida con colchicina, se redujo o se perdió la autoincompatibilidad, esto coincide con Poehlman y Allen (2005) quienes mencionan que algunas veces las especies diploides incompatibles se vuelven autocompatibles al inducirse en ellas la poliploidía.

Cuadro 1.

Viabilidad y tamaño de polen, así como número de frutos y semilla en progenitores diploides y tetráploides de *Physalis ixocarpa* Brot.

Progenitores Diploides	Genotipos	Viabilidad de polen %	Diámetro de polen μm	N° de frutos en plantas cubiertas	Semillas g.
1D	Felipe Ángeles	91.71	23.42	77	—
13D	Gran Esmeralda	90.17	25.53	33	—
18D	MoradoTamazula	90.84	24.34	—	—
19D	Rendidora	90.38	24.38	—	—
21D	Palmarito	91.71	25.20	163	2.3
Progenitores Tetráploides					
2T	UAN-II-113	54.81	28.75	68	8.2
5T	UAN-II-101	55.82	30.98	123	10.1
11T	UAN-III-7	56.04	29.39	146	11.2
16T	UAN-II-107	64.92	31.08	88	8.5
20T	UAN-II-16	69.77	31.10	211	17.3

Miller y Venable (2000), proponen que la poliploidía es un factor desencadenante de la evolución del dimorfismo de género en poliploides de *Lycium* (Solanaceae), que opera mediante la interrupción de auto-incompatibilidad y que conduce a la depresión por endogamia. Aunque Barringer (2007) apoya la hipótesis de que las angiospermas poliploides tienen, en promedio, tasas más altas de autocompatibilidad que sus parientes diploides. La capacidad de auto-fertilización puede aumentar la probabilidad de que los nuevos poliploides surgidos puedan establecer poblaciones de éxito, por medio de autofecundación. De los cruzamientos realizados entre los 5 diploides y 5 tetraploides de *Physalis ixocarpa* se obtuvieron frutos con semilla de 24 cruzas, pero al sembrar dicha semilla únicamente se obtuvieron plántulas de las cruzas 1x2, 1x20, 13x2, 13x20, 13x5, 19x20, 19x5, 21x16, 21x11, con un porcentaje de emergencia de plántulas del 86 al 96%, las cruzas 18x11, 1x16 tuvieron del 64 al 72% y la 21 x 5, 19x16, 1x11, 21x2, 13x16 y 18x16, tuvieron una emergencia del 36 al 52% (Cuadro 2).

De acuerdo con los conteos de cromosomas por células en diacinesis (Figura 1), de las 11 cruzas se encontró que el 83.76% de plantas analizadas de las cruzas del diploide x tetraploide presentaron la poliploidía esperada triploide $2n = 3X = 36$ para la progenie, mientras que el 10.25 % fueron tetraploides $2n = 4X = 48$ y sólo el 5.98% fue diploide $2n = 2X = 24$ (Cuadro 3). Sin embargo, las poliploidías de $4X$ y $2X$ encontradas sugieren la posibilidad que sean producto de autofecundación o de apomixis (Inzunza *et al.* 1999), razón por la cual estas plantas serán descartadas y solo se utilizarán las plantas triploides obtenidas de los cruzamientos para su evaluación en campo. Existe una gran cantidad de estudios en donde obtuvieron híbridos triploides con éxito, en diferentes especies como sandía melón, mandarina limón, café, remolacha, papa, pastos, ornamentales etc. (Aleza *et al.* 2009; Maynard y Elmstrom 1992; Perry y Jeffrey 1995).

Cuadro 2.

Número de frutos, semillas y plántulas producidas en los cruzamientos diploides x tetraploides de tomate de cáscara.

Cruzas	Frutos de plantas en macetas	Frutos de plantas en invernadero	Semilla de cruzas g.	Producción de plántulas %
	N°	N°		
19D X 20T *	2	15	24.2	95
19D X16T	0	7	3.4	49
19D X 5T*	8	0	17.3	96
1D X 2T*	10	18	12.5	88
1D X 20T*	0	19	10.3	87
1D X 11T	0	3	2.6	39
1D X16T*	0	31	17.6	72
21D X11T*	5	11	18.7	89
21D X 16T*	7	11	23.0	92
21D X 2T	0	13	7.7	38
21D X 5T	0	13	3.6	48
13D X 5T *	3	36	19.8	91
13D X 20T*	5	0	25.3	93
13D X 16T	3	16	6.9	37
13D X 2T*	5	13	22.3	92
18D X 11T*	0	24	8.9	64
18D X 16T	0	24	5.6	36

*Cruzas utilizadas para análisis del nivel de ploidía

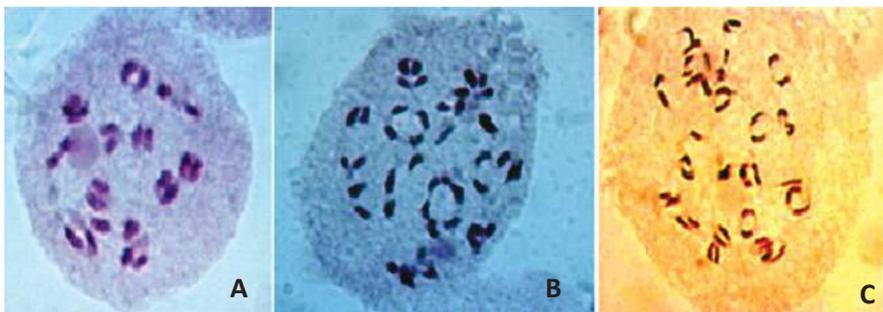


Figura 1. Células en diacinesis de *Physalis ixocarpa*, (A) diploide $2n=2x=24$, (B) triploide $2n=3x=36$, (C) tetraploide $2n=4x=48$, 100x.

Cuadro 3.

Número de plantas híbridas analizadas por meiosis en diacinesis y su nivel de ploidía.

Cruzas	Plantas analizadas N°	Número de plantas con		
		2X	3X	4X
19D X 20T	15		14	1
19D X 5T	10	1	7	2
1D X 2T	8		8	
1D X 20T	10		10	
1D X16T	10		9	1
21D X11T	11		10	1
21D X16T	11		9	2
13D X 5T	10		8	2
13D X 20T	11	4	6	1
13D X 2T	12	2	9	1
18D X 11T	9		8	1
Total	117	7	98	12

Conclusiones

Al cruzar tetraploides 4x (usados como hembras) con diploides 2x (usados como machos), es factible la producción de híbridos triploides en *Physalis ixocarpa*. Los estudios citogenéticos fueron de gran utilidad para verificar el nivel de ploidía de los genotipos generados. La formación de frutos con semilla en plantas tetraploides autopolinizadas de *Physalis ixocarpa* redujo o evitó la autoincompatibilidad en las poblaciones tetraploides, permitiendo la autopolinización en una especie que en condición diploide normal es autoincompatible.

Literatura citada

- Aleza GP, Cuenca J, Juárez RJ, Pina JA, Navarro L. 2009. Mandarinos “Garbí” y “Safor”, dos nuevos híbridos triploides obtenidos en el IVIA. Levante Agrícola: Revista Internacional de Cítricos 395: 85-87.
- Barringer BC. 2007. Polyploidy and Self-Fertilization in Flowering Plants. American Journal of Botany 94(9): 1527–1533.

- Cantwell M, Flores MJ, Trejo GA. 1992. Developmental changes and postharvest physiology of tomatillo fruits (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Scientia Horticulturae* 50: 59-70.
- González ME, Estévez A, Rodríguez T, Álvarez M. 1992. Estudio de la fertilidad del polen en especies de papa. *Cultivos Tropicales* 13(1): 70-73.
- Inzunza CJF, García VA, Carvallo C, Peña LA. 1999. Viability, pollen and seed size in husk tomato (*Physalis ixocarpa* Brot.) *Agricultura Técnica en México* 25(1): 69-67.
- Lagos TC, Caetano CM, Alirio VF, Muñoz JE, Criollo H, Olaya C. 2005. Caracterización palinológica y viabilidad polínica de *Physalis peruviana* L. y *Physalis philadelphica* Lam. *Agronomía Colombiana* 23: 55-61.
- Maynard DN, Elmstrom GW. 1992. Triploid watermelon production practices and varieties. *ISHS Acta Horticulturae. II International Symposium on Specialty and Exotic Vegetable Crops* 318: 169-173.
- Menzel YM. 1951. The cytotaxonomy and genetics of *Physalis*. Reprint From Proc. American Philosophical Society. 95 (2): 132-183.
- Miller JS, Venable DL. 2000. Polyploidy and the evolution of gender dimorphism in plants. *Science* 289: 2335-2338.
- Pandey KK. 1957. Genetics of self incompatibility in *Physalis ixocarpa* Brot: a new sistem. *American Journal of Botany*. 44: 879-887.
- Peña LA, Molina GJD, Cervantes ST, Márquez SF, Sahagún CJ, Ortiz C J. 1998. Heterosis intervarietal en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 4(1): 45-49.
- Peña LA, Santiaguillo HJF. 1999. Variabilidad genética de tomate de cáscara en México. *Boletín Técnico #2. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx.* 26
- Peña LA, Molina G J D, Márquez S F, Sahagún C J, Ortiz C J, Cervantes S T. 2002. Respuestas estimadas y observadas de tres métodos de selección en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Revista Fitotecnia Mexicana* 25: 171-178.
- Perry EN, Jeffrey A. 1995. Fruit Characteristics of Hybrid Triploid Melons. *Hort Science* 30: 821 - 822.
- Poehlman JM, Allen SD. 2005. *Mejoramiento genético de las cosechas. Segunda edición. Limusa. México.* 511 p.
- Ramírez GF, Foroughbakhck PR, Robledo TV, Benavides MA, Alvarado VMA. 2009. Rendimiento y calidad de fruto en diploides y tetraploides de tomate de cáscara. *Memorias de la XXI Semana Internacional de Agronomía. Universidad Juárez, Facultad de Agricultura y Zootecnia Venecia Durango.* 1014-1017.

- SIAP-SAGARPA. 2010. Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera. www.siap.sagarpa.gob.mx
- Srinivasan S, Gaur PM. 2012. Genetics and characterization of an open flower mutant in chickpea. *Journal of Heredity* 103: 297-302.
- Stebbins GL Jr. 1947. Types of polyploids: their classification and significance. *Advances in Genetics* 1: 403-429.
- Stone JL, Thomson JD, Dent-Acosta SJ. 1995. Assessment of pollen viability in hand-pollination experiments: A review. *American Journal of Botany* 82: 1186-1197.

Influencia del periodo de polinización en el prendimiento de frutos de cacao (*Theobroma cacao* L.).

Influence of period of pollination in the mooring of fruits of cacao (*Theobroma cacao* L.).

Azpeitia Morales Alfonso^{1*}, Paulina Y. Barrón García², Felipe Mirafuentes Hernández¹, Ramón Castillo González¹ y P. Alejandro López Andrade¹.

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Huimanguillo, Km1 Carretera Huimanguillo-Cárdenas. ²Universidad Autónoma de Guadalajara, Campus Tabasco. *Email: azpeitia.alfonso@inifap.gob.mx

Resumen. En Tabasco, la enfermedad de la moniliasis afecta la producción de cacao cultivado reduciendo la producción de 30 al 100%. El hongo *Moniliophthora roreri* afecta los frutos en cualquier etapa de desarrollo. En el 2006 se introdujeron 6 clones resistentes a moniliasis al banco de germoplasma del INIFAP ubicado en el estado de Tabasco. Actualmente se están evaluando en campo y han mostrado resistencia a la moniliasis, pero es necesario incorporar este carácter de resistencia a genotipos con alto rendimiento y adaptación regional a través de cruzamientos, por lo que el objetivo de esta investigación fue conocer la influencia del período de polinización manual y en la producción de semilla híbrida. Los resultados mostraron que la temperatura promedio más fresca de 23.5^o C favorece el prendimiento de flores hasta en un 48% ocurrida durante el mes de febrero así como mayor cosecha de frutos (ocho), mientras que el incremento de la temperatura que se presentaron en marzo, abril y mayo disminuyen el prendimiento de flores y cosecha de frutos. Adicionalmente, en este estudio fue posible observar genotipos compatibles que favorecen el prendimiento de flores, destacando el cruce de INIFAP 1♂ x UF 273♀ con nueve frutos, seguido por los cruces INIFAP C2♂ x PA 169♀, UF 273♂ x INIFAP 1♀ e INIFAP C2♂ x UF 273♀, con un fruto formado en cada uno.

Palabras clave: Cacao, mejoramiento genético, moniliasis.

ABSTRACT. In Tabasco, the disease moliniasis affects the production of cultivated cocoa reducing the production of 30 to 100 % in the plantations, the fungus *Moniliophthora roreri* affects the fruits at any stage of development. In 2006 the

INIFAP gene bank introduced 6 moniliasis-resistant clones in Tabasco. They are currently evaluated in field and they have shown resistance to the moniliasis, but it is necessary to incorporate this character in resistant genotypes with high performance and regional adaptation through non-conventional breeding, which is why the objective of this research was presents results from the influence of the period of hand pollination and interaction with the genotype in hybrid seed production. The results showed that the coolest average temperature of 23.5° C favours the mooring of flowers up to 48% that occurred during the month of February as well as greater harvest fruits (eight), while the increase of the temperature which is record in march, april and may decrease the mooring of flowers and fruit harvest. In addition, in this study, it was possible to observe compatible genotypes that favor the mooring of flowers, highlighting crossing INIFAP 1♂ x UF 273♀ with nine fruits, followed by crossings INIFAP C2♂ PA 169♀, UF 273♂ x INIFAP 1♀ and INIFAP C2♂ x UF 273♀, with one a fruit formed in each.

Key words: Cocoa, genetic improvement, moniliasis.

Introducción

En México, el cacao se cultiva en 62,182 hectáreas, mientras que en el estado de Tabasco se cultivan 40,831 hectáreas, y en el estado de Chiapas 21,351 hectáreas (Barron, *et al.* 2011). En el proceso productivo intervienen cerca de 50 mil familias de los estados de Tabasco y Chiapas. El cacao en el estado de Tabasco se distribuye en 11 municipios, destacando por su superficie cultivada los municipios de Cárdenas, Comalcalco, Cunduacán y Huimanguillo. En el estado de Chiapas destacan por su producción los municipios de Tapachula, Pichucalco y Palenque. En la industria chocolatera nacional, el cacao representa la materia prima para la elaboración del chocolate, y su calidad ha sido preferida por esta industria (Barron, *et al.* 2011). Sin embargo, desde la llegada de la moniliasis a México en el norte de Chiapas en febrero de 2005 ha provocado pérdidas en la producción del 40% (Phillips-Mora *et al.* 2006). Este problema ha provocado desaliento a los productores por el desconocimiento del manejo de la enfermedad. Recientemente, cerca de 1000 ha han sido derribadas en el estado de Tabasco debido a la afectación de la Moniliasis. Este problema podría incrementarse y ocasionar una disminución de las zonas cultivadas, ocasionando indirectamente un deterioro ambiental por la disminución en la captura de carbono que proporciona este agroecosistema. Los efectos devastadores de este patógeno en cacao han sido dramáticos y bien documentados en diferentes épocas y países, incluyendo ecuador en 1917 y Costa Rica en 1978

(Enriquez *et al.*, 1982). Además, de su dispersión en estos países, el hongo está presente en Colombia, Venezuela, Perú, Panamá, Nicaragua y Honduras, donde es uno de los principales factores que limitan el rendimiento de la producción de cacao en las áreas afectadas (Phillips-Mora, 2003). Cifras de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación confirman que la producción de cacao en el estado de Tabasco registra un desplome del 43.2%. Lo que significa una pérdida del orden de los \$ 57,120,000 pesos (Azpeitia, *et al.* 2011).

Por lo que es importante incorporar caracteres de resistencia a la moniliasis en los genotipos de cacao mexicanos altamente productivos. En la actualidad existen genotipos reportados como resistentes y/o tolerantes a la Moniliasis como: ICS 95, UF 273, PA 169, EET 233, y EET 183 (Phillips-Mora *et al.* 2009). Los cuales fueron introducidos por el INIFAP en el año 2006 a México (Azpeitia, 2008, 2009) y han mostrado producción de 0.7 Kg de grano seco por árbol para clon PA 169, 1 Kg para el clon UF 273 y 1.5 Kg en el clon ICS 95. Sin embargo, los genotipos PA 169 e ICS 95 han presentado la mayor resistencia con cero frutos enfermos de moniliasis. Con base en lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue: conocer la influencia del período de polinización manual y en la producción de semilla híbrida, para que en los próximos años contar con genotipos mexicanos altamente productivos por medio de cruza simples con genotipos resistentes.

Materiales y métodos

Los árboles de cacao se seleccionaron con base a su producción y resistencia a la moniliasis (Azpeitia, 2009) usando como progenitores masculinos: ICS 95, PA 169 y UF 273. Los progenitores femeninos usados fueron los genotipos INIFAP 8, RIM 68 e INIFAP C. A su vez estos progenitores se usaron como progenitores masculinos en cruce recíproca, pero solo con los genotipos resistentes a la moniliasis (ICS 95, PA 169 y UF 273). Un total de dos árboles por genotipo fue utilizado. Los botones florales cerrados fueron cubiertos con recipientes de polipropileno (Figura 1) constituido por recipiente de 3.5 cm de longitud (jeringa hipodérmica) de un volumen de 20 ml. Posteriormente, al momento de la apertura de la flor los órganos masculinos fueron emasculados y fecundados manualmente con polen procedente de un progenitor, e inmediatamente fueron cubiertas nuevamente durante 12 h para evitar posible contaminación con polen extraño. Después de transcurrido el periodo de 12 h se retiró el recipiente de polipropileno para permitir el crecimiento del fruto hasta su madurez.

Las variables medidas fueron 1) Influencia del periodo de polinización y cosecha y 2) Influencia del genotipo en el prendimiento del fruto. Los resultados se sometieron a análisis de varianza y a la prueba de comparación DMS ($P \leq 0.05$), donde se utilizaron 4 repeticiones, con entre ocho a 10 unidades experimentales en donde se consideró como unidad experimental al botón floral.

Resultados y discusión

Influencia del periodo de polinización y cosecha de frutos. Del periodo analizado de febrero a mayo se encontró que la temperatura influye en el porcentaje de prendimiento de flores, destacando un mayor porcentaje de frutos formados en las polinizaciones correspondientes al mes de febrero con un 48% con una temperatura media máxima de 28° C, el cual fue superior estadísticamente a la información de los meses de marzo, abril y mayo. El porcentaje fue disminuyendo conforme se incrementan las temperaturas. El incremento de 6° C disminuye a 31 % de frutos prendidos durante el mes de marzo, acentuándose en mayor proporción durante el mes de abril ya que se alcanzó una temperatura de 37° C obteniendo solo 3% de flores prendidas (Cuadro 1 y Figura 2). Aunque durante el mes de mayo se obtuvo un 31% de flores prendidas, no fue significativo al cosechar frutos maduros. En cuanto a frutos cosechados, fue posible observar que la polinización realizada durante el mes de febrero fue superior estadísticamente ya que permitió cosechar ocho frutos, tres en el mes de marzo, uno obtenido durante el mes de abril y uno durante el mes de mayo (Figura 2).

Influencia del genotipo en el prendimiento del flores. El cruce de los genotipos INIFAP 1♂ x UF 273♀ ha permitido un mayor prendimiento de flores ya que se formaron nueve frutos mientras que los cruces de los genotipos INIFAP C2♂ x PA 169♀, UF 273♂ x INIFAP 1♀ e INIFAP C2♂ x UF 273♀, solamente presentaron un fruto formado. En los cruces recíprocos solamente se pudo obtener un fruto formado del genotipo UF 273♂ x INIFAP 1♀.

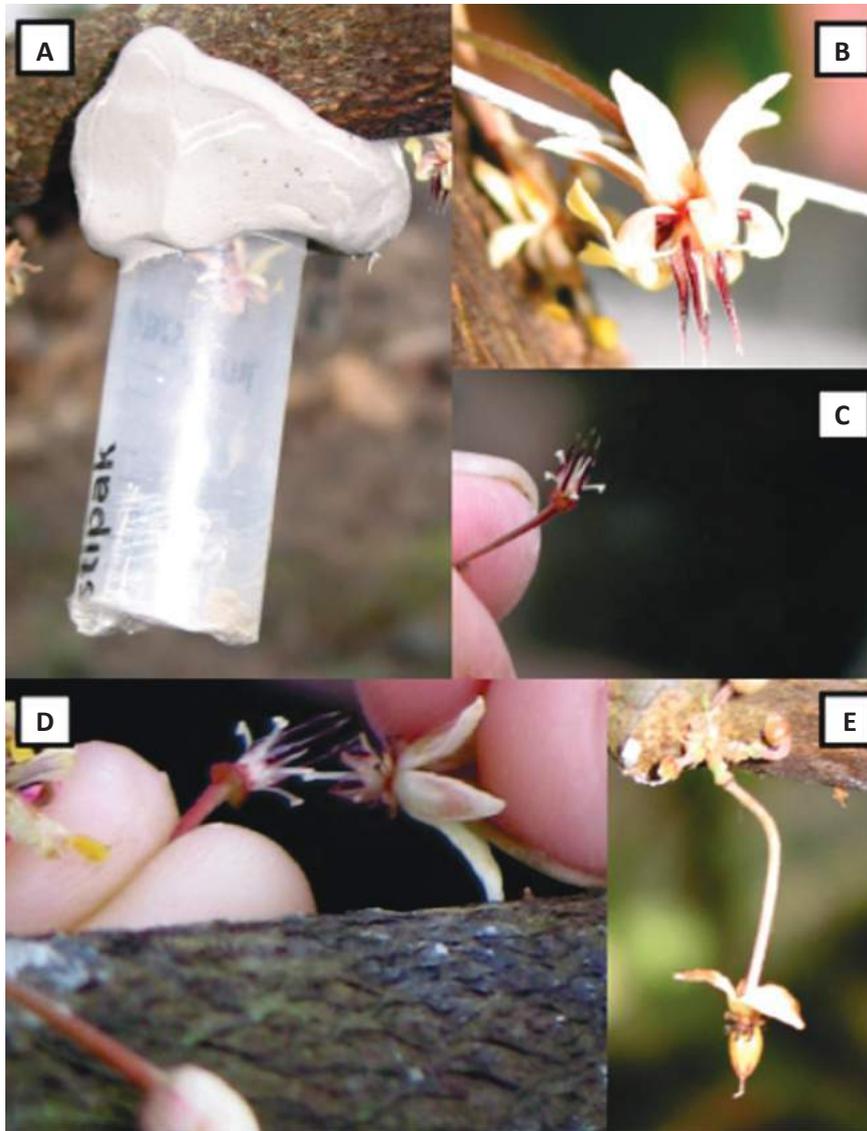


Figura 1. Proceso de polinización controlada en cacao. En A se observa la inflorescencia cubierta por un tubo de polipropileno lista para su polinización. Las flores donadoras de polen fueron seleccionadas (B) y se cortan los pétalos para dejar libres las anteras (C). La flor cubierta se retira el tubo de polipropileno y se eliminan los pétalos y las anteras para proceder a polinizar mediante el frotamiento de las anteras con el estigma (D). En E se aprecia un pequeño fruto después de 8 días de efectuada la polinización.

El mejoramiento genético de cacao es una estrategia para obtener árboles más productivos (Ramírez, 1987) y sobre todo con resistencia a la moniliasis, sin embargo en el proceso de obtención de híbridos es un proceso que intervienen las condiciones climáticas y variable de mes a mes como ha sido reportado previamente por Maldonado (1961) además, los resultados obtenidos en cuanto a prendimiento de frutos asociado a la temperatura coincide a lo indicado por Barros (1981) la cual indica que para un desarrollo óptimo del cultivo de cacao y que favorezca su floración y fructificación la temperatura ambiental debe ser de 23 a 28° C, temperatura que se presenta durante el mes de febrero lo que coincide con la obtención de mayor número de frutos cosechados en este trabajo.

Cuadro 1.

Porcentaje de flores prendidas de cacao polinizados de forma manual (Los valores con las letras diferentes muestran diferencias estadísticas DMS 0.05)

Mes	Flores Polinizadas	Flores prendidas	%	Temperatura media mínima °C	Temperatura media máxima °C	Temperatura media °C
Febrero	33	16	48 A	19	28	23.5
Marzo	41	5	31 C	22	34	28
Abril	30	1	3 C	24	37	30.5
Mayo	32	10	31 B	24.7	36	30.4

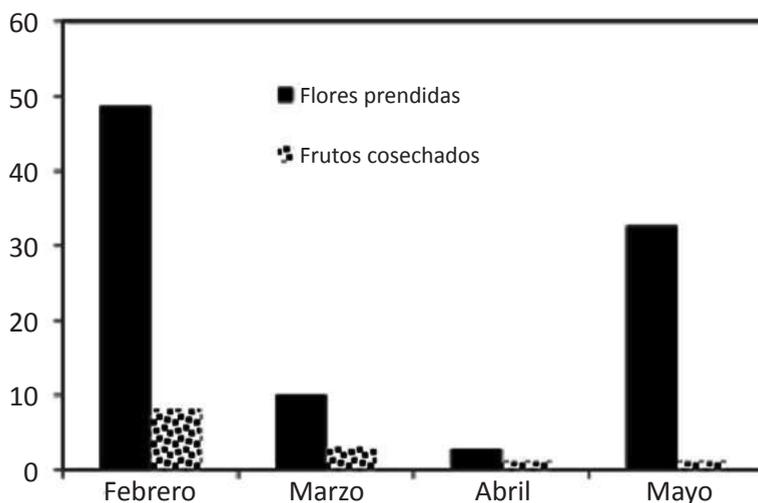


Figura 2. Porcentaje de flores prendidas y número de frutos cosechados correspondiente a los meses de febrero, marzo, abril y mayo (Los valores con las letras diferentes muestran diferencias estadísticas DMS 0.05).

Conclusiones

Con base a las condiciones de trabajo y con la información analizada de febrero a mayo se concluye que durante el mes de febrero se cuenta con las condiciones más apropiadas para realizar polinizaciones controladas ya que presenta temperaturas de 19^o C a 28^o C con temperatura media de 25^o C, favoreciendo el mayor prendimiento de flores y cosecha de frutos. Por el contrario, incrementos de temperatura que se registran durante los meses de marzo, abril y mayo están asociados a una baja en el prendimiento de frutos y cosecha de frutos. Además en este estudio fue posible observar genotipos compatibles que favorecen el prendimiento de flores, destacando el cruce de INIFAP 1♂ x UF 273♀. Este trabajo ha permitido tener un método para la formación de híbridos para resistencia a moniliasis adaptándolo a las condiciones climáticas del estado de Tabasco y que se encuentra ya en práctica.

Agradecimientos

Al CONACYT FOMIX- CCYTET y Gobierno del Estado de Tabasco a través del proyecto con clave TAB-2010-C20-144013.

Literatura citada

- Azpeitia, Morales A., Barrón, García Y. P., Mirafuentes Hernández. A. P. A., Castillo González R., López Andrade F 2011. Tecnología adaptada para la formación de híbridos interclonales de cacao en Tabasco. XXII Reunión Científica-Tecnológica Forestal y Agropecuaria Tabasco. pp: 266-270.
- Azpeitia, Morales A., P. A. López Andrade F., Mirafuentes Hernández. 2008. Comportamiento de genotipos de cacao (*Theobroma cacao* L.) resistentes a moniliasis en el estado de Tabasco, México. Memoria de la 3ra. Reunión Nacional de innovación agrícola y Forestal, Yucatán 2008. 182 p.
- Azpeitia, Morales A., F. Mirafuentes Hernández, P. A. López Andrade, R. Castillo G. 2009. Evaluación de genotipos de cacao (*Theobroma cacao* L.) resistentes a moniliasis en el estado de Tabasco, México. Memoria del PCCMCA, 128 p.
- Barrón, García Y. P., A. Azpeitia Morales, F. Mirafuentes Hernández, R. Castillo Gonzalez, P.A. López Andrade. 2011. Producción de híbridos interclonales de cacao para resistencia a moniliasis. XXII Reunión Científica-Tecnológica

- Forestal y Agropecuaria Tabasco. pp: 263- 266.
- Barros, Nieves O. 1981. Ecología y fisiología del cacao. Instituto Colombiano Agropecuario. pp: 43-61.
- Enríquez, G., A. 1981. El cultivo del cacao. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 162 p.
- Maldonado P.E. 1961. Investigación sobre nuevos métodos de polinización artificial en el cacao. Universidad Central de Ecuador. Facultad de Ingeniería Agronómica y Medicina Veterinaria. Tesis de licenciatura, 50 p.
- Phillips-Mora, W. 2003. Origin, biogeography, genetic diversity and taxonomic affinities of the cacao (*Theobroma cacao* L.) fungus moniliophthora roreri (cif) evans *et al.* as determined using molecular, phytopathological and morpho-physiological evidence. a thesis submitted by wilbert phillips-mora for the degree of doctor of philosophy. The University of Reading. 348 p.
- Phillips-Mora, W., Coutiño A., Ortiz G.F. López A.P., Hernández J., Aime M.C. 2006. First report of Moniliophththora roreri causing frosty pod rot (moniliasis disease) of cocoa in México. Plant Pathology 55: 584.
- Phillips-Mora, W., 2009. Overcoming the main limiting factors of cacao production in central America through the use of improved clones developed at CATIE. COPAL meeting, Bali, Indonesia. pp:1-6.
- Ramírez, Mora G. L. 1987. Herencia de ciertos caracteres la mazorca y del árbol (*Theobroma cacao* L.). Tesis de MS. U. de Costa Rica y el CATIE. 97p.
- Varas, Arteaga J. 1960. Conservación del polen de cacao y compatibilidad en cruces interclonales. Universidad de Guayaquil, Ecuador. Facultad de Agronomía y Veterinaria. Tesis de licenciatura, 73 p.

Uso de RAPD'S para estimar la variabilidad genética del nanche en Tabasco, México

RAPD'S use for estimating genetic variability in nanche from Tabasco, México

Martínez Moreno Eusebio¹, Julia María Lesher Gordillo², Guillermo Castañón Najera^{2*}, Efraín de la Cruz Lázaro¹ y Yazmín Hernández D³.

¹División Académica de Ciencias Agropecuarias, Km 25 Carretera Villahermosa-Teapa, Ra. La Huasteca 2ª Sección, ²División Académica de Ciencias Biológicas. ³Egresada de la Licenciatura en Biología, División Académica de Ciencias Biológicas km 0.5 Carretera Villahermosa-Cárdenas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. *E-mail:guillermo_corazon_valiente@hotmail.com.

Resumen. En el sureste de la República Mexicana se encuentra en forma silvestre o semicultivada el nanche [*Byrsonima crassifolia* (L.) H.B.K.]. No obstante la importancia que tiene el fruto de este árbol, a la fecha sólo se reporta en México un estudio molecular. Por lo anterior, el propósito de la presente investigación fue estudiar la variabilidad genética de árboles de nanche que se encuentran creciendo en forma silvestre y semicultivada en el estado de Tabasco, México. La determinación molecular se realizó en el Laboratorio de Genómica de la División Académica de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, usando la técnica de RAPD's (Polimorfismo Amplificado Aleatoriamente de ADN). De los seis oligonucleótidos evaluados sólo cuatro amplificaron en promedio 2.3 bandas cada uno, y de éstos, tres mostraron polimorfismo. El análisis por el método de Dice detectó cuatro grupos, y el valor del coeficiente de correlación cofenética fue de 0.82, lo que indica una buena agrupación del material evaluado.

Palabras clave: Recursos genéticos, marcadores moleculares, *Byrsonima crassifolia* (L.) H.B.K, diversidad genética.

Abstract. In the southeast of the Mexican Republic nanche [*Byrsonima crassifolia* (L.) H.B.K.] grows in wild or semi-cultivated form. Despite the importance of the fruit of this tree, to date only one molecular study has been reported in Mexico. Therefore, the purpose of this research was to study the genetic variability of nanche trees growing wild and semi-cultivated in the state of Tabasco, Mexico. Molecular determination was performed at the Molecular Genomics Laboratory of

the Division Académica de Ciencias Biológicas (DACBiológicas) of the Universidad Juárez Autónoma de Tabasco using the technique of RAPD's (Random Amplified Polymorphic DNA). Of the six oligonucleotides evaluated only four amplified an average of 2.3 bands each, and of these, three showed polymorphism. The analysis of Dice's method identified four groups, and the value of the cophenetic correlation coefficient was 0.82, indicating a good grouping of the material evaluated.

Key words: Genetics resources, Molecular markers, *Byrsonima crassifolia* (L) H.B.K, Genetic diversity.

Introducción

México posee gran diversidad genética de plantas autóctonas que poco se han estudiado a nivel molecular. El nanche (*B. crassifolia*), es originario de Mesoamérica. En la República Mexicana esta planta se distribuye en la zona tropical, desde el sur de Tamaulipas y este de San Luis Potosí hasta la Península de Yucatán. El nombre común en México de *B. crassifolia* varía con la región donde se cultiva y consume, y se le conoce como nanche, nance, nanchi, nanantze, sangunga, entre otros. En América del sur, al nanche se le encuentra en Perú, Bolivia, Paraguay y Brasil. El árbol tiene un rango de adaptación amplio en relación con el clima, ya que crece y se desarrolla en condiciones cálidas, semi-cálidas y/o templadas, y por lo general se le encuentra en suelos degradados (Bayuelo *et al.*, 2006; Vázquez-Yanes *et al.*, 1999). En México, sólo se encontró un estudio molecular del nanche en plantas silvestres y cultivadas realizado por Raya-Pérez *et al.*, (2010). Por otro lado, Duarte *et al.* (2003) establecen que en Honduras no existe información sobre su cultivo, ni se conoce su forma de propagación, que es la base para la explotación racional de un frutal y para poder ofrecer a los consumidores un producto de tamaño y color uniforme. De los trabajos reportados sobre propagación asexual, distribución, recolección y preservación de nanche, sólo se encontraron los publicados por Duarte y Vernon (2002), y Otzoy (2002).

La forma de conocer la estructura genética de una población con mayor certeza es mediante marcadores moleculares (MM), éstos son una herramienta útil para determinar la variabilidad que pueda existir entre variedades y poblaciones silvestres o cultivadas de una especie de interés (Mitton, 1994; Rodríguez y Arencibia 2002). La ventaja principal de utilizar caracteres moleculares, es que éstos son universales y no los afecta el medio ambiente. Los RAPD's (DNA polimórfico amplificado al azar) son marcadores que amplifican en forma aleatoria segmentos de ADN en una gran variedad de especies. Estos marcadores se basan en la probabilidad

estadística de que se presenten sitios complementarios al oligonucleótido de 10 ± 2 pares de bases (pb) a lo largo del genoma (Eguiarte *et al.*, 2007). La técnica de RAPD's, fue desarrollada por Williams *et al.* (1990), que no obstante sus limitantes, ha probado ser una importante herramienta para evaluar la constitución genética de diferentes especies de plantas. Estudios de plantas leñosas donde se aplicó RAPD's son en Yacón (*Smilax sonchifolius*) (Mansilla *et al.*, 2006), Pino (*Pinus sylvestris* L.) (Luna-Rodríguez *et al.*, 2005), y "chago o mauka (*Mirabilis expansa*) (Chia *et al.*, 2006). Otras ventajas que tienen los marcadores moleculares son su bajo costo, su fácil uso y pequeñas cantidades de material vegetal requerido para extraer ADN.

El nanche es muy importante para la población rural, pues se usa como planta medicinal, alimenticia, maderable, ornamental y combustible (Castillo-Campos y Medina, 2002; Martínez-Moreno *et al.*, 2006). Por lo anterior, el propósito del presente trabajo fue caracterizar a nivel molecular la variabilidad genética de árboles de nanche (*B. crassifolia*) encontrados en dos municipios del estado de Tabasco.

Materiales y métodos

Material vegetal y área de muestreo. El material vegetal se colectó en la ciudad de Villahermosa (municipio de Centro) y en diferentes localidades del Municipio de Huimanguillo, Tabasco. De cada árbol muestreado, se colectaron de 9 a 12 hojas jóvenes sin daño aparente de patógenos e insectos. Las hojas se cortaron con una pértiga de 15 m de largo provista con tijera. Una vez escindida cada hoja, se capturó cada una de ellas sin tocar el suelo. El Cuadro 1 presenta la localización geográfica de los árboles muestreados.

Extracción de ADN y análisis RAPD's. El ADNg se extrajo con el método CTAB (Cetyl Trimethyl Ammonium Bromide) desarrollado por Doyle y Doyle (1990), modificado por Bekesiova *et al.* (1999). La PCR (Reacción en Cadena de la Polimerasa) se llevó a cabo en 20 μ L de volumen total de ADNg. Cada reacción contenía por muestra: 10 μ L de QTM Supermix (BIORAD), diluido en 8 μ L de agua inyectable estéril, 1 μ L de "Primer" (RAPD), y 20 ng de ADNg. El ADNg de *B. crassifolia* fue amplificado con los oligonucleótidos (Probiotek^{MR}) OPB-2 (5'TGATCCCTGG3'), OPB-10 (5'CTGCTGGGAC3'), OPB-18 (5'CCACAGCAGT3'), OPC-5 (5'GATGACCGCC3'), OPE-4 (5'GTGACATGCC3'), SC10-37 (5' GCCAATCCTG 3'). Después de preparada la reacción, las muestras de ADNg se colocaron en el termociclador de PCR de punto final (My CyclerTM, BIORAD), la temperatura inicial de desnaturalización fue de 94 °C

por 4 min, seguido por el programa de PCR punto final que consiste de 33 ciclos a 94 °C por 1 min, 58 °C por 1:30 min, y 72 °C por 2 min, más un ciclo adicional para la extensión final a 72 °C durante 5 min; para terminar con un ciclo a 4 °C (infinito), terminada la PCR, los productos amplificados se almacenaron a - 4 °C.

Cuadro 1.

Origen, ubicación geográfica e identificación morfológica de los árboles muestreados para la caracterización molecular.

Número de árbol	Municipio	Geolocalización	Color del fruto
1	Centro	17° 59' 54'' N ; 92° 55' 42.5'' W	Amarillo
2	Centro	17° 59' 57.5'' N; 92° 55' 46.7'' W	Amarillo
3	Centro	17° 58' 38.2'' N; 92° 56' 37.9'' W	Amarillo
4	Centro	17° 58' 38.3'' N; 92° 56' 37'' W	Amarillo
5	Centro	17° 58' 41.2'' N; 92° 56' 33.2'' W	Verde
6	Centro	17° 58' 41.6'' N; 92° 56' 33'' W	Verde
7	Centro	17° 58' 42'' N; 92° 56' 32.9'' W	Verde
8	Centro	17° 58' 25.8'' N; 92° 56' 26.2'' W	Amarillo
9	Centro	17° 58' 25.6'' N; 92° 56' 26.5'' W	Verde
10	Huimanguillo	17° 39' 00.5'' N; 92° 23' 55.7'' W	Rojo
11	Huimanguillo	17° 38' 56.5'' N; 93° 23' 42.1'' W	Verde
12	Huimanguillo	17° 38' 56.6'' N; 93° 23' 46.9'' W	Amarillo
13	Huimanguillo	17° 38' 56.5'' N; 93° 23' 51'' W	Amarillo
14	Huimanguillo	17° 38' 56.5'' N; 93° 23' 51'' W	Amarillo
15	Huimanguillo	17° 58' 50.2'' N; 92° 23' 47.6'' W	Rojo

Posteriormente, los productos de PCR se separaron en gel de agarosa al 1.5 % con una solución amortiguadora TAE 1X, aplicándose 80 Volts durante 2 h. Las bandas de ADN se visualizaron con Bromuro de etidio, el peso molecular (PM) de cada una de ellas, se comparó con el PM del marcador Hiperlader I (Bioline^{MR}). Posteriormente, en cámara oscura de luz ultravioleta (Uvisave GAS200 (UVITEC)) a cada uno de los geles en los que los productos de PCR amplificaron se tomó fotografía, y se analizaron empleándose el software UVigeltec Versión 12.0 (UVITEC, 2007).

Análisis de datos. Con las bandas obtenidas se formó una matriz binaria de presencia (1) y ausencia (0). El cálculo de las distancias (similitud) genéticas se realizó con el método de Dice (Nei y Li, 1979), el que se estima como $\frac{2a}{2a+b+c}$. El

análisis y dendrograma fue mediante el método de agrupamiento con promedios no ponderados (UPGMA), y para comparar la relación genética entre los árboles muestreados se usó NTSYS 2.02 (Anónimo, 2010), Free tree y Tree view (Page, 1996), el re-muestreo (Bootstrap) aplicado a la matriz binaria para evaluar la robustez fue de 1000 (Hampl *et al.*, 2001). Los niveles de polimorfismo encontrados con cada oligonucleótido fueron determinados de acuerdo como lo indican Infante *et al.* (2003), y Gil *et al.* (2006).

Resultados y discusión

De los seis oligonucleótidos evaluados, solo cuatro de ellos amplificaron bandas (Cuadro 2), las que en promedio variaron en tamaño de 400 a 2500 pb. Los oligonucleótidos OPB-2 y OPB-10 no presentaron amplificación de bandas, por lo que se consideró que posiblemente no existen regiones homologas en el genoma de la especie estudiada. Los iniciadores OPC-5, OPE-4 y SC10-37 (Cuadro 2), presentaron bandas polimórficas en número de seis, dos y una respectivamente. El poco bandeo encontrado en nuestro trabajo es inferior al reportado por Góes *et al.* (2009) en acerola (*Malphigia emarginata* D.C.), árbol de la familia *Malphigiaceae* a la que pertenece el nanche). El bajo y no polimorfismo encontrado en este estudio (Cuadro 2) manifiesta la poca variabilidad genética que existe en el material evaluado, o también la poca efectividad de los iniciadores para reconocer regiones homologas. Este resultado coincide con lo reportado por Spergiorin *et al.* (2002) en Acerola, y es posible que se deba a que son árboles muy emparentados, o porque son propagados en forma vegetativa por los productores de un árbol usado como clon. Lo que coincide con lo informado por Raya-Pérez *et al.* (2010), quienes encontraron en su evaluación de árboles silvestres (changunga) y cultivados (nanche) que están genéticamente muy cercanos entre sí, pero encontraron 172 bandas al aplicar AFLP, lo que indica la efectividad de este tipo de marcador con respecto al de RAPD's usado en nuestro trabajo.

Cuadro 2.

Comparación del poliformismo mostrado por cada uno de los oligonucleótidos RAPD'S usados en *B. crassifolia*.

Oligonucleótido	Número de bandas			Polimorfismo (%)
	Total	Monomórficas	Polimórficas	
OPB-18	9	9	0	0.00
OPC-5	14	8	6	42.86
OPE-4	11	9	2	18.18
SC10-37	7	6	1	14.29
Total de Bandas	41	32	9	

Índice de similitud. El dendrograma (Figura 1) obtenido mediante el coeficiente de similitud de Dice con el método de agrupamiento por promedios aritméticos no ponderados (UPGMA), permitió la formación de cuatro grupos. En forma general se agruparon árboles del mismo origen (localidad de muestreo) y color de fruto. Lo anterior se corrobora si se observan los valores estimados por el bootstrap (Figura 1), en donde se puede apreciar que de los cuatro grupos formados, el valor más bajo (58 %) fue para el grupo constituido por los árboles 1 y 6, que se muestrearon en la Cd. de Villahermosa, y el más alto (79 %) fue para el agrupamiento determinado por los árboles 2, 3, 4 y 5, que también corresponden a Villahermosa. En tanto que los árboles de las localidades del municipio de Huimanguillo, también presentaron tendencia a formar grupos entre ellos, como el mostrado por los árboles 12, 13 y 15 con un valor de 58 % (580 veces se agruparon), que es bastante aceptable, debido a que el re-muestreo usado en este trabajo fue de 1000 (Hampl *et al.*, 2001).

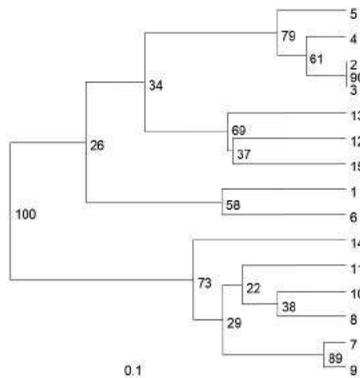


Figura 1. Dendrograma en árboles de nanche por el método UPGMA (Dice) con marcadores tipo RAPD.

Al comparar la matriz obtenida por el método de Dice y la matriz cofenética, se encontró un valor de $r = 0.82$ (Cuadro 3), que de acuerdo con Anónimo (2010), el agrupamiento de los individuos muestreados en este trabajo se debe interpretar como bueno.

Cuadro 3.

Coefficientes de correlación cofenética para los árboles de *B. crassifolia* evaluados mediante marcadores moleculares

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1.00	0.78	0.78	0.78	0.78	0.90	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.78	0.78	0.72	0.78
2		1.00	1.00	0.97	0.94	0.94	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.83	0.83	0.72	0.83
3			1.00	0.97	0.94	0.78	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.83	0.83	0.72	0.83
4				1.00	0.94	0.78	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.83	0.83	0.72	0.83
5					1.00	0.78	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.83	0.83	0.72	0.83
6						1.00	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.78	0.78	0.72	0.78
7							1.00	0.90	0.98	0.90	0.90	0.72	0.72	0.87	0.72
8								1.00	0.90	0.94	0.91	0.72	0.72	0.87	0.72
9									1.00	0.90	0.90	0.72	0.72	0.87	0.72
10										1.00	0.91	0.72	0.72	0.87	0.72
11											1.00	0.72	0.72	0.87	0.72
12												1.00	0.90	0.72	0.91
13													1.00	0.72	0.90
14														1.00	0.72
15															1.00

Coefficiente de correlación cofenética ($r = 0.82$).

Estos resultados son similares a los reportados por Martínez-Moreno *et al.* (2006), quienes en su trabajo sobre caracterización morfométrica del fruto de *B. crassifolia*, encontraron que el material evaluado formó grupos bien definidos con base también al color del fruto.

Conclusiones

En forma general el agrupamiento de los árboles muestreados fue por el origen de procedencia y al color del fruto, debido posiblemente a que son árboles que provienen de una misma fuente germoplasmica. Se detectó poco polimorfismo en el

material evaluado. La diferencia de los oligonucléotidos para detectar polimorfismo, orienta a que en futuros trabajos en nanche se usen los que más amplificaciones detectaron, y probar otros diferentes con la finalidad de encontrar mayor número de bandas polimórficas.

Literatura citada

- Anónimo. 2010. Empleo del programa NTSys para el análisis de datos moleculares. [<http://www.fbmc.fcen.uba.ar/materiales/ga/guía-de-tp-laboratorio/NTSys.pdf>]. Documento en línea [Fecha de consulta 11/11/2010].
- Bayuelo J.J., S. R., Lozano, J. C., Ochoa E.I. 2006. Caracterización morfológica de *Byrsonima crassifolia* (L.) Kunth nativa de Churumuco, Michoacán, México. Rev. Fitot. Mex. 29(2): 31-36.
- Bekesiova I., J.P. Nap., L. Mlynarova.1999. Isolation of high quality DNA and RNA from leaves of the carnivorous plant *Drosera rotundifolia*. Plant Molecular Biology Reporter 17(3): 269-277.
- Castillo-Campos G., M.E. Medina. 2002. Árboles y arbustos de la reserva natural de la Mancha, Veracruz. Instituto de Ecología, A. C. Xalapa, Ver., 144 p.
- Chia J.A., C.F. López, R. Blas, J. Seminario, R. Mansilla, J.P. Baudoin. 2006. Diversidad genética molecular de *Mirabilis expansa* mediante RAPD. Ecología Aplicada 5(1,2): 81-86.
- Doyle J.J., Doyle J.L. 1990. Isolation of plant DNA from fresh tissue. Focus 12:13-15.
- Duarte O., Escobar O., Soriano L. 2003. Propagación del Nance (*Byrsonima crassifolia* (L.) H.B.K.) por Estacas Terminales con Hoja y Estacas Leñosas. Proc. Interamer. Soc. Trop. Hort. 47: 167-169.
- Duarte O., Vernon R. 2002. Biología Floral y Reproductiva del Nance [*Byrsonima crassifolia* (L.) HBK]. Proc. Interamer. Soc. Trop. Hort. 46: 40-41.
- Eguarte L. E., Souza V., Aguirre X. 2007. Ecología Molecular. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), México. 608 p.
- Gil V.K., González Ch. M., Martínez de la V.O., Simpson J., Vandemark G. 2001. Analysis of genetic diversity in *Agave tequilana* var. Azúl using RAP's markers. Euphytica 119: 335-341.
- Góes OM., Gonçalves de O.J., Gomes F.A., Gonzaga P.M., Pio V.A., Apolinário de S. F. G., Machado L. G. E. 2009. Diversidade genética de Acerolerias (*Malpighia emarginata* D.C.), utilizando marcadores RAPD e Características morfoagronômicas. Rev. Bras. Frutic., Jaboticabal - SP, v. 31, n. 1, p. 162-170.

- Hampel V., Pavlíček A., Flegr J. 2001. Construction and bootstrap analysis of D fingerprinting-based phylogenetic trees with the freeware program Freetree: application to trichomonad parasites. *International Journal of Systemic Ecology and Micology* 51: 731-735.
- Infante D., Molina S., Demey J.R., Gámez E. 2006. Asexual Genetic Variability in *Agavaceae* Determined with Inverse Sequence-Tagged Repeats and Amplification Fragment Length Polimorphism Analysis. *Plant Molecular Biology Reporter* 24: 205-217.
- Luna-Rodríguez M., López-Upton J., Iglesias- Andreu L. 2005. Variabilidad morfolométrica y molecular (RAPD) en una plantación de *Pinus patula* en Veracruz, México. *Agrociencia* 39: 231-235.
- Mansilla R. C., López C., Blas R., Chia J., Baudoin J. 2006. Análisis de la variabilidad molecular de una colección peruana de *Smallanthus sonchifolius* (Poepp & Endl) H. Robinson "Yacón". *Ecología aplicada* 5 (1,2): 75-80.
- Martínez-Moreno E., Corona-Torres T., Avitia-García E., Castillo-González A. M., Terrazas- Salgado T., Colinas- León M. T. 2006. Caracterización morfolométrica de frutos y semillas de nanche (*Byrsonima crassifolia* (L.) H. B. K. Chapingo serie Horticultura 12(1): 11-17.
- Mitton J. B. 1994. Molecular approaches to population biology. *Annual Review of Ecology and Systematic* 25: 45-69.
- Nei M., Li W.H. 1979. Mathematical model for studying genetic variation in terms of restriction endonucleases. *PNAS* 76: 5269-5273.
- Otzoy R.M.R., España M.E., Alvarado G.D. 2002. Búsqueda, Recolección y Preservación de Nance [*Byrsonima crassifolia* (L) HBK] en la región Sur-Occidental de Guatemala. *Proc. Interamer. Soc. Trop. Hort.* 46: 42-45.
- Page R.D.M. 1996. Freetree, Treeview: An application to display phylogenetic trees on personal computers. *Computer Applications in to Biosciences*, 12: 357-358.
- Raya-Pérez J.C., Aguirre-Mancilla C.L., Gil-Vega K., Simpson J. 2010. La domesticación de plantas en México: Comparación de la forma cultivada y silvestre de *Byrsonima crassifolia* (Malpighiaceae). *Polibotánica* 30: 239-256.
- Rodríguez M., Arencibia A. 2002. Principales tipos de marcadores del polimorfismo de los ácidos nucleicos. Técnicas analíticas. En marcadores moleculares: Nuevos horizontes en la genética y la selección de las plantas. Editorial Félix Varela, La habana. pp:13-35.
- Spergiorin S.M.F., De Fátima R.C., Ruas P.M., Carpentieri-Pípulo V. 2002. Uso de Marcadores Moleculares na Análise da Variabilidade Genética em Acerola (*Malpighia emarginata* D.C.). *Rev. Bras. Frutic.* 24:15-22.
- UVITEC. 2007. Software UVigeltec Versión 12.0.

- Vázquez-Yanes C., Batis B.I.M., Alcocer M.I.S., Gual M. D., Sánchez-Dirzo C. 1999. Árboles y arbustos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación. Reporte técnico del Proyecto J084. Comisión Nacional de Biodiversidad. Instituto de Ecología. Universidad Nacional Autónoma de México. pp. 83-84.
- Williams J. G., Kubelik A. R., Livak K. L., Rafalski J. A., Tingey S. V. 1990. DNA polymorphism amplified by arbitrary primers are useful as genetic markers. *Nucleic Acids Research* 18: 6531- 6535.

Exploracion y aislamiento de hongos entomopatogenos asociados a *Diaphorina citri* en la península de Yucatán

Exploration and insolation of entomopathogenic fungi associated to *Diaphorina citri* in the Yucatan peninsula

Cortez Madrigal Hipólito^{1*}, Gustavo Mora Aguilera² y Richard A. Humber³.

¹CIIDIR-IPN, Justo Sierra # 28, Jiquilpan, Mich. ²Instituto de Fitosanidad, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo. De México. ³USDA. *E-mail: hcortezm@ipn.mx

Resumen. Para conocer las especies de hongos entomopatógenos asociados a *Diaphorina citri* en la Península de Yucatán, de octubre del 2009 a octubre del 2010, muestreos periódicos fueron realizados en regiones cítricas de Campeche, Yucatán y Quintana Roo. Se incluyeron plantaciones comerciales y de traspatio, plantaciones abandonadas y plantas de limonaria *Murraya paniculata* (L) Jack. Complementariamente se consideraron muestras tomadas por técnicos de los Comités Estatales de Sanidad Vegetal. Muestras de suelo cebadas con larvas de *Galleriamellonella* para el aislamiento de hongos entomopatógenos complementaron la metodología. El aislamiento e identificación se desarrolló en el Laboratorio de Entomología del CIIDIR-IPN en Jiquilpan, Michoacán. La confirmación fue hecha por el Dr. Richard Humber, curador de la colección de hongos entomopatógenos del USDA. Se registraron 18 aislamientos de hongos entomopatógenos asociados a *D. citri*, en su mayoría conformados por la especie *Hirsutella citrififormis* Speare. Otra especie aislada del psilido fue *Beauveria bassiana* Vuill., registrada en Rovirosa, Q. R. *B. bassiana*, *Metarhizium anisopliae* y *Lecanicillium* sp., fueron aislados de muestras de suelo. Los resultados muestran que existe potencial de aislamientos regionales de hongos entomopatógenos para el manejo de *D. citri*. Su uso mediante incremento es el más sugerido; pero quizá, de mayor importancia sea la conservación e incremento en el campo, específicamente con *H. citrififormis*. Muestreos preliminares indican niveles de infección de ese hongo que variaron del 24 a > 80%; sin embargo, es necesario desarrollar trabajos más específicos.

Palabras clave: *Hirsutella citrififormis*, cítricos, Yucatán.

Abstract. Periodic samplings were carried out in citrus-growing regions in Campeche, Yucatán and Quintana Roo, from October of 2009 to October of 2010, to know the species of entomopathogenic fungi associated to *Diaphorina citri* in the Yucatán peninsula. Commercial crops, farmyards and abandoned orchards and plants of *Murraya paniculata* (L) Jack were included. Additionally, samples taken by technicians of the State Committees of Vegetal Health were considered. In the methodology soils samples with *Galleria mellonella* larvae for the isolation of entomopathogenic fungus were included. Isolation and identification were developed in the Entomology Laboratory of CIIDIR-IPN in Jiquilpan, Michoacán. The confirmation was done by Dr. Richard Humber, curator of the entomopathogenic fungi collection, USDA. 18 isolates of entomopathogenic fungi associated to *D. citri* were registered, in their majority conformed by the species *Hirsutella citriformis* Speare. Another isolated species of the psilido was *Beauveria bassiana* Vuill., registered in Rovirosa, Q. R. Also, *B. bassiana*, *Metarhizium anisopliae* and *Lecanicillium* sp. were isolated of soil samples. The results show that there is potential for regional isolates of entomopathogenic fungi for the management of *D. citri*. Its use through increase is the most suggested; but maybe, it is more important the conservation and enhancement in field, specifically with *H. citriformis*. Preliminary samplings indicate levels of infection of this fungus which ranged from 24 to > 80%; however, it is necessary to develop more specific studies.

Key words: *Hirsutella citriformis*, citrus, Yucatan.

Introducción

La reciente introducción a nuestro país y la ya amplia distribución del psilido asiático de los cítricos *Diaphorina citri* en la Republica mexicana ha motivado a los gobiernos federal y estatales a establecer estrategias para el control del psilido, pues además de los daños mecánicos, es el principal vector de la enfermedad HLB que ha causado grandes desastres en la citricultura mundial (Trujillo, 2009). El control químico es la herramienta de primera mano; sin embargo, su inconveniencia radica en el desarrollo de resistencia de la plaga, la eliminación de enemigos naturales y la resurgencia de plagas controladas biológicamente, tales como la mosca prieta *Aleurocanthus woglumi* Ashby y la escama algodonosa *Icerya purchasi* Maskell. Existe consenso de que una herramienta alternativa la constituye el control biológico de plagas, en donde los depredadores, parasitoides y hongos entomopatógenos son los principales a considerar (Meyer *et al.*, 2007).

Los hongos entomopatógenos son una de las principales herramientas del control biológico de plagas, principalmente cuando se trata de insectos chupadores como áfidos, mosca blanca y psilidos. Aunque algunos aislamientos han sido promisorios en el control de ninfas y adultos (Mellin-Rosas *et al.*, 2009) esos hongos no han sido aislados del psilido y su origen es diverso. Diversas especies de hongos entomopatógenos han sido aisladas de *D. citri*; entre ellas: *Lecanicillium lecanii*, *Paecilomyces (=Isaria) fumosoroseus*, *Beauveria bassiana* e *Hirsutella citriformis* (Hall, 2008; Avery *et al.*, 2009); sin embargo, en México pocos trabajos sobre exploración de hongos entomopatógenos asociados al psilido han sido desarrollados (Reyes-Rosas *et al.*, 2009). Dada la importancia de los hongos entomopatógenos en la regulación natural de *D. citri*, y la importancia de obtener aislamientos regionales, el objetivo del presente estudio fue el de explorar, aislar, identificar y conservar aislamientos de hongos entomopatógenos de las zonas cítrícolas de los tres Estados de la península de Yucatán, México, con énfasis en el psilido asiático de los cítricos *Diaphorina citri*.

Materiales y métodos

Trabajo de campo. Del 13 de octubre del 2009 al 9 de octubre del 2010 se realizaron muestreos en huertos cítrícolas de los tres estados de la península de Yucatán. En Total fueron 11 visitas.

- **Yucatán.** Se visitaron huertos bajo diferentes condiciones de edad y manejo. Las comunidades incluidas fueron: Oxcutzcab, Telchac Puerto, Telchac pueblo, Yobaín, Sucila, Tizimin y Kinchil. Se incluyeron también muestras proporcionadas por los técnicos de Sanidad Vegetal de Yucatán. En total se realizaron cuatro visitas, con un total de nueve muestreos.
- **Campeche.** En Cayal, se muestrearon plantaciones comerciales de naranja y huertos de limón persa de traspatio. En Castamay se inspeccionaron plantaciones comerciales de limón persa bajo diferentes condiciones de manejo: con control de maleza y enmalezadas. En el ejido Mucuychafán se muestrearon huertos de traspatio y setos de limonaria. En Nohacal se muestreo una plantación de limón persa asociado con maíz; adicionalmente, se incluyeron muestras de psilidos micosados proporcionadas por técnicos de Sanidad Vegetal.
- **Quintana Roo.** En Chetumal y sus alrededores se muestrearon huertos de traspatio y comerciales de limón persa y se incluyeron setos de limonaria. En Pucté se muestreo una plantación semi-abandonada de limón persa, con

presencia de maleza y árboles decadentes. De cada árbol se tomaron los cuatro puntos cardinales del árbol, en donde se tomó un brote de cada punto y en él se contabilizó el porcentaje de insectos micosados; los muestreos se estratificaron como: plantas de orilla (sin maleza) y plantas dentro de la plantación, con maleza. Otra plantación visitada fue Rovirosa (región selvática), en donde se realizó un muestreo para conocer los niveles de infección del hongo; en este caso, se estratificó con base a dos tipos de suelo (arcilloso Vs pedregoso) y condiciones del terreno (pendiente y plano).

Los muestreos fueron complementados con el apoyo del Ing. Antonio Borges Evia, técnico del Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Quintana Roo (CESVQR). Se muestrearon dos plantaciones: Pucté y Rovirosa (selvática), 15 árboles y seis brotes por árbol. Se registró el número de insectos sanos y micosados, además de huevecillos y larvas de crisopa y chinches depredadoras de la familia Reduviidae. En los tres estados se tomaron muestras de suelo de la zona de goteo del árbol (N= 3 árboles) para el posible aislamiento de hongos entomopatógenos. La metodología utilizada se basó en la descrita por Lacey y Brooks (1997).

Trabajo de laboratorio. Las muestras de insectos micosados y de suelo se llevaron al laboratorio de entomología del CIIDIR-IPN, en Jiquilpan, Mich. para su análisis, aislamiento e identificación. Para el aislamiento del hongo se usaron dos procedimientos: a partir de insectos micosados y de muestras de suelo. El aislamiento a partir de insectos micosados se basó en la técnica descrita por Cortez *et al.* (2003).

El procesamiento de las muestras de suelo fue mediante dos técnicas: una consistió en colocar una porción de suelo dentro de cajas Petri junto con larvas de *Galleria mellonella* (N=6). Después de siete días se revisó la mortalidad y presencia de entomopatógenos sobre las larvas. Otra porción de suelo fue depositada en agua esterilizada y dispersada mediante un agitador magnético. Pequeñas alícuotas fueron sembradas en cajas Petri con medio de cultivo papa dextrosa agar (PDA). Ambos ensayos se mantuvieron a 25 ± 1 °C. Después de 15 días los hongos registrados fueron aislados, identificados parcialmente y conservados en tubos inclinados con agar dextrosa de sabouraud (ADS). La identificación se realizó mediante claves dicotómicas especializadas (Humber, 1997); sin embargo, para la confirmación de la especie se enviaron cultivos al Dr. Richard Humber, curador de la colección de hongos entomopatógenos del USDA.

Resultados y discusión

Colectas de Yucatán. La primera fecha de muestreo incluyó solo al estado de Yucatán y no se obtuvieron ejemplares micosados de *D. citri* en campo; sin embargo, de una muestra proporcionada por el Ing. Ricardo Munguia, gerente del Comité Estatal de Sanidad Vegetal-Yucatán se obtuvieron psilidos micosados. Aunque el aislamiento fue difícil (quizá por la baja viabilidad), con el apoyo del Dr. Humber se obtuvieron dos aislamientos del hongo *Hirsutella citriformis* (Cuadro 1). Las cepas fueron depositadas en la colección de hongos entomopatógenos del USDA con las claves ARSEF 9605 Y ARSEF 9606 y respectivos duplicados son conservados en el CIIDIR-IPN, Mich. (Figura 1). Adicionalmente, de un ejemplar del orden Hemiptera se aisló el hongo *Paecilomyces lilacinus*. Este hongo es un importante biorregulador de nematodos (Kerry, 2001); sin embargo, en nuestro caso se aisló de un hemíptero, por lo que bien pudiera ser evaluado contra el psilido *D. citri*. El hongo se conserva en la colección del USDA con la clave: ARSEF 9604 y un duplicado del aislamiento se tiene en las instalaciones del CIIDIR-IPN, Unidad Michoacán.

Durante la segunda visita (febrero) aunque se registró una alta incidencia de psilidos micosados, en ningún caso se lograron aislamientos. Por el aspecto del crecimiento micelial sobre el insecto, todo hace suponer que correspondieron a la especie *Hirsutella* sp. (Fig. 1A). En la visita de julio (lluvias) se registró también una alta ocurrencia de psilidos micosados, varios de ellos con desarrollo micelial reciente (Fig.1B). De esta visita se obtuvieron la mayoría de los aislados de Yucatán. Algo importante a destacar es la ocurrencia de altas poblaciones de depredadores, principalmente chinches de la familia Reduviidae (algunas depredando sobre el psilido). Tanto adultos como ninfas de chinches se observaron infectadas con hongos, correspondiente probablemente a *Hirsutella* sp. (Figura 2). Desafortunadamente no se logró obtener aislados en laboratorio.

Cuadro 1.

Hongos entomopatógenos aislados del estado de Yucatán.

Fecha	Comunidades	Cultivo	Muestras	Hongo
13-14/10/09	Oxcutzcab Cabche II	Naranja	Hemiptera	<i>Paecilomyces lilacinus</i>
	Telchac Puerto	Limón	<i>D. citri</i>	0
	Telchac pueblo	Naranja	<i>D. citri</i>	0
	Mérida *	Limonaria	<i>D. citri</i>	<i>Hirsutella</i> sp. (+)
25/02/10	Yobain	Limón persa	<i>D. citri</i>	<i>Hirsutella</i> sp.(+)
	Telchac pueblo	Limonaria	<i>D. citri</i>	<i>Hirsutella</i> sp.(-)
27/02/10	Tizimín	Limonaria	<i>D. citri</i>	<i>Hirsutella</i> sp.(-)
27//07/10	Yobaín	Limón persa	<i>D. citri</i>	<i>Hirsutella</i> sp.(+)
			Reduviidae	<i>Hirsutella</i> sp.(-)?
8/10/10	Kinchil	Naranja	Suelo	0

*Muestras proporcionadas por el Ing. Ricardo Munguía del CESVY. (+) Hongo aislado, (-) Hongo no aislado.

Con fines de manejo de hongos entomopatógenos es importante conocer los hospederos alternos, aspecto fundamental en la preservación y diseminación del hongo en campo; pero también, en la interferencia con otros agentes de control biológico de la plaga como es el caso de las chinches de la familia Reduviidae. Con fines de manejo en campo, existe necesidad de conocer hospederos alternos de *H. citriformis*.

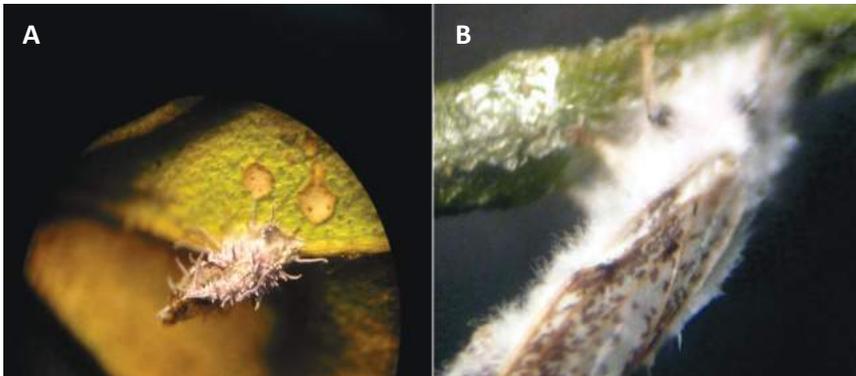


Figura 1. Desarrollo de aislamientos de *Hirsutella citriformis* obtenidos de *Diaphorina citri* de cítricos de la península de Yucatán, Méx.

A) Desarrollo micelial avanzado sobre el insecto, B) Desarrollo micelial inicial.



Figura 2. Adulto de chinche de la familia Reduviidae infectado probablemente por el hongo entomopatógeno *Hirsutella* sp. Yobain, Yucatán 2010.

Colectas de Campeche. Durante la primera visita (Cayal) que coincidió con la temporada seca, aunque se registraron insectos micosados, principalmente en huertos de traspatio, no se logró ningún aislamiento (Cuadro 2), probablemente por la edad de la infección (vieja). Se sabe que la radiación ultravioleta es uno de los principales factores que destruyen a los entomopatógenos (Ignoffo, 1992), principalmente cuando se encuentran sobre el follaje, tal como ocurre con los insectos micosados. De ahí la importancia de que sean colectas de reciente infección; por ejemplo, después de un periodo prolongado de lluvia (nortes). En la segunda visita, aunque las poblaciones de psilidos en las plantaciones inspeccionadas fueron bajas, tanto las muestras de las huertas de cítricos como los de limonaria mostraron infecciones recientes de hongos entomopatógenos, lo que permitió con relativa facilidad obtener aislamientos del hongo entomopatógeno *H. citriformis*. Nuevamente se registró lo que pareciera ser otro hospedero alternativo de *Hirsutella*, en este caso un díptero. Por el deterioro del desarrollo micelial no se logró su aislamiento (Cuadro 2). Este pudiera ser un indicio más de que *H. citriformis* presenta diferentes hospederos en los que puede permanecer y diseminarse en condiciones de campo, aspecto fundamental para el desarrollo de epizootias naturales.

Cuadro 2.

Aislamiento de hongos entomopatógenos obtenidos de diferentes regiones citrícolas del estado de Campeche.

Fecha	Comunidades	Cultivo	Muestra	Hongo
26/02/10	Cayal	Naranja Limón	<i>D. citri</i>	<i>Hirsutella</i> sp.(-)
28/07/10	Castamay	Limón persa	<i>D. citri</i>	<i>Hirsutella</i> sp.(+)
			Diptera?	<i>Hirsutella</i> sp.?(-)
	Mucuychafan	Limonaria	<i>D. citri</i>	<i>Hirsutella</i> sp.(+)
9/10/10	Nohacal	Limón-maíz	Suelo+ insecto	<i>Beauveria</i> sp.(+)
			<i>D. citri</i>	<i>Hirsutella</i> sp.(+)

(+) Hongo aislado, (-) Hongo no aislado.

Colectas de Quintana Roo. Durante la época seca (mayo) no se registraron insectos micosados, aun cuando se registraron poblaciones de *D. citri*. Sin embargo, de las larvas de *G. mellonella* expuestas a muestras de suelo de limonaria, se registraron hongos de las especies *Metarhizium* sp. y *Lecanicillium* sp. Desafortunadamente la segunda especie se perdió (Cuadro 3). No obstante que la primera visita a Q.R. fue más rápida que las realizadas a Campeche y Yucatán y que las condiciones no fueron las ideales para el registro de micosis en campo, la estrategia implementada con las muestras de suelo y los insectos vivos colectados, se aislaron hongos que no se habían registrado con anterioridad, tales como *Metarhizium* y *Lecanicillium*. Al igual que en los otros Estados la mayor riqueza de aislados fue registrada durante la temporada de lluvias (julio).

Tanto en la plantación de Pucté como en Rovirosa se registraron altas poblaciones de psilidos micosados, algunos con infecciones muy recientes, de modo que eso facilitó el aislamiento de entomopatógenos, principalmente de la especie *H. citrifomis*. La alta incidencia de *Hirsutella* fue congruente con las altas poblaciones de *D. citri*. Una evaluación preliminar de la incidencia del hongo sobre *D. citri* en las dos plantaciones contrastantes, sugiere que la incidencia fue mayor en la plantación con mayor humedad (Rovirosa) que en Pucté, supuestamente con menor humedad. Adicionalmente, árboles que presentaron cobertura vegetal (malezas) favorecieron también la incidencia del hongo, comparado con donde no la hubo. De igual modo, suelos pedregosos y con mayor pendiente presentaron menor incidencia del hongo que los suelos más arcillosos y planos, tal como ocurrió en Rovirosa (Cuadro 4).

Lo anterior se complementó con muestreos realizados por los técnicos de SV en Pucté y Rovirosa durante dos fechas del 2010. La mayor incidencia de psilidos micosados ocurrió en la plantación de Rovirosa (Figura 3). Algo importante

resaltar es que la plantación 2 (región selvática) se colecto un ejemplar infectado por un hongo diferente a *Hirsutella*. El entomopatógeno correspondió a la especie *Beauveria* sp. Este hongo presenta características particulares que indican un crecimiento vigoroso.

Cuadro 3.

Hongos entomopatógenos aislados de áreas cítricas de Quintana Roo. 2010.

Fecha	Comunidades	Cultivo	Muestras	Hongo
15/05/10	Chetumal	Limonaria	<i>D. citri</i> (vivos)	<i>Lecanicillium</i> sp. (-) <i>Metarhizium</i> sp.(+)
			Suelo-galeria	<i>Lecanicillium</i> sp. (-)
30/07/10	Pucté	Limón persa	Suelo	0
		Limón persa	<i>D. citri</i>	<i>Hirsutella</i> sp.(+)
31/07/10	Rovirosa	Limón persa	<i>D. citri</i>	<i>Hirsutella</i> sp.(+)
3/09/10**	Pucté	Limón persa	<i>D. citri</i>	<i>Hirsutella</i> sp.(+)
	Rovirosa	Limón persa	<i>D. citri</i>	<i>Hirsutella</i> sp.(+)
13/09/10**	Pucté	Limón persa	<i>D. citri</i>	<i>Hirsutella</i> sp.(+)
	Rovirosa	Limón persa	<i>D. citri</i>	<i>Hirsutella</i> sp.(+)

**Muestras proporcionadas por el Ing. Antonio Borges Evia del CESVQR (+) Hongo aislado, (-) Hongo no aislado.

Cuadro 4.

Porcentajes de infección del hongo *Hirsutella* sp. en adultos de *D. citri* en dos plantaciones contrastantes de cítricos de Quintana Roo.

Plantación	Característica	Suelo	Infección (%)
1(Pucté)	Enmalezada	arcilloso	52.35 (n=5)
	Sin maleza	arcilloso	24.70 (n=5)
2 (Rovirosa)	Plano	Arcilloso negro (> humedad)	57.18 (n=6)
	Ladera	Pedregoso (< humedad)	40.51(n=5)

Descripción de aislamientos de *Hirsutella citrifomis*. Las características morfológicas de algunos de los aislamientos de *H.citriformis* en medio de cultivo fueron: colonias de lento crecimiento, con una media de 5 cm de dm después de 1 mes de cultivo en Papa Dextrosa Agar a 25 °C. Meyer *et al.* (2007) encontraron un desarrollo de 3.5 cm 21 días después. Al inicio, el hongo es de color blanco algodonoso y grisáceo después, con elevaciones y estrías radiales y transversales. Conforme desarrolla la colonia (alrededor de 1 mes), se empieza a notar la presencia de sinemas parecidos a los observados en el insecto, primero en el centro, pero mayormente en los bordes de la colonia. Con la edad, algunos sinemas se bifurcan

en una o varias ramas. El reverso de las colonias en caja Petri es de color amarillento, con el centro más oscuro y las estrías longitudinales visibles. Bajo el microscopio se observan conidios solitarios (parecidos a fósforos), eventualmente se observaron en micelio y en mayor cantidad en los sinemas (Figura 4).

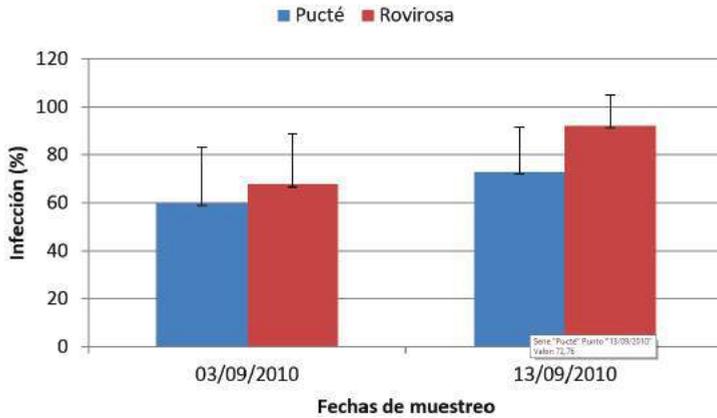


Figura 3. Incidencia de *Hirsutella citriformis* sobre poblaciones de *D. citri* en dos plantaciones con condiciones diferentes. Pucté (Menor precipitación) Vs Rovirosa (Mayor precipitación).

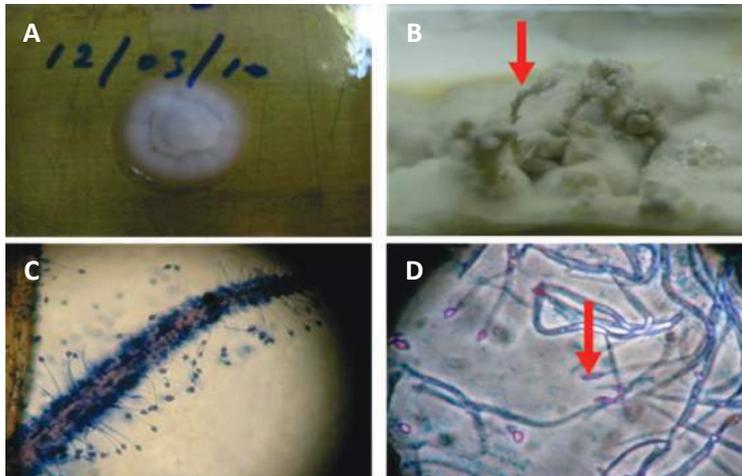


Figura 4. Diferentes estados de desarrollo de *Hirsutella citriformis* en medio de cultivos. A) Desarrollo micelial, B) Desarrollo de sinemas, C) Conidioforos y conidios sobre sinemas y D) Conidioforos y conidios en micelio.

Diversas especies de hongos entomopatógenos han sido aisladas de *D. citri*; entre ellas: *Lecanicillium lecanii*, *Paecilomyces (=Isaria) fumosoroseus*, *Beauveria bassiana* e *Hirsutella citriformis* (Hall, 2008; Avery *et al.*, 2009). El presente estudio permitió obtener alrededor de 18 aislamientos de hongos con potencial para el manejo de *D. citri*. 15 de *Hirsutella citriformis*, uno de *Paecilomyces lilacinus*, dos de *Beauveria* sp. y uno de *Metarhizium* sp. Solo *Hirsutella* sp. y *Beauveria* sp. se obtuvieron del psilido. Por alguna razón *Beauveria* es incapaz de infectar de manera natural altas poblaciones de psilidos. Lo anterior es importante dilucidar si pretendemos usar a *B. bassiana* como herramienta de manejo de *D. citri*. Varios de los aislamientos se obtuvieron de insectos colectados sobre limonaria *Murraya paniculata*, en huertos de traspatio y en huertos comerciales con bajo uso de plaguicidas. La alta incidencia del hongo *Hirsutella* en condiciones de campo, principalmente en esas plantaciones, hace pensar que el mejor uso del hongo por el momento es mediante estrategias de conservación, estrategia de control biológico sugerida en otras latitudes. Sin embargo, se requieren estudios bio-ecológicos del entomopatógeno y sus hospederos. Nunca registramos ninfas infectadas por hongos entomopatógenos no obstante que fue común el registro de adultos micosados con *H. citriformis*. Lo anterior ha sido señalado por otros autores, lo que explican es por el lento desarrollo de *H. citriformis* y el rápido desarrollo de las ninfas (Sajap, 1993); sin embargo, en condiciones de laboratorio se logró infecciones de ninfas con *H. citriformis*, lo que demuestra que la ninfa no es resistente al hongo (Meyer *et al.*, 2007).

Conclusiones

Después de un año de visitas a la península de Yucatán la mayor incidencia de hongos entomopatógenos sobre el psilido asiático de los cítricos ocurrió durante los periodos de lluvias (julio-octubre). El estado de Quintana Roo fue el que presentó las mejores condiciones para la incidencia y tal vez la prevalencia de hongos entomopatógenos. En esta región, además de *Hirsutella* se registró el hongo *Beauveria* sp., lo que posiblemente constituye un nuevo registro para México. No obstante que durante las épocas secas se registraron bajas poblaciones de *D. citri*, las muestras de suelo de la base de los árboles y los insectos vivos colectados permitieron obtener aislados de hongos relacionados con especies entomopatógenas. La especie de hongos entomopatógenos aislados de *D. citri* en la península de Yucatán fueron *H. citriformis* y *B. bassiana*. Otros aislamientos de cítricos incluyeron: *Paecilomyces lilacinus*, *M. anisopliae*, *B. bassiana* y *Lecanicillium* sp. *H. citriformis* fue la especie más frecuentemente asociada a *D. citri* y causó los mayores niveles de infección en campo.

Agradecimientos

Al Colegio de Postgraduados por el apoyo económico mediante el proyecto COLPOS PM09-4002. A los Comités estatales de Sanidad vegetal de Yucatán, Campeche y Quintana Roo por los apoyos recibidos durante las visitas realizadas.

Literatura citada

- Avery, P.B., Hunter, W.B., Hall, D.G., Jackson, M.A., Powell, Ch.A., Rogers, M.E. 2009. *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae) infection and dissemination of the entomopathogenic fungus *Isaria fumosoroseus* (Hypocreales: Cordycipitaceae) under laboratory conditions. Florida Entomologist 92(4):608-618.
- Cortez-Madrugal, H.; Alatorre-Rosas, R; Mora-Aguilera, G.; Bravo-Mojica, H.; Ortiz-García, C.F., Aceves-Navarro, L.A. 2003. Characterization of multisporic and monosporic isolates of *Lecanicillium* (=Verticillium) *lecanii* for the management of *Toxoptera aurantii* in cocoa. Revista Biocontrol (48):321-334.
- Hall, D.G. 2008. Biological control of *Diaphorina citri*. I taller internacional sobre huanglonbing de los cítricos (*Candidatus liberibacter* spp.) y el psilido asiático de los cítricos (*Diaphorina citri*) Hermosillo, Son., México. pp:1-7.
- Humber, R.A. 1997. Fungi: identification. In: Lacey, L. A. y Harry K. Kaya (eds.). Manual of Techniques in Insect Pathology. Academic Press. USA. Yakima Agricultural Research Laboratory. pp: 153-185.
- Ignoffo, C.M. 1992. Environmental factors affecting persistence of entomopathogens. Florida Entomol 75(4):516-525.
- Kerry, B.R. 2001. Exploitation of the nematophagous fungal *Verticillium chlamydosporium* Goddard for the biological control of Root-knot nematodes. In: Butt, T.M., Jackson C.W., Magan, N. (eds.) Fungi as biocontrol agents. Progress, problems and potential. CABI Publishing. Wallingford, Oxon, UK. pp. 155-167.
- Lacey, L.A., Brooks, W.M. 1997. Initial handling and diagnosis of diseased insects. In: Lacey, L. A., Harry K. Kaya (eds.). Manual of Techniques in Insect Pathology. Academic Press. USA. Yakima Agricultural Research Laboratory. pp. 1-12.
- Mellin-Rosas, M.A., Sanchez-Gonzalez, J.A., Fabela-Rojas, G., Cruz-Avalos, A.M., Arredondo-Bernal, H. 2009. Selección de cepas de hongos entomopatógenos como agentes de control microbiano de ninfas y adultos de *Diaphorina citri* (Hemiptera: psyllidae). Memorias del XXXII Congreso Nacional de Control

- Biológico. Villahermosa, Tab. pp:410-415.
- Meyer, J.M., Hoy, M.A., Boucias, D.G. 2007. Morphological and molecular characterization of *Hirsutella* species infecting the asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae), in Florida. *Journal of Invertebrate Pathology* 95:101-109.
- Reyes-Rosas, M.A., Lopez-Arroyo, J.I., Loera-Gallardo, J. 2009. Presencia del hongo entomopatígeno del psilido asiático de los cítricos *Diaphorina citri*, en Rio Bravo, Tamaulipas, México. *Memorias del XXXII Congreso Nacional de Control Biológico*. Villahermosa, Tab. pp.420-425.
- Sajap A. S.1993. Prevalence of an Entomopathogenic Fungus, *Hirsutella citriformis* on *Leucaena* Psyllid, *Heterapsylla cubana*, in Malaysia. *Pertanika J. Trap. agric. Sci.* 16(2): 95-99.
- Trujillo A., J. 2009. Acciones nacionales de la SAGARPA para proteger a la citricultura del HLB. Taller internacional sobre plagas cuarentenarias de los cítricos. SAGARPA, NAPPO. Villahermosa, Tab.

Patogenicidad de aislados de *Metarhizium anisopliae* sobre *Aeneolamia* spp. en el estado de Tabasco, Mexico

Pathogenicity of *Metarhizium anisopliae* isolates against *Aeneolamia* spp. in Tabasco state, Mexico

Bautista Galvez Arely^{1,2}, Juan F. Barrera², Emeterio Payró de la Cruz³, Sergio Salgado García⁴, Jaime Gómez Ruiz² y Juan Florencio Gómez Leyva⁵.

¹Universidad Tecnológica del Usumacinta, Libramiento Glorieta, Carretera E. Zapata-Tenosique Km.1. Colonia Las Lomas C.P. 86901 Emiliano Zapata, Tabasco, México, Fax: 9343435690. ²El Colegio de la Frontera Sur, Carretera Antigua Aeropuerto km 2.5, Tapachula, 30700, Chiapas, México. ³Instituto Tecnológico de la Zona Olmeca, Tabasco, México. ⁴Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, Tabasco, México. ⁵Instituto Tecnológico de Tlajomulco, Jalisco, México.

*Email: arelybautistagalvez@yahoo.com.mx.

Resumen. Se evaluó la patogenicidad de 12 aislados de *Metarhizium anisopliae* (Metchnikoff) Sorokin en adultos de *Aeneolamia* spp (Walker) (Hemiptera: Cercopidae) colectados en plantaciones de caña de azúcar. La concentración probada fue de 1×10^8 conidias/ mL⁻¹. La mortalidad de los aislados de *Metarhizium anisopliae* en *Aeneolamia postica* fluctuó de 5 a 55% con una diferencia significativa en los aislados de 0.05 % (F = 5.74, p < 0.01). La aplicación de estos aislados como un manejo integrado de plagas es discutida en este artículo.

Palabras clave: hongos entomopatógenos, control biológico, *Aeneolamia* spp.

Abstrac. Was evaluated the pathogenicity of twelve isolates *Metarhizium anisopliae* (Metchnikoff) Sorokin in sugarcane frog hopper *Aeneolamia* spp (Walker) (Hemiptera: Cercopidae) collected of sugarcane fields. The insects were treated with a 1×10^8 conidia mL⁻¹ solution of each isolate. Mortality of *M. anisopliae* isolates on *Aeneolamia postica* adults ranged from 5 to 55 % There were significant differences as regards *A. postica* mortality of isolates of 0.05 % (F = 5.74, p < 0.001). The application in fields of isolates *Metarhizium anisopliae* as an integrated handling of plagues is discussed in this article.

Key words: entomopathogenic fungal, biological control, *Aeneolamia* spp.

Introducción

La caña de azúcar dio origen a un sistema agroindustrial que ocupa un lugar preponderante y trascendente en la actividad económica y social de México, de tal manera que hoy es la agroindustria más importante (Bautista y González, 2005). Sin embargo, la producción y calidad de la caña de azúcar se ve limitada, debido a que los costos de producción se elevan y el impacto negativo al ambiente se incrementa por la aplicaciones de plaguicidas destinados al control de sus principales plagas, siendo la mosca pinta o salivazo (*Aeneolamia spp* (Walker)) (Hemiptera: Cercopidae) la más perjudicial en extensas áreas en los litorales del golfo de México y del océano Pacífico.

La mosca pinta es una de las principales plagas de la caña azúcar en la región de los Ríos del estado de Tabasco, México. En estado adulto esta plaga provoca reducciones en la producción hasta del 30%, ocurriendo la infestación de la plaga entre los meses de junio a octubre. Por lo que el productor se ve obligado a realizar hasta tres aplicaciones de insecticidas para el control. El uso de hongos entomopatógenos como *Metarhizium anisopliae* (Metchinikoff) Sorokin (Hypocreales: Clavicipitaceae) es una alternativa de control biológico (Zimmermann, 2007). Sin embargo, es importante determinar la patogenicidad de los hongos entomopatógenos en función del poder agresivo del patógeno (Robertson *et al.*, 2007), para ello se requiere tener en el estado de Tabasco un aislado nativo y una concentración recomendada para el control de *A. postica* en el cultivo de caña de azúcar. Por lo que el objetivo del presente estudio fue evaluar la patogenicidad de aislados de *Metarhizium anisopliae* del estado de Tabasco en estado adulto de *Aeneolamia spp* bajo condiciones de laboratorio.

Materiales y métodos

Localización de la muestra. Se realizaron muestreos en la región de los Ríos del estado de Tabasco con la finalidad de coleccionar cepas de *M. anisopliae* en plantaciones de caña que abastecen al Ingenio AZSUREMEX S.A. de C.V., localizado en el km 2 de la carretera La Palma, del municipio de Tenosique, Tabasco, México. Ubicado geográficamente entre 17° 25' LN y 91° 24' LO y altitud de 60 msnm. La temperatura, precipitación y humedad relativa promedio anual es de 26°C, 1595 mm y 83%, respectivamente. Los muestreos se realizaron entre los meses de septiembre y diciembre de los años 2007 y 2008. La toma de muestras de suelo se realizó de acuerdo con la técnica propuesta por Alameida *et al.* (1997); que

consistió en tomar cinco submuestras de 0.5 kg de suelo cerca de la rizosfera del cultivo, en los primeros 10 cm de profundidad, con distribución “cinco de oros” y distantes de 5.0 cm entre las muestras. Las muestras de suelo se colocaron en bolsa de plástico y se trasladaron al laboratorio de Biotecnología de la Universidad Tecnológica del Usumacinta, en cajas de nieve seca a temperatura de 4°C. Al mismo tiempo se colectaron insectos que se encontraban micosados en las plantas de caña de azúcar en campo.

Aislamiento. Para el aislamiento de *M. anisopliae* presente en el suelo se usaron larvas de la polilla mayor de la cera (*Galleria mellonella* L.) (Lepidoptera: Pyralidae) (Vanninen, 1997). Como primer paso, las muestras de suelo se tamizaron con un cedazo de malla metálica de 2.0 mm de abertura. Enseguida se tomaron 300 g de suelo, los cuales se humedecieron al 80 % y se colocaron en un vaso de plástico de 500 mL. Después se introdujeron cinco larvas de *G. mellonella* por vaso, sellándolas con cinta adhesiva e incubándolas por siete días a 25 °C (Oberski y Tribe, 1980). Transcurrido el tiempo de incubación, las larvas se removieron y recuperaron para su observación. Las larvas muertas micosadas se recolectaron, separaron del suelo y se desinfectaron superficialmente con hipoclorito de sodio (NaClO) al 5% durante un minuto y alcohol al 70% por cinco segundos. Después se enjuagaron tres veces en agua destilada estéril en tres diferentes recipientes, removiendo el exceso de agua con papel higiénico. Por último, las larvas se colocaron en placas de petri de 100 mm x 15 mm, con una capa doble de papel filtro húmedo a las mismas condiciones de incubación antes citadas para favorecer el desarrollo de hongos (Hatting *et al.*, 1999). Cada 24 h, cada uno de los insectos micosados fue observado al microscopio estereoscópico para detectar las áreas de mayor esporulación. Los insectos micosados fueron manejados de la misma manera que se trataron las larvas de *G. mellonella* micosada. Los hongos se identificaron considerando las estructuras reproductivas de cada uno de ellos, de acuerdo con las claves de Tulloch (1976).

Insectos. Los insectos en estado adulto se colectaron en cultivos de caña de azúcar de las 06:00 y 09:00 h con una malla entomológica, para posteriormente se transportaron al laboratorio en frascos de 500 mL con perforaciones en la tapa superior para permitir la ventilación. Los insectos de *Aneolamia* se alimentaron con pasto de la variedad Chontalpo durante el desarrollo del experimento.

Aislados de *Metarhizium anisopliae*. Los 12 aislados de *M. anisopliae* (Tabla 1) fueron comparados con una cepa estándar (Control), proporcionada por el laboratorio “Tiemelonlà Nich Klum” localizado en Palenque, Chiapas y un tratamiento testigo que consistió de agua destilada estéril + coadyuvante (Inex, 2

alícuotas L⁻¹). Empleando cuatro repeticiones por tratamiento. Los aislados fueron cultivados en PDA (Agar Dextrosa y Papa) por 14 d a 28°C en completa oscuridad (Bruck *et al.*, 2005), con humedad relativa del 80%. Las conidias fueron cosechadas, la viabilidad de las esporas fue determinada para desarrollar cada bioensayo y la concentración de las esporas ajustadas (Goettel y Inglis, 1997). La patogenicidad se determinó utilizando un prototipo de caja donde se colocaron 10 insectos para cada unidad experimental. Los insectos fueron sumergidos en una concentración de 1x10⁸ conidios/mL⁻¹ por aislado, contenida en cajas petri durante 30 s. Los datos se registraron a las 24 h de haber iniciado el experimento. Los adultos muertos fueron removidos e incubados a 25 ±1°C en cámara húmeda para observar el desarrollo y producción conidial del hongo y corroborar la especie inoculada. Para el análisis de los datos se usó el software Minitab Inc 2007 mediante un análisis de varianza (ANOVA) y la comparación de medias se realizó con la prueba de comparación de medias de Tukey para determinar si había diferencias entre medias de los tratamientos.

Tabla 1.

Aislados de *Metarhizium anisopliae* usados en este estudio

Código de Aislamiento	Hospedante	Procedencia	Año de colecta
MM0801	<i>A. spp</i>	Tabasco	2008
AD0702	<i>G. mellonella</i>	Tabasco	2007
AD0803	<i>G. mellonella</i>	Tabasco	2008
CD0804	<i>G. mellonella</i>	Tabasco	2008
FC0805	<i>G. mellonella</i>	Tabasco	2008
FC0706	<i>G. mellonella</i>	Tabasco	2007
AS0807	<i>G. mellonella</i>	Tabasco	2008
GB0808	<i>A. spp</i>	Tabasco	2008
L0909 ¹	<i>A. spp</i>	TiNK	Desconocido
BC0710	<i>G. mellonella</i>	Tabasco	2007
SF0811	<i>G. mellonella</i>	Tabasco	2008
M370 ²	<i>A. postica</i>	CNRCB	1994
M372 ²	<i>A. postica</i>	CNRCB	Desconocido

¹*Metarhizium anisopliae* isolate provided by the “Tiemelonlà NichKlum” laboratory located in Palenque, Chiapas, Mexico. ² CNRCB = Centro Nacional de Referencia en Control Biológico, Tecomán, Colima, México.

Resultados y discusión

Se encontró que existe diferencia significativa, a las 24 h después haber aplicado el hongo a *Aeneolamia* spp (F: 5.74 \geq 12, 39; P < 0.001). Todos los aislados presentan patogenicidad en un rango de 5.0 a 55.0 %. En Seis de los aislados fue significativamente mayor mortalidad en *A. spp* que el testigo, por lo que son candidatos promisorios para pasar a una segunda etapa del proceso de selección donde se realicen las pruebas de virulencia (concentración y tiempo letal cincuenta). La prueba de Tukey ($p < 0.05$) mostró que los aislados con mayor patogenicidad fueron AD0702 con un porcentaje de 55.0 %, seguido por el aislado AD0803 (52.5 %), los dos provenientes de suelo y el aislado MM0801 que presentó un porcentaje de patogenicidad del 50.0 % obtenido de *A. spp* y el aislado CD0804 con 45.0 %, BC0710 con 42.5 % y SF0811 con 27.5 % de patogenicidad, respectivamente, obtenidos del suelo y el control con una patogenicidad del 0.0% (Figura.1).

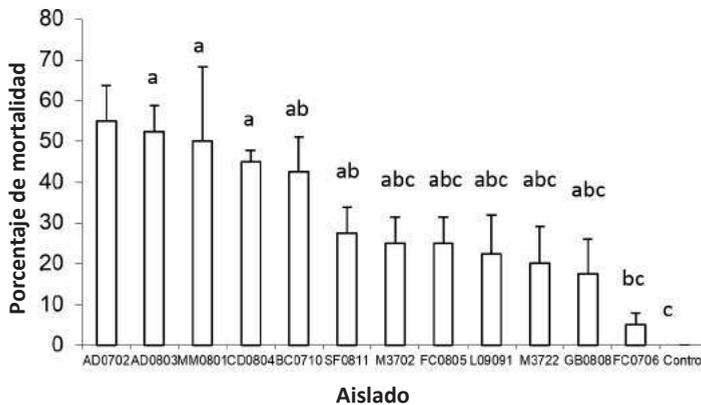


Figura 1. Porcentaje de mortalidad en *Aeneolamia postica* con aislados de *Metarhizium anisopliae* a concentración de 1×10^8 conidias/ml⁻¹. Medias con la misma letra no son diferentes (Tukey al 5%).

El presente estudio demostró que los aislados nativos de *Metarhizium anisopliae* de la región de los Ríos del estado de Tabasco son patogénicos en *Aeneolamia spp*. Sin embargo, las aplicaciones de *M. anisopliae* podría nunca proveer el 100% del control, este debe ser como una herramienta adicional en un programa de manejo integrado (Bruck et al., 2005). La selección de estos aislamientos nativos permite contar con un método de control para *Aeneolamia*. Finalmente, para futuras investigaciones es necesario conocer la dosis letal de estos aislados para *Aeneolamia spp*.

Conclusiones

En conclusión los aislados de *M. anisopliae* del estado de Tabasco son patogénicos a *Aeneolamia* a una concentración de 1×10^8 conidias/mL⁻¹. El uso de estos aislamientos nativos presenta una alternativa ecológica sustentable para el control de plagas en caña de azúcar. Sin embargo, es preciso continuar con estudios que nos permitan un mayor entendimiento en campo de la patogenicidad de estos aislados con diferentes plagas.

Agradecimientos

Se agradece al Fondo-Mixto CONACYT-Gobierno del Estado de Tabasco por el financiamiento del Proyecto TAB-2007-C09-74101, el cual provienen los resultados del presente estudio. También se agradece a Javier Valle Mora por el soporte estadístico, y en especial a los productores cañeros de la región de los Ríos del estado de Tabasco por haber proporcionado información de sus cultivos.

Literatura citada

- Almeida J.E., Alves. M.S.B, Pereira. R.M. 1997. Selection of *Beauveria* spp. isolates for control of the termite *Heterotermes tenuis*. Journal of Applied Entomology 121: 539-543.
- Bautista G. A., González C. N. 2005. *Metarhizium anisopliae* en mosca pinta en caña de azúcar. Universidad y Ciencia 41:37-40.
- Bruck J.D., Snelling E.J., Dreves J.A., Jaronski T.S. 2005. Laboratory bioassays of entomopathogenic fungi for control of *Delia radicum* (L.) larvae. Journal of Invertebrate Pathology 89: 179-183.
- Goettel S.M., Inglis D.G. 1997. Fungi: Hyphomycetes, In: A.L. Lacey (ed.), Manual of Techniques in Insect Pathology. Academic Press. San Diego. pp: 213-244.
- Hatting L. J., Humber, R.A., Poprawski, T.J., Miller, R.M. 1999. A survey of fungal pathogens of aphids from South Africa, with special reference to cereal aphids. Biological Control 16:112.
- Minitab Inc. 2007. User's guide: Statistical software, v. 15. State College, PA. Minitab Inc.
- Oberski T. 1980. Isolation of entomopathogenic fungi from elm bark and soil with reference to ecology of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae*. Trans. Br. Micol. Soc. 74:95-100

- Robertson J.L., Rusell R.M., Preisler H.K., Savin N.E. 2007. Biossays with arthropods. CRC Press, Boca Raton. 21p.
- Tulloch, M. 1976. The genus *Metarhizium*. Transactions of the British Mycological Society 66: 407- 411.
- Vanninen I. 1997. Distribution and occurrence of four entomopathogenic fungi in Finland: Effect of geographical location, habitat and soil type. Mycological Research 91: 93-101.
- Zimmermann G. 2007. Review on safety of the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae*. Biocontr. Sci. Tech. 17: 879-920.

Patogenicidad de *Phytophthora* spp. en aguacate mexicano *Persea americana* Mill. var. *drymifolia* (Schltdl. & Cham.) S.F. Blake

Patogenicity of *Phytophthora* spp. in mexican avocado *Persea americana* Mill. var. *drymifolia* (Schltdl. & Cham.) S.F. Blake

Lara Chávez Ma. Blanca Nieves*, Teresita del Carmen Ávila Val, José Luis Morelos Reyes, Luis Enrique Pacheco Banda, Héctor Guillén Andrade y Margarita Vargas Sandoval.

Facultad de Agrobiología "Presidente Juárez", Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH). Paseo Lázaro Cárdenas esquina con Berlín s/n, Uruapan, Michoacán, México. CP 60010. *Email: blara12001@yahoo.com.mx

Resumen. El objetivo de esta investigación fue determinar la patogenicidad de diferentes cepas del género *Phytophthora*, colectadas en huertos de la franja aguacatera de Michoacán, inoculadas en plántulas de aguacate mexicano *Persea americana* Mill. var. *drymifolia* (Schltdl. & Cham.) S.F. Blake para identificar plantas resistentes a pudrición radicular. Se emplearon siete cepas de *Phytophthora* colectadas de árboles con síntomas de tristeza del aguacatero: las cepas con clave de cepario TGmPc (*Phytophthora cinnamomi* Rands) y TGm sp1 (*Phytophthora* sp.1) en el huerto "El Mesón" del municipio de Tingambato; las cepas UPcPc (*Phytophthora cinnamomi*), UPcP sp1 (*Phytophthora* sp.1) y UPcPsp2 (*Phytophthora* sp. 2) en los huertos "Choromo"; UPsPc (*Phytophthora cinnamomi*) en "El Salto" y UPjPB (*Phytophthora boehmeriae*) en la Facultad de Agrobiología de la UMSNH del municipio de Uruapan. Las plántulas tenían seis meses de edad. La patogenicidad fue evaluada mediante la virulencia de las cepas y la severidad de la enfermedad. Los resultados obtenidos indicaron que todas las cepas mostraron ser patogénicas, con variación en su virulencia y severidad de la enfermedad. El inicio de los síntomas de la enfermedad se produjeron desde las 43 hasta las 100 horas. Por otra parte 71% de las cepas presentaron severidad intermedia de la enfermedad, mientras que el 1% produjo la muerte de las plántulas de aguacate en 192 horas que fue el tiempo de evaluación.

Palabras clave: *Phytophthora* spp, plántulas, aguacate, patogenicidad, virulencia severidad

Abstract. The purpose of this research is to determine the pathogenicity of several isolated stumps of *Phytophthora* gender, which were gathered from avocado orchids place of Michoacán, Mexico and inoculated in young Mexican avocado plants (*Persea americana*) Mill. var. *drymifolia* (Schltdl. & Cham.) S.F. Blake, to identify hardy plants to rot root. There were seven *Phytophthora* stumps collected from avocado sadness trees, from different places with a stain key each one; TGMPC (*Phytophthora cinnamomi* Rands) and TGM SP1 key (*Phytophthora* sp.1) were from El meson Orchid in a Tingambato town. The UPcPc (*Phytophthora cinnamomi*), UPcP sp1 (*Phytophthora* sp.1), and UPcPsp2 (*Phytophthora* sp.2) from Choromo Orchid in Uruapan town. The UPsPc (*Phytophthora cinnamomi*) from El Salto orchid and UPjPB (*Phytophthora boehmeriae*) from Agrobiology School UMSNH in Uruapan town. The samples avocado plants were six months old. The pathogenicity was evaluated through the virulence of stain and the harshly sickness. The results show that stains were pathogenic to the plants with virulence and severity sickness variation. The first symptoms were shown from 43 to 100 hours. In other way 71% percentage of the strains showed medium severity sickness, 1% produced death in young avocado plants in 192 hours during the time of the test.

Key words: *Phytophthora* spp., seedling, avocado, pathogenicity, virulence severity.

Introducción

La tristeza o pudrición radicular del aguacatero *Persea americana* Mill. var. *drymifolia* (Schltdl. & Cham.) S.F. Blake, causada por el oomycete *Phytophthora* spp., es reconocida como la enfermedad más destructiva e importante de este cultivo y ha sido un factor que limita la producción en países como México, Australia, Sudáfrica y Estados Unidos. Se reporta al menos una especie del oomycete como *Phytophthora cinnamomi* Rands, en todos los países en donde se produce aguacate, incluidas las Islas Canarias, el Caribe, América Central, Sudamérica, Fiji, Israel, Kenia, Marruecos, Filipinas, Portugal, España, Taiwán y África Occidental (Zentmyer *et al.*, 1994). En Australia antes de 1986, cerca del 10 % del total de los árboles adultos productivos morían cada año por la pudrición radicular en especial después de una temporada altamente lluviosa, así que la pudrición radicular deber ser controlada mediante la utilización de porta-injertos resistentes (Pegg *et al.*, 2007). En California, E.U.A., en la década de los 70s, este oomycete provocó la mayor pérdida en la historia de la industria aguacatera con una reducción en la producción del 40 %, que equivale a 30 millones de dólares anuales (Coffey, 1992). En Michoacán, México, en 1979 se reportaron 13 mil árboles dañados en suelos pobres en materia orgánica. En

1994, se detectó que la enfermedad estaba distribuida en suelos de tipo andosol en aproximadamente 100 mil árboles. En 1999 se encontraron 550 mil árboles enfermos, en los municipios de Uruapan, San Juan Nuevo, Tingüindín, Los Reyes, Tancítaro, Peribán y Ziracuaretiro, con pérdidas estimadas en alrededor de 640 millones de pesos (Vidales, 1999; Mora *et al.*, 2000). En la actualidad se encuentra distribuida en toda la franja aguacatera (Lara, 2008). La especie *P. cinnamomi* fue descrita por primera vez en 1922 por Rands, como agente causal del cancro del tallo de árboles de canelo en Sumatra y fue descubierto por primera vez en aguacate en Puerto Rico en 1929, donde causó una severa pudrición de las raíces (Tucker, 1929). Desde entonces se ha detectado en más de 70 países, con un amplio rango de hospederos cuyo número oscila en alrededor de mil especies (Zentmyer, 1980; Zentmyer, 1985; Erwin *et al.*, 1983; Weste, 1983; Hardham, 2005). El objetivo de esta investigación fue determinar la patogenicidad de diferentes cepas del género *Phytophthora* colectadas en huertos de aguacate de la franja aguacatera del estado de Michoacán, inoculadas en plántulas de aguacate mexicano var. *drymifolia* e identificar plantas resistentes a pudrición radicular.

Materiales y métodos

Material biológico empleado. Se emplearon siete cepas del género *Phytophthora* proporcionadas, por el Laboratorio de Fitopatología, de la Facultad de Agrobiología “Presidente Juárez” UMSNH las cuales fueron colectadas de árboles de aguacate con síntomas tristeza del aguacatero; del municipio de Tingambato, huerto “El mesón” las cepas con clave TGmPc (*Phytophthora cinnamomi* Rands) y TGmsp1 (*Phytophthora* sp.1), del municipio de Uruapan los huertos “Choromo”, UPcPc (*Phytophthora cinnamomi* Rands), UPcPsp1 (*Phytophthora* sp.1) y UPcPsp2 (*Phytophthora* sp.2), huerto “El Salto” UPsPc (*Phytophthora cinnamomi* Rands) y huerto “Facultad de Agrobiología UMSNH” UPJPB (*Phytophthora boehmeriae* Sawda). Para obtener las plántulas de aguacate se colectaron frutos maduros de un árbol mexicano var. *drymifolia*, con buenas características en cuanto a porte, vigor y tamaño de fruta, así como la sanidad de la misma, las semillas se sumergieron en agua caliente a 50°C durante 30 minutos, para eliminar posibles infecciones de microorganismos y mantener así su viabilidad, una vez transcurrido este tiempo se sumergieron en agua fría estéril para bajar la temperatura y se sembraron inmediatamente en el sustrato compuesto por suelo y Peatmoss (Ohr *et al.*, 1991), cuando tuvieron seis meses de edad se inocularon con las diferentes cepas del oomycete.

Técnica de Inoculación. La técnica usada fue la descrita por Ochoa (2000). Se pesaron 500 mg de micelio del oomycete, el cual fue sometido a una agitación forzada (agitador magnético) durante 5 minutos en 150 mL de agua destilada estéril, de ésta se tomaron alícuotas de 50 mL y se colocaron en frascos de cristal previamente esterilizados que contenían 100 mL de agua destilada estéril. Las raíces de las plantas fueron lavadas para eliminar los residuos del sustrato, una vez limpias, fueron sumergidas en los frascos que contenían la solución de cada una de las especies de *Phytophthora* spp.

Variable de respuesta. Las variables evaluadas para determinar la patogenicidad de las diferentes cepas del género *Phytophthora*, fueron la virulencia de las cepas y el grado de severidad de la enfermedad. La virulencia se determinó con base al tiempo (horas=h) en que las cepas ocasionaron la enfermedad en las plántulas de aguacate. La severidad de la enfermedad se determinó con base a la escala de Coffey (1991) modificada por Lara (2008) que consiste en Grado 1 (Flacidez), Grado 2 (Amarillamiento), Grado 3 (Marchitamiento con muerte de puntas) y Grado 3 (Muerte).

Reaislamiento del fitopatógeno. De las raíces de las plántulas de aguacate inoculadas con cada una de las cepas se hicieron aislamientos mediante técnicas fitopatológicas descritas por Zentmyer (1980), Erwin y Ribeiro (1996) y Street (1982), con la finalidad de determinar la relación del fitopatógeno aislado con el síntoma (Rivera, 2007; Agrios, 1991; Trigiano *et al.*, 2004).

Análisis de la información. Los datos de la virulencia de las cepas de *Phytophthora* spp., se sometieron a análisis de varianza y comparación de medias Tukey $\alpha = 0.05$. El diseño experimental utilizado fue un completamente al azar.

Resultados y discusión

El estudio de patogenicidad de las siete cepas del género *Phytophthora* inoculadas en plántulas de aguacate mexicano var. *drymifolia*, mostraron una gran variabilidad en cuanto a la virulencia y la severidad de la enfermedad; se observó flacidez, amarillamiento, marchitamiento, muerte de puntas y finalmente, la muerte de las plántulas; en todos los casos, coincidieron con los síntomas descritos por Coffey (1991), Lara (2008); Godinez y Rosales (2008); Erwin y Ribeiro (1996); Street (1982); Frezzi (1950); Pegg *et al.* (2007); Mora *et al.* (2007), para aguacate. Los

primeros síntomas se iniciaron 43 h después de la inoculación, estos resultados difieren de los obtenidos por Lara (2008) y Godinez y Rosales (2008), quienes al inocular plántulas de aguacate mexicano var. *drymifolia* con cepas de *P. cinnamomi*, observaron los primeros síntomas 12 h después de la inoculación. Las raíces de las plántulas inoculadas se necrosaron, tornaron quebradizas y la corteza se desprendió fácilmente, lo que concuerda con los síntomas descritos por Zentmyer, (1980); Erwin y Ribeiro (1996); Street (1982); Frezzi (1950); Pegg *et al*, (2007); Mora *et al*. (2007), en raíces de aguacate atacadas por *P. cinnamomi*, sin embargo los síntomas fueron similares para las otras especies del género *Phytophthora*, debido a que en todos los casos producen pudriciones radiculares (Erwin y Ribeiro, 1996; Romero, 1988). En todas las plantas inoculadas se aislaron nuevamente con facilidad cada una de las cepas inoculadas, similar a lo reportado por (Rivera, 2007; Zentmyer, 1980; Ochoa, 2000; Flores *et al.*, 2007; Tuset *et al.*, 2006; Sánchez, *et al.*, 2004) (Figura 1).

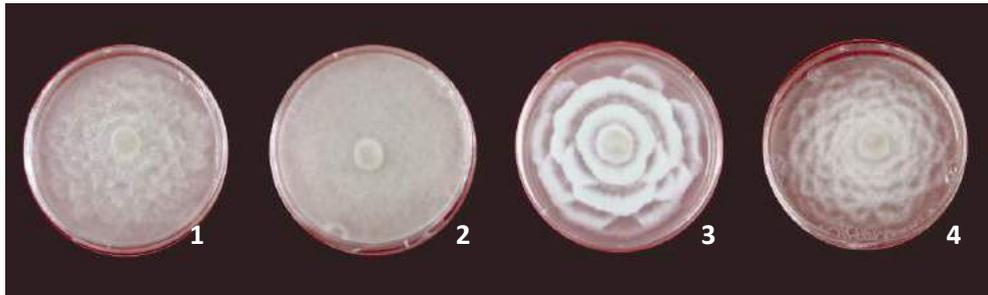


Figura 1. Cepas del género *Phytophthora* usadas en esta investigación: UPjPb (1); UPcPsp1 (2); UPcPsp2 (3); TGmPc (4).

Virulencia de las diferentes cepas del género *Phytophthora*. El análisis de varianza detectó diferencia altamente significativa ($P > 0.0001$); en las siete cepas de *Phytophthora*, colectadas en diferentes municipios del área aguacatera del estado de Michoacán. El tiempo transcurrido para que se presentaran los primeros síntomas en las plántulas de aguacate, fluctuó entre 43 y 100 h. La cepa con mayor virulencia fue la TGmPc, colectada en el municipio de Tingambato en el huerto “El mesón”, presentó los primeros síntomas 43 h después de la inoculación. Las cepas UPcPsp2 y UPsPc, fueron semejantes en su virulencia y presentaron los primeros síntomas a las 55 h, mientras que las cepas; UPcsp1, UPcPc y TGmsp, los presentaron en 69, 67 y 64 h respectivamente. La cepa UPjPb necesitó mayor tiempo para producir el síntoma en las plántulas de aguacate, 100 h. Los resultados obtenidos para esta variable son similares a los reportados por Lara (2008), y Lara y Guillén (2009)

quienes mencionan gran variación en el tiempo en que se producen los primeros síntomas en plántulas de aguacate mexicano var. *drymifolia*, que va de 12 a 144 h. Mientras que Flores *et al.* (2007) y Pérez *et al.* (2003), indican variación en la virulencia de cepas de esta especie inoculadas en plantas de aguacate mexicano y guatemalteco. Esta variación también ha sido reportada en otras especies vegetales inoculadas con especies del género *Phytophthora* por Dudzinski *et al.* (1993); Robin y Desprez-Laustau (1998); Linde *et al.* (1997), inclusive con cepas provenientes de la misma área geográfica (Huberli *et al.*, 2001; Figura 2).

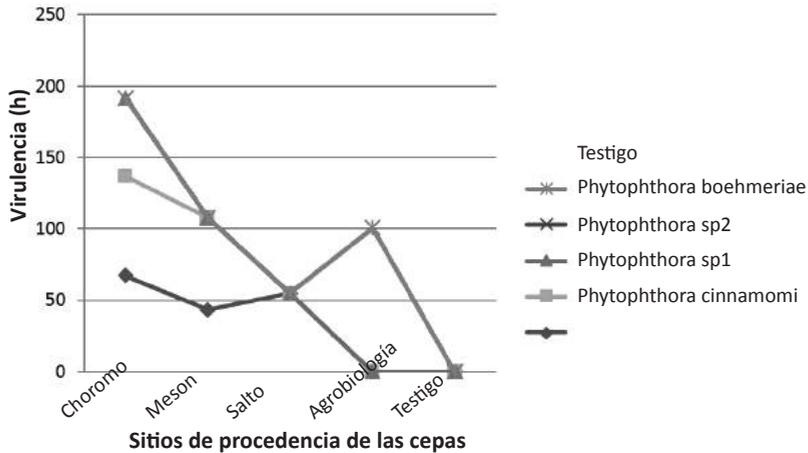


Figura 2. Grado de virulencia presentado por las diferentes cepas de *Phytophthora* inoculadas en plántulas de aguacate.

Severidad de la enfermedad. La severidad expresada mostró un efecto variable que dependió de la cepa inoculada en la plántula; la cepa UPjPB presentó una alta capacidad para producir la muerte de las plántulas de aguacate, equivale al Grado 4, en la escala de Coffey (1991), a las 192 h de ser inoculadas (Figura 3). Las cepas TGmPsp1, UPsPc, UPcPc, UPcPsp1 y TGmPc, fueron consideradas como un grupo intermedio de severidad de la enfermedad ya que los síntomas que presentaron las plántulas fueron amarillamiento y marchitamiento con muerte de puntas, (Grados 2 y 3 en la escala de Coffey, (1991). Las cepas que ocasionaron el síntoma de amarillamiento en las plántulas de aguacate fueron colectadas en los municipios de Tingambato TGmPsp1 y Uruapan UPsPc (Figura 3). Las cepas que provocaron marchitamiento y muerte de puntas en las plántulas de aguacate fueron UPcPc,

UPcPsp1; colectadas en el municipio de Uruapan y la cepa TGMpC colectada en el municipio de Tingambato (Figura 3). La cepa UPcPsp2, colectada en el municipio de Uruapan provocó la menor severidad, con sólo síntomas de flacidez en las plántulas de aguacate en este mismo periodo de evaluación (192 h) que equivalen al Grado 1 en la escala de Coffey (1991) (Figura 3).

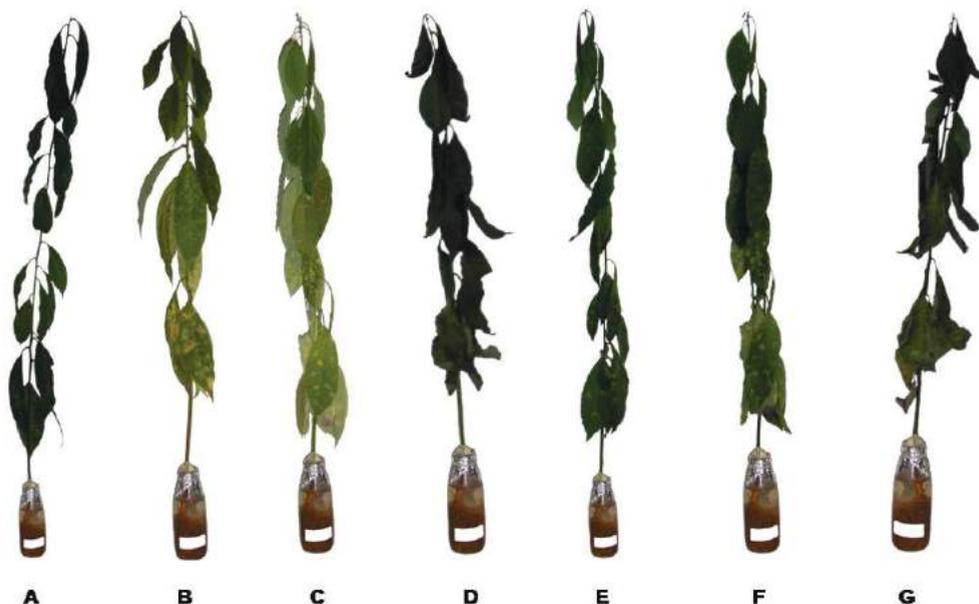


Figura 3. Síntomas observados en plántulas de aguacate inoculadas con cepas de *Phytophthora*. Grado 1. Flacidez A) UPcPsp2. Grado 2. Amarillamiento: B) TGMpSp1. C) UPsPc. Grado 3. Marchitamiento con muerte de puntas. D) UPcPc. E) UPcPsp1 E) y F) TGMpC. Grado 4. G) Muerte UPjPb.

Los resultados obtenidos para esta variable coinciden con los reportados para *P. cinnamomi* en aguacate por Huberli *et al.*, (2001); quien indicó que existe variabilidad en la severidad de la enfermedad y que pueden haber tres tipos de respuestas; la primera se da en cepas con alta capacidad para matar las plantas; en la segunda incluye a cepas que tardan más tiempo en causar la muerte y la tercera agrupa cepas que no producen la muerte de la planta por lo que son consideradas menos patógenas. Ochoa (2006), demostró la variación de cepas *P. cinnamomi* colectadas en la franja aguacatera del estado de Michoacán, e indicó que hubo variación en poblaciones a 60 km de distancia. Esta variación en patogenicidad ha sido reportada en Australia por Dudzinski, *et al.*

(1993); en Francia por Robin y Desprez-Laustau (1998) y en Sudáfrica por Linde *et al.* (1997) en colecciones nacionales de aislados de diferentes hospederos; aunque Dudzinski *et al.*, (1993) demostraron la variabilidad que puede haber en cepas aisladas de una sola área y encontraron una distancia de 2-3 veces la capacidad de provocar la muerte a las plantas de aguacate de entre 18 aislados, también compararon cepas con el gameto A2 provenientes de Australia con cepas provenientes de Francia y mostraron una diferencia de 5 veces en la capacidad de provocar la muerte a las plantas, lo que concuerda con los resultados obtenidos en el presente estudio. Flores *et al.* (2007), al inocular diferentes aislamientos de *P. cinnamomi* en tallos tiernos de aguacate de las variedades Anisada, Ettinger y Topa-topa demostraron que se presentan diferencias en cuanto al tiempo que tarda en ocasionar la lesión así como en el tamaño de la misma. Resultados similares se reportan en otras especies vegetales con diferentes especies del género *Phytophthora* (Dudzinski *et al.*, 1993; Robin y Desprez-Loustau 1998; Pérez *et al.*, 2003; Sánchez *et al.*, 2004).

Conclusiones

La virulencia de las cepas del género *Phytophthora*, presentó gran variación, fluctuó entre 43 y 100 h, para que se presenten los síntomas en las plántulas de aguacate. El 71 % de las cepas presentaron severidad intermedia de la enfermedad, mientras que el 1 % produjo la muerte de las plántulas de aguacate, en el tiempo de evaluación, 28 % restante mostró poca severidad

Literatura citada

- Agrios N. G. 1991. Fitopatología. LIMUSA. S. A. de C. V. México, D. F 756 p.
- Coffey M.D. 1991. Cause and diagnosis of avocado root rot. Avocado Grower. 3: 17-22.
- Coffey M.D. 1992. *Phytophthora* root rot of avocado. Pages 423-444 in: Plant Diseases of Fruit Crops. J. Kumar, H.S. Chaube, U.S. Singh, and A.N. Mukhopadhyay, Eds. Prentice Hall, EnglewoodCliffs, N.J. 456p.
- Dudzinski M. L., Old, K. M., Gibbs, R. J. 1993. Pathogenic variability in Australian isolates of *Phytophthora cinnamomi*. Australian Journal of Botany 17: 35-37.
- Erwin C. D., Bartnicki-García, S., Tsao, P. 1983. *Phytophthora*. Its Biology, Taxonomy, Ecology, and Pathology. American Phytopathological Society, St. Paul. Minn. 392 p.
- Erwin, C. D., Ribeiro, K. O. 1996. *Phytophthora* Diseases Worldwide. APS PRESS. The American Phytopathological Society St. Paul, Minnesota. 562 pp.

- Flores C., Fernández, V. B. A., Aguirre, C., Ridao, A. 2007. Supresión de la podredumbre radical del palto en un suelo de Jujuy, Argentina. Memoria. VI Congreso Mundial Palta Aguacate Avocado. Viña del Mar Chile. 116 p.
- Frezzi J. M. 1950. Las especies de *Phytophthora* en la Argentina. Revista de Investigaciones Agrícolas 4:47-133.
- Godínez R. L., Rosales J. M. 2008. Determinación de la patogenicidad de cepas de *Phytophthora cinnamomi* Rands en plántulas de aguacate raza mexicana. 45p.
- Hardham R. A. 2005. Pathogen prolife *Phytophthora cinnamomi*. Molecular Plant Pathology 6: 589-604.
- Hüberli D., Tommerup, I. C., Dobrowolski, M. P., Calver, C., Hardy, J.G.E.S. 2001. Phenotypic variation in a clonal lieage of two *Phytophthora cinnamomi* populations from Western Australia. Mycol. Res. 105 (9): 1053-1064.
- Lara Ch. M. B. N., Guillén A. H. 2009. Variabilidad patogénica de aislados de *Phytophthora cinnamomi* Rands en plántulas de aguacate variedad *Drymifolia*. En: Memorias III Congreso Latinoamericano del Aguacate. Medellin Colombia. 32-41 pp.
- Lara Ch. M. B. N. 2008. Variabilidad Fenotípica y Patogénica de *Phytophthora cinnamomi* Rands EN LA Franja Aguacatera de Michoacán, México. Tesis de Doctorado. Xalisco, Nayarit, México.
- Linde C., Drenth, A., Kemp, G. H. J., Wingfield, M. J., von Broembsen, S. L. 1997. Population structure of *Phytophthora cinnamomi* in south Africa. Phytopathology. 87: 822-827.
- Mora A., D. Téliz, G. Mora y Echevers J. 2000. Enfermedades de la raíz “La tristeza del aguacate”. En: El aguacate y su manejo integrado. Mundi Prensa. pp:158-168.
- Mora A., D. Téliz, O. D. G. Mora A. G., Echevers J. D. B. 2007. Tristeza del aguacatero (*Phytophthora cinnamomi*). El aguacate y su manejo integrado. Segunda Edición. Ediciones Mundi Prensa. pp: 192-202.
- Ochoa A. S. 2000. Resistencia inducida a *Phytophthora cinnamomi* en aguacate mexicano por acción del fosfito de potasio. Memorias Congreso Nacional de Egresados. pp:25-27.
- Ochoa F. Y. M. 2006. Variabilidad genética y patogénica de *Phytophthora cinnamomi* Rands en Michoacán, México. Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 104p.
- Ohr H. D., Zentmyer, G. A., Menge, J. A. 1991. Avocado root rot. University of California cooperative extension Publication 2440p.
- Pegg, K. G., Coates, L.M. Korsten, L., Harding, R. M. 2007. Enfermedades foliares del fruto y el suelo. En: El palto, Botánica, producción y usos. Wiley, A. W. Schaffer, B, y Wolstenholme, B. M. Ediciones Universitarias de Valparaíso. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso pp:275-309.

- Pérez J. M. R., Bonilla, Z. T., López, H. C. J. 2003. Podredumbres radiculares del aguacate en el sur de España: revisión y estado actual de la investigación. Proceedings V World avocado congress. pp:531-536.
- Rivera C. G. 2007. Conceptos Introductorios a la Fitopatología. EUNED. San José Costa Rica. 308p.
- Robin C., Desprez-Laustau, M. L. 1998. Testing variability in pathogenicity of *Phytophthora cinnamomi*. European Journal of Plant Pathology. 104: 465-475.
- Romero C. S. 1988. Hongos Fitopatógenos. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Texcoco Estado de México 347p.
- Sánchez M. E. Andicoberry S., Trapero A. 2004. Patogenicidad de *Phytophthora* spp., causantes de podredumbre radical de *Quercus ilex* spp., bellotas en viveros forestales. Biol. Sa. Veg. Plagas. 30: 385-401.
- Streets Sr. R. 1982. The diagnosis of plant diseases. A Field and Laboratory Manual Emphasizing the most practical methods for rapid identification. The University of Arizona Press Tucson. Arizona.
- Trigiano N. R., Windham, T. M., Windham. S. A. 2004. Plant pathology, concepts and Laboratory exercises. CRC PRESS. 413p.
- Tucker C. M. 1929. Report of the plant pathologist. Preport of the Puerto Rico. Agricultural Experiment Station. Rep. 1928: 29-35.
- Tuset J. J. Hinarejos, C. Mira, J. L., Cobos, J. M. 2006. Implicación de *Phytophthora cinnamomi* Rands en la enfermedad de la seca de encinas y alcornoques. Biol. San. Veg. Plagas. 22: 491-499.
- Vidales F. J. A. 1999. Acción de la solarización y de la materia orgánica en el control de la tristeza (*Phytophthora cinnamomi* Rands), del aguacate (*Persea americana* Mill cv Hass). Revista Chapingo Serie Horticultura. V: 255-259.
- Weste G. 1983. Population dynamics and survival of *Phytophthora*. In: *Phytophthora: Its Biology, Taxonomy, Ecology, and Pathology*. D. C. Erwin, S. Bartnicki-Garcia, and P. H. Tsao, eds. American Phytopathological Society, St. Paul, Minn. pp 237-257.
- Zentmyer G. A. 1980. *Phytophthora cinnamomi* and diseases it causes. In: Monograph No. 10. The American Phytopathological Society. 3340 Pilot Knob Road. Paul, Minnesota 55121. 96 p.
- Zentmyer G. A. 1985. Origin and distribution of *Phytophthora cinnamomi* Ca. Avocado Soc. Yearbook. 69: 89-94.
- Zentmyer G. A. Menge, J. A., Ohr, H. D: 1994. *Phytophthora* root rot. In: Ploetz, R. C., Zentmyer, G. A., Nishijima, W. T., Rohrbach, K. G., Ohr, H. D. (eds.) Compendium of tropical Fruits Diseases. The American Phytopathological Society. St. Paul Minnesota. pp:77-79.

Manejo integrado de la mosca pinta de la caña de azúcar (*Aeneolamia* spp.) en Veracruz, México

Integrated management of the sugarcane froghopper (*Aeneolamia* spp.) in Veracruz, México

Rodríguez Lagunes Daniel Arturo¹, José Velázquez Alonso², Adolfo Castillo Morán¹, Noé Aguilar Rivera¹, Nelson Milanés Ramos³ y Agustín Herrera Solano¹.

¹Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Km. 1 Carretera Peñuela Amatlan de los Reyes S/N. C.P. 94945, Córdoba, Veracruz México. ²Técnico del Grupo Beta San Miguel y Alumno egresado de la Maestría en Manejo y Explotación de los Agrosistemas de la Caña de Azúcar, Universidad Veracruzana, México. ³Investigador del Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar en Cuba. *Email: darodriguez@uv.mx

Resumen. El éxito del manejo integrado de *Aeneolamia* spp, en el área de influencia del Ingenio Constancia, S.A. de C.V., México, ha contribuido en la región central de Veracruz, al ser aceptado por el productor cañero, y ha comprometido a los Ingenios de la región para llevar a cabo las actividades propias de combate. Los objetivos de este trabajo permitieron describir las actividades realizadas del 2003-2009, que incluyen capacitación sobre aspectos técnicos-científicos, estudios desarrollados en el Ingenio, actividades realizadas en el manejo integrado de *Aeneolamia*, evaluación de la superficie dañada y análisis económico por año. Con el manejo integrado de la plaga se logró disminuir la superficie dañada del 66 al 26%, del 2003 al 2009, en el 40% de la superficie tratada del Ingenio. Asimismo, los costos por hectárea, se hicieron eficientes, mostrando una disminución desde \$787 a \$367 por hectárea, de acuerdo al número de actividades realizadas, en este mismo periodo. Los métodos de control propuestos y utilizados en la estrategia de manejo integrado de los diferentes estados biológicos de la plaga, son: Preventivo–Cultural, Etológico, Biológico y Químico. Estudios realizados, recomienda a los técnicos y productores apoyarse con la escala de daño establecida en Venezuela y operada en el Ingenio. Para el monitoreo se debe tener los siguientes cuidados: a) Distribución uniforme de las trampas de polipapel. b) Mezcla adecuada del stickem (2x3). c) Buena impregnación a las bolsas. d) Altura apropiada de las trampas (1.20–1.50 m). Se recomienda que los productores sigan con el manejo integrado de la mosca pinta, ya que se ha observado que cuando en un ciclo se reduce la presencia del insecto, el productor ya no muestra interés y la plaga vuelve a incrementar su incidencia. **Palabras clave:** Salivazo, control integrado de plagas, *Aeneolamia* spp

Abstract. The success of the integrated management of *Aeneolamia* spp. in the area of influence of the Constanca Sugar Mill, México, has contributed in Central Veracruz, to be accepted by cane growers and committed the sugar mills of the Region to carry out suitable control actions. The objectives of this work allowed to describe the activities carried out during the 2003-2009, which include training on technical and scientific issues, studies conducted in the Sugar Mill, activities carried out in *Aeneolamia* integrated management, as well as the evaluation of the damaged area and annual economic analyses. With the integrated management of this pest, the area damaged was reduced from 66 to 26 %, from 2003 to 2009, in 40% of the treated area of Sugar Mill. Likewise, costs per hectare became more effective, showing a range between \$ 787.00 and \$ 367.00 during the same period. The control methods used in the implementation of the integrated management strategy of the various biological stages of the pest are: Preventive–Cultural, Ethological, Biological and Chemical. By the studies fulfilled, it is recommended for technicians and growers to make use of the scale of damage implemented in Venezuela and operated in the Sugar Mill. For monitoring, the following requirements should be taken into account: a) Uniform distribution of the polipaper traps. b) Appropriate mixture of the stickem (2x3). c) Appropriate impregnation of the bags. d) Appropriate height of the traps (1.20 –1.50 m). It is recommended that growers should continue with the *Aeneolamia* integrated management, since it has been observed the pest decrease in a season, many growers no longer shows interest and the plague returns to increase their incidence.

Keywords: Spittle bugs, integrated pest control, *Aeneolamia* spp

Introducción

En México, se ha considerado como una de las principales plagas de la caña de azúcar a las especies de *Aeneolamia* (Homoptera: Cercopidae). Se estima que anualmente esta plaga se presenta en una superficie de 100 mil a 120 mil hectáreas de caña cultivada, reduciendo alrededor de 30% del rendimiento en campo (Flores, 1996). Debido a lo anterior, cada año se hacen fuertes inversiones para combatir a este insecto en su estado de adulto y ninfa, preferentemente con uso de insecticidas químicos de un elevado costo energético; sin embargo, se ha logrado concientizar a técnicos y productores de la importancia de introducir un manejo integrado regional para el combate del salivazo en la caña de azúcar. A nivel nacional, Instituciones como el Colegio de Postgraduados Campus Córdoba y Veracruz, desde 1994 a 2000, y la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad Veracruzana

del 2000 a la fecha, han generado información y apoyado en el desarrollo e integración de los Ingenios de la región Central de Veracruz, para que consoliden el manejo regional integral de la mosca pinta (Alatorre *et al.*, 1995; Rodríguez *et al.*, 1995; Gómez *et al.*, 1996 y Rodríguez, 1997).

Los ingenios Central Motzorongo y Constanica, han sido pioneros en la generación y aplicación del conocimiento de esta importante plaga en el cultivo de la caña de azúcar. El Ingenio Constanica en lo particular, ha logrado sobresalir y fortalecer su estructura en la Gerencia de Campo, así como en la capacitación constante de su personal técnico y productores, y con ello ha logrado consolidar todo un programa en el manejo integrado de la mosca pinta. Por lo anterior, se planteó como objetivo del trabajo presentar el modelo exitoso del manejo integrado de la mosca pinta *Aeneolamia* spp, durante las campañas 2003 al 2009, en el Ingenio Constanica. Describir las actividades realizadas y señalar cada acción del manejo integrado de la mosca pinta.

En México, en la región cañera del Papaloapan en el estado de Veracruz, se documentaron cinco especies *Aeneolamia contigua* (Wlk.), *A. albofasciata* (Lall.) y *Aeneolamia* (Fen.), *Prosapia teapana* (Fen.) y *P. simulans* (Wlk.); siendo *A. albofasciata* la de mayor distribución. Flores (1996), señala que la mosca pinta es una plaga endémica en la vertiente del Golfo de México, cuyo hábitat natural son gramíneas silvestres y vegetación existente en los márgenes de ríos y lugares húmedos de clima tropical. En la actualidad son afectadas entre 60,000 y 100,000 ha de caña de azúcar por esta plaga (Flores, 1996). La severidad en las pérdidas se relaciona con la especie involucrada, la variedad atacada y las características ambientales de las áreas cañeras invadidas, lo que coincide con lo documentado por Alicedo (2004). Fewkes (1969) menciona que cuando las ninfas de *Aeneolamia varia saccharina* (Dist) se alimentan de las raíces de la planta a menudo ocasionan oclusión de los haces vasculares del xilema; mientras que, el estado ninfal de las subespecies de *A. postica*, causan un retardo definitivo en el crecimiento de la caña, al alimentarse de las raíces. Asimismo, Abarca y Flores (1967), mencionan que las ninfas de primer instar se desplazan a la base de los tallos y las raíces, donde succionan la savia, produciendo un retardo en el desarrollo de la caña de azúcar afectada.

La mosca pinta o adulto se alimenta básicamente de las hojas. El daño es ocasionado por la acción de alimentarse por succión; es decir, alrededor de cada punto de succión en la hoja (generalmente en los bordes del parénquima del haz vascular) de caña de azúcar, el tejido se torna amarillento y comienza el desarrollo de necrosis de la hoja (dado que los cloroplastos se encuentran en este tejido, se afecta directamente el proceso de fotosíntesis) que se va extendiendo longitudinalmente

en un período de una a tres semanas (Fewkes, 1969). Las poblaciones de mosca pinta y su comportamiento están estrechamente relacionados con las condiciones climáticas, especialmente con la precipitación (López, 1990) y con el manejo del cultivo (Salazar y Badilla, 1997). Martínez y López (1992) encontraron que los factores que más influyeron en la presencia de la mosca pinta en el área de influencia del ingenio La Gloria, Ver., fueron la temperatura y la humedad, además sugieren que el salvazo tienen preferencia por los suelos de tipo migajón arcilloso con un pH ácido y una saturación de humedad superior a 50%. La plaga tiene un efecto adverso en la caña de azúcar, Flores (1996) indica que una población mayor de 10 insectos adultos por cepa puede causar una merma de 3 a 6 ton ha de caña de azúcar. Salazar y Badilla (1997) estimaron que un número mayor de tres adultos y cinco ninfas por tallo reducen aproximadamente un 30% del rendimiento de la caña de azúcar. Estudios realizados en Venezuela (Linares, 1984), se establece la escala de daño provocado por el género *Aeneolamia*, 1.- Sin daño (SD) de 0 a 5% de follaje seco, 2.- Daño ligero (L) de 6 a 20% de follaje seco, 3.- Daño mediano (M) de 21 a 40% de follaje seco, 4.- Daño fuerte (F) de 41 a 60% de follaje seco, 5.- Daño severo (S) más de 60% de follaje seco. Investigación realizada en países como Brasil, Costa Rica, Guatemala y Venezuela, indican que la estrategia general de control de la mosca pinta en caña de azúcar sugiere tres tipos de medidas: 1. Preventiva, 2. Monitoreo y 3. Combate. En Guatemala, los métodos de control utilizados (COMPIP-CENGICAÑA-Guatemala, 1998), son: preventivo, cultural, etológico, biológico y químico.

En el Ingenio Constanca en el año 2000 para el combate de la mosca pinta se utilizaron extensivamente productos químicos como el Velfuran (carbamato) y Nuvacrón (organofosforado) en 2,006 hectáreas; en el año 2001 se utilizaron trampas amarillas en 660 hectáreas; en el año 2002 se realizaron actividades con la rastra fitosanitaria en 101.5 hectáreas, la colocación en 1,124 hectáreas de trampas verdes, la aplicación en 1,533.5 hectáreas del insecticida químico Malathión (organofosforado) + Sevin (carbamato) y la aplicación en 687.5 hectáreas del hongo entomatopatógeno *Metarhizium anisopliae* (Rodríguez, 2003). Con el seguimiento de áreas preparadas con rastra fitosanitaria se registró una reducción de 20 a 30 % de adultos y ninfas, así como mayor sanidad física de la caña con respecto a las parcelas vecinas. Los costos finales del control de la mosca pinta para el año 2002, considerando los productos, aplicación, brigadas, divulgación, asesoría y equipo; en 3,759 ha⁻¹ fue de \$ 1, 199,717.25.

Materiales y métodos

Características agroecológicas del área de estudio. Con base a la información documentada por el Manual Azucarero Mexicano en 2010, el Ingenio Constanca, S.A. pertenece al Grupo Beta San Miguel, se encuentra ubicado en el municipio de Tezonapa Veracruz, geográficamente se localiza a 283 msnm., y a 18° 36´ LN y 96° 41´ LO. En esta región se presentan temperaturas máximas de 38°C, mínimas de 12°C., temperatura media anual: de 27°C., humedad relativa 80%, la precipitación media anual oscila entre 1500 a 3000 mm. En el Cuadro 1, se presenta la estadística de las seis zafas anteriores al 2008, con rendimientos similares desde el 2002.

Cuadro 1.

Resultado de la zafa de 2002 a 2008.

Año	Toneladas de caña molida	Toneladas de caña por hectárea	Días efectivos de molienda	% de rendimiento en fábrica	Toneladas de azúcar producidas
2002	620,835	60.0	171	11.77	73,101
2003	533,297	56.2	158	10.99	58,636
2004	612,322	60.0	170	11.36	69,572
2005	771,336	65.8	189	11.19	86,306
2006	674,556	60.0	167	11.02	74,348
2007	698,530	60.0	175	9.91	69,230
2008	664,907	65.9	145	11.70	77,765

En la zafa 2009, la molienda inicio el 15 de Diciembre de 2008 y terminó el día 22 de Abril de 2009, fueron 129 días efectivos de molienda y se procesaron 589,489.687 t de caña. El rendimiento de caña por hectárea fue de 53.40 ton y el porcentaje de rendimiento en fábrica fue de 12.05. Las toneladas producidas de azúcar fueron 71,040.400 en base estándar. El abastecimiento de caña lo hacen 1,728 ejidatarios y 301 pequeños propietarios. En 2009, el Ingenio atendió la producción de 11,139 ha, de éstas 1,297.98 ha se cultivaron con riego y 9,842 en temporal. Las variedades cultivadas principalmente son: Mex 69-290 (43.81%) y CP 72-2086 (29.67%). Presenta suelos del grupo de los lateriticos muy ácidos: 50%, suelos delgados de sabana con contenido de materia orgánica demasiados bajos: 50%. Dentro de la preparación de los suelos, se efectúan dos rastras livianas y surco repetido. Para el cultivo de socas y resocas, se subsolea, se cultiva, se fertiliza mecánicamente un 50% y 50% manualmente. Se aplica herbicidas, ametrinas, 2,4 D, diurón, y glifosato, esta labor se realiza al 100%. La plaga principal es el salivazo ó mosca pinta. La

región cañera se divide en 4 zonas ecológicas de acuerdo con la precipitación: A: Con menos de 1100 mm; B: Mayor a 1100 mm pero menor a 1400 mm; C: De 1400 a 1900 mm. D: Mayor a 1900 mm.

Búsqueda de información sobre la mosca pinta. De inicio se requirió revisar los antecedentes bibliográficos, la situación del combate de la mosca pinta, a nivel internacional, nacional y regional; para la realización de esta actividad se consultaron páginas de internet, memorias de simposium, congresos, libros, tesis y revistas especializadas. El proceso de este trabajo abarcó dos etapas de desarrollo, mismas que se describen a continuación: Etapa 1: Organización, Selección y Análisis. De acuerdo con los intereses establecidos por los objetivos, se dió parte a la ordenación de las literaturas recopiladas, las cuales se fundamentaron a través de las fuentes de información antes mencionadas, posteriormente, se sistematizó la información de interés, quedando redactada y finalmente guardada en archivos de Word.

Capacitación sobre aspectos técnicos-científicos de la mosca pinta. La formación de recursos humanos para llevar a cabo las actividades operativas del combate de la mosca pinta, fue fundamental, para lo cual desde el año 2002 se llevaron a cabo actividades académicas y de entrenamiento técnico científico que permitieron elaborar, operar, actualizar y eficientar el manejo integrado de la mosca pinta en el área de influencia del Ingenio Constanca, destacando el siguiente: “Alumno matriculado en la Maestría en Manejo y Explotación de los Agrosistemas de la Caña de Azúcar de la Universidad Veracruzana, generación 2000-2002”.

Estudios desarrollados en el Ingenio Constanca. Con el fin de identificar la importancia económica de la mosca pinta, se llevaron a cabo diferentes estudios, destacando en el año 2002, la fluctuación poblacional del adulto por mes por zonas, con el objetivo de que los asesores de campo conocieran la dinámica de las poblaciones existentes.

Actividades en el MIP de la mosca pinta. Las actividades que se realizaron para establecer el manejo integrado, fueron con base a determinar, el combate de la mosca pinta en el Ingenio Constanca que se realizaba antes de la campaña 2003; propuesta y operatividad de las fases y actividades de la campaña de manejo integrado; descripción de la estrategia de manejo integrado, como son: preventivo-cultural; rastra fitosanitaria, construcción, desazolve y limpia de drenes, control químico y mecánico de malezas en calles y bardos?, control de maleza en el cultivo; control etológico, colocación de trampas, preparación del pegamento, técnica de

preparación de las trampas; control biológico, aplicación de hongo entomopatógeno y control químico.

Resultados y discusión

Fases y actividades de la campaña de manejo integrado. Para tener bajo control al salivazo o mosca pinta, en el área de influencia del Ingenio Constanza, se ha logrado integrar a los Productores Cañeros, Gerencia de Campo y la asesoría, apoyo logístico y estadístico de la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Región Orizaba-Córdoba de la Universidad Veracruzana, además de asesores externos por parte del grupo Beta San Miguel y formar un Comité que ha establecido el combate con actividades y elementos de bajo impacto ambiental, que ha permitido reducir poblaciones de huevecillo, ninfas y adultos a un costo accesible para los cañeros, para lo cual se viene realizando indistintamente en forma anual 50 actividades dentro de etapas de planeación, informativa, divulgación, monitoreo, control preventivo, control directo, desarrollo de alternativas de control, supervisión y evaluación de las actividades.

Descripción de la estrategia de manejo integrado. A continuación se describen los métodos de control propuestos y utilizados en el establecimiento de la estrategia de manejo integrado de los diferentes estados biológicos de la mosca pinta.

- 1. Preventivo-cultural.** Rastra fitosanitaria: Implemento que tiene como finalidad remover la tierra que se encuentra en el hilo de la caña para exponer los huevecillos al sol y a depredadores. Esta labor se recomienda realizarla, si el terreno lo permite, de preferencia dentro de los 10 primeros días después del corte, una vez realizado el destroncone y el encamellonado de la paja. Se pueden utilizar rastras de tiro (semipesadas) y rastras de levante. Alinear los discos en el sentido del hilo de la caña para no voltear la cepa. La profundidad de la rastra debe ser de 3-5 cm. 2. Construcción, desazolve y limpia de drenes: La acumulación de agua en las parcelas favorece a que la plaga tenga las condiciones ideales para su reproducción. Por tal motivo es necesario construir y desazolvar los drenes y canales ya existentes, para evitar el daño de la plaga. 3. Control de malezas en calles y baldíos: En las calles siempre vamos a encontrar malezas, lugar donde está la plaga, por tal motivo es necesario que estas estén limpias. A las calles se les puede eliminar las malezas con el pase de la rastra semipesada o con el uso de herbicidas. 4. Control de malezas en el cultivo: Esta

- actividad debe de realizarse para que los rayos del sol lleguen hasta el suelo y la plaga no tenga las condiciones para su proliferación. Se les puede eliminar en forma manual, con el pase de la rastra semipesada o con el uso de herbicidas.
2. **Etológico.** Colocación de trampas: Para la disminución del adulto aplicar el control etológico que consiste en capturarlo en trampas adhesivas, mediante la colocación de 100 trampas (bolsas o láminas de polietileno de 50 x 70 cm, con pegamento adherido) por hectárea, cada ocho surcos y a cada 10 pasos, de preferencia que sean de color verde. Cuando la caña esté pequeña, se deben colocar en varas, si el cañaveral ya tiene tallos formados, se pueden amarrar en ellos. Las trampas se deben de colocar al inicio de las lluvias. La finalidad de estas trampas es el monitoreo y control atrapando los primeros adultos que vayan saliendo. 2. Preparación del pegamento: Se debe mezclar 1 kg. de pegamento (stickem) con 1.5 - 3 L de gasolina, la mezcla debe ser uniforme. 3. Modo de preparación de las trampas: La trampa es de 0.6 x 0.6 m, con un grosor de 3 milésimas de pulgada. A las trampas se les adiciona el pegamento en ambos lados, en una proporción de 2:1 (Gasolina: pegamento), utilizando una bomba de mochila con boquilla 8002 de dispersión uniforme o sumergiendo el plástico en la mezcla.
 3. **Biológico.** Aplicación de hongo entomopatógeno: El uso del hongo *Metarhizium anisopliae* es una alternativa para bajar las poblaciones del adulto, en dosis de 200 g de producto por hectárea, equivalente a 2×10^{12} esporas, mezclado con el adherente: NU-FILM-17 300ml x 200 l de agua. La aplicación debe realizarse cuando se tenga un promedio de 10 adultos atrapados por trampa en 24 h. La aplicación debe ser vía aérea o con aspersores motorizados de mochila. No debe aplicarse de 11:00 a 16:00 h, salvo en días nublados.
 4. **Químico.** Aplicación de insecticida sintético: La aplicación de insecticida es una actividad que se debe realizar, como última alternativa de control, cuando el productor, no haya logrado bajar la población de la plaga (10 insectos adultos por cepa). Se sugiere que el insecticida que se aplique sea de la categoría de ligeramente tóxico. De preferencia malatión (organofosforado) o cypermetrina (piretroide) en baja concentraciones y a dosis menores de 50 kg ha. Los objetivos de este trabajo permitieron describir las actividades realizadas en las campañas 2003-2009, que incluyen capacitación sobre aspectos técnicos-científicos; estudios desarrollados en el Ingenio y actividades realizadas en el manejo integrado de la mosca pinta. Además de evaluar superficie dañada y análisis económico por año, destacando los siguientes resultados (Cuadro 3):

Cuadro 3.

Número de actividades y costo por hectárea en el manejo integrado de la mosca pinta del 2003 al 2009.

Campañas	Actividades (50)	has Evaluadas	has Dañadas	% has Dañadas	Costo total (\$) del MIP mosca pinta	Costo (\$) por ha
2003	13	3,585.25	2,175.25	60.67	2'704,058.59	754.21
2004	50	4,089.85	2,704.25	66.12	3'218,760.00	787.00
2005	50	3,834.30	1,259.30	32.84	2'944,248.75	767.87
2006	38	3,989.00	1,359.00	34.06	2'376,344.00	595.72
2007	44	3,964.50	1,334.50	33.66	1'991,076.00	502.22
2008	45	4,355.00	1,120.00	25.71	2'269,300.00	521.07
2009	45	4,563.50	1,228.50	26.92	1'670,599.03	366.07

Conclusiones

En la región central de Veracruz, el manejo integrado de la mosca pinta (MIMP), es un caso exitoso, en donde se han involucrado todos los actores principales del agroecosistema cañero. El productor cañero, se ha comprometido con los Ingenios de la región para llevar a cabo las actividades propias de combate. El Ingenio Constancia junto con los Ingenios El Refugio y Central Motzorongo, se han logrado conformar en un Comité Regional para el MIMP, apoyados por Asesores Externos y la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Región Orizaba-Córdoba de la Universidad Veracruzana, quienes han establecido el combate con actividades y elementos de bajo impacto ambiental, que ha permitido reducir poblaciones de huevecillo, ninfas y adultos a un costo accesible para los cañeros, para lo cual se viene realizando indistintamente en forma anual 50 actividades dentro de etapas de planeación, informativa, divulgación, monitoreo, control preventivo, control directo, desarrollo de alternativas de control, supervisión y evaluación de las actividades. El Ingenio Constancia ha llevado sus experiencias en el manejo integrado del salvazo o mosca pinta, a los demás Ingenios del Grupo Beta San Miguel, por lo cual se considera a este Grupo Azucarero, como aquel que más ha contribuido en el combate de una plaga agrícola. Los métodos de control propuestos y utilizados en el establecimiento de la estrategia de manejo integrado de los diferentes estados biológicos de la mosca pinta, son: Preventivo – Cultural, con la rastra fitosanitaria; construcción, desazolve y limpia de drenes; control químico y mecánico de la malezas en calles, bardos y en el cultivo; Etológico con la colocación de trampas; Biológico con la aplicación de hongo entomopatógeno *Metarhizium anisopliae* y

Químico con la aplicación de insecticida sintético de bajo impacto ambiental. Con el MIMP, se logró disminuir la superficie dañada del 66 al 26%, del 2003 al 2009, en el 40% de la superficie tratada del Ingenio Constancia. Asimismo, los costos por hectárea, se lograron eficientar, mostrando un intervalo entre \$ 787.00 a \$ 367.00, de acuerdo al número de actividades realizadas, en este mismo periodo. Asimismo, se ha observado que cuando hay acuerdos para hacer el mismo control entre productores de diferentes Ingenios del mismo ejido, la campaña muestra mayor eficiencia. Entre las dificultades que se han detectado para el buen desarrollo de la campaña resaltan: faltan integrantes en las brigadas, mejor comunicación entre los inspectores de campo, fluidez en la información de monitoreo y atención por parte de los inspectores de campo hacia los resultados de monitoreo, para determinar la actividad a realizar. Estudios realizados, recomienda a los técnicos y productores apoyarse con la escala de daño establecida en Venezuela y operada en el Ingenio Constancia que consiste en: 1.- Sin daño (SD) de 0 a 5% de follaje seco, 2.- Daño ligero (L) de 6 a 20% de follaje seco, 3.- Daño mediano (M) de 21 a 40% de follaje seco, 4.- Daño fuerte (F) de 41 a 60% de follaje seco, 5.- Daño severo (S) más de 60% de follaje seco. Para el monitoreo se debe tener los siguientes cuidados, distribución uniforme de las trampas de polipapel, mezcla adecuada del stickem (2x3), buena impregnación a las bolsas, altura apropiada de las trampas (1.20 –1.50 m) y coordinación con los inspectores. Se sugiere que los productores continúen con el manejo integrado, ya que se observado que cuando en un ciclo se reduce la plaga, el productor ya no muestra interés y la mosca pinta vuelve a incrementar su incidencia.

Literatura citada

- Abarca R.M., S. Flores C. 1967. Principales Plagas de la Caña de Azúcar en México. Libro No. 4. Editorial Balderas, México, D.F. 101 p.
- Alatorre R.R., S.R. Rodríguez C., D.A. Rodríguez L., M.A. Gómez F., M.P. Méndez P., G. Sánchez. 1995. Establecimiento de la Unidad Reproductora de Hongos Entomopatógenos en el Campo Córdoba-Colegio de Postgraduados. En: Avances de Investigación Instituto de Fitosanidad. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, México. p. 239.
- Alicedo M.P. 2004. Informe de BIOTROPIC, con asesora y servicios al campo. Inédito pp. 4-6.
- COMIP-CENGICAÑA-Guatemala. 1998. Comité de Manejo Integrado de la Mosca Pinta en Guatemala, C.A. CENGICAÑA 72p.

- Fewkes D.W. 1969. The biology of sugar cane froghoppers, pp. 283-306. In J. R. Williams, J. R. Metcalfe, R. W. Mungomery and R. Mathes [eds.], Pests of Sugar Cane. Elsevier Publishing Company, Amsterdam.
- Flores C.S. 1996. Mosca pinta o salivazo en caña de azúcar y pastos. In: Memorias del Primer Encuentro Regional Fitosanitario. Colegio de Ingenieros Agrónomos de México, Ingenieros Agrónomos Parasitólogos. Xalapa, Ver., México. pp: 24-31.
- Gómez F.M.A., R. Alatorre R., S.R. Rodríguez C., D.A. Rodríguez L. 1996. Control integrado de la mosca pinta (*Aeneolamia sp*) en la región cañera de Veracruz y Oaxaca (1993-1996). En: Memorias de la IX Reunión Científica del Edo. de Veracruz. INIFAP, Veracruz, Ver., México. pp: 38-42.
- Linares F.B.A. 1984. Metodología de evaluación de candelilla y Diatraea en ensayos de variedades de caña de azúcar. Nota Técnica en Caña de Azúcar 2(2):109-113.1984.
- López C.A. 1990. El enfoque de sistemas aplicado a la plaga de la mosca pinta de los pastos (*Aeneolamia spp.* y *Prosapia spp.*, Homóptera: Cercopidae) en Sonora. Tesis de Maestría. Centro de Entomología y Acarología. Colegio de Postgraduados. México. 140 p.
- Manual Azucarero Mexicano. 2010. Ingenio Constanica. Editor. Cámara Nacional de las Industria Azucarera y Alcoholera. 51ª edición, paginas 384 – 387, Cía. Editorial del Manual Azucarero, S.A de C.V.
- Martínez L.V., G. López. 1992. Fluctuación poblacional de la mosca pinta (Homoptera: Cercopidae) en la cañera del Ingenio La Gloria, Veracruz. Tesis Profesional. Instituto Tecnológico Agropecuario No. 18. Ursula Galván. Ver. pp:219-227.
- Rodríguez C.S.R. 1997. Saligreen-Ma: una alternativa biológica en el control de mosca pinta *Aeneolamia postica* Wlk. en caña de azúcar. En: Memorias del Día del Cañero, Resultados de investigación en el cultivo de caña de azúcar. ISPROTAB, CYTCAÑA, Campus Tabasco. Colegio de Postgraduados, México. pp: 25-30.
- Rodríguez C.S.R. 2003. Informe Técnico 2001-2003 del combate de la mosca pinta en el Ingenio Constanica, S.A de C.V. (Circulación Interna).
- Rodríguez C.S.R., M.P. Méndez P., G. Sánchez L. 1995. Experiencias en la producción del hongo *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) Sor. en la Unidad Reproductora de Hongos Entomopatógenos del Colegio de Postgraduados. En: Avances de Investigación Instituto de Fitosanidad del Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. México. p. 243.
- Salazar J.D., F. Badilla. 1997. Evaluación de dos cepas del hongo entomopatógeno *Metarhizium anisopliae* y seis insecticidas granulados en el control del salivazo (*Aeneolamia postica*) (Hom: Cercopidae) en caña de azúcar en la región de San Carlos, Costa Rica. Manejo Integrado de Plagas 43: 9-18.

Recursos maderables en el sistema agroforestal cacao en Cárdenas, Tabasco, México

Timber resources in the cocoa agroforestry system in Cárdenas, Tabasco, México

Sánchez Gutiérrez Facundo¹, Julián Pérez Flores^{1*}, José Jesús Obrador Olán¹, Ángel Sol Sánchez¹ y Octavio Ruíz Rosado².

¹Colegio de Postgraduados- Campus Tabasco, Periférico Carlos A. Molina S/N. Cárdenas, Tabasco.

²Colegio de Postgraduados - Campus Veracruz. *Email. julianflores@colpos.mx

Resumen. El presente estudio se realizó en el sistema agroforestal cacao en diferentes localidades de Cárdenas, Tabasco México. En 20 sitios de muestreo de 100 m x 50 m (5,000 m²) cada uno, se identificaron taxonómicamente y se geoposicionaron todos los árboles. Las variables dasométricas medidas fueron el diámetro a la altura de pecho DAP_{1.3m} y la altura total y comercial (Ht, Hc en m). Con estas variables se calculó el área basal (AB, m²ha⁻¹), y el volumen total y comercial (Vt, Vc, m³ha⁻¹). También se calculó la correlación entre el DAP y la Ht. Se registraron 2,856 árboles, pertenecientes a 67 especies que se agruparon en 28 familias y 58 géneros; sobresalieron por su frecuencia relativa *Erythrina americana*, *Cedrela odorata* y *Gliricidia sepium*. El AB promedio fue de 18.6 m²ha⁻¹, variando de 8.3 a 34.6 m²ha⁻¹. Del total de los árboles registrados, y con base en el DAP, el 39% se puede utilizar para aserrío delgado. El Vt promedio fue de 192.4 m³ha⁻¹, variando de 70.4 a 619.9 m³ha⁻¹. El Vc promedio fue de 52.6 m³ha⁻¹, variando de 21.86 a 146.6 m³ha⁻¹. La correlación entre el DAP y la At fue baja (r²= 0.48) pero significativa (p = 2.2e⁻¹⁶).

Palabras clave: Agroecosistemas, Árboles, Dasometría, Cacao.

Abstract. This research was developed in the cocoa agroforestry systems in several locations at Cárdenas, Tabasco Mexico. All the trees were geographically located and taxonomically identified in 20 sampling sites of 100 m x 50 m (5,000 m²) each one. Diameter at breast height (DBH_{1.3m}), as well as total and commercial height (TH, CH in m) were scored. These variables were used to calculate basal area (BA m²ha⁻¹) as

well as total and commercial volume (TV, CV, m³ha⁻¹). Also, the correlation between DAP and TH was calculated. There were 2,856 trees belonging to 67 species, 28 families and 58 genera; *Erythrina americana*, *Cedrela odorata* and *Gliricidia sepium* were the most important according to their relative frequency. The mean AB was 18.6 m²ha⁻¹, ranging from 8.3 to 34.6 m²ha⁻¹. Based on DBH, 39% of the recorded trees would be used for sawing. The mean TV was 192.4 m³ha⁻¹, ranging from 70.4 a 619.9 m³ha⁻¹. The mean CV was 52.6 m³ha⁻¹, ranging from 21.9 to 146.6m³ha⁻¹. The correlation between DBH and TH was low ($r^2= 0.48$) but significant ($p = 2.2e^{-16}$).

Key words: Agroecosistemas, Trees, Dasometry, Cocoa.

Introducción

A nivel mundial existen aproximadamente 400 millones de hectáreas con sistemas agroforestales (Watson *et al.*, 2000). Los sistemas agroforestales (SAF) se definen como un conjunto de técnicas de manejo de tierras donde se combinan árboles forestales con cultivos, ganadería, o una combinación de ambos; los sistemas pueden ser establecidos en forma simultánea o escalonada a través del tiempo y espacio (Combe y Budowski, 1979). Estos sistemas poseen una diversa gama de asociación de plantas, con alto potencial para producir madera, leña, frutas, medicinas, forrajes, aceites y plantas ornamentales (Ospina, 2002; Sotomayor *et al.*, 2008; Ramírez, 2009), y principalmente por el componente arbóreo, son considerados como una alternativa para captar y almacenar CO₂ (Calderón, 2008). Al ser el cacao una especie que necesita de sombra, se debe establecer bajo un dosel arbóreo. Aunque en África, Malasia, Perú, Colombia y Ecuador se han generado sistemas de producción a pleno sol (González, 2005). En México la mayor parte de la producción de cacao se localiza en los estados de Chiapas y Tabasco. Estos estados suman una superficie de 61,320 ha, de las cuales dependen 47 mil productores. En Tabasco la superficie plantada es de 41,117 ha, donde se obtienen 16,560 t de cacao seco, que sustentan a 31,139 familias (Córdova, 2005; SAGARPA, 2010); el 96% se distribuye en la región de la Chontalpa y 4% en la Sierra (López *et al.*, 2005). El SAF cacao ha sido históricamente importante desde el punto de vista social, económico y ambiental; se han ubicado en las regiones de Mesoamérica, Amazonas y los Andes, hogar de las civilizaciones Maya y de las etnias del Brasil (Montagnini, 2006). A pesar del papel que los SAF han desempeñado en el proceso de domesticación y conservación de plantas, han recibido poca o nula atención por parte de los centros de investigación (Pritchard y Nair, 2006). El presente trabajo se realizó en un SAF cacao, en diferentes localidades del municipio de Cárdenas, Tabasco, con el objetivo de conocer las especies arbóreas y determinar el volumen maderable.

Materiales y métodos

Zona de estudio. El estudio se realizó en SAF de cacao, en diferentes localidades del municipio de Cárdenas. El municipio de Cárdenas se localiza en la región de la Chontalpa del estado de Tabasco, entre las coordenadas 17°59' LN y 91° 32' LO.

Diseño y procedimiento de muestreo. Se establecieron 20 sitios de muestreo de 50 m x 100 m cada uno. En cada sitio se registró la edad y superficie de la plantación; se identificaron taxonómicamente y geoposicionaron los árboles con GPS tipo Garmin modelo *GMap60csx* y se les asignó un número realizando un marcaje con pintura aerosol (Zarco *et al.*, 2010). Las variables dasométricas registradas fueron: diámetro a la altura de pecho ($DAP_{1.3m}$) con la ayuda de una cinta métrica, altura total y comercial o fuste limpio (Ht, Hc) con Pistola Haga; el área basal (AB), se estimó con la ecuación: $AB = 0.7854 \times D^2$; donde D es el diámetro en m^2ha^{-1} ; y el volumen total y comercial (Vt, Vc) se estimó con la ecuación: $V = AB \times ff \times H$; tomando en cuenta el factor de forma (ff, que es el 10% de error)(Dauber, 1997; FAO, 2004). Donde, (V) volumen m^3 , (0.7854) $\pi/4$, (D^2) diámetro, (ff) 0.70, (H) altura.

Clasificación de la cobertura arbórea y usos. El dosel arbóreo se clasificó según los criterios propuestos por Pinelo (2001), estrato muy bajo <5 m de altura, bajo $\geq 5 - <15$ m, medio $\geq 15 - <25$ m y alto ≥ 25 m. Los productos a obtener del árbol individual fueron definidos, en función del DAP, de la siguiente manera: leña (DAP $\geq 5 - <10$ cm), postes ($\geq 10 - <15$ cm), aserrío delgado ($\geq 15 - <30$ cm) y aserrío grueso (DAP ≥ 30 cm) (Mora y Hernández, 2007).

Análisis estadístico. Se realizó un análisis de correlación lineal simple entre la altura total y el DAP para las 10 especies más frecuentes, para las dos especies más importantes como árboles de sombra y para las dos principales especies maderables en el SAF cacao. Se utilizó el paquete estadístico R-Commander y el coeficiente de correlación de Pearson.

Resultados y discusión

Se visitaron 20 plantaciones de cacao (36.5 ha); en ellas se muestrearon 10 ha repartidas en 20 sitios de 5,000 m^2 cada uno. Se registraron 2,856 árboles, pertenecientes a 67 especies, 58 géneros y 28 familias. Ramírez (2009) al realizar un estudio en la misma zona, en sitios de 10,000 m^2 reporta 38 especies agrupadas

en 35 géneros y 24 familias. Mientras que García (1983) en Comalcalco Tabasco, en una encuesta a 72 productores, registró 40 especies de 19 familias. Se registró una diversidad media de 12 especies por sitio, variando de 6 a 35 especies; las más comunes fueron: *E. americana* y *C. odorata*. La densidad media registrada fue de 286 árboles ha⁻¹, variando de 96 a 618 árboles ha⁻¹, predominando las familias Fabaceae y Meliaceae. En Costa Rica Somarriba *et al.* (2000) registraron 278 árboles ha⁻¹, en tanto que Mogollón *et al.* (1996) en Venezuela reporta 300 árboles ha⁻¹ donde predominó la familia Fabaceae. Las especies sobresalientes por frecuencia se muestran en la Tabla 1. Destacando el Mote (*E. americana*) y cedro (*C. odorata*), con 28.4 y 20.1%, respectivamente. Lo anterior coincide con el 25% de *E. americana* reportado por Córdova *et al.* (2001) para el SAF de cacao en el municipio de Cárdenas, Tabasco, pero contrasta con ese mismo estudio para *G. sepium*, pues en él se reporta un 75% de árboles de sombra de esta especie y en el presente estudio fue de 8.6%.

Clasificación de cobertura. La media y rango de Ht fueron de 10.1 m y 2 a 35.5 m, respectivamente. El dosel muy bajo (altura < 5 m) con 5.9% son especies maderables de resiembra como *C. odorata*, *T. rosea* y *C. arborescens*; el dosel bajo (≥5 – <15 m), concentró el 84.2% del total de los árboles registrados, el 8.9% dosel medio y 1.0% dosel alto están representados por especies como eritrina, samán (*Samanea saman*) y castaña (*Artocarpus altilis*) (Figura 1). Ramírez (2009) reportó que las especies que se encuentran en el dosel alto son *S. saman*, *G. ulmifolia*, *C. arborescens*, *G. sepium* y *C. odorata*.

Tabla 1.
Especies con mayor frecuencia de acuerdo al número de árboles registrados

Nombre científico	Nombre común	Árboles	
		Nº	%
<i>Erythrina americana</i>	Mote	812	28.4
<i>Cedrela odorata</i>	Cedro	573	20.1
<i>Gliricidia sepium</i>	Cocoite	247	8.6
<i>Colubrina arborescens</i>	Tatúan	246	8.6
<i>Diphysa robinoides</i>	Chipilcohite	188	6.6
<i>Tabebuia rosea</i>	Macuílís	166	5.8
<i>Erythrina poeppigiana</i>	Eritrina	66	2.3
<i>Guazuma ulmifolia</i>	Guácimo	64	2.2
<i>Citrus sinensis</i>	Naranja	50	1.7
<i>Cecropia obtusifolia</i>	Guarumo	40	1.4
	57 especies restantes	404	14.1
	Total	2856	100

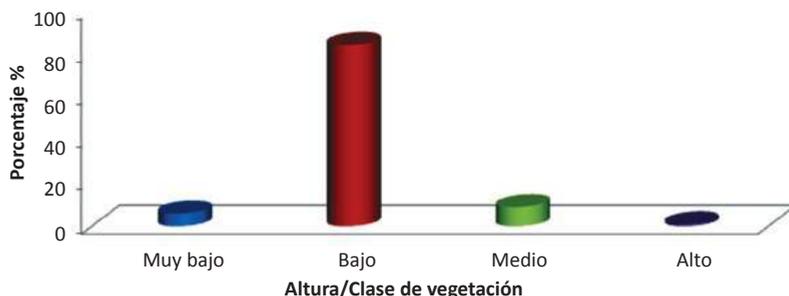


Figura 1. Tipo de dosel de acuerdo a la altura de los árboles

Productos maderables conforme al DAP. Los valores en DAP oscilaron entre 1 a 146.6 cm, la media fue de 23 cm. Del total de los árboles registrados y de acuerdo al DAP los usos principales fueron aserrío delgado y grueso, con 39 % y 27.4% respectivamente (Figura 2). Estos resultados coinciden con lo reportado por Ramírez (2009) quien encontró un DAP de 137 cm máximo para las especies de sombra registradas en el SAF cacao en Cárdenas, Tabasco.

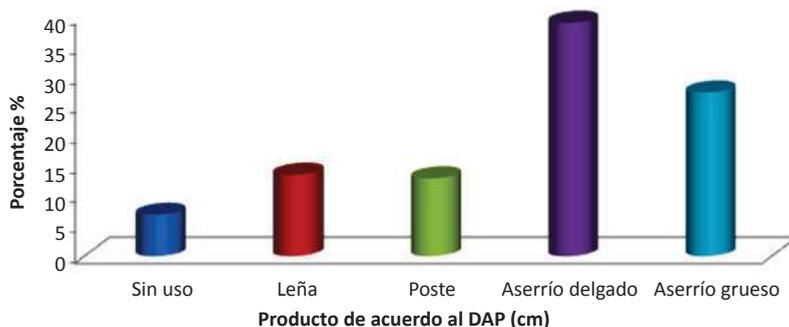


Figura 2. Porcentaje como productos maderables potenciales de los árboles en el SAF cacao en Cárdenas, Tabasco.

Especies con mayor área basal. El AB del total de los árboles registrados fue de 209.1 m², con una media de 18.6 m² ha⁻¹, y una variación de 8.3a 34.6 m² ha⁻¹. Entre las cinco especies con mayor AB (Figura 3) destacaron *E. americana* 6 m² ha⁻¹, *E. poeppigiana* 3.8 m² ha⁻¹, *C. odorata* 1.6 m² ha⁻¹, *G. sepium* y *S. saman* y el resto de las especies tuvieron 1 m² ha⁻¹ ó menos. Ramírez (2009) en Cárdenas, Tabasco, obtuvo una media de 48.15 m² ha⁻¹, destacando las especies *S. saman* 12 m² ha⁻¹, *D. robinoides* 7.8 m² ha⁻¹, *G. ulmifolia* 5.6 m² ha⁻¹, *G. sepium*, 3 m² ha⁻¹ y *C. arborescens* 3 m² ha⁻¹.

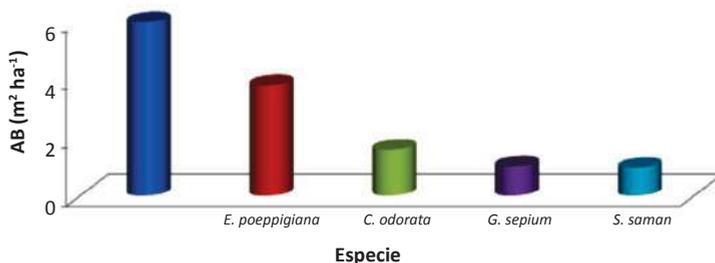


Figura 3. Especies con mayor área basal ($\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$), en el sistema agroforestal cacao en Cárdenas, Tabasco, México.

Volumen maderable total (Vt) y comercial (Vc). El Vt promedio fue de $192.4 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$, variando de 70.4 a $619.86 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$. Diez especies representaron el 87.4% del Vt; sobresalieron, *E. poeppigiana* 33.5% y *E. americana* 20.9% (Figura 4).

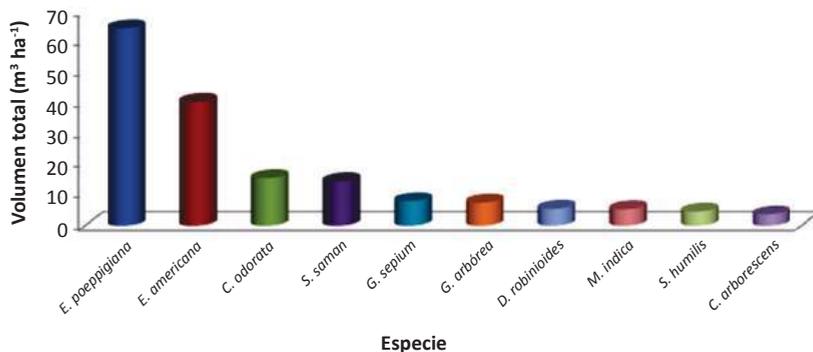


Figura 4. Especies con mayor volumen total ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) en el sistema agroforestal cacao en Cárdenas, Tabasco, México.

El Vc promedio fue de $52.6 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$, variando de 21.9 a $146.7 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$. Diez especies representaron el 82.9% del Vc; sobresalieron, *E. poeppigiana* 27.4%, *E. americana* 18.7% y *C. odorata* 11.9% (Figura 5).

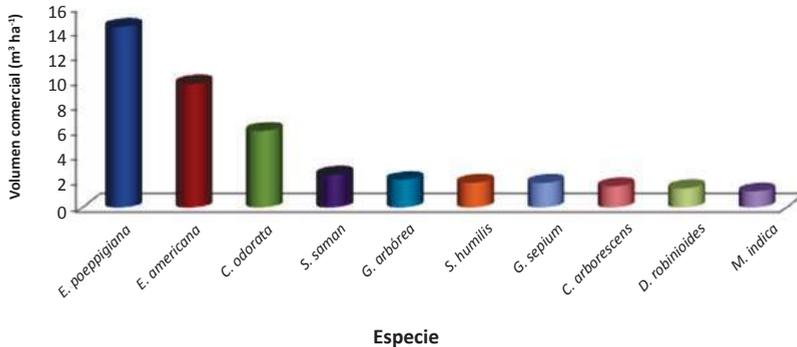


Figura 5. Especies con mayor volumen comercial (m^3ha^{-1}) en el sistema agroforestal cacao en Cárdenas, Tabasco, México.

Análisis de correlación simple entre el DAP y la altura de las 10 especies arbóreas más frecuentes en el sistema agroforestal cacao. La relación que guardaron el DAP y la altura de las 10 especies con mayor frecuencia en el SAF cacao, fue de 47.8% (Figura 6), esta baja relación puede atribuirse a factores como la especie, el tipo de crecimiento, manejo de plantación y usos de las especies.

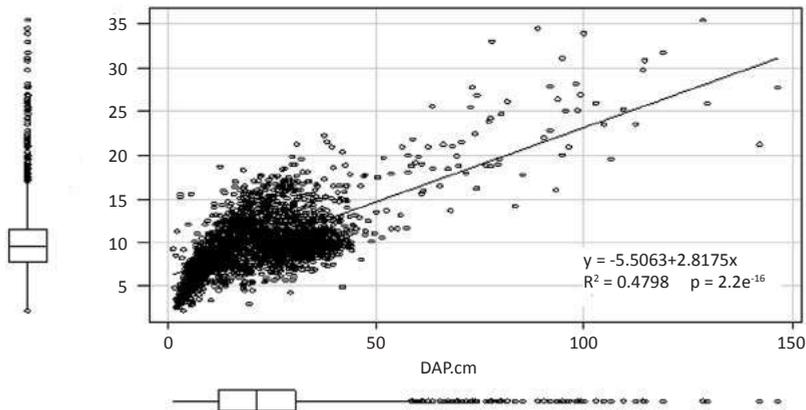


Figura 6. Relación entre el diámetro a la altura de pecho (DAP cm) y la altura (m) de las 10 especies con mayor frecuencia, en el sistema agroforestal cacao en Cárdenas, Tabasco.

Al analizar la correlación del DAP y la altura de dos especies para sombra (Mote, cocoite) y dos especies maderables (cedro, tatúan) en el SAF cacao, se encontró una baja (34%) y moderada (58.5%) correlación para el Mote y cocoite, respectivamente. No obstante, en ambos casos por cada incremento del DAP, la altura incrementa 3

m. Lo anterior puede explicarse por las podas anuales que cada productor realiza en sus predios ya que estas especies son usadas preferentemente para sombra en los SAF cacao; por este manejo la altura en algunos predios es baja y contrasta con el DAP que es hasta de 80 cm. En el cedro y el tatúan la correlación fue alta (73.7 y 77.2% respectivamente). En estas especies, por cada centímetro de incremento del DAP, la altura incrementa 2.1 m y 1.7 m, respectivamente. Lo anterior se explica también porque las especies de sombra como el Mote y el cocoite, son de rápido crecimiento, mientras que las maderables y específicamente el cedro y el tatúan son de crecimiento lento.

Conclusiones

El SAF cacao concentra gran cantidad y diversidad de especies arbóreas, con un volumen maderable que puede, y debe de ser aprovechado de múltiples maneras. En el SAF cacao en Cárdenas, Tabasco los usos principales de las especies arbóreas fueron, aserrío delgado y grueso, con 39 % y 27.4%, respectivamente; las especies con mayor volumen maderable fueron *E. poeppigiana*, *E. americana*, *C. odorata*, *S. saman*. El DAP y la altura de las especies arbóreas tuvieron una baja correlación debido al tipo de crecimiento y al uso de cada especie.

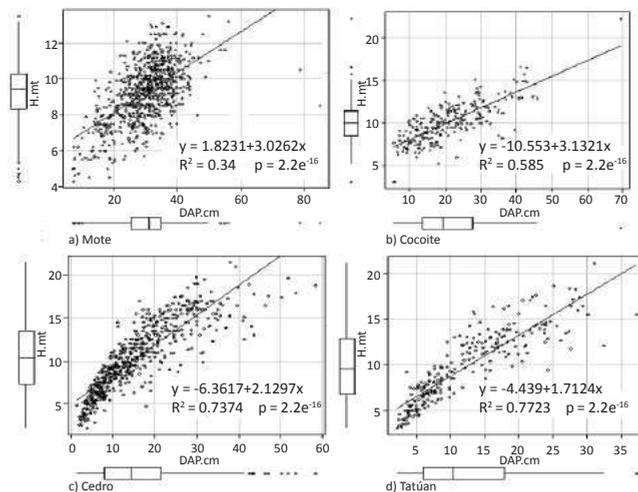


Figura 7. Correlación entre el diámetro a la altura de pecho ($DAP_{1.3m}$) y la altura (m) en dos especies para sombra (a, b) y dos especies maderables (c, d) en el sistema agroforestal cacao en Cárdenas, Tabasco México.

Agradecimientos

Se agradece a la LPI-2 Agroecosistemas Sustentables del Colegio de Posgraduados, por el apoyo recibido para la realización de la presente investigación.

Literatura citada

- Calderón B. V. 2008. Captura de carbono en un sistema agroforestal *cedro* (*Cedrela odorata* L.)-banano (*Musa sp* AAA) en Tabasco, México. Tesis Maestría en Ciencias-Colegio de Postgraduados Campus, Tabasco. 115 p.
- Combe J., Budowski G. 1979. Clasificación de las técnicas agroforestales. Sistemas agroforestales en América Latina. Turrialba, Costa, Rica. 17 p.
- Córdova A. V., Sánchez H. M., Estrella C. N. G., Macías L. A., Sandoval C. E., Martínez S. T., Ortíz G. C. F. 2001. Factores que afectan la producción de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el ejido Francisco I Madero del Plan Chontalpa, Tabasco, México. *Universidad y Ciencia* 34: 93-100.
- Córdova A. V. 2005. Organización campesina en la reconversión del cacao tradicional a orgánico en Tabasco, México. En: Aragón-García A, López-Olguín JF, Tapia-Rojas AM (eds.) Manejo Agroecológico de Sistemas. Dirección de fomento editorial, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla. 180 p.
- Dauber E. 1997. Propuesta para la elaboración de tablas volumétricas y/o factores de forma. BOLFOR. USAID, Santa, Cruz, Bolivia. 16 p.
- FAO. 2004. Inventario forestal nacional. Manual de campo modelo. Programa de Evaluación de los Recursos Forestales (ERF). Guatemala. 89 p.
- García L. J. L. 1983. Los árboles utilizados como sombra de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Comalcalco, Tabasco. Universidad Autónoma Chapingo México. 50 p.
- López A. P. A., Delgado N. V. H., Azpeitia M. A., López A J. I., Jiménez C. J. A., Flores R. A., Fraire S. L., Castañeda C. R. 2005. El cacao en Tabasco: manejo y producción. INIFAP; ISPROTAB. Tercera edición. (Eds.): Instituto para el Desarrollo de Sistemas de Producción del Trópico Húmedo de Tabasco. Villahermosa, Tabasco, México. 54 p.
- Mogollón J. P., García M. J., Sánchez L. F., Chacón N., Araujo J. 1996. Nitrógeno potencialmente disponible en suelos de cafetales bajo diferentes árboles de sombra. UNEFM. 12 p.
- Montagnini F. 2006. Homegardens of Mesoamerica: biodiversity, food security, and nutrient management. B.M. Kumar and P.K.R. Nair (Eds.), *Tropical Homegardens: A Time-Tested Example of Sustainable Agroforestry*, 61-84 p.

- Mora F., Hernández W. 2007. Estimación del volumen comercial por producto para rodales de teca en el pacífico de Costa Rica. 12 p.
- Ospina A. A. 2002. La Agroforestería: un saber popular. Pp. 1-2. Consultado: <http://www.ecovivero.org/Ecoarticuloabril.pdf> 12/05/10.
- Ramírez M. A. 2009. Diversidad florística y macrofauna edáfica en plantaciones agroforestales de cacao en Cárdenas Tabasco. Tesis Maestría en Ciencias-Colegio de Postgraduado Campus, Tabasco. 86 p.
- Pinelo G. I. 2001. Manual de campo inventario forestal integrado en unidades de manejo comunitario, zona de uso múltiple, Reserva de Biosfera Maya Petén, Guatemala. Fundación Naturaleza para la Vida. 45 p.
- Pritchard M. R., Nair P. K. R. 2006. Indigenous agroforestry systems in Amazonia: from prehistory to today. *Agroforestry Systems* 66: 151-164.
- SAGARPA. 2010. Impulsa SAGARPA producción de cacao. Consultado <http://www.actualidadesmexico.com.mx/2010/03/impulsa-sagarpa-produccion-de-cacao/>. 24/03/211.
- Somarriba E., Beer J., Muschler R. 2000. Problemas y soluciones metodológicas en la investigación agroforestal con café y cacao en CATIE. *Agroforestería en las Américas (Costa Rica)* 7: 27-32.
- Sotomayor A., García E., González M., Lucero A. 2008. Modelos agroforestales. Sistema productivo integrado para una agricultura sustentable. Instituto Forestal de Chile (INFOR), Castilla 109 - C. 23 p.
- Zarco E.V.M., Valdez H. J.L., Ángeles P.L., Castillo A.O. 2010. Estructura y diversidad de la vegetación arbórea del parque estatal Agua Blanca, Macuspana, Tabasco. *Universidad y Ciencia*. 26: 1-17.
- Watson R.T., Noble I.R., Bolin B, Ravindranath N.H., Verardo D.J., Dokken D.J. 2000. Land Use, Land-Use Change, and Forestry. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Special report. Cambridge Univ. Press. New York. 9 p.

Tipificación de los sistemas de ganado bovino en el municipio de Amatepec, Estado de México

Tipification of the systems of beef cattle in the municipality of Amatepec, Mexico State

Alcántara Jiménez Florina, Francisca Avilés Nova ,
Benito Albarrán Portillo y Anastacio García Martínez*.

Centro Universitario UAEM Temascaltepec. Universidad Autónoma del Estado de México.
*Email: agarciam@uaemex.mx

Resumen. El sur del estado de México se destaca por la ganadería, considerada una de las principales actividades económicas al contar con el mayor inventario de ganado bovino. No obstante, su geografía accidentada ha limitado su desarrollo. El objetivo del presente trabajo fue la tipificación de los sistemas de ganado bovino en función de sus principales características estructurales, productivas y de manejo. Se analizó una muestra representativa de 78 unidades de producción (UP). La información se recopiló mediante una encuesta directa a los titulares de estas UP y se analizó mediante técnicas estadísticas multivariantes, previamente un Análisis Factorial (ACP) y posteriormente un análisis clúster (AC), para la tipificación. Los resultados del AC evidenciaron tres grupos: G1 caracterizado por una mayor disponibilidad SAU (138 ha), UGB (62) y el mayor IT (\$171,000), provenientes tanto de la venta de terneros destetados como de machos engordados. G2 se caracterizó por contar con la menor disponibilidad de tierra (17 ha) y mano de obra (1 UTA). El IT proviene principalmente de la venta de terneros destetados (78%) haciendo uso eficiente de la SAU. G3 es de tamaño intermedio tanto en tierra como de hato y sus principales ingresos proviene de la venta de terneros al destete (65%) y de la engorda de machos (33%). En función de lo anterior, se concluye que la ganadería es la principal actividad económica de la zona de estudio y se evidencia una gran diversidad de UP y la especialización en la producción de carne.

Palabras clave: Tipificación, unidades de producción, bovinos.

Abstract. Cattle production in the south region of the State of Mexico is the main economic activity, having the largest cattle inventory in the State. However its development has not been fully exploited due to most of land is on steep hills. The aim of the present study was to typify the cattle production system in the south region of State of Mexico in terms of farms structure, production and management. 78 farms (UP) were surveyed and the data was analyzed using factorial (ACP) and cluster analysis. The results showed three groups of farms: G1 characterized by the largest land surface (SAU 138 ha), bovine cattle units (UGB 62 units), and total income (IT \$171,000 MEX) from clave and fattened bull's sales. G2 was characterized by the lowest land surface (17 ha) and lowest hand labor (UTA=1); IT came from weaned calves sales (78%), doing an efficient use of arable land. G3 is of intermediate size in terms of land surface and incomes that came from weaned claves (65%) and fattened bulls (33%). It can be concluded that there is a great diversity of farms in terms of size, structure and incomes, showing in general productive orientation towards beef production at different degrees of specialization.

Keywords: Typing, production units, cattle.

Introducción

La ganadería es una actividad económica diversificada relevante, realizada por un elevado porcentaje de población en zonas rurales (Plan de Desarrollo Municipal, 1997) que se ha caracterizado por la generación de recursos económicos de familias que han aplicado estrategias de producción sin obtener el desarrollo esperado lo que se ha reflejado en grandes rezagos (Magaña *et al.*, 2006; Vázquez, 1997). Estas limitaciones se relacionan principalmente con factores básicos del sistema como el tipo de ganado presente, la orientación productiva, la alimentación y el manejo general del ganado. Sin embargo, los sistemas de ganado bovino (carne y leche) se encuentran ampliamente difundidos en las zonas rurales del país, caracterizadas por su diversidad de condiciones agroecológicas (suelo, topografía y clima), que les confieren identidades particulares de producción (García Martínez *et al.*, 2009). La necesidad de adaptación de estos sistemas a los nuevos condicionantes socio-económicos y políticos ha favorecido en los últimos años procesos de cambio y un aumento de la diversidad de las explotaciones, que han modificado su orientación de la producción, estructura, formas de manejo y uso y aprovechamiento de la tierra (Manrique *et al.*, 1999). El análisis de la diversidad de los sistemas ganaderos ha sido abordado desde diversas perspectivas en los últimos años (Ruiz y Oregui, 2001), por lo que la metodología utilizada se apoya por un lado de encuestas estructuradas como

herramienta básica para la recopilación de información, análisis e interpretación de los resultados (Olaizola y Gibon, 1997) y por otro lado, de los seguimientos técnico-económicos, caracterizados por su perfil dinámico, ya que permiten la recolección de información más precisa y detallada a lo largo del tiempo (Yin, 1994). El objetivo de este trabajo fue la tipificación de las Unidades de Producción (UP) de ganado bovino, en el Municipio de Amatepec, estado de México.

Materiales y métodos

Zona de estudio, tamaño de muestra y recopilación de información: El trabajo se realizó en el Municipio de Amatepec, localizado en la zona suroeste del Estado de México entre los paralelos 18° 40' 58" latitud norte y 100° 11' 11" longitud Oeste del meridiano de Greenwich, su clima es templado subhúmedo con lluvias en verano (Cw), temperaturas de 17° y 18°, precipitaciones entre 1,300 y 1,500 mm (Plan de Desarrollo Municipal de Amatepec, 1997). Para la recopilación de la Información primaria se utilizaron encuestas estructuradas, aplicadas mediante entrevista directa a los titulares de las Unidades de Producción (UP) de ganado bovino, de acuerdo a la Metodología propuesta por García-Martínez (2008). La obtención de la muestra de productores susceptibles de estudio, se obtuvo a partir de la revisión de los censos de cuatro asociaciones ganaderas locales, sumando un total de 348 UP. En función, de lo anterior, se obtuvo una muestra representativa de 78 UP al aplicar la ecuación propuesta por Hernández (2004), misma que se muestra a continuación:

$$n = \frac{N}{\left[1 + (NX0.1^2) \right]}$$

Donde:

n = tamaño de la muestra

N = tamaño de la población

0.1 = Error estándar, determinado por el investigador.

Análisis de la información: Para realizar la tipología se utilizaron técnicas estadísticas multivariantes. Previamente, se realizó un Análisis Factorial, mediante el método de Componentes Principales (ACP) para reducir la información proporcionada por un gran número de variables, eliminando las redundantes y con ello, obtener nuevas variables sintéticas que facilitan el análisis e interpretación de la heterogeneidad en la matriz original de datos (Hair *et al.*, 2006; Visauta y Martori, 2003). Posteriormente, para la

agrupación de UP se realizó un Análisis Clúster (AC), con las coordenadas de los cuatro primeros factores obtenidos en el ACP, recomendado por Pérez (2005) para garantizar la clasificación de las UP en grupos compactos y homogéneos. Para efectos de explicación de grupos obtenidos se utilizará G1 = grupo 1, G2 = grupo dos y G3 = grupo tres. Los análisis antes mencionados se realizaron a partir de nueve variables relacionadas con la estructura, manejo y economía del hato en las UP, como se observa en el Cuadro 1.

Cuadro 1.

Variables utilizadas en el análisis de componentes principales

Variable	Abreviatura
ha de Superficie Agrícola Útil	ha de SAU
% ha para pastoreo/ha de Superficie Forrajera (SF)	%Pas/ha de SF
Unidades de Trabajo Año (UTA)	UTA
Unidades de Ganado Bovino (UGB)	UGB
Unidades de ganado bovino/ha de SF	UGB/ha de SF
Superficie Agrícola Útil/UTA	ha de SAU/UTA
Kilogramos de concentrado/vaca/año	Kg-concentrado/vaca/año
% ingresos por venta de animales destetados/IT	% Ing-dest/IT
Ingresos Totales (IT)	IT

Método de extracción: Análisis de Componentes principales.

Resultados y discusión

Del ACP se obtuvieron cuatro factores con valor propio > 1 que explicaron más del 71% de la varianza total, como se muestra en el Cuadro 2.

Cuadro 2.

Factores obtenidos en el ACP y varianza total

Factor	Valor propio	% de la varianza explicada	% acumulado
1	2.763	30.702	30.702
2	1.332	14.801	45.503
3	1.267	14.075	59.577
4	1.064	11.826	71.403

Método de extracción: Análisis de Componentes principales. Método de rotación: Normalización Varimax con káiser. Prueba de la medida de adecuación maestra de Kaiser-Meyer-Olkin = 0.558. Prueba de esfericidad de Bartlett Chi cuadrado = 199 (P < 0.00).

Las cargas factoriales que evidencia la correlación de los nuevos factores sobre la variable original, se describen en el Cuadro 3.

Factor 1. “Unidades de producción con mayor disponibilidad de superficie y unidades de ganado bovino”. Muestra la relación positiva que existe entre la superficie agrícola útil con las unidades de ganado bovino, la disponibilidad de mano de obra en las UP y el ingreso total.

El factor 2. “Unidades de producción relacionadas con el manejo del hato”. Indica la relación del manejo que existe entre las hectáreas de superficie destinado al pastoreo del ganado en relación a las ha de SF y la relación negativa con el menor ingreso proveniente de la venta de terneros al destete.

Cuadro 3.

Coefficiente de correlación de variables con los cuatro primeros factores

Variable	1	2	3	4
ha de SAU	.781	.233	.258	.226
%Pas/ha de SF	.276	.680	-.148	.077
UTA	.539	.229	-.569	.120
UGB	.902	.060	-.009	-.218
UGB/ha de SF	-.221	.148	-.089	.766
ha de SAU/UTA	.133	.056	.924	-.011
Kg-concentrado/vaca/año	-.106	.455	-.048	-.619
% Ing-dest/IT	.013	-.788	-.101	.068
IT	.843	-.026	-.085	-.178

Método de extracción: Análisis de componentes principales. Método de rotación: Normalización Varimax con Kaiser. La rotación ha convergido en 5 iteraciones.

El factor 3. “Unidades de producción con menor disponibilidad de mano de obra”. Da a conocer la relación negativa con la mano de obra, caracterizada por una reducida presencia y la correlación positiva con el manejo de mayor superficie por unidad de trabajo. El factor 4. “Unidades de producción con la mayor carga ganadera”. Muestra la importancia que de la superficie forrajera en la alimentación del ganado y su relación negativa con el uso de concentrados comerciales. Por otra parte, del AC se obtuvieron 3 grupos de acuerdo a la jerarquización que se observa en la Figura 1. Los valores promedio de las variables utilizadas en el análisis, se muestran en el Cuadro 4, mientras que en el Cuadro 5, se observan otras variables adicionales, que si bien no se incluyeron en el análisis, si permiten una mejor interpretación y diferenciación de grupos.

Grupo 1: Integrado por el 18% de las UP y se caracteriza por la mayor disponibilidad de tierra, destinada principalmente a producción de forrajes para el ganado, especialmente provenientes de superficies de pastos, similar a G3, como se observa en el Cuadro 4. Cuenta con el mayor número de Unidades Ganaderas Totales UGT, especialmente bovinos al observar que 53% del hato está integrado por vacas para pie de cría (Cuadro 5). Presenta la menor carga ganadera (0.55 UGB/ha de SF). Si bien es cierto que ocupa el segundo lugar en disponibilidad de mano de obra (por debajo de G3), un porcentaje importante es mano de obra contratada (28%) debido principalmente a la presencia de ganado para engorda, ya que aproximadamente el 14% del IT proviene de la venta machos engordados y con la venta de animales de desecho (ganado que en la mayoría se engorda) supera el 36% de los IT (Cuadro 5). Estas UP perciben el mayor IT que supera \$171,000/año. Sin embargo, también es el grupo que mayor CT presenta, principalmente por el uso de insumos externos (1,311 kg de concentrado/vaca/año). Así mismo, es un grupo de UP dinámicas, ya que integra a productores con menos de 50 años y con el mayor nivel educativo. Mismo que se ve reflejado en el manejo del ganado, principalmente en condiciones extensivas, producto de la mayor disponibilidad de superficie forrajera, pero sobre todo por qué mantienen al ganado (vacas para pie de cría) más de 290 días en pastos naturales de monte.

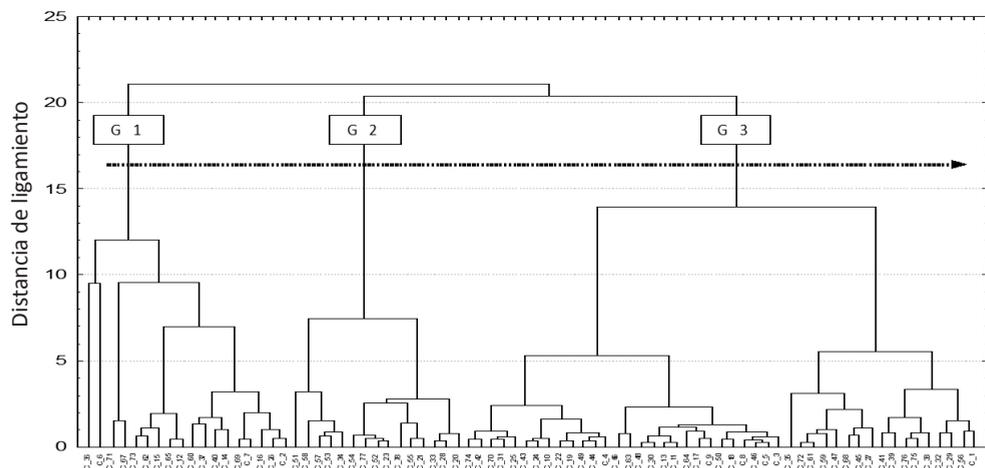


Figura 1. Dendrograma del análisis clúster.

Amalgamiento y ligamiento para 78 casos mediante el Método de Ward y distancia euclídea al cuadrado

Cuadro 4.

Medias de los grupos en el análisis de componentes principales

Variable	G1	G2	G3	Promedio
No. de UP	18 (23.08%)	15 (19.23)	45 (57.69)	78 (100%)
ha de SAU	138.11	17.93	46.83	62.34
%Pas/ha de SF	91.30	59.10	91.42	85.18
UTA	1.36	1.00	1.46	1.35
UGB	62.36	21.68	23.92	32.36
UGB/ha de SF	0.55	1.86	0.63	0.85
ha de SAU/UTA	128.28	14.48	30.70	50.10
Kg-concentrado/vaca/año	1,311.11	157.33	763.33	773.21
%Ing-dest/IT	59.04	77.80	65.04	66.11
IT ^a	171.28	32.10	58.80	79.74

G1 = Grupo uno; G2 = Grupo dos y G3 = Grupo tres. ^a= Variable expresada en miles de pesos.

Grupo 2: Integra al menor número de UP, solo el 19%. Se caracteriza por UP con menor disponibilidad de tierra. Solo el 59% de la Superficie Forrajera (ha de SF) está ocupada por pastos (Cuadro 4) y se nota la importancia de los cultivos agrícolas (Cuadro 5), principalmente destinadas al cultivo de maíz. Sin embargo G2 en número de animales es similar a G3. Cuentan con la menor disponibilidad de mano de obra, ya que en la mayoría de los casos, la familia se ocupa en actividades no relacionadas con agricultura o ganadería, que en ambos casos, supone 82% del total disponible. Caracterizado además por la presencia de un sistema de producción vaca-becerro, ya que el mayor porcentaje de los IT (\$32,000/año) provienen de la venta de terneros destetados (77.8%). No engordan ganado, ya que supone un mayor costo por alimentación y requiere de mayor manejo. El manejo del ganado es mínimo, ya que hacen igualmente un uso eficiente de los pastos naturales de monte (270 días/año) y el uso de concentrados comerciales es mínimo (157 kg/vaca/año). Son ganaderos tradicionalistas con más de 57 años (Cuadro 5) y bajo nivel educativo, por lo que el sistema se considera de autoconsumo principalmente.

Cuadro 5.

Medias de variables complementarias en la explicación de grupos

Variable	G1	G2	G3	Promedio
Edad	50.11	57.07	56.04	54.87
Nivel educativo	1.89	1.40	1.40	1.51
Tamaño de la familia	4.00	3.80	4.31	4.14
%UTA familiar/UTA	71.62	81.26	81.12	78.95
%UTA contratada/UTA	28.38	18.74	18.88	21.05
%Cultivos Agrícolas/ha de SAU	0.29	1.67	0.63	0.75
Días de pastoreo del ganado en monte	294.17	271.67	284.11	284.04
Unidades Ganaderas Totales	82.25	29.98	34.12	44.55
Vacas	39.33	14.40	14.89	20.44
Costos Totales (CT) ^a	44.30	22.70	29.70	31.71
%Ingresos-venta animales de desecho/IT	22.71	16.05	30.37	25.85
%Ingreso-venta engorda/IT	13.90	0.00	2.75	4.80
%Otros ingresos/IT	4.36	6.15	1.84	3.25

G1=Grupo 1; G2=Grupo 2; G3=Grupo 3. ^a= Variables expresada en miles de pesos.

Grupo 3. Es el grupo que integra el mayor porcentaje de UP (57%), caracterizadas por que son de tamaño intermedio en superficie en relación a G1 y G2. Un elevado porcentaje de esta superficie es destinada a la producción de forraje (91%). Sin embargo en cuanto al tamaño del hato es similar a G2. El 63% de de los IT (\$65,000) como se muestra en el Cuadro 4, son generados por la venta de terneros al destete, aunque la venta de animales de desecho y machos engordados también representan un porcentaje importante de ingresos (33%). Es el grupo que mayor disponibilidad de mano de obra presenta (81% de tipo familiar), aunque el grado de semi-especialización hace que el uso de concentrado comercial sea incremente (763 kg/vaca/año) aunque en menor grado que en G1, situación que incrementa los costos de producción (\$29,600/año), no obstante que hacen un uso eficiente de la las zonas naturales (281 días/año) para el pastoreo del ganado (Cuadro 5).

Indicadores económicos. En función de lo anterior, la Figura 2 muestra el Margen Neto (MN) por grupo de UP. Mismo que está altamente correlacionado con la mayor disponibilidad de superficie o hatos grandes. Es el caso de G1 que presentó el mayor MN, seguido de G3, mientras que G1 es el que menor MN obtuvo. Por otra parte, en las Figuras 3, 4 y 5, se muestra el MN unitario. En este caso se observa que G1 obtiene el mayor MN/vaca/año (Figura 3). La tendencia es similar en el MN

obtenido por unidad de trabajo año como se observa en la Figura 5. G2 en cambio no supera los \$1,000/vaca/año. Por otra parte G2 es el que hace uso eficiente de la superficie de tierra, ya que obtuvo el mayor MN/ha de SAU/año, lo que evidencia que UP de mayor tamaño son menos eficientes en este rubro, como fue el caso de G1 y G2 (Figura 4).

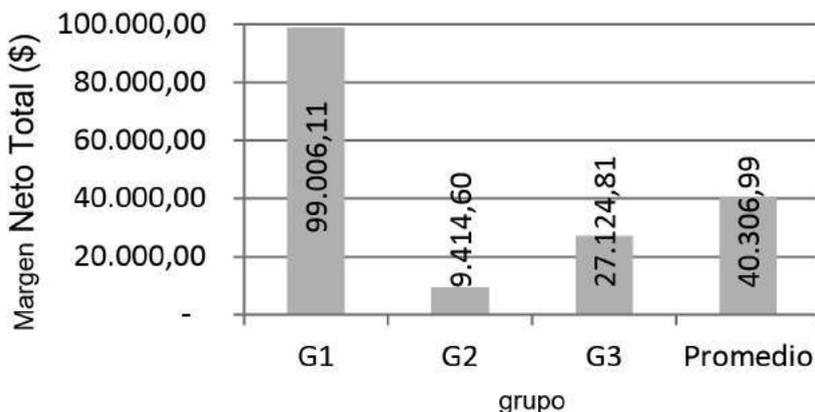


Figura 2. Margen Neto por grupo

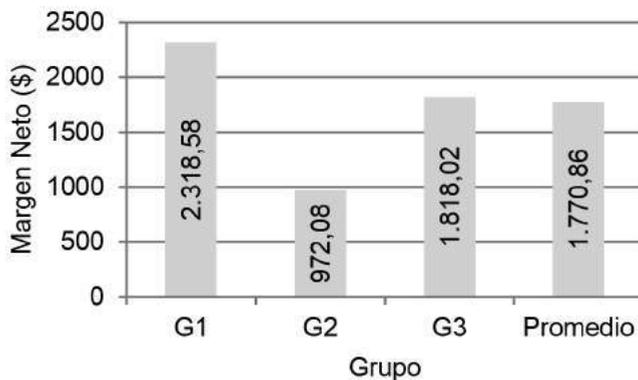


Figura 3. Margen Bruto por vaca

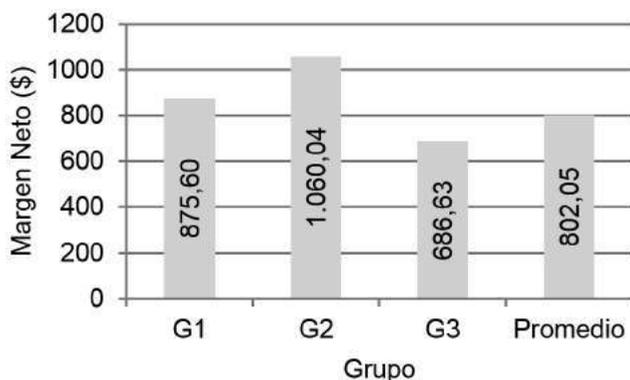


Figura 4. Margen Bruto por ha de SAU

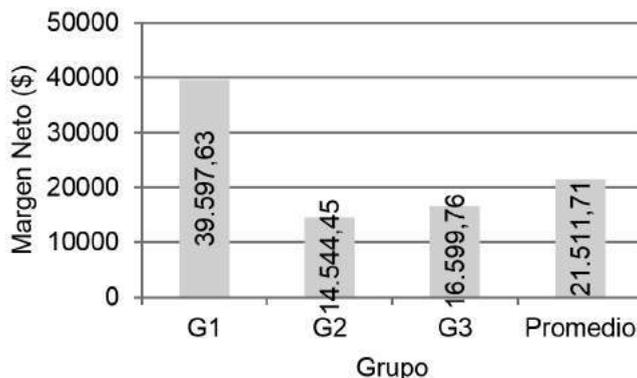


Figura 5. Margen Bruto por UTA

Los principales resultados evidenciaron la importancia de la ganadería en la zona de estudio, corroborando las estadísticas oficiales (INEGI, 2009) que indican que la ganadería en el municipio a diferencia de otras actividades económicas, ha tenido un mayor desarrollo, dejando a la agricultura en segundo lugar de importancia, similar a lo que ocurre en zonas de confluencia (García-Martínez *et al.*, 2011, Piedra-Matías *et al.*, 2011). En este sentido, el ganado bovino es la especie de mayor distribución en la zona de estudio. Por otra parte, si bien es cierto que la zona se caracteriza por una producción de doble propósito en condiciones extensivas, se ha observado la especialización en la producción de carne en los tres grupos establecidos, como ocurre en otras zonas de montaña (Hernández-Dimas *et al.*, 2010), ya que la producción de leche ha disminuido considerablemente (solo para autoconsumo)

e incluso ha desaparecido en algunas UP, lo que confirma la especialización en la producción de carne en estas zonas accidentadas, dadas las difíciles condiciones de producción (García-Martínez *et al.*, 2009). En este sentido se ha observado que el mayor ingreso proviene de la venta de terneros al destete criados en grandes extensiones de agostadero como fue el caso de G2, UP caracterizadas por la menor disponibilidad de tierra. Es importante destacar que G1 y G2 se caracterizan por una elevada disponibilidad de SAU, de la cual un elevado porcentaje es SF, destinada para el pastoreo del ganado (85% de la SF son pastos), característico de sistemas de doble propósito. Además, Ortiz *et al.* (2010) indicaron que la alimentación del ganado se complementa con otras fuentes de forrajes, como malezas, arbustos y árboles forrajeros dispersos en los potreros o bien de una diversidad de frutos, como lo ha reportado Rojas *et al.* (2010).

Por otra parte, la engorda de ganado en G1 y G2 se ha convertido en una alternativa, ya que la venta de ganado engordado representa alrededor del 30% del IT percibido. No obstante, esta actividad hace que los costos de producción se incrementen considerablemente, sobre todo por el mayor uso de insumos externos, situación que se han corroborado en otras zonas de confluencia (Esparza-Jiménez, 2009), en el que los concentrados interviene con la mayor erogación en efectivo. Para la realización de las actividades agropecuarias la disponibilidad de mano de obra es fundamental para el funcionamiento de la explotación (García-Martínez, 2008), siendo principalmente la mano de obra de tipo familiar. En este sentido la especialización de la mano de obra se relaciona directamente con la superficie disponible y el tamaño del hato. En este sentido, en las UP se observó una reducida disponibilidad de UTA principalmente en G2, a diferencia de G1 y G2 en los que un porcentaje importante de la mano de obra es contratada (21%). En este sentido, García-Martínez *et al.* (2008) destacaron que esta tendencia es resultado del reducido relevo generacional (pocos hijos) y de la diversificación de las actividades económicas que les permitan mejorar las condiciones de vida del grupo familiar. Así mismo, Piedra-Matías *et al.* (2011) destacaron que la continuidad de las UP se relaciona con ganaderos jóvenes, mientras que el bajo relevo generacional, mayor nivel educativo de los hijos, son factores negativos para la ganadería debido al elevado índice de migración. Lo anterior se reflejó en la dinámica de las UP. Así por ejemplo G1 integró a ganaderos jóvenes y entusiastas que cuentan con el mayor nivel educativo, que se ve reflejado en el manejo de las UP, a diferencia de G2 y G3 que son integrados por ganaderos mayores de edad con bajo nivel educativo.

La sostenibilidad de las UP está condicionada por los resultados económicos y su competitividad depende, en gran medida, de la productividad de los factores de producción, fundamentalmente de la mano de obra. En este tenor, la productividad

en la mano de obra, incrementa en la medida que incrementa el tamaño de hato, lo que sugiere una mayor intensificación del factor trabajo como fue el caso de G1 y G3. La misma situación fue para el caso de la productividad por vaca. Si bien es cierto que lo antes mencionado, obedece a mayores costos de producción para el caso de G1 y G3, debido principalmente al mayor uso de insumos externos, sin embargo la productividad por ha de SAU es mayor en el grupo de menor tamaño, lo que sugiere una mayor intensificación del recurso tierra.

Conclusiones

En función de los resultados obtenidos, se concluye que la ganadería en la zona de estudio es la principal actividad económica, especializada en la producción de carne. Además, UP de menor tamaño tienen mayor eficiencia económica por ha de SAU, mientras que UP grandes, presentan mayor intensificación de la mano de obra y del ganado, confirmando así la diversidad de UP moldeadas por las exigencias que el medio socioeconómico en que se desarrollan.

Agradecimientos

Se agradece a los ganaderos del Municipio de Amatepec, Estado de México y al grupo de investigación (CASPAREN) que hicieron posible el trabajo de campo y el análisis de la información. Así como a la UAEM por el financiamiento del proyecto de investigación “Los sistemas de ganado bovino en condiciones de montaña en el sur del Estado de México: dinámica de las explotaciones y análisis de su sostenibilidad mediante modelos de simulación” con clave 2700/2008U, del cual el trabajo formó parte.

Literatura citada

- Esparza, J.S. 2009. Análisis de costos de producción y rentabilidad de la lechería en pequeña escala en el Municipio de Zacazonapan, Estado de México. Tesis de Licenciatura. Centro Universitario UAEM Temascaltepec. 61 p.
- García-Martínez, A. 2008. Dinámica reciente de los sistemas de vacuno en el Pirineo Central y evaluación de sus posibilidades de adaptación al entorno socio-económico. Tesis Doctoral. Universidad de Zaragoza, España. 273 p.

- García-Martínez, A., Olaizola, A.S., Bernués, A. 2009. Trajectories of evolution and drivers of change in European mountain cattle farming systems. *Animal*. 3 (1):152-165.
- García-Martínez, A., Piedra-Matías, R., Hernández-Dimas, G., Hernández, M.J., Rebollar, R.S., Avilés, N.F., Albarrán-Portillo, B., Flores, C.J.M. 2011. Los sistemas de ganado bovino en el municipio de Tlatlaya. Situación económica actual. En: *La ganadería ante el agotamiento de los paradigmas dominantes*. Beatriz A. Cavallotti Vázquez., Benito Ramírez Valverde., Francisco Ernesto Martínez Castañeda., Carlos F. Marcof Álvarez y Alfredo Cesín Vargas. Volumen 2. 219-232.
- Hair, J.F.J., Black, W.C., Babin, B.J., Anderson, R.E., Tatham, R.L. 2006. *Multivariate data analysis*. International Edition. 6 Ed. Prentice Hall International. New Jersey. United States of America. 897 p.
- Hernández, S.R., Fernández, C.C., Baptista, L.P. 2004. *Metodología de la investigación*. 3ª ed. McGraw-Hill Interamericana. México. 705 p.
- Hernández-Dimas, G., Albarrán-Portillo, B., Piedra-Matías, R., Rebollar, R.S., Avilés, N.F., García-Martínez, A. 2010. Tipificación de los sistemas de ganado bovino en el municipio de Tlatlaya Estado de México. En: *Los grandes retos para la ganadería: Hambre, Pobreza y Crisis Ambiental*. Beatriz A. Cavallotti Vázquez. Carlos F. Marcof Álvarez y Benito Ramírez Valverde. *La ganadería y su contribución al desarrollo territorial*. pp:191-201.
- INEGI. 2009. *Censo agrícola y ganadero*. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática [www.inegi.mx. Agosto de 2011].
- Manrique, E., Olaizola, A., Bernués, A., Maza, M.T., Sáez, A. 1999. Economic diversity of farming systems and possibilities for structural adjustment in mountain livestock farms. *Options Méditerranéennes*. 27: 81-94.
- Olaizola, A., Gibon, A. 1997. Bases teóricas y metodológicas para el estudio de las explotaciones ganaderas y sus relaciones con el espacio. *La orientación de la escuela Francesa de sistemistas*. ITEA. 93 (1): 17-39.
- Ortíz, R.A., García-Martínez, A., Rojo, R.R., Albarrán-Portillo, B. 2010. Efecto de los sistemas de producción bovino de Zacazonapan sobre la diversidad vegetal de las unidades de producción. En: *Los grandes retos para la ganadería: Hambre, Pobreza y Crisis Ambiental*. Cavallotti V.B.A. C.F. Marcof A., B. Ramírez V.. *Capítulo 1. Políticas Públicas: Apertura Comercial, Competitividad y Desarrollo Rural*. Universidad de Chapingo. pp: 106-113.
- Pérez, C. L. 2005. *Técnicas Estadísticas con SPSS 12. Aplicaciones al análisis de datos*. Prentice Hall. Madrid, España. 802 p.

- Piedra-Matías, R., Hernández-Dimas, G., Albarrán-Portillo, B., Rebollar, R.S., García-Martínez, A. 2011. Tipología de las explotaciones de ganado bovino en el Municipio de Tejupilco, Estado de México. En: La ganadería ante el agotamiento de los paradigmas dominantes. Cavallotti V.B.A., B. Ramírez V., F.E. Martínez C., C.F. Marcof A., A. Cesín V.. Volumen 2. pp: 205-218.
- Plan de Desarrollo Municipal de Amatepec. 1997-2000. Plan Municipal de Desarrollo Urbano de Amatepec, Estado De México. 22p.
- Rojas, H.S. Avilés, N.F., Castelán, O.O.A., García-Martínez, A., Olivares, P.J. 2010. Tipificación de los sistemas de producción de ganado e importancia de los árboles no leguminosos en la zona rural del sur de Estado de México. En: Los grandes retos para la ganadería: Hambre, Pobreza y Crisis Ambiental. Cavallotti V.B.A., C.F. Marcof A., B. Ramírez V. Crisis ambiental y producción ganadera. pp:115-123.
- Ruiz, R., Oregui, L. 2001. El enfoque sistémico en el análisis de la producción animal: revisión bibliográfica. Invest. Agr: Prod. Sanid. Anim. 16 (1): 29-61.
- Visauta, B., Martori, J.C. 2003. Análisis estadístico con SPSS para Windows. Estadística multivariante. 2 Ed. McGraw-Hill II. 345 p.
- Yin, R.K. 1994. Case study research. Design and methods. Sage publications. 171p.

Aptitud de suelos para el cultivo de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq L.) en Tenosique, Tabasco

Soil aptitude for soil palm cultivation (*Elaeis guineensis* Jacq L.) in Tenosique, Tabasco

Morales Garduza Marcos Antonio*, David Jesús Palma-López,
Antonio López Castañeda y Raquel Jiménez Ramírez.

Colegio de Postgraduados Campus-Tabasco. Periférico Carlos A. Molina S/N Carr. Cárdenas–
Huimanguillo km. 3.5. H. Cárdenas Tabasco. *E-mail: morales.marcos@colpos.mx

Resumen. El trabajo consistió en hacer un levantamiento de suelos a nivel semidetallado ubicado en la parte centro sureste del municipio de Tenosique Tabasco, con el objetivo de identificar zonas aptas para el cultivo de palma de aceite. Para el estudio de suelo se utilizó la metodología de Ortiz-Solorio y Gutiérrez, con los datos generados y los requerimientos edáficos del cultivo se realizó un mapa de aptitud para palma de aceite. Los resultados demuestran que los suelos muy aptos pertenecen al grupo de los Fluvisoles y Luvisoles los cuales ocupan una superficie de 53,117.5 ha; los suelos aptos son del grupo de los Calcisoles, y Lixisoles mismos que ocupan una superficie de 14,749.5 ha; los suelos mediana y ligeramente aptos son del grupo Vertisoles y Cambisoles con superficie de 18,031 ha aproximadamente, y los suelos con nula aptitud son del grupo de Gleysoles y Leptosoles, estos ocupan 10,981 ha aproximadamente. Se concluye que en la parte centro sureste del municipio de Tenosique, Tabasco más del 36 % de sus suelos cuentan con alta aptitud para el establecimiento del cultivo de la palma de aceite.

Palabras clave: palma de aceite, levantamiento de suelos, aptitud

Abstract. The study consisted in doing a semidetailed soil survey, in Tenosique city, located in the central southeastern of Tabasco State. The goal was to identify suitable areas for cultivation of oil palm. The methodology used for the soil survey was described by Ortiz-Solorio and Gutiérrez, we made a land suitability map for oil palm with the soils data and the crop soil requirements. Results show that Fluvisols and Luvisols are highly suitable, occupying a surface of 53,117.5 ha. The groups of

Calcisols and Lixisols are suitable, occupying a surface of 14,749.5 ha. The soils with the category of moderately and marginally suitable are the ones in the groups of Vertisols and Cambisols, with a surface of approximately 18,031.18 ha. And the soils not suitable are the ones in the groups of Gleysols and Leptosols, they occupied a surface of 10,981 ha. We concluded that more than 36% of the soils located in the central southeastern of Tenosique, Tabasco, are suitable for oil palm cultivation.

Key words: oil palm, soil survey, aptitude

Introducción

La industria de la palma de aceite se ha expandido en virtud de la demanda de grasas y aceites en África, Asia, Centro y Sur de América. Esta especie es reconocida por la gran producción de aceite por hectárea en comparación con otras oleaginosas y por lo tanto es considerada hoy como la segunda oleaginosa más importante del mundo, dada su producción anual de fruta fresca equivalente a casi 100 millones de toneladas (FAO, 2002). En el caso de México el Gobierno Federal fortaleció y promovió a partir de 1996, a través del Programa Federal denominado “Programa de Desarrollo de Agro-sistemas, tropicales y subtropicales” en donde en 1998 se establecieron los primeros viveros. En el estado de Chiapas el cultivo de la palma de aceite se produce desde hace 40 años, obteniendo rendimientos altos, por lo que este cultivo se constituye como alternativa para disminuir el déficit que se tiene en el país de aceites vegetales (Ramírez, 1991). El estado de Tabasco es considerado dentro de los estados estratégicos para el fomento del cultivo de la palma de aceite, dado las características climáticas y edáficas, que favorecen condiciones propicias y rentables para el establecimiento del cultivo. Representa además una oportunidad para que los productores obtengan mayores ingresos económicos aprovechando las características agroclimáticas y edafológicas del estado.

Las plantaciones en el estado de Tabasco se localizan en los municipios de Jalapa, Tacotalpa, Macuspana, Tenosique, Balancán y Emiliano Zapata (SAGARPA, 2000). Por lo general las plantaciones se ubican de manera general en tierras con poca aptitud para este cultivo. Por ello el establecimiento de nuevas plantaciones debe partir de un estudio de suelos que defina las tierras con mayor aptitud para el cultivo. Es por ello que el objetivo de este trabajo fue identificar los suelos con aptitud para el cultivo de la palma de aceite en el municipio de Tenosique Tabasco.

Materiales y métodos

El área de estudio se localiza al centro-sureste del municipio de Tenosique en el estado de Tabasco con una superficie de 53,117.5 ha (Figura 1). Colinda al Norte con el municipio de Balancán, al Sur con la Sierra de Tenosique, al Este con la línea del ferrocarril y al Oeste con el municipio de Emiliano Zapata. En el área se encuentran plantaciones de caña de azúcar, pastizales, cultivos anuales, palma de aceite y hortalizas, se ubica entre los $91^{\circ} 35' 00''$ y $91^{\circ} 20' 30''$ de Longitud Oeste y entre los $17^{\circ} 25' 30''$ y los $17^{\circ} 40' 10''$ de Latitud Norte.

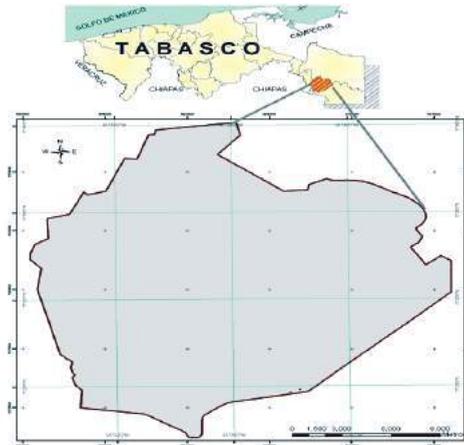


Figura 1. Localización de área estudio.

Para realizar este trabajo se utilizó la metodología de levantamiento de suelos descrita por Ortiz-Solorio y Gutiérrez (1999), la cual divide el estudio en tres etapas:

Precampo: se realizó búsqueda de información edáfica y nutricional del cultivo, además de la recuperación de información cartográfica relacionada con el área de estudio, en la cual se incluyó el estudio de suelo de gran visión realizado en el estado de Tabasco a escala 1:250 000, de las subunidades de suelos aptas que fueron definidas en este estudio; se adquirió el material cartográfico (mapas topográficos y fotografías aéreas a escala 1:75 000) del área de estudio; posterior a esto se llevaron a cabo recorridos preliminares para la identificación de unidades geomorfológicas, el drenaje superficial y los tipos de vegetación, información que se utilizó para la fotointerpretación de las fotografías aéreas. Posteriormente se digitalizó lo interpretado en la fotografía, tomando como material principal

las ortofotos digitales de INEGI y con el software Arcmap-Arcview versión 9.2, se obtuvo un mapa de relieves del área de estudio.

Campo: Se ubicaron los sitios de muestreo con un Sistema de Geo Posicionamiento Global (GPS), donde se realizaron las excavaciones de los perfiles de acuerdo a los sitios seleccionados en las unidades cartográficas, los perfiles se describieron de acuerdo a la metodología de Cuanalo (1990). En cada sitio se tomaron muestras compuestas de aproximadamente 2 kg de suelo de cada horizonte detectado en el perfil. Las muestras se llevaron al Laboratorio de Análisis de Suelos Plantas y Aguas, (LASPA) del Colegio de Postgraduados Campus Tabasco, para la realización de análisis físicos y químicos. Por último se procedió a la realización de barrenaciones para la corrección de los linderos del mapa de relieves a los cuales se les verificó su concordancia con los tipos de suelos identificados.

Postcampo: en esta etapa se realizaron los análisis químicos y físicos de los horizontes de perfiles de suelo, con base en las especificaciones técnicas de muestreo y análisis de clasificación de suelos que marca la NORMA Oficial Mexicana NOM-021RECNAT-2002 (SEMARNAT, 2002), Los análisis realizados fueron: pH, CE, MO, N, P, K, Ca, Mg, Na, CIC, textura. La clasificación de suelos se realizó con la Base Referencial Mundial del recurso suelo (WRB) (IUSS Grupo de Trabajo WRB, 2007). Con los datos obtenidos de suelos y los requerimientos edáficos del cultivo se generó un mapa de aptitud de suelos para palma de aceite (IMTA, 1989).

Resultados y discusión

Los suelos identificados en el área de estudio pertenecen a los grupos: Acrisoles, Vertisoles, Lixisoles, Gleysoles, Fluvisoles, Cambisoles, Leptosoles, Calcisoles y Luvisoles. En la Figura 2 se observa el mapa de las subunidades de suelos encontradas en este trabajo y su distribución dentro del área de estudio. La escala del mapa de suelo fue 1:50 000. Con base en los requerimientos edáficos de la palma de aceite y las características de cada subunidad de suelo, se realizó la clasificación en 6 clases de aptitud: muy aptos (A1), aptos (A2), medianamente aptos (B1), ligeramente aptos (B2), actualmente no apto (C1) y permanente mente no apto (C2). En el Cuadro 1 se presentan las superficies y porcentaje de subunidades de suelos por aptitud para el cultivo de palma de aceite.

A1-Muy aptos. Los rendimientos de los cultivos son muy elevados; se pueden mantener sin degradar el suelo. Los insumos recurrentes son solo los necesarios.

Agrupas suelos muy profundos, de buena fertilidad, de textura franca, de buena estructura y permeabilidad; se ubican en esta clase los suelos Fluvisol Háplico (Étrico) y Luvisol Cutánico (Arcillico, Hiperétrico, Ferrico), ocupando una superficie de 4, 853.9 ha del total del área de estudio

A2- Aptos. En estos suelos los rendimientos de los cultivos son menores pero aún son muy redituables. Es necesario incrementar la utilización de insumos, pero aún así la utilidad global es buena. Los suelos de esta clase son: Calcisol Hipocálcico (Límico), Cambisol Háplico (Límico, Étrico, Calcárico), Cambisol Vértico (Arcillico, Étrico), Fluvisol Luvisol Gléyico Vértico (Arcillico, Hiperétrico); Fluvisol Stágnico (Étrico), Lixisol Cutánico (Crómico, Arcillico, Abruptico). Ocupan 14 749.5 ha del área de estudio.



Figura 2. Mapa de unidades de suelos de la parte centro sureste del municipio de Tenosique Tabasco.

Cuadro 1.

Superficies y porcentaje de subunidades de suelos por aptitud para el cultivo de palma de aceite en Tenosique Tabasco

Aptitud	Suelo	Clave	Superficie	
			ha	%
A1	Fluvisol Háptico (Éutrico)	FLha (eu)	4 853.9	9.1
	Luvisol Cutánico (Arcillico, Hiperéutrico, Ferrico)	LVct (cehefe)		
	Cambisol Háptico (Límico, Éutrico, Calcárico)	CMha (lmeuca)		
	Cambisol Vértico (Arcillico, Éutrico)	CMvr (ceeu)		
	Fluvisol Háptico (Arcillico, Éutrico)	FLha (ceeu)		
	Fluvisol Stágnico (Éutrico)	FLst (eu)		
	Lixisol Cutánico (Crómico, Arcillico, Abruptico)	LXct (crceap)		
	Luvisol Gléyico Vértico (Arcillico, Hiperéutrico)	LVglvr (cehe)		
	Cambisol Endogleyico (Arcillico, Éutrico)	CMng (ceeu)		
	Cambisol Endogléyico Vértico (Arcillico, Éutrico)	CMngvr (ceeu)		
B1	Cambisol Técnico (Arcillico, Éutrico)	CMte (ceeu)	14 063.3	26.5
	Fluvisol Gleyico (Límico, Calcarico)	FLgl (lmca)		
	Lixisol Cutánico (Ródico, Hiperéutrico)	LXct (rohe)		
	Lixisol Háptico (Ródico, Abrúptico)	LXha (roap)		
	Luvisol Cutanico (Arcillico, Hiperéutrico)	LVct (cehe)		
	Vertisol Cálculo (Hiperéutrico)	VRcc (he)		
	Vertisol Mólico Endoleptico (Pélico, Hiperéutrico)	VRmonl (pehe)		
	Leptosol Mólico Gléyico (Hiperesquelético, Húmico)	LPmogl (hkhu)		
	Vertisol Stágnico (Hiperéutrico, Húmico)	VRst (hehu)		
	Vertisol Stágnico (Pélico, Éutrico)	VRst (peeu)		
B2	Acrisol Cutánico (Arenico)	ACct(ar)	3 968.7	7.5
	Calcisol Léptico Hipocalcico (Límico)	CLlew (lm)		
	Fluvisol Mólico Gléyico (Arcillico, Húmico)	FLmogl (cehu)		
	Gleysol Háptico (Arcillico, Éutrico)	GLha (ceeu)		
	Gleysol Mólico (Arcillico, Éutrico)	GLmo (ceeu)		
	Lixisol Cutánico (Crómico, Epiarénico, Abruptico)	LXct (crarpap)		
	Luvisol Gléyico Cutánico (Arcillico, Hiperéutrico)	LVglct (cehe)		
	Gleysol Hístico (Arcillico, Éutrico)	GLhi (ceeu)		
	Leptosol Rendzico (Hiperesqueletico, Húmico)	LPrz (hkhu)		
	C1			
C2			3 764.4	7.1
ZU	Zona Urbana (Tenosique)		391.6	0.7
Ca	Cuerpos de agua		4 108.9	7.7
Total			53 117.5	100.0

B1- Medianamente aptos. En estos suelos los rendimientos aunque son bajos, todavía son redituables, el desarrollo del cultivos se ve afectado porque los suelos presentan factores que reducen su producción, como son manto freático elevado durante una época del año, suelos de textura muy arcillosa, estructura muy firme o pH alcalinos. Los suelos de esta clase son: Cambisol Endogleyico (Arcillico, Éutrico); Cambisol Endogléyico Vértico (Arcillico, Éutrico), Cambisol Técnico (Arcillico,

Éutrico), Fluvisol Gleyico (Límico, Calcarico), Lixisol Cutánico (Ródico, Hiperéutrico), Lixisol Háptico (Ródico, Abrúptico), Luvisol Cutanico (Arcillico, Hiperéutrico), Vertisol Cálculo (Hiperéutrico), Vertisol Mólico Endoleptico (Pélico, Hiperéutrico), sumando una superficie de 14,063.3 ha.

B2- Ligeramente aptos. Suelos en que los rendimientos son bajos y se requiere de insumos en cantidades considerables para elevar la producción. Esta clase agrupa suelos muy arcillosos, de buena fertilidad, que se inundan por periodos cortos una época del año, limitados por profundidad o que son pedregosos. Se agrupan los suelos Leptosol Mólico Gléyico (Hiperesquelético, Húmico), Vertisol Stágnico (Hiperéutrico, Húmico), Vertisol Stágnico (Pélico, Éutrico), ocupando una superficie de 3,968.7 ha.

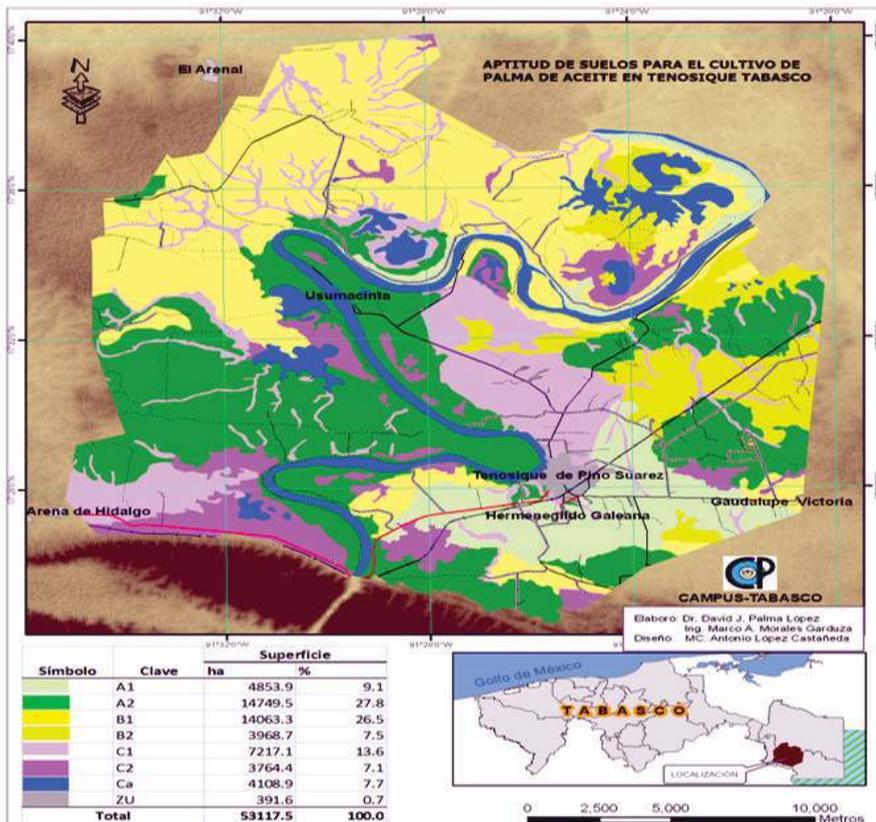


Figura 2. Mapa de aptitud de suelos para palma de aceite

C1- Actualmente no apto. Son suelos cuyas características no permiten un buen desarrollo del cultivo, en ellos solo se puede implementar el cultivo si se realizan obras de conservación de suelos o cambios muy profundos al sistema de producción, lo que implicaría que el cultivo sea incosteable. Estos suelos no son aptos para palma de aceite porque pueden tener las siguientes características: permanecen inundados buena parte del año, poca estructura, suelos someros, muy arcillosos o tienen una capa endurecida de carbonato de calcio. Se identificaron los suelos Acrisol Cutánico (Arenico), Calcisol Léptico Hipocalcico (Límico), Fluvisol Mólico Gléyico (Arcillico, Húmico), Gleysol Háptico (Arcillico, Éutrico), Gleysol Mólico (Arcillico, Éutrico), Lixisol Cutánico (Crómico, Epiarénico, Abruptico), Luvisol Gléyico Cutánico (Arcillico, Hiperéutrico). Ocupan una superficie de 7,217.1 ha.

C2- Permanentemente no aptos. El desarrollo del cultivo es incosteable por las limitaciones del suelo y las condiciones del medio. Son suelos muy inundables, endurecidos o demasiado delgados. Se agrupan los suelos Gleysol Hístico (Arcillico, Éutrico), Leptosol Rendzico (Hiperesqueletico, Húmico). Ocupan 3,764.4 ha. En la Figura 2 se observa el mapa de clases de aptitud de suelos para palma de aceite en la parte centro-sureste del municipio de Tenosique Tabasco.

Conclusiones

El municipio de Tenosique Tabasco es posible establecer nuevas plantaciones de palma de aceite pues más del 36 % de los suelos identificados en la parte Centro-Sureste cuentan con aptitud muy alta y alta, lo que puede asegurar la producción sostenida del cultivo en al menos 19, 603.4 ha de tierra. Los suelos mediana y ligeramente aptos asegura 18, 032 ha que representa el 34 % del área. Los suelos no aptos para el cultivo de palma de aceite ocupa 11,185.8 ha, representando el 20.7 % del total del área de estudio.

Agradecimientos

Se agradece el financiamiento de este trabajo a Fondos Mixtos del Gobierno del Estado de Tabasco, a través del proyecto FOMIX TAB-2006-C08-42116.

Literatura citada

- Cuanalo de la C. H. 1990. Manual para la descripción de perfiles en el campo. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 40 p.
- FAO. 2002. Departamento de agricultura y protección al consumidor Publicado en febrero. (En línea) Disponible <http://www.fao.org/ag/portal/home/en/>. (Revisado el 15 de agosto del 2008).
- IMTA. 1989. Manual de clasificación cartografía e interpretación de suelos con base en el sistema de taxonomía de suelos. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Cuernavaca, Morelos, México.
- IUSS Grupo de Trabajo WRB. 2007. Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. 103. FAO, Roma. 127 pp.
- Ortíz-Solorio C.A. y Gutiérrez C. Ma. Del C. 1999. Fundamentos de pedología. IRENAT, Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. De México. 103 p.
- Ramírez Z. R. 1991. Palma Africana: una alternativa para el trópico húmedo; SARH. INIFAP. Campo experimental Costa de Chiapas Acapetahua. Chiapas. México. 51 p.
- SAGARPA, 2000. Evaluación de la Alianza para el Campo 2000. Programas de Fomento Agrícola, Fomento Ganadero, Sanidad Agropecuaria y Transferencia de Tecnología. 15 p.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales) 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreos, y análisis. Diario oficial (segunda edición). México D.F.

Necesidades hídricas y programación del riego para caña de azúcar en Tabasco, México

Water requirements and irrigation scheduling for sugarcane in Tabasco, Mexico

López López Rutilo* y Osias Ruíz Álvarez.

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental
Huimanguillo. Km. 1 Carr. Huimanguillo-Cárdenas, Huimanguillo, Tabasco, CP 86400,
*Email: lopez.rutilo@inifap.gob.mx

Resumen. Se presenta un trabajo sobre el balance hídrico para dos regiones cañeras del estado de Tabasco, con el objetivo de definir épocas con déficit o exceso de humedad y determinar las necesidades hídricas del cultivo de caña de azúcar para la programación del riego en tiempos medios, la información de partida fueron datos de dos estaciones meteorológicas del Estado con promedios mensuales de evaporación y precipitación; para determinar la evapotranspiración del cultivo se estimó la evapotranspiración de referencia (ET_0) con el método del tanque evaporímetro; los valores del coeficiente de cultivo (K_c) y datos fenológicos de la caña de azúcar fueron tomados del boletín 56 de la FAO para regiones tropicales. De acuerdo con el balance hídrico, existe un período de cuatro meses en los que la curva de ofertas de agua está por debajo de la demanda, las siembras del mes de febrero y marzo necesariamente requieren de riego para garantizar la productividad del cultivo. La evapotranspiración del cultivo de caña de azúcar varía de 0.8 a 5.8 mm por día según la etapa fenológica del cultivo, siendo el mes de mayo donde se presenta mayor demanda.

Palabras clave: Evapotranspiración de referencia, coeficiente de cultivo, productividad del cultivo, programación del riego

Abstract. We present a study on the water balance for two cane regions of the state of Tabasco, in order to define periods with deficit or excess moisture and to determine water needs of growing sugar cane for irrigation scheduling in time means, baseline information were data from two weather stations in the State with monthly average

evaporation and precipitation to determine crop evapotranspiration was estimated reference evapotranspiration (ET_0) with the pan evaporation method, the values of crop coefficient (K_c) and phenological data of sugar cane were taken from bulletin 56 of the FAO for tropical regions. According to water balance, there is a period of four months that deals curve is below water demand planting in February and March necessarily require irrigation to ensure crop productivity. Crop evapotranspiration of sugarcane varies from 0.8 to 5.8 mm per day depending on crop phenological stage, with the month of May which has increased demand.

Key words: Reference evapotranspiration, crop coefficient, crop productivity, irrigation scheduling.

Introducción

Existen diversas maneras aplicar el agua a los cultivos, los cuales se han ido mejorando cada día, tendiendo a aumentar la eficiencia de aplicación, que permita aprovechar mejor el agua disponible; así como en algunos casos tratando de automatizar los equipos, de tal manera que evite la mano de obra excesiva, ya que en algunas regiones del país ésta es limitante y cara. El uso y manejo eficiente de los sistemas de riego es necesario para lograr altas eficiencias de riego, así como incrementar la productividad del cultivo y reducir los costos de operación por mano de obra y energía. La caña de azúcar es una especie exigente de agua para su desarrollo, actividad y profundidad de su sistema radical. Por lo que es necesario que no le falte agua en sus etapas críticas y de manera particular en los meses secos (febrero-mayo), que de no atenderse hay riesgos de disminución de rendimientos y de la calidad del producto. Dado el costo que implica el suministro de riego, se hace necesario eficientar el uso y el manejo del agua. Al respecto Salgado *et al.*, (2003) reportan que en México la evapotranspiración media es de 6.5 mm por día, mientras que en la Región de la Chontalpa, en el estado de Tabasco, Carrillo (1989) determinó que una humedad entre Capacidad de Campo y 4 atm de potencial de presión a profundidad de 120 cm, equivale a una lamina de 36.91 cm ha⁻¹, produce rendimientos de caña de azúcar de hasta 175 t ha⁻¹.

En México, en el cultivo de la caña de azúcar, generalmente se usa el riego por surcos de forma tradicional, con eficiencias de aplicación de 35 a 40% y baja productividad del cultivo. Por lo anterior, los sistemas de riego presurizados (aspersión y goteo) están sustituyendo este método de riego, con eficiencias superiores al 60%. Mientras que en los estados del Sureste del país, donde se cultiva una superficie importante de caña de azúcar, se sigue sembrando en temporal

con rendimientos promedios de 50 t ha⁻¹, debido principalmente a problemas de sequía durante el ciclo del cultivo (López *et al.*, 2010). Por otra parte, el impacto del cambio climático en los cultivos será en el acortamiento de su ciclo de cultivo y la reducción en los requerimientos de riego, pero provocará una reducción en su rendimiento para las condiciones de manejo y variedades actuales. Es evidente que el aumento en temperatura y la reducción en la precipitación provocarán cambios sustanciales en el proceso productivo del cultivo (Kurukulasuriya y Rosental, 2003). Por lo anterior el objetivo del presente estudio fue realizar un balance hídrico para definir épocas con déficit y excesos de humedad en dos regiones cañeras del estado de Tabasco y determinar las necesidades hídricas del cultivo de la caña de azúcar para la programación del riego en tiempos medios.

Materiales y métodos

Ubicación y características del área de estudio. El estado de Tabasco se localiza entre los meridianos 90°59'08" y 94°07'00" al oeste del meridiano de Greenwich y los paralelos 17°15'00" y 18°38'45" de latitud norte, cuenta con una extensión territorial de 24 738 Km²; y clima dominante de tipo cálido húmedo con abundantes lluvias en verano (Velázquez, 1994). En este estado la precipitación promedio es del orden de los 2 500 mm anuales y la temperatura media mensual es de 26.7 C.

Información climatológica. Se utilizó información del Extractor Rápido de Información Climática (ERIC, V3 del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua) de dos estaciones climatológicas Cárdenas y Tenosique, Tabasco, que representan las dos regiones donde se cultiva caña de azúcar, dichas estaciones están reportadas por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN). La información climatológica utilizada fueron los datos de precipitación y evaporación media mensual del tanque tipo "A".

Estimación de la ET₀ a partir del Tanque evaporímetro tipo A (ET₀). Para las dos estaciones que cuentan con información de evaporación, la evapotranspiración de referencia se calculó con el método del tanque evaporímetro tipo A (Allen *et al.* 2006). Para este método se manejó un coeficiente de tanque (K_p) de 0.80, que se recomienda para regiones tropicales donde prevalece alta humedad relativa y baja velocidad del viento (Doorenbos y Pruitt 1977). La evapotranspiración de referencia por el método del tanque evaporímetro cumple la siguiente ecuación:

$$ET_0 = Ev K_p \quad (1)$$

Donde:

ET_0 es la evapotranspiración de referencia (mm mes^{-1})

K_p es el coeficiente de tanque (adim)

E_v es la evaporación del tanque (mm mes^{-1}).

Los valores del coeficiente de cultivo (K_c) y datos fenológicos de la caña de azúcar fueron tomados del boletín 56 de la FAO (Allen *et al.*, 2006) para regiones tropicales. Por lo tanto, la evapotranspiración del cultivo (ET_c) se determinó mediante la ecuación (2):

$$ET_c = ET_0 K_c \quad (2)$$

Datos de suelo. La textura del suelo representativa para Tabasco es arcillosa (López *et al.* 2007). Se determinó la capacidad máxima de almacenamiento de agua del suelo (CA) con la textura representativa del Estado, aplicando el método del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos.

Análisis de inversión. Se compararon y analizaron los costos de inversión de los distintos sistemas de riego presurizados y por surcos, así como las eficiencias de aplicación típicas y el rendimiento potencial acorde con el método y modalidad de riego, con el propósito de realizar un análisis general de rentabilidad.

Resultados y discusión

Balance hidrológico. La Figura 1 muestra el balance hidrológico para dos estaciones del estado de Tabasco donde se cultiva caña de azúcar, en donde se muestra que a partir de mediados de mayo hasta fines de diciembre, la precipitación excede a las demandas de agua (reflejada como evapotranspiración de referencia, ET_0). Sin embargo, existe un período aproximado de cuatro meses en los que la curva de ofertas está por debajo de la demanda. De acuerdo con el balance de la Figura 1, las siembras de los meses de febrero y marzo, requieren de suplemento de riego para garantizar los rendimientos.

Coefficientes de cultivo para caña de azúcar. En el Cuadro 1 se presentan los valores de K_c y datos fenológicos del cultivo de la caña de azúcar, tomados del boletín 56 de la FAO (Allen *et al.*, 2006) para las regiones tropicales.

Los coeficientes de cultivo para la caña de azúcar propuestos por el boletín 56 de la FAO (Allen *et al.*, 2006) constituyen una base sólida para su aplicación durante

la etapa inicial (0,4) y la fase intermedia de crecimiento (1.25). El coeficiente de cultivo para la fase final (0.7) no fue soportada según Inman y McGlinchey, (2003). En cambio, se sugiere un valor de 1.25 para la elaboración del balance hídrico. Sin embargo, un $K_c=0.7$ puede ser un valor deseable para la programación del riego con el fin de someter el cultivo a un ligero estrés hídrico y así mejorar el contenido de sacarosa. La eficiencia en el uso del agua para la transpiración mediante un modelo aplicado al cultivo de caña se incrementó desde 8.0 hasta 8.7 g kPa kg⁻¹ (Inman y McGlinchey, 2003).

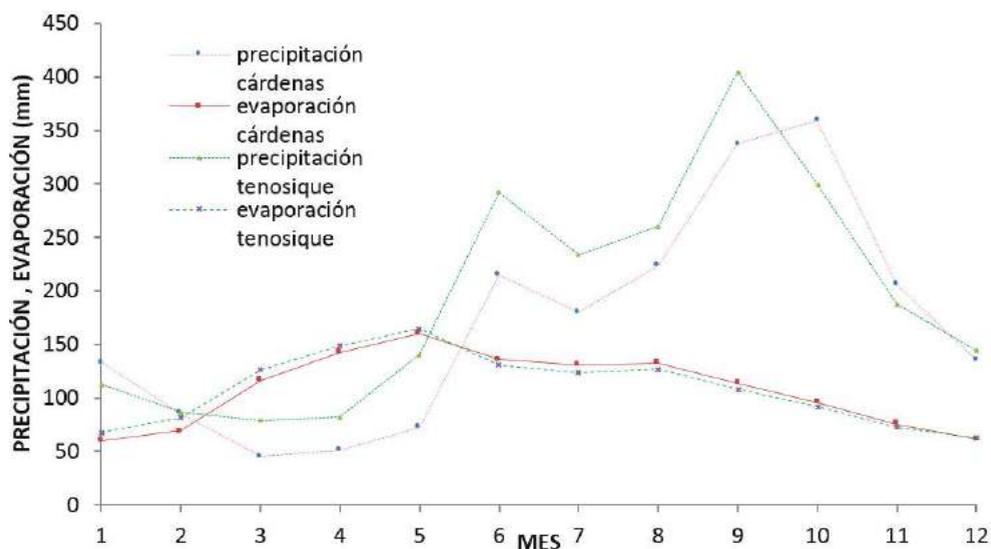


Figura 1. Balance hidrológico de dos estaciones del estado de Tabasco donde se cultiva caña de azúcar.

Necesidades hídricas del cultivo. Las necesidades de agua se estiman como el producto de evapotranspiración de referencia diaria de cultivo por medio del método de Penman-Monteith (ET_0) o mediante la evaporación de tanque y un coeficiente de cultivo (K_c), de acuerdo con las etapas de desarrollo de la planta (Cuadro 1). Al respecto, Allen *et al.* (2006) proponen para las regiones tropicales un K_c de 0.4 de la ET_0 diario en el periodo inicial, para luego incrementar de 0.7 a 1.05 en la fase de establecimiento de arado y cubierta, un 1.2 en el periodo de crecimiento principal y de 1.15 a 0.7 en el periodo de maduración de la caña de azúcar, lo que indica una disminución de las necesidades hídricas del cultivo en la etapa final. Las necesidades máximas de agua del cultivo en diversos países son de 6 a 7 mm por

día en India y Sur de África, y de 4 a 5 mm por día en Brasil. Estudios realizados en Australia reportan que el cultivo de caña tiene un requerimiento óptimo de agua de 1,530 mm por año. Mientras que las necesidades hídricas del cultivo se estiman entre 1100 y 1500 mm por hectárea, con una tasa de evapotranspiración diaria de 4 a 7 mm. Al respecto Omary e Izuno (1994) estimaron la evapotranspiración a partir de datos de la profundidad del manto freático, encontrando que las ET nocturnas varían de 0.7 a 1.5 mm, mientras que las tasas máximas variaron entre 4.5 a 4.6 mm por día, con un total de 106.2 cm por año.

Cuadro 1.

Características fisiológicas de la caña de azúcar

Fase	Inicial	Desarrollo	Mediados de temporada	Final de temporada	Total
Coeficiente del cultivo (Kc)	0.40	0.7	1.25	0.75	
Duración de la fase (días)	50	70	220	140	480
Soca	30	50	180	60	320

Con respecto al momento del riego mediante las determinaciones del potencial mátrico, se recomienda calendarizar el riego, cuando el tensiómetro instalado a los 20 cm de profundidad de suelo, registra de -15 a -25 centibares de tensión y en el periodo de maduración del cultivo es de -60 centibares, estas mediciones de la humedad del suelo tienen una relación directa con la maximización de la producción de caña y sacarosa, es decir a mayor contenido de humedad hay mayor productividad del cultivo. El manejo adecuado de tensiómetros en la programación de riego (-25 – 60 centibares en diferentes etapas de desarrollo del cultivo) permite el uso eficiente del agua, de fertilizantes y de insumos energéticos, debido a que dichos aparatos indican el esfuerzo que la planta debe realizar para absorber el agua a través de sus raíces por lo el agua de riego debe aplicarse en el momento que la humedad del suelo se agote en los niveles que puedan causar estrés hídrico. El análisis de la variación de la demanda de agua (evapotranspiración del cultivo) para el cultivo de caña de azúcar, muestra que los meses con temperaturas altas presentan mayor evapotranspiración del cultivo. En la figura 2 se puede notar que durante los meses de mayo a diciembre la precipitación puede abastecer la demanda, donde la necesidad del riego corresponde a fluctuaciones en la cantidad de precipitación.

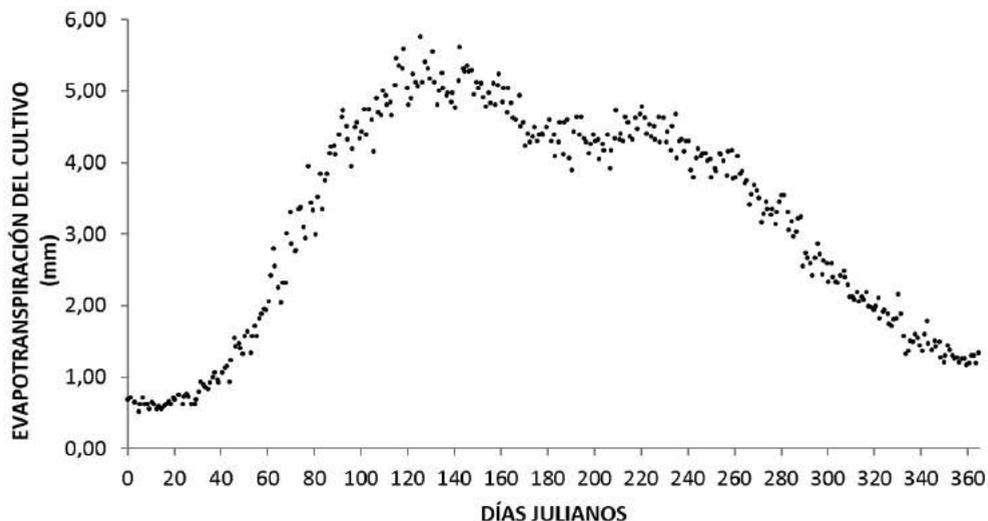


Figura 2. Evapotranspiración del cultivo de caña de azúcar durante el año con base en datos de la estación de Cárdenas, Tabasco (datos de 1948 a 2003).

Impacto del riego en la productividad de la caña de azúcar. Diversos investigadores han estudiado el impacto del riego por goteo y el fertirriego en la producción de caña de azúcar, ellos mencionan que se puede producir un rendimiento de 140 a 160 t ha⁻¹ en función de las condiciones agroclimáticas, de la duración de la temporada de crecimiento y de la variedad. La eficiencia en el uso del agua varía entre 15 y 20 kg m⁻³. La implementación del riego por goteo y la fertirrigación en la caña de azúcar han demostrado ser técnicamente factibles y económicamente viables. Además, mejora la conservación del agua del 30 al 45 % y la aplicación de fertilizantes del 25 al 30 %, además de mejorar el contenido de sacarosa en comparación con el método de gravedad por surco.

Existe una relación lineal entre el rendimiento de sacarosa y la evapotranspiración del cultivo de la caña de azúcar (ETc), al respecto Wiedenfeld, (1995) menciona que las láminas de riego tiene un efecto muy significativo en el rendimiento y la calidad de la caña de azúcar. Los sistemas de riego por aspersión, con líneas de conducción y laterales fijos, así como los pivotes centrales o avance frontal tienen varias ventajas, comparados con el método de surcos o tradicional, tales como la aplicación de dosis bajas de agua a intervalos frecuentes y ahorro de mano de obra, su principal desventaja es el costo inicial de inversión de dichos sistemas presurizados. Los sistemas de riego por goteo representan una alternativa

técnicamente viable en suelos no muy arcillosos (< 40% de arcilla), debido a que una vez enterradas las mangueras o cintas de riego, estas no puedan tener problemas de taponamiento al secarse el suelo en los periodos de descanso.

En el año 2009, los rendimientos de la caña de azúcar en los ingenios Santa Rosalía y Benito Juárez, del municipio de Cárdenas, Tabasco fueron de 56 y 43.9 t ha⁻¹, respectivamente, lo que da un promedio de 50 t ha⁻¹, en comparación con las 70 a 110 tha⁻¹, de temporal y riego respectivamente que se cosechan en otras regiones, se tiene que con la actual forma de producción se cosecha la mitad de lo que potencialmente se puede producir en la región, de acuerdo con los reportes de Carrillo *et al.* (1998); mediante prácticas de manejo del agua en las parcelas cañeras, reportan rendimientos de hasta 144 t ha⁻¹, lo que representa un incremento en la productividad del 100 %.

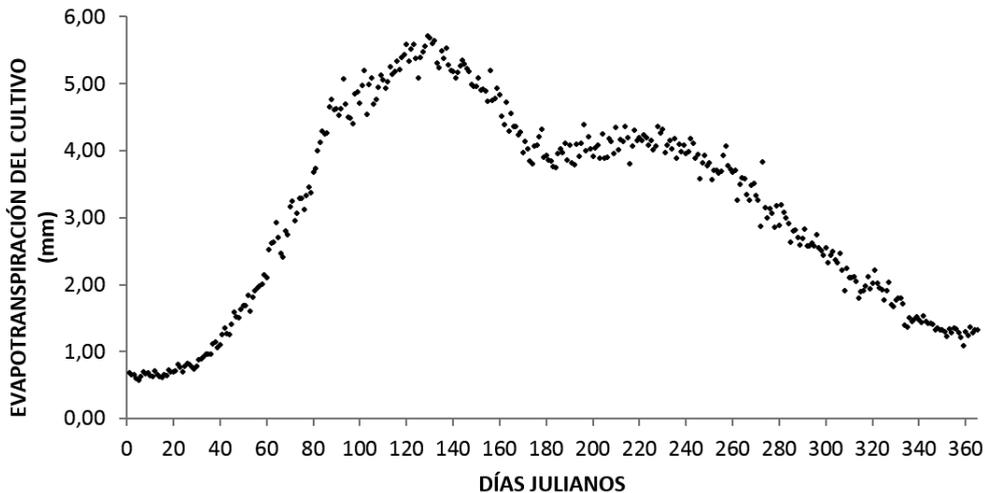


Figura 3. Evapotranspiración del cultivo de caña de azúcar durante el año, con base en datos de la estación de Tenosique, Tabasco (datos de 1948 a 2003).

En el cuadro 2 se comparan diferentes sistemas de riego por surcos y presurizados, se observa que las eficiencias de aplicación típicas acorde con el método y modalidad de riego varía desde 55 a 95%. Los métodos de aplicación del agua de riego por surco con sistema de compuertas, la eficiencia de aplicación es baja oscilando entre 50 y 55%, mientras que el riego por goteo tiene un potencial de eficiencia del 95%, si se tecnifica. Lo que puede incrementar los rendimientos por hectárea, y por ende obtener mejores utilidades y mejorar la relación beneficio costo.

Cuadro 2.

Comparación de sistemas de riego y análisis general de costos e ingresos.

Indicadores	Sistema de riego				
	Surcos (compuertas)	Pivote central	Goteo	Cañón viajero	Aspersión semifija
Eficiencia (%)	50-55	85-90	90-95	60-65	60-65
Producción en planta (t ha ⁻¹)	70	120	150	100	100
Ingreso por ha (\$)¹	44,800	76,800	96,000	64,000	64,000
Costo por ha (\$)	25,050	40,900	45,400	35,700	32,000
Costo de operación por ha (\$)	7000	1500	1500	1500	3500

¹/ Se considera un precio promedio por tonelada de caña de azúcar de \$640.00.

El riego por aspersión es un método que alcanza altas eficiencias de riego, debido a que se requiere de un volumen menor para satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos, comparado con los métodos de riego por surco, básicamente por la reducción de pérdidas por conducción y percolación de agua. Además de ser un sistema que no requiere terrenos nivelados, es adaptable a cualquier tasa de infiltración del suelo y a la mayoría de los cultivos. Por otra parte, dentro de las principales desventajas están: el viento, que puede afectar seriamente la eficiencia del sistema, ya que distorsiona el patrón de mojado y por ende la uniformidad del riego, y la inversión inicial es relativamente grande.

Conclusiones

De acuerdo con el balance hídrico, existe un período de cuatro meses en los que la curva de ofertas de agua está por debajo de la demanda, las siembras del mes de febrero y marzo requieren de suplemento de riego para garantizar la productividad del cultivo. La evapotranspiración del cultivo de caña de azúcar varía de 0.8 a 5.8 mm por día según la etapa fenológica del cultivo, siendo el mes de mayo donde se presenta mayor demanda. El riego eficiente incrementa la eficiencia del agua y la productividad del cultivo de caña de azúcar del 50 al 95%. Es conveniente estudiar los requerimientos hídricos del cultivo para la programación del riego en tiempo real y determinar los momentos de riego en función de las etapas fenológicas del cultivo para la optimización del recurso agua y mejorar la productividad del cultivo.

Literatura citada

- Allen G.R.; Pereira, S.L.; Raes, D., Smith, M. 2006. Crop Evapotranspiration. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. FAO, Rome, Italy. 300 p.
- Carrillo, A.E., Landeros, S.C., Palacios, V.O., Nikolski, G.I., Nájera, H.F., Mendoza, P.J., Ku Q.J., Cristóbal, A.D. 1998. El drenaje parcelario en zonas húmedas: una experiencia en la Chontalpa Tabasco. Memorias del VIII Congreso Nacional de Irrigación. Torreón Coahuila, Septiembre de 1998. pp. 3A: 34 – 42.
- Carrillo A.E. 1989. Determinación de los requerimientos óptimos de humedad, fertilización nitrogenada y potásica para la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L) en la Chontalpa, Tabasco. Tesis profesional. Departamento de Irrigación. UACH. Chapingo, México. 125 p.
- Doorenbos J, Pruitt W. 1977. Las necesidades de agua de los cultivos. FAO. Roma. 194 p.
- Inman B.N.G., McGlinchey, M.G. 2003. Crop coefficients and water-use estimates for sugarcane based on long-term Bowen ratio energy balance measurements. Field Crops Research 83: 125–138.
- Kurukulasuriya, P., Rosental, S. 2003. Climate change and agriculture: A review of impacts and adaptations. Climate Change Series. Paper No. 91. The World Bank.
- López-Guemez A.D.R., Palma-González B., Hernández-Rivera M.A, Ojeda-Morales M.E, Ángeles-Padilla A, Ruiz-Nájera J.A., García Marín M.J. 2007. Caracterización fisicoquímica de los suelos predominantes en el estado de Tabasco. Conciencia Tecnológica 7(34): 45-46.
- López- López, R., Ramírez Jaramillo G., Soria Ruíz J., Pérez Miranda, L.A, Góngora González S. Díaz-Padilla, G. Guajardo-Panes R.G. 2010 Factibilidad del riego agropecuario mediante derivación hidráulica en el Bajo Mezcalapa de Tabasco. 14 p. *In*: Congreso Internacional de Gobernanza Ambiental. Xalapa, Veracruz, México. 22 al 24 de septiembre de 2010. 15 p. <http://www.gobernanzaambiental.com/page12.html>.
- Netafim 2011. Manejo de mejores prácticas en la caña de azúcar. <http://www.netafim-latinamerica.com/crop/sugarcane/best-practice> (junio 2011).
- Omary M., Izuno, T.F. 1994. Evaluation of sugarcane evapotranspiration from water table data in the everglades agricultural area. Agricultural Water Management 27: 309-319.
- Salgado G., S., L. Bucio A., D. Riestra D., L.C. Lagunes-Espinoza. 2003. Caña de azúcar: hacia un manejo sustentable. ISBN 968-839-331-2. Campus Tabasco, Colegio de Postgraduados-Instituto Para el Desarrollo de Sistemas de Producción del Trópico Húmedo de Tabasco. Villahermosa, Tabasco. 384 p.

- Tejeda M.V.M., García G.S., Pérez L.J.R., Rodríguez E.L., García F.E. S/F. Resultados obtenidos con la utilización del Riego por Goteo subterráneo en la Provincia de Las Tunas (Cuba). www.plusformacion.com/Recursos/r/Riego-por-Goteo-cana-azucar. 26 de junio 2011.
- Velázquez, V.G. 1994. Los recursos hidráulicos del estado de Tabasco. Universidad Juárez del Estado de Tabasco. México. 242 p.
- Wiedenfeld, P.R. 1995. Effects of irrigation and N fertilizer application on sugarcane yield and quality. *Field Crops Research* 43 101-108.

Estudio de la precipitación máxima diaria anual en el Río Usumacinta aplicando componentes principales

Study of the annual maximum daily rainfall in Usumacinta River using the principal components

Castillo Bolainas, Hermelinda¹, Juan de Dios Mendoza Palacios², Lorenzo Velasco Martínez¹, Rufo Sánchez Hernández² y Maximiano Antonio Estrada Botello²

¹Estudiante de Maestría en Ingeniería Hidráulica. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

²Profesor Investigador División Académica de Ciencias Agropecuarias. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. *Email: h_castillo@hotmail.com

Resumen. Las predicciones de precipitaciones máximas diarias anuales (PMDA) son la base para estimar las crecientes de diseño cuando no existe información hidrométrica ni pluviográfica disponible. Se describe la información de PMDA utilizada en 17 estaciones de la región hidrológica de la cuenca del río Usumacinta, específicamente las zonas de los estados de Tabasco y Chiapas, en las cuales existe escasez de información con relación a eventos hidrometeorológicos. Es por ello que se propone realizar en dicha zona un análisis regional de frecuencias tomando en cuenta las PMDA para predecir las avenidas máximas. Todo lo anterior como instrumento de apoyo para el aprovechamiento de la información pluviográfica y pluviométrica disponible. Por consiguiente se aplicó un análisis de regresión por medio del análisis de Componentes Principales a cada una de las serie pluviométrica, esto con el fin de dividir la región hidrológica en subregiones hidrológicamente homogéneas y así poder realizar el análisis regional de frecuencias en el sitio de estudio, para dicho análisis se utilizaron las funciones de distribución de probabilidad Log normal de 2 y 3 parámetros, estos modelos probabilísticos fueron ajustados a cada subregión de la cuenca a partir de datos históricos disponibles. Todo lo anterior con la finalidad de obtener mediante un método alternativo información de las crecientes de diseño que facilite la realización de estudios hidrológicos en dicha zona.

Palabras clave: Regionalización, precipitación máxima diaria anual, componentes principales, cuenca del río Usumacinta, crecientes de diseño.

Abstract. Predictions of annual maximum daily rainfall (PMDA) are the basis for flood estimation design. This is when the pluviograph and the hydrometric information are not available. The annual maximum daily rainfall information is described; this is used in 17 stations of the Hydrologic zone along the Usumacinta River, specifically in the area of Tabasco and Chiapas states, in which there is shortage of information related to meteorological events. That is why we propose that in this area a regional frequency analysis should be performed considering PMDA for to predict the maximum flood. All of the above, as a support for the use of the available pluviographic and pluviometric information. Therefore, the Empirical Orthogonal Function analysis was applied (EOF's) each of the hydrological series, to divide the hydrological region into hydrologically homogeneous subregion sand to conduct the regional frequency analysis in the study site, used functions Log normal probability distribution of 2 and 3 parameters, adjusted to each subregion of the Usumacinta river from historical data available. With the purpose of obtaining information by an alternative method of flooding design to facilitate the carrying out of hydrological studies in this area.

Keywords: Regionalization, annual maximum daily rainfall, Empirical Orthogonal Function analysis, Usumacinta bas in river, flood design.

Introducción

Las avenidas producen cuantiosas pérdidas constantemente por daños materiales e incluso humanos y constituyen un grave problema económico y social. La previsión de las avenidas o crecientes de diseño puede reducir los daños causados por las inundaciones. Las crecientes de diseño permiten el dimensionamiento de vertedores de excedencias de todo tipo de presas, así como de las obras de cruces en ríos y de las estructuras de protección contra sus inundaciones (Taguas *et al.*, 2000). En el diseño hidrológico de la infraestructura hidráulica es fundamental la relación gasto máximo-periodo de retorno, la cual se establece a través del análisis probabilístico de la información disponible sobre gastos máximos anuales. La falta de información hidrométrica conlleva en mucho de los casos, a considerar métodos alternativos que pronostiquen las avenidas utilizadas en el diseño hidrológico de la infraestructura hidráulica de una región (Campos, 2007). El análisis de frecuencia de los registros pluviométricos disponibles de precipitación máxima diaria anual (PMDA) constituye la base para la estimación de crecientes en cuencas que no cuentan con información hidrométrica. Es importante destacar que las técnicas del análisis de cuencas hidrológicas han mostrado tener una habilidad para reducir

significativamente las incertidumbres presentes en la estimación de eventos extremos o predicciones que ocurren en los análisis probabilísticos locales. Por otra parte, las técnicas estadísticas del análisis de cuencas, es decir, las que conjuntan datos similares disponibles espacialmente, en un intento por compensar la escasez de registros, han demostrado su conveniencia y confiabilidad de resultados. Sin embargo, para que dichas técnicas sean aplicables en la cuenca debe ser homogénea con respecto a ciertos parámetros estadísticos (Campos, 2009). Cabe mencionar, que el objetivo del análisis de frecuencias es la estimación de los sucesos máximos correspondientes a diferentes periodos de retorno mediante el uso de funciones de distribución de probabilidad. Este análisis aumenta la fiabilidad de las estimaciones de las magnitudes de avenidas extremas de la estación de aforo de interés (Hosking y Wallis, 1997).

Este trabajo tiene como objetivo fundamental la estimación de crecientes de diseño en la cuenca del río Usumacinta con base en los registros de precipitación máxima diaria anual mediante el uso del método de componentes principales. Todo lo anterior, con el fin de tener información que sea de utilidad en el diseño de obras hidráulicas que permitan prevenir desastres naturales.

Materiales y métodos

Área de estudio. La cuenca del río Usumacinta se ubica entre los paralelos 15°00' y 18°00' latitud norte y los meridianos 89°30' y 92°13'. Se localiza al sureste de la República Mexicana y comprende los estados de Tabasco, Chiapas y pequeñas porciones de Campeche, como se muestra en la Figura 1 (Castillo *et al.*, 2011.). La cuenca en estudio pertenece a la región hidrológica No. 30 Grijalva-Usumacinta y la constituyen 106,000 kilómetros de territorio localizados entre los Estados de Chiapas, Tabasco y Campeche lo que representa el 42 % del área de la cuenca en México, mientras que el 58% incluye los departamentos de Huehuetenango, Quiché, Cobán y Petén en Guatemala. Las aguas fluyen de sur a norte, con una carga aproximada de 105,200 millones de m³/año, los cuales desembocan en el Golfo de México (Cabrera, 2006).

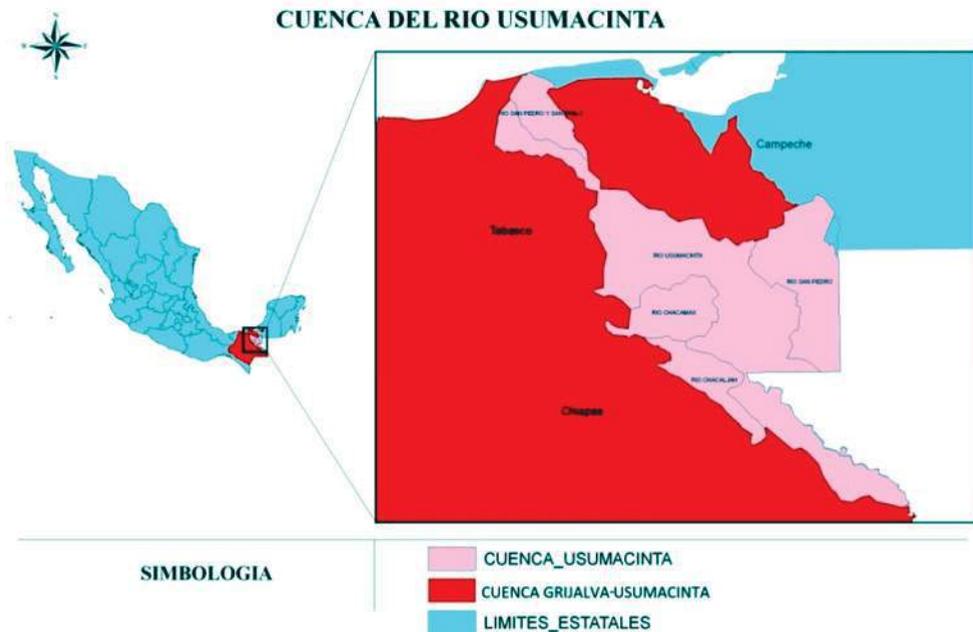


Figura1. Localización de la cuenca en estudio.

Los escurrimientos de esta cuenca atraviesan 200 km a partir de la unión del río Salinas y el río de la Pasión, tributarios que dan origen al Gran Peten guatemalteco. El Usumacinta se abre paso entre desfiladeros e imponentes acantilados de más de 300 m de altura, hasta Boca del Cerro, el cual delimita la cuenca baja del Usumacinta. A partir de este límite recibe los aportes del afluente denominado río San Pedro, procedente de Guatemala y posteriormente el río Usumacinta origina el afluente río San Pablo que sirve de límite entre los estados de Tabasco y Campeche, hasta desembocar en el Golfo de México por la barra de San Pedro (Anónimo, 2006). La región hidrológica del Usumacinta tiene un escurrimiento natural total anual estimado en 108.6 km³, más un escurrimiento proveniente de Guatemala de 38 km³, que comparado con el escurrimiento promedio anual del país, que es de 410 km³, representa el 30.79% de los escurrimientos totales de México (Anónimo, 2005).

Red de estaciones meteorológicas. El Servicio Meteorológico Nacional (SMN) proporcionó por medio de la base de datos CLICOM (Sistema del Clima Computarizado) la información disponible de las precipitaciones diarias (mm), esta información fue complementada con la proporcionada por la CONAGUA (Comisión Nacional

del Agua). La base de datos con la que se trabajo utilizó un conjunto inicial de 21 estaciones climatológicas distribuidas por toda la zona de estudio. Sin embargo, la falta de continuidad temporal en los registros de precipitación y con el fin de retener aquellas que presentaran un periodo de registro los suficientemente largo para ese periodo fundamentaron, una primera selección de estas estaciones con datos entre 10 a 62 años en el periodo de 1942 a 2009 (Cuadro 1, Figura 2). Por lo anterior fueron eliminadas cuatro estaciones climatológicas. De las estaciones seleccionadas fueron calculadas las precipitaciones máximas diarias anuales de cada una.

Cuadro 1.

Listado de las estaciones climatológicas seleccionadas en la zona de estudio.

Clave	Nombre	Latitud	Longitud	Altitud	Años de información
27004	Boca del Cerro (DGE)	17°26'00"	91°29'00"	25	62
27012	Emiliano Zapata	17°44'31"	91°45'47"	26	32
27021	Mactum	17°45'24"	91°17'33"	14	31
27028	Jonuta	18°05'31"	92°08'20"	14	35
27040	San Pedro	17°47'30"	91°09'30"	36	60
27046	Tenosique (DGE)	17°28'24"	91°25'36"	60	31
27047	Tenosique (SMN)	17°29'00"	91°26'00"	60	51
27056	Balcan de Domínguez (DGE)	17°49'00"	91°33'00"	18	42
27059	El Triunfo	17°56'12"	91°10'38"	60	29
27069	Chable (DGE)	17°51'19"	91°46'57"	10	10
27088	La T	17°35'48"	91°32'24"	57	19
27091	Play Larga	17°56'18"	91°48'36"	5	15
7004	Agua Azul	16°47'00"	90°55'00"	126	24
7022	Playas de Catazaja	17°43'42"	92°00'56"	10	26
7028	Chacamax	17°28'24"	91°42'28"	18	15
7085	Palenque (DGE)	17°33'00"	91°59'00"	200	45
7126	Palenque (SMN)	17°43'42"	91°59'00"	20	27



Figura 2. Localización de las estaciones climatológicas

Análisis de Componentes Principales. Con el propósito de evaluar el grado de asociación entre las tres variables que son altitud, mediana y coeficiente de asimetría (Cs) se aplicó el análisis de correlación de Pearson a las 17 estaciones en estudio. Posteriormente se realizó el Análisis de Componentes Principales (ACP) que es una técnica proveniente del análisis exploratorio de datos cuyo objetivo es la síntesis de la información o reducción de la dimensión (numero de variables). Es decir, ante una tabla de datos con muchas variables, el objetivo será reducirlas a un menor número perdiendo la menor cantidad de información posible. Como ya se mencionó el objetivo es construir un pequeño número de nuevas variables (componentes) en las cuales se concentre la mayor cantidad posible de información (Rodríguez, 2009).

Se considera una serie de variables (x_1, x_2, \dots, x_p) sobre un grupo de objetos o individuos y se trata de calcular, a partir de ellas, un nuevo conjunto de variables y_1, y_2, \dots, y_p , incorreladas entre sí, cuyas varianzas vayan decreciendo progresivamente. Cada y_j (donde $j=1, \dots, p$) es una combinación lineal de las x_1, x_2, \dots, x_p originales

$$y_j = a_{j1}x_1 + a_{j2}x_2 + \dots + a_{jp}x_p = a_j x \quad (1)$$

Siendo $a_j = (a_{j1}, a_{j2}, \dots, a_{jp})$ es un vector de constantes, y

$$x = \begin{bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_p \end{bmatrix}$$

Obviamente, si lo que se quiere es maximizar la varianza, una forma simple podría ser aumentar los coeficientes a_{ij} . Por ello, para mantener la ortogonalidad de la transformación se impone que el módulo del vector $a_j=(a_{1j}, a_{2j}, \dots, a_{pj})$ sea 1. Es decir,

$$a_j^T a_j = \sum_{k=1}^p a_{kj}^2 = 1 \quad (2)$$

El primer componentes se calcula eligiendo a_1 de modo que y_1 tenga la mayor varianza posible, sujeta a la restricción de que la $a_j^T a_j = 1$. El segundo componentes principal se calcula obteniendo a_2 de modo que la variable obtenida, y_2 no esté relacionada con y_1 . Del mismo modo se eligen y_1, y_2, \dots, y_p , incorreladas entre si, de manera que las variables aleatorias obtenidas vayan teniendo cada vez menor varianza.

El paso siguiente en el ACP fue caracterizar las componentes retenidas en términos de las variables originales. Este procedimiento se realiza estableciendo la matriz de correlación entre las variables originales y los componentes retenidos. Con el propósito de comprobar numéricamente la conveniencia de la subdivisión de la región en dos subregiones, se aplicó una prueba estadística muy simple que mide la heterogeneidad de un área o zona específica, denominada rango regional normalizado de los coeficientes de variación ($RRN(C_v)$), definida como (Burn, 1990b):

$$RRN(C_v) = \frac{R(C_v)}{M(C_v)} \quad (3)$$

Donde $R(C_v)$ y $M(C_v)$ son el rango y la mediana de los valores del C_v del área o zona analizada.

Crecientes de Diseño. La estimación de las crecientes de diseño para distintos periodos de retorno se realizó en la zona en estudio previa homogeneización, la cual consiste en agrupar las 17 estaciones en estudio, en subregiones homogéneas por medio del ACP. Los periodos de retorno empleados en esta investigación fueron de 50, 100, 500, 1000, 5000 y 10000 años, para lo que se aplicó la función inversa de probabilidad log-normal de 2 y 3 parámetros respectivamente (Aparicio 2005, Escalante y Reyes 2008). Luego entonces:

$$X = \exp(\bar{x} + K\sigma) \quad (4)$$

$$X = x_0 + \exp(\bar{x} + K\sigma) \quad (5)$$

Donde:

\bar{x} , es la media aritmética,
 σ es la desviación estándar,
 x_o es el parámetro de ubicación y
 K es el factor de frecuencia de la distribución.

Para el análisis de frecuencias se aplicó el logaritmo natural a los datos a los que fue estimada la media, desviación estándar, coeficiente de variación y coeficiente de asimetría. En el análisis probabilístico se requirió del valor del factor de frecuencias (K) el cual varió en función de la probabilidad de no excedencia o periodo de retorno. Enseguida, se aplicó la prueba del error estándar de ajuste (EEA) para la selección de la mejor opción entre diferentes modelos (Escalante y reyes, 2008) su expresión es:

$$EEA = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Q_{ci})^2}{n - np} \right]^{1/2} \quad (6)$$

Donde:

n es el tamaño de la muestra
 X_i son los datos ordenados de menor a mayor,
 Q_{ci} el valor de diseño estimado con el modelo probabilístico, empleando el programa anfrehid,1999. El criterio empleado para seleccionar la mejor función de distribución es que al aplicar esta prueba, la función que tenga el menor valor de EEA en comparación con las demás, es la elegida.

Resultados y discusión

Selección de subregiones en la cuenca del río Usumacinta. En este trabajo, se seleccionaron tres atributos tomando aquellos que fueran representativos en análisis probabilísticos posteriores: a) altitud, b) coeficiente de asimetría y c) mediana. El primer atributo es un elemento geográfico para determinar la similitud en los procesos que generan la precipitación. Los restantes dos atributos son propiedades estadísticas del registro en cuanto a dispersión y al valor medio (Campos, 2008).

Cuadro 2.

Grado de asociación entre altitud, mediana y coeficiente de asimetría (Cs).

	Altitud	Mediana	Cs
Altitud	1,000	0.300063375	-0.00489648
Mediana	0.300063375	1,000	-0.08361741
Cs	-0.00489648	-0.083617405	1,000

La varianza total es igual a tres debido a la estandarización de las variables. Como se puede observar en el cuadro 3, los primeros dos componentes representan el 99% del total de la varianza original, mientras que el último representa porcentajes significativamente bajos comparados con los primeros dos, es por ello que considerando esta información se eligieron dos componentes principales. El segundo paso de selección requirió de la aplicación de un análisis de componentes principales (ACP) para seleccionar los componentes principales con mayor varianza. En este análisis se incluyeron los valores de las tres variables altitud, mediana y coeficiente de asimetría, como se muestra en el cuadro 4.

Cuadro 3.

Varianza total inicial explicada de las variables altitud, mediana y coeficiente de asimetría por el ACP en los primeros tres componentes principales.

Componente	Auto valores iniciales			Suma de saturaciones de la extracción al cuadrado		
	Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado
1	2.7	90	90	2.7	90	90
2	0.28	9.33	99.33	0.28	9.33	99.33
3	0.02	0.67	100			

Cuadro 4.

Matriz de correlaciones entre variables originales y componentes seleccionados.

	Componentes	
	1	2
Altitud	-0.1688	0.9738
Mediana	0.7103	0.661
Cs	-0.4376	0.853

En la segunda columna hay dos coeficientes de correlación positivos altos, el 0.9738 y el 0.853 entre el segundo componente y la variable altitud y Coeficiente de asimetría (Cs) respectivamente, por lo tanto el primer componente es aquel que

evalúa principalmente altitud, mientras que el segundo componente es aquel que evalúa principalmente la mediana. Tomando en cuenta lo anterior, se pretende que esta información se caracterice pero en términos de las variables originales que en este caso son las 17 estaciones en estudio, así que se toma en cuenta la información sobre la altitud, mediana y coeficiente de asimetría de cada una de ellas y se concluye que la cuenca está dividida en dos subregiones, la primera está definida por las estaciones cuya clave son 27004, 27012, 27021, 27028, 27040, 27046, 27047, 27056, 27059, 27069, 27088, 27091, 7022, 7028 y 7126. Mientras que la segunda columna la conforman las estaciones 7004 y 7085 (Cuadro 1).

Verificación de conveniencia de las subregiones. Para verificar que la subdivisión de las regiones es conveniente se emplea la prueba estadística del RRN (Cv) definida por la ecuación (3). Al realizar esta prueba se obtuvo que para la primera región el $RRN(Cv)=1.0595$ mientras que para la segunda región fue de 0.3331, en cambio para toda la región se obtuvo un valor mayor de 1.103, indicando con ello que el proceso de regionalización conduce a una Subdivisión más conveniente de las estaciones pluviométricas.

Obtención de las crecientes de diseño. Las crecientes de diseño se obtuvieron aplicando la función inversa de cada una de las funciones de distribución de probabilidad. (Cuadro 5 y 6). Al aplicar la prueba de Error Estándar de Ajuste (EEA) a ambas funciones se obtuvo que para la log normal de 2 parámetros su $EEA=115.631724$ m³/s y para la log normal de 3 parámetros su $EEA=211.00856$ m³/s, con esto se concluye que la mejor opción es la función de distribución Log-normal de 2 parámetros.

Cuadro 5.

Cálculo de las crecientes de diseño para las dos subregiones en diferentes periodos de retorno, según la distribución de probabilidad Log-normal de 2 parámetros.

No.	Clave	Nombre	Gastos máximos (m ³ /s)					
			50	100	500	1000	5000	10000
Subregion I								
1	27004	Boca de Cerro (DGE)	235.95	256.42	303.44	323.73	371.37	392.21
2	27012	Emiliano Zapata	239.98	264.82	323.27	349.02	410.64	438.07
3	27021	Mactum	175.60	188.49	217.55	229.88	258.38	270.68
4	27028	Jonuta	277.56	311.12	391.98	428.38	517.17	557.41
5	27040	San Pedro	207.71	231.30	287.55	312.64	373.35	400.65
6	27046	Tenosique (DGE)	222.42	241.82	286.40	305.65	350.86	370.65
7	27047	Tenosique (SMN)	292.24	331.08	426.23	469.69	577.10	626.36
8	27056	Balancan de Domínguez (DGE)	214.94	237.18	289.51	312.56	367.72	392.27
9	27059	Eel triunfo	214.08	238.34	296.19	321.99	384.40	412.46
10	27069	Chable (DGE)	3284.29	5177.97	13013	18544	39308	52999
11	27088	La T	166.78	187.78	238.74	261.82	318.42	344.21
12	27091	Playa Larga	145.98	156.04	178.56	188.05	209.90	219.28
14	7022	Playas de Catazaja	237.12	265.59	334.10	364.91	439.99	473.98
15	7028	Chacamax	193.44	206.94	237.22	250.00	279.44	292.09
17	7126	Palenque (SMN)	370.81	457.95	702.05	827.33	1172.0	1346.2
Subregion II								
13	7004	Agua Azul	273.55	313.52	413.21	459.46	575.42	629.31
16	7085	Palenque (DGE)	229.66	248.27	290.68	308.85	351.22	369.65

Cuadro 6.

Calculo de las crecientes de diseño para las dos subregiones en diferentes periodos de retorno, según la distribución de probabilidad Log-normal de 3 parámetros.

No.	Clave	Nombre	Gastos máximos (m ³ /s)					
			50	100	500	1000	5000	10000
Subregion I								
1	27004	Boca de Cerro (DGE)	239.03	260.58	310.51	332.20	383.46	406.02
2	27012	Emiliano Zapata	286.87	330.84	445.43	500.69	644.23	713.10
3	27021	Mactum	192.85	211.89	258.03	278.91	330.09	353.38
4	27028	Jonuta	264.76	291.30	351.94	377.97	438.82	465.33
5	27040	San Pedro	174.88	186.70	211.80	221.87	244.09	253.25
6	27046	Tenosique (DGE)	231.67	255.07	310.78	335.59	395.54	422.47
7	27047	Tenosique (SMN)	213.89	227.51	256.10	267.46	292.27	302.41
8	27056	Balancan de Domínguez (DGE)	214.54	235.36	283.26	303.94	352.57	373.86
9	27059	Eel triunfo	225.48	254.59	326.29	359.19	440.86	478.47
10	27069	Chable (DGE)	173.48	188.37	222.73	237.59	272.61	287.97
11	27088	La T	160.49	178.21	219.58	237.70	280.78	299.86
12	27091	Playa Larga	157.43	172.82	210.32	227.38	269.376	288.57
14	7022	Playas de Catazaja	208.59	226.29	265.51	281.90	319.28	335.20
15	7028	Chacamax	188.44	199.60	223.63	233.40	255.19	264.27
17	7126	Palenque (SMN)	240.06	264.54	318.06	340.13	389.92	410.92
Subregion II								
13	7004	Agua Azul	211.40	230.45	273.13	291.13	332.56	350.36
16	7085	Palenque (DGE)	220.08	234.38	265.26	277.87	306.06	317.84

Conclusiones

Los resultados obtenidos han permitido ilustrar, que el Análisis de Componentes Principales es una herramienta para la selección o identificación de subregiones en base a sus características estadísticas y geográficas entre registros de precipitación máxima diaria anual. Por otra parte, definidas cuantitativamente las regiones de influencia de cada una de las 17 estaciones pluviométricas analizadas, se puede continuar con la aplicación de los procedimientos del análisis regional para la estimación más exacta de los valores asociados a diferentes probabilidades de excedencia o predicciones. Es por ello que con los registros de precipitación a nivel de Cuenca hidrológica del Usumacinta permitieron el cálculo de las crecientes de diseño máximas y mínimas para cada subregión, por lo que se propone este método para cuencas con carencias de estaciones hidrométricas.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y al Gobierno del Estado de Tabasco (Fondos Mixtos), Institución financiadora del proyecto “Diagnostico hidrológico de la cuenca Grijalva-Usumacinta (Control de inundaciones)” con clave TAB-2007-C10-82422/05, dentro del cual está enmarcado este trabajo.

Literatura citada

- Anónimo. 2006. Síntesis de Información Geográfica del Estado de Tabasco. INEGI.
- Anónimo. 2005. Instituto Nacional de Ecología. INE.
- Aparicio F.J. 2005. Fundamentos de Hidrología de superficie. Editorial Limusa. México, D.F. pp: 252-263.
- Cabrera J. 2006. Diagnostico general y participación comunitaria en la cuenca internacional del rio Usumacinta. Guatemala-México.
- Campos, D.F. 2007. Estudio de la precipitación máxima diaria anual en la Región hidrológica No. 10 (Sinaloa), con base en Distancias Euclidianas
- Campos, D. F. 2008. Ajuste Regional de la Distribución GVE en 34 Estaciones Pluviométrica de la Zona Huasteca de San Luís Potosí, México.
- Campos, D.F. 2009. Estimación regional de predicciones de lluvias diaria en el estado de Michoacán, México. Revista ingeniería hidráulica en México.

- Castillo H, Mendoza J.D; Velasco; Sánchez, R. 2011. Estudio de la precipitación máxima diaria anual en la cuenca del rio Usumacinta como base de las estimaciones de crecientes de diseño. 2do.Congreso Nacional de manejo de cuencas hidrográficas. Villahermosa, Tabasco.
- Escalante C.A y Reyes L. 2008. Técnicas estadísticas en hidrología. 2da. Edición, UNAM, México.
- Hosking J., R., y Wallis J.R. 1997. Regional Frequency Analysis. Cambridge Press. New Cork.
- Rodríguez, O. 2009. Análisis en Componentes Principales. San Pedro, Costa Rica.
- Taguas E.; García A.; Sánchez M.C.; Ayuso J.L. y Peña A. 2000. Análisis regional de los caudales máximos de la cuenca sur. Andalucía, España.

Descripción de un método que combina información hidrométrica local y regional para predicción de crecientes

Description of a method that combines local and regional hydrometric for flood predictions

Velasco Martínez, Lorenzo^{1*}, Juan de Dios Mendoza Palacios²,
Hermelinda Castillo Bolainas¹ y Rufo Sánchez Hernández².

¹Estudiantes de Maestría en Ingeniería Hidráulica. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

²Profesor Investigador División Académica de Ciencias Agropecuarias.
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. *E-mail: lvm31882@hotmail.com

RESUMEN. Se destaca el beneficio estadístico de combinar la información hidrométrica local escasa y regional confiable, para realizar predicciones de crecientes. A continuación se exponen las ecuaciones matemáticas del método que combina los parámetros estadísticos logarítmicos de los datos local y regional, así como sus expresiones necesarias para realizar las predicciones buscadas, basadas éstas en la distribución t de Student para una probabilidad de excedencia p , en la desviación estándar de los datos combinados, en un factor correctivo que depende del número de años de registro y en la desviación Normal estándar. El objetivo fundamental es describir e ilustrar la combinación de información local y regional mediante un ejemplo numérico realizado para la estación hidrométrica Samaria del Municipio de Cárdenas Tabasco. Se utilizaron datos de gastos máximos anuales de 1944 hasta 1999, considerando como información local los 56 años de registro y como información regional los cuatro lapsos de 14 años. Se demuestra la bondad del método al utilizar información combinada ya que los porcentajes de creciente se alejan más del 100% que los datos combinados con respecto al periodo total. Por último, se formula una conclusión que destaca la sencillez del método para corregir valores locales y aproximarlos al regional.

Palabras clave: Predicción de crecientes, métodos regionales, combinación de información hidrométrica, distribución t de Student.

ABSTRACT. The statistic benefit of flood predictions obtained by combining reliable regional and scarce site hydrometric data is pointed out. The following are

the mathematical equations of the method that combines statistical parameters logarithmic local and regional data, and expressions necessary to make predictions sought, based on these t-distribution for an exceedance probability p , in the standard deviation of the combined data, a correction factor depending on the number of years of registration and Normal standard deviation. Thus the main objective is to describe and illustrate the combination of local and regional information by a numerical example carried out for the gauging station in the municipality of Cardenas Samaria Tabasco. They used data from annual maximum flows of 1944 to 1999, considering local information record 56 years as regional information and the four periods of 14 years. We demonstrate the excellent performance of the method used combined information as the percentages of growing away more than 100% to the combined data over the whole period. Finally, we formulate a conclusion that the simplicity of the method to correct local values and to approximate the region. **Key words:** Flood predictions, regional methods, combining hydrometric data, Student's distribution.

Introducción

La combinación de información hidrométrica local disponible y estimada es una manera eficiente para llevar a cabo la predicción de crecientes de diseño en un sitio de interés. Cuando en un sitio de interés no existe ningún tipo de información hidrométrica, la estimación de sus crecientes o avenidas máximas deberá basarse en los análisis regionales (Escalante y Reyes, 2002; Campos, 2006). Pero cuando existen algunos datos disponibles, éstos deben ser utilizados o incorporados al análisis de frecuencia al menos como información parcial, ya que un registro de pocos años no permite estimaciones confiables en periodos de retorno elevados. Resulta evidente, que cuando algún tipo de información hidrométrica está disponible en la corriente que se estudia, misma que no es confiable para el estudio de frecuencia de crecientes, entonces las estimaciones o predicciones necesarias se deberán basar en una *combinación* de estos datos y de los resultados del análisis regional, por ejemplo, según el método propuesto por el National Research Council of Canada (NRCC) en 1989. Este método ha sido utilizado como ejemplo de aplicación en una estación hidrométrica del Río Santiago en el estado de Nayarit, y en el Río Tempoal en Veracruz, obteniendo buenas predicciones (Campos, 2010).

Por lo anterior, este trabajo tiene como objetivo fundamental describir e ilustrar la combinación de información local y regional utilizada para la predicción de crecientes de diseño, tomando como caso particular una estación hidrométrica

emplazada en la red de estaciones de la cuenca del Bajo Río Grijalva. Cabe señalar que se eligió la estación samaria por ser de las que tiene mayor número de años de registro, con un periodo homogéneo que va desde 1944 a 1999 con un total de 56 años.

Materiales y métodos

Características generales. La Subcuenca del Bajo Río Grijalva pertenece a la región hidrológica No. 30 Grijalva-Usumacinta la cual se localiza en el sureste de la República Mexicana, es una cuenca que nace en el estado fronterizo de Chiapas y cruza el estado de Tabasco hasta llegar al Golfo de México. La Subcuenca en estudio abarca una superficie de 22,677.082 km² y representa 1.14% del territorio nacional (Anónimo, 2006). La zona de estudio se ubica entre las longitudes 92.30° a 93.68° Oeste y las latitudes 17.4° a 18.7° Norte (Figura1).

Método de combinación de parámetros. Para analizar los datos del sitio de estudio se utilizó la media aritmética (y) y la desviación estándar (S) de los logaritmos naturales de los gastos máximos anuales, con los cuales se realizó un análisis de frecuencia utilizando la distribución Log-normal, según recomendaciones de Stedinger (1980). La combinación de datos se realiza por medio de las expresiones siguientes (NRCC, 1989):

$$N_c = N_r + N_s \quad (1)$$

$$\bar{y}_c = (N_r \bar{y}_r + N_s \bar{y}_s) / N_c \quad (2)$$

$$S_c^2 = \frac{[(N_r - 1)S_r^2 + (N_s - 1)S_s^2 + N_r y_r^{-2} + N_s y_s^{-2} - N_c y_c^{-2}]}{(N_c - 1)} \quad (3)$$

En las cuales, N es el número de años de cada registro y los subíndices c , r y s denotan combinado, regional y sitio. La serie de datos combinados tiene distribución t de Student, con $v=N_c-2$, grados de libertad; por lo tanto, las predicciones (y_p) asociadas a probabilidades de excedencia $p=1/Tr$, donde Tr es el periodo de retorno en años, serán:

$$y_{Tr} = \bar{y}_c + F_s \cdot t \cdot S_c \quad (4)$$

Donde, F_s es un factor correctivo por sesgo, con la expresión siguiente (NRCC, 1989):

$$F_s = \sqrt{\frac{(N_c - 1)(N_c^2 - 1)}{N_c^2(N_c - 2)}} \quad (5)$$

Finalmente la predicción buscada será igual a:

$$X_{Tr} = \exp(y_{Tr}) \quad (6)$$

Para la estimación de la variable t de Student, correspondiente a la probabilidad de excedencia P y con v grados de libertad, se puede utilizar la aproximación siguiente (Abramowitz y Stegun, 1972):

$$t_p \approx x_p + \frac{g_1(x_p)}{v} + \frac{g_2(x_p)}{v^2} + \frac{g_3(x_p)}{v^3} + \frac{g_4(x_p)}{v^4} + \dots \quad (7)$$

$$g_1(x) = \frac{1}{4}(x^3 + x) \quad (8)$$

$$g_2(x) = \frac{1}{96}(5x^5 + 16x^3 + 3x) \quad (9)$$

$$g_3(x) = \frac{1}{384}(3x^7 + 19x^5 + 17x^3 - 15x) \quad (10)$$

$$g_4(x) = \frac{1}{92160}(79x^9 + 776x^7 + 1482x^5 - 1920x^3 - 945x) \quad (11)$$

en la cual, x_p es la desviación normal estándar que se estima con la aproximación siguiente (Abramowitz y Stegun, 1972):

$$f = \sqrt{\ln(1/p^2)} \quad (12)$$

$$x_p = f - \frac{c_0 + c_1 f + c_2 f^2}{1 + d_1 f + d_2 f^2 + d_3 f^3} \quad (13)$$

Con

$$\begin{array}{lll} c_0=2.545517 & c_1=0.802853 & c_2=0.010328 \\ d_1=1.432788 & d_2=0.189269 & d_3=0.001308 \end{array}$$

Cuando $0 < p < 0.5$, hacer $x_p = -x_p$; en caso de que $0.50 < p < 1.0$ emplear: $p = 1 - p$ sin cambiar a x_p .

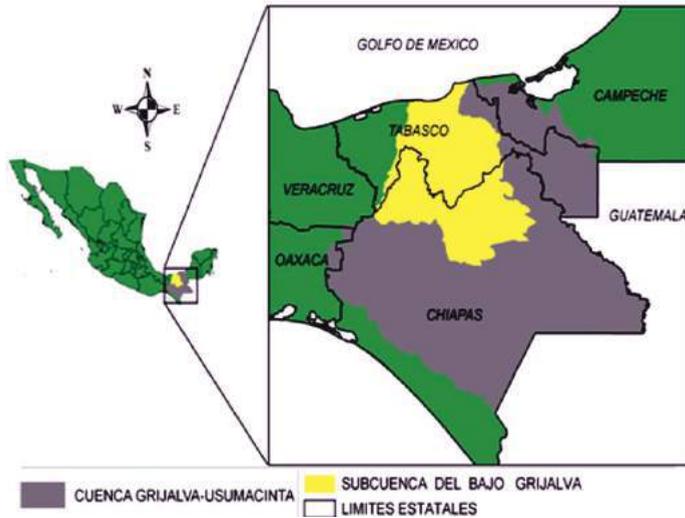


Figura 1. Subcuenca del Bajo Río Grijalva donde se localiza la estación hidrométrica Samaria.

Ejemplo numérico. Esta aplicación es puramente demostrativa y sirvió para describir la aplicabilidad del método. Consistió en contrastar la creciente del periodo de retorno de 50 años (Q_{50}), considerando al registro total de 56 años de gastos máximos de la estación hidrométrica Samaria en el río del mismo nombre en Cárdenas Tabasco, como información regional con una longitud (Nr) de 14 años y como información local, cada uno de los cuatro lapsos de 14 años indicados en el Cuadro 2. El registro citado procede del Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales (BANDAS) (IMTA, 1999) cuya información de gastos máximos anuales en el periodo de 1944-1999 se presenta en el Cuadro 1. Se calcularon los logaritmos naturales de esta serie de datos, luego se obtuvieron los parámetros estadísticos, media y desviación estándar, de los cuatro bloques de 14 años y de los datos combinados, se estimó la variable t de student con 68 grados de libertad asociadas a una probabilidad de excedencia de $1/50$, se calculó el factor de corrección utilizando la expresión 5 que

depende del número de datos combinados y finalmente con las expresiones 4 y 6 se obtuvieron las predicciones buscadas para cada bloque y para el periodo total. Cabe mencionar que las predicciones de Q_{50} indicadas en la columna 4 del cuadro 2, se realizaron por medio de la distribución General de Valores Extremos (GVE), ajustada por el método de momentos, y utilizando el software de distribución libre ANFREHID 1.0 (Trujillo, 1999). Las predicciones de Q_{50} en la columna 6 del cuadro 2 se realizaron utilizando las ecuaciones 1 a 13 con la ayuda de una hoja de cálculo de excel. Estos resultados se discuten en el apartado siguiente.

Resultados y discusiones

Se observa que las estimaciones de Q_{50} basadas en registros de 14 años varían del 68 al 108% (columna 5), de la Q_{50} estimada con el registro total; en cambio, las estimaciones basadas en la combinación de información, es decir, en las ecuaciones 1 a 6 (columna 6), presentan menor variabilidad, ya que éstas fluctúan del 105 al 117%. Además, cambia la ocurrencia del valor más disperso, debido a que los datos combinados suavizan la presencia de los gastos máximos anuales extremos (Campos, 2006).

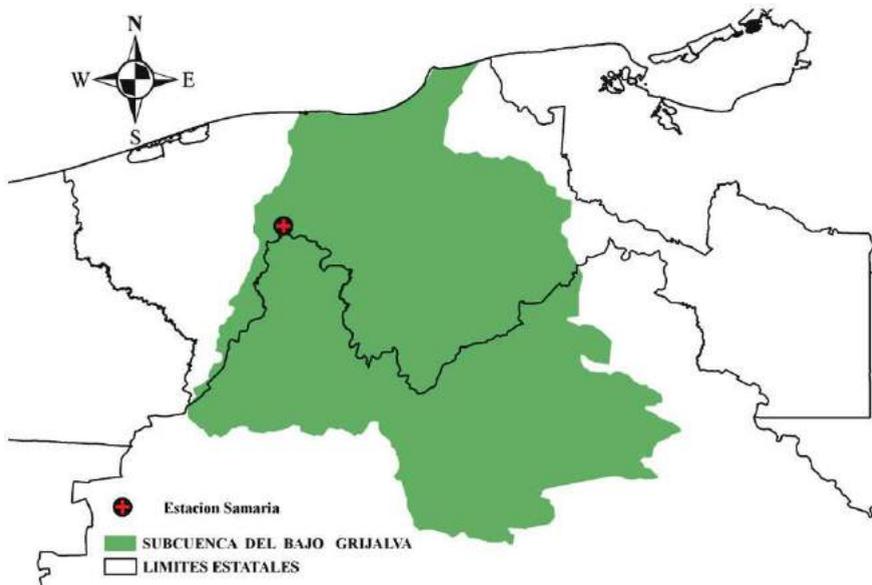


Figura 2. Ubicación de la estación Samaria dentro de la subcuenca del Bajo Río Grijalva.

Cuadro 1.

Gastos máximos anuales en la estación hidrométrica Samaria, Cárdenas, Tabasco, en el periodo de 1944-1999

Año	Gasto (m ³ /s)	Año	Gasto (m ³ /s)	Año	Gsto (m ³ /s)	Año	Gsto (m ³ /s)
1944	842	1958	1,896	1972	1,865	1986	1,712
1945	887	1959	3,101	1973	2,575	1987	1,624
1946	1,461	1960	2,164	1974	1,711	1988	1,273
1947	2,120	1961	2,230	1975	1,620	1989	1,577
1948	2,078	1962	2,290	1976	1,664	1990	1,414
1949	2,163	1963	3,329	1977	2,435	1991	1,087
1950	2,066	1964	2,933	1978	1,613	1992	1,346
1951	1,938	1965	3,030	1979	1,994	1993	2,262
1952	2,167	1966	1,741	1980	2,214	1994	1,273
1953	2,739	1967	2,704	1981	2,127	1995	1,577
1954	2,091	1968	1,936	1982	1,582	1996	1,414
1955	2,436	1969	2,526	1983	1,445	1997	1,087
1956	2,750	1970	2,618	1984	1,572	1998	1,346
1957	1,537	1971	1,140	1985	1,347	1999	2,262

Cuadro 2.

Gastos máximos de periodo de retorno 50 años (Q_{50}) estimados con información del sitio y con datos combinados local-regional, en la estación hidrométrica Samaria

1	2	3	4	5	6	7
Periodos (Años)	Parámetros logarítmicos		Del sitio (m ³ /s)	%*	Q_{50} Combinada (m ³ /s)	%*
	Media	Desv. Est.				
1944-1957	7.52058	0.36675	2847.98	89	3627.03	112
1958-1971	7.75002	0.28468	3468.8	108	3780.99	117
1972-1985	7.49932	0.19623	2728.01	85	3394.44	105
1986-1999	7.30082	0.22455	2187.95	68	3376.92	105
1944-1999	7.51768	0.31268	3215.26			

*Porcentaje de cada creciente con respecto a la del periodo total = 3215.26 m³/s

En el Cuadro 2, la comparación de cada porcentaje de la creciente del sitio y la combinada, demuestra el excelente desempeño del método para corregir valores

locales y aproximarlos al regional; en los dos últimos intervalos los lleva casi al 100%. Además, los promedios de los porcentajes citados, 87.3 y 110.2% respectivamente, demuestran el impacto del método para corregir valores locales, la mayoría inferiores y después cercanos al 100% o superiores.

Conclusiones

El procedimiento que ha sido expuesto, para realizar predicciones de crecientes en sitios o localidades donde el número de datos disponibles es reducido y existe información hidrométrica regional confiable, es bastante simple y conduce a predicciones más exactas, según los resultados de la aplicación numérica expuesta.

Agradecimientos

Los autores agradecen muy especialmente al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y al Gobierno del estado de Tabasco (Fondos Mixtos), por haber financiado el proyecto “Diagnostico hidrológico de la cuenca Grijalva-Usumacinta (Control de inundaciones)” con clave TAB-2007-C10-82422/05, del cual se desprende este trabajo.

Literatura citada

- Anónimo (2006). Síntesis de Información Geográfica del Estado de Tabasco. INEGI
- Abramowitz M., Stegun I.A. (1972) Handbook of Mathematical Functions. Chapter 26: Probability Functions. New York, USA. Dover Publications, Inc. Ninth printing. pp. 927–995. 1046 p.
- Campos-Aranda D.F. (2001). Contraste de cinco métodos de ajuste de la distribución GVE en 31 registros históricos de eventos máximos anuales. Ingeniería Hidráulica en México, XVI(2): 77–92.
- Campos-Aranda D.F. (2006). Análisis Probabilístico Univariado de Datos Hidrológicos. Capítulo 8: Análisis probabilístico con métodos regionales. México, DF. Avances en Hidráulica 13. AMH-IMTA. pp. 133–161.
- Campos Aranda, D. F. (2010). Predicción de crecientes combinando información hidrométrica local y regional. Ingeniería, Investigación y Tecnología. Vol. XI (3):253–258.

- Escalante S.C., Reyes CH.L. (2002). Técnicas Estadísticas en Hidrología. Capítulo 8: Análisis regional hidrológico. México, DF. Facultad de Ingeniería de la UNAM. pp:157– 202.
- Frequency Analysis of Extreme Events (1993). Chapter 18, *In: the Handbook of Hydrology*. New York, USA. Editor in chief David R. Maidment. McGraw-Hill, Inc. pp. 18.1–18.66.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales (BANDAS). Hidrometría y Sedimentos hasta 2002. CNA–SEMARNAT. IMTA. Jiutepec, Morelos. 2003.
- National Research Council of Canada Hydrology of Floods in Canada. Chapter 5: Statistical Frequency Analysis of Hydrologic Data. Ottawa, Canada. Editor–in–chief W.E.Watt. NRCC. 1989. pp: 45–74.
- Stedinger J.R. (1980). Fitting Log Normal Distributions to Hydrologic Data. *Water Resources Research*, 16(3):481–490.
- Stedinger J.R., Vogel R.M., Foufoula–Georgiou E.Trujillo, F.E. (1999). Anfrehid 1.0. Análisis de Frecuencia Hidrológico. Centro Interamericano de Recursos del Agua. Universidad Autónoma del Estado de México.

**Producción forestal comercial de primavera
(*Tabebuia donnell-smithii* Rose.) en la región
Soconusco Chiapas, México**

**Forest commercial spring production
(*Tabebuia donnell-smithii* Rose.) in Soconusco
region Chiapas, Mexico**

Gutiérrez Castellanos, José¹, Margarita C. Escobar Sandoval¹, Saúl Espinosa-Zaragoza*,
Ramón Valdivia Alcalá², Mario Jiménez Suárez³, Jorge Reyes Reyes¹
y Brenda E. Meza Sandoval¹.

¹Universidad Autónoma de Chiapas. ²Universidad Autónoma Chapingo. ³Universidad Popular
Autónoma del Estado de Puebla. *Email: saulez1@gmail.com

Resumen. En los últimos años la deforestación y degradación de ecosistemas forestales en México ha sido uno de los problemas más graves. Por esto la tarea de evaluación y análisis del fenómeno del sector forestal es compleja ya que tiene orígenes y causas múltiples que responden a la gran variación de condiciones biofísicas y socioeconómicas del sitio. Las comunidades productoras forestales han enfrentado, desde un principio, la falta de financiamiento y la creciente competencia aún en el propio mercado nacional. En realidad son relativamente pocas las comunidades que han logrado consolidar el uso comercial de sus bosques e incorporar valor agregado a su producción y la mayoría se mantienen como productoras de materia prima. En algunas regiones y comunidades de México predominan las actividades forestales. Sin embargo, las extracciones forestales que se realizan de manera ilegal son aún mayores. En la evaluación presente se incorporan elementos silvícolas, sociales de cuantificación y tipificación de uso en sistemas de producción forestal comercial desarrollados en algunas zonas estratégicas de la Región Soconusco, Chiapas por su importancia económica, condiciones ecológicas para la especie, análisis que pretende diagnosticar y relacionar la producción, actividades desarrolladas y el beneficio que se obtiene con la implementación, manejo y aprovechamiento de masas forestales como contribución a diversos análisis desarrollados en el sector forestal demostrando la factibilidad que tienen estos frente a la comunidad ecológica, social y económica de los inversionistas.

Palabras clave: *Tabebuia*, bosque tropical, plantaciones comerciales, primavera.

Abstract. In recent years, deforestation and degradation of forest ecosystems in Mexico has been one of the most serious problems. Thus the task of evaluating and analyzing the phenomenon of the forest sector is complex because it has multiple origins and causes that address the wide variation in biophysical and socioeconomic conditions of the site. Forest farming communities have faced from the beginning, the lack of funding and increasing competition even in the domestic market. In fact relatively few communities that have managed to consolidate the commercial use of their forests and add value to their production and the majority remains as producers of raw materials. In some regions and communities in Mexico is dominated by forestry, however, the logging is done illegally are even greater. The evaluation items are hereby incorporated forestry, social quantification and characterization of use in commercial forestry production systems developed in some strategic areas of the Region Soconusco, Chiapas for their economic, ecological conditions for the species, analysis for diagnose, and relate production, activities and the benefit gained with the implementation, management and use of forests as a contribution to various analysis developed in the forestry sector that have demonstrated the viability of these compared to the ecological community, social and economic investors.

Key words: *Tabebuia*, tropical forest, commercial forest plantation, Primavera.

Introducción

En los últimos años, las plantaciones forestales han captado una gran atención a nivel nacional debido a su capacidad para producir diferentes productos y servicios ambientales, resaltando la producción de madera para cercos, muebles, construcción, leña, o su uso como medio de conservación del agua y protección de los suelos. La implementación de los Sistemas de Producción Forestal Comercial (SPFC) permite atender la demanda de madera con estándares y características de calidad, reducir la presión de los aprovechamientos sobre masas forestales naturales y favorecer al ambiente conservando recursos como el suelo y agua además de la fijación de carbono. En este sentido es conveniente llevar a cabo diagnósticos que permitan conocer el desarrollo de la actividad forestal de las regiones productoras o con potencial de producción. La primavera (*Tabebuia donnell-smithii* Rose.) es un árbol forestal maderable con buena calidad de madera, apreciada por su blancura y manejabilidad, de rápido crecimiento y fácil comercialización. El objetivo de este trabajo fué conocer los SPFC de primavera (*Tabebuia donnell-smithii* Rose.) en la región Soconusco Chiapas, México.

Materiales y métodos

El fin primordial del establecimiento de la evaluación y reconocimiento de las zonas de estudio fue generar información base, que paulatinamente se pudiera incrementar con nuevas parcelas y mediciones posteriores, mediante el registro actualizado de integrantes de la Asociación de Agrosilvicultores del Estado de Chiapas, A.C. (Agrosilvech), silvicultores con sistemas de producción forestal comercial de la especie de primavera (*Tabebuia donnell-smithii* Rose.) en la Región Soconusco, Chiapas. Los municipios pertenecientes a la Región Soconusco donde se tomaron las muestras fueron los siguientes: Cacahoatán (14° 59' 21" LN y 92° 09' 55" L.O. a 488 msnm) con 1 sistema de Producción Forestal, Huehuetán (15° 01' 05" de LN y 92° 23' 03" de LO a 60 msnm) con 1 sistema de Producción Forestal, Tapachula (14° 54' 29" de LN y 92° 15' 38" LO a 172 msnm) con 7 sistemas de Producción Forestal y Tuxtla Chico (14° 56' 20" LN y 92° 10' 05" de LO a 320 msnm) con 2 sistemas de Producción Forestal. Para la obtención de información se aplicaron encuestas y formatos de análisis logístico para determinar la cantidad, ubicación y tipo de sistemas de producción forestal comercial y su respectivo manejo en cada municipio muestreado.

Diagnóstico de Sistemas de Producción Forestal Comercial. Se caracterizaron las actividades desarrolladas en los SPFC identificando sus componentes haciendo recorridos de campo, primero para reconocimiento y luego para la aplicación de encuestas. Adicionalmente se consideraron muestreos en los predios para determinar las variables dasométricas para lo que se emplearon cinta diamétrica y clinómetro. La información obtenida fue capturada en una base de datos Dbase de Microsoft Office para su análisis.

Resultados y discusión

En la región Soconusco los sistemas de producción de Primavera se clasifican en los rangos de micro, pequeñas y macro empresas según las clases dadas en base a la extensión de cada sistema y porcentaje territorial ocupando las extensiones que van entre 11 a 40 ha ocupadas por individuos de esta especie (Figura 1). Kötz, (2003) encontró doce especies bien adaptadas e interesantes para la reforestación hacia mercados del futuro, las cuales fueron seleccionadas de una lista de 832 especies arbóreas. Ellas se encontraban en un rango de altitudes entre 500 y 1600 msnm, y fueron investigadas en 25 áreas experimentales de Centroamérica,

el Caribe y de América Latina: *Spondias mombin*, *Swietenia macrophylla*, *Cedrela odorata*, *Tabebuia rosea*, *Bursera simaruba*, *Ceiba pentandra*, *Cordia alliodora*, *Simarouba glauca*, *Brosimum alicastrum* y para áreas más bajas *Tabebuia donnell-smithii*, destacando con ello la amplitud de especies útiles y donde la Primavera se ha identificado como especie forestal con potencial.

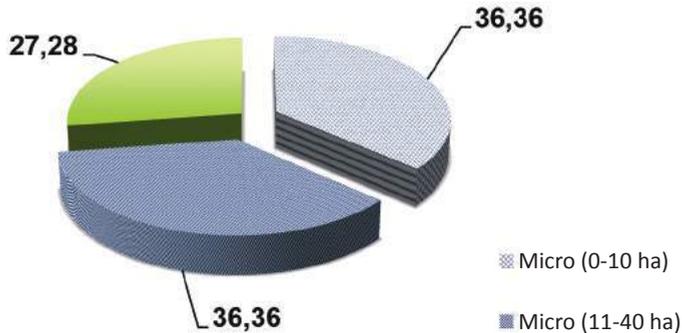


Figura 1. Superficie de producción de Primavera (*T. donnell smithii*) en la Región Soconusco, Chiapas, México.

El sistema agroforestal (SAF) es un sistema multiestratos con el máximo aprovechamiento tanto del espacio horizontal como del vertical. El arreglo temporal, se define como de tipo simultáneo para los principales componentes, con variantes intermitentes respecto a los componentes anuales (Krishnamurthy *et al.*, 2002), entre los sistemas de producción forestal este es el más frecuente en el Soconusco, el cual representa el 82 % de la superficie destinada a la producción Primavera. El sistema que le sigue en importancia son las Plantaciones Forestales Comerciales (PFC) ocupando el 18 % de la superficie (Figura 2), siendo éste de establecimiento reciente en proceso de adopción tecnológica pues las plantaciones no rebasan los 10 años de edad.

Las zonas de producción forestal comercial dentro de la región Soconusco se ubicaron principalmente en Tapachula como se muestra en la Figura 3. El Estado de Chiapas tiene su producción maderable asociada a especies de clima templado de los géneros *Pinus* y *Quercus* representando 70 % de la superficie. Sin embargo, en la región Soconusco el 80% de la producción de madera se conforma de maderas preciosas y las comunes tropicales entre ellas la especie en evaluación, destaca que el 45% de la producción es de Primavera (*T. donnell-smithii*) y Chiche (*Aspidosperma megalocarpum*).

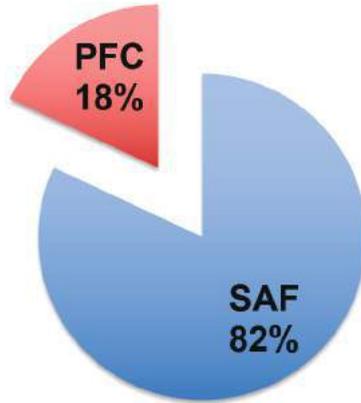


Figura 2. Proporción de los Sistemas de Producción Forestal identificados en Primavera (*T. donell-smithii*) en la región Soconusco, Chiapas, México.

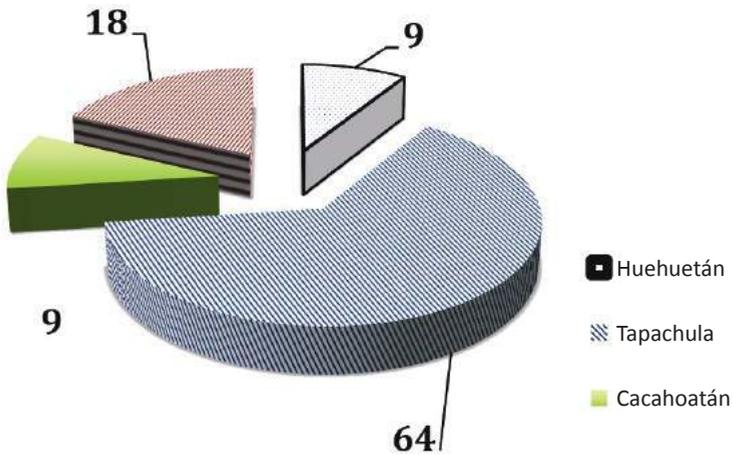


Figura 3. Ubicación y porcentaje de distribución de Sistemas de Producción Forestal Comercial.

Los sistemas agroforestales se están empleando en el trópico mexicano por contar con las condiciones climáticas adecuadas para su establecimiento con el propósito de incrementar la productividad del sistema productivo, mejorar la estabilidad económica y biológica, recuperar suelos degradados y beneficiar las propiedades químicas y físicas del suelo. Estos sistemas permiten mantener los recursos forestales, haciendo de la expansión de la agricultura a las áreas de bosques un proceso integral en un lugar de sustitutivo (Hecht, 1982; García, 1999; Riesco y Ará, 1994; citado por Ramírez, 2005). Un factor que ha condicionado el desarrollo

de sistemas de producción forestal de primavera es el limitado mercado, precio variable y poco volumen comercializado históricamente. Conforme a las opiniones de los productores forestales del Soconusco se estima que alrededor del 20% de los aprovechamientos de masas de Primavera asociadas a SAF y a masas forestales naturales apenas llegan a ser rentables debido a su bajo nivel de rendimiento de madera de buena calidad (sin defectos, limpia y sin plagas de madera debido al deficiente manejo en campo). Según las características de los sistemas forestales dados en la región se distinguen como criterios básicos a prácticas forestales determinadas por la distribución espacial, ubicación representativa y acciones específicas con el ambiente físico y ecológico de la zona, que corresponden al desarrollo evolutivo de cada Sistema Forestal, así como las relaciones sociales y culturales con actitudes y tipos de productores. Sin embargo, la realidad actual es que, la mayoría de los SAF en la región se encuentran en mal estado agronómico, manejados con un limitado uso de innovaciones tecnológicas, lo cual incide en bajos rendimientos. A esto se añade la baja calidad de los cultivos asociados debido a las prácticas inadecuadas de cosecha y poscosecha, lo que conduce generalmente a precios más bajos en el mercado. Consecuentemente esto incide en un nivel de ingresos poco alentador para las familias campesinas. Para Briceño (2004) entre los medios de producción de especies forestales se encuentran a los implementos y técnicas empleadas como opciones de manejo, los usos de la tierra e incluso la receptividad a las innovaciones, además del impacto de ellas en la implementación de nuevos sistemas de producción forestal como alternativa de producción. Los sistemas de producción forestal comercial en el Soconusco muestran características de potencial para el desarrollo de la actividad y de la sociedad. Según Briceño (2004) las modificaciones del ambiente en el desarrollo de un sistema de producción forestal comercial con recursos ordenados entre los que se encuentran la planeación, ejecución, manejo y aprovechamiento; sin embargo, en la zona evaluada se presenta la falta de planeación, un manejo inadecuado y por la tanto un aprovechamiento mínimamente rentable. Lo anterior da la orientación económica particular de cada subsistema, en relación con sus productos, la comercialización y el mercadeo, las inversiones, la infraestructura, los costos operativos, los riesgos, la eficiencia, rendimiento y la productividad.

Conclusiones

La especie de primavera (*Tabebuia donnell-smithii* Rose.) en la región Soconusco se ha empezado a establecer en plantaciones comerciales, por ser una especie

reconocida pues su madera es comercializada con relativa facilidad, de su manejo destaca la facilidad para manejarla y aprovecharla. Los datos obtenidos en este trabajo muestran que los sistemas de producción forestal en los que se cultiva la Primavera son Sistemas Agroforestales y Plantaciones Comerciales. La pérdida de cobertura vegetal es alta, motivo por el cual la implementación de estos sistemas de producción son altamente aceptados para subsanar la carga y sobreexplotación de zonas arbóreas existentes de carácter original. Por lo tanto la especie de primavera es una especie con alto potencial comercial, de producción de madera de calidad aceptable y con una utilidad como sombra en SAF bien identificada. La producción de esta especie por su valor comercial puede ser una alternativa en SPFC en SAF y en PFC.

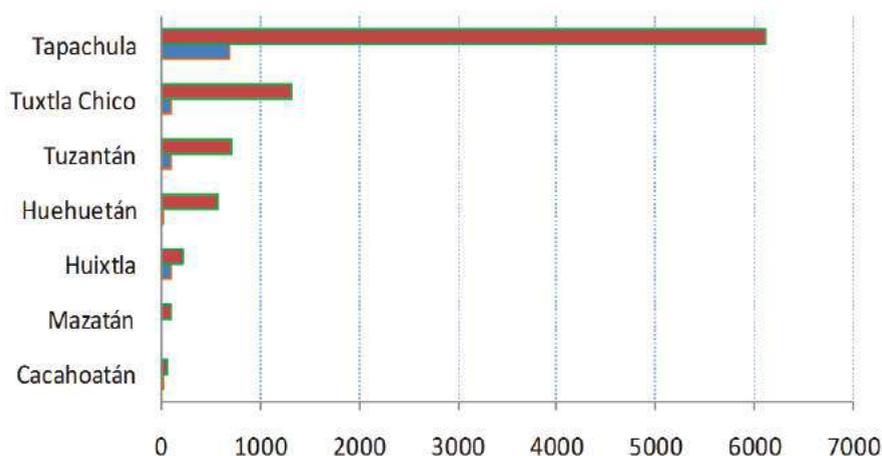


Figura 4. Zonas principales de producción maderable del estado de Chiapas. INEGI, 2009. a) *Cedrela odorata* y *Swietenia macrophylla*, b) *Tabebuia donnell-smithii* y *Aspidospermamegalocarpum*

Literatura citada

- Briceño, M. 2004. Base teórico metodológicas para la identificación de opciones y propuestas de desarrollo forestal. *Revista Forestal Latinoamericana* 35:53-63.
- CEIEG. 2010. Comité Estatal de Información Estadística y Geográfica, gestionado con Word Press. Secretaria de Hacienda, Subsecretaria de Planeación, Presupuesto y Egresos. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. <http://www.ceieg.chiapas.gob.mx/perfiles/PHistoricoIndex.php?region=037&option=1#>.

- CONAFOR. 2010. Programa Estratégico Forestal para México 2025. Comisión Nacional Forestal. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, (SEMARNAT). 191p.
- García, R. 1999. Agroforestería. Documento para el Magister "Gestión en Desarrollo Rural y Agricultura Sustentable" de la Universidad Católica de Temuco, Chile. 192 p.
- Hecht, S.1982. Los Sistema Agroforestales en la Cuenca Amazónica: Práctica, Teoría y Límites de un Uso Promisorio de la Tierra. En: Amazona: Investigación sobre la Agricultura y Uso de Tierra. Memorias de la Conferencia Internacional patrocinada por F. Rockefeller, GTZ, CIAT, NCSU, ICRAF. Cali, Colombia. 448 p.
- INEGI.2009. Agenda Estadística de Chiapas. México. 121 p.
- INEGI. 2008. Perspectiva Estadística Chiapas. 55 p.
- Ramírez, P. 2005. Diseño de un sistema agroforestal basado en café robusta que incrementa la sustentabilidad, rentabilidad y equidad, en la amazonia ecuatoriana. Universidad Católica de Temuco. Tesis de Magister en Gestión en Desarrollo Rural y Agricultura Sustentable. Temuco, Chile. 192 p.
- Krishnamurthy, L.; Buendía, N.; A.; Morán, V.; M. A. y Gómez, U. 2002. Caracterización del sistema tradicional agrosilvícola café-plátano-cítricos en el municipio de Tlapacoyan, Veracruz. En: L. Krishnamurthy y Miguel Uribe Gómez. (Eds). 2002. Tecnologías Agroforestales para el Desarrollo Rural Sostenible. PNUMA- SEMARNAT. México. 461 p.

**Rendimiento de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.)
en respuesta al sistema de conducción y densidad
de población en invernadero e hidroponía**

**Yield of tomato (*Solanum lycopersicum* L.)
in response to the conduction system and population
density in the greenhouse and hydroponic**

Gómez Méndez Edmundo^{1*}, Maximiano Antonio Estrada Botello¹,
Ernesto Gabriel Alcántar González², Hortencia Brito Vega¹ y Melchor Hernández¹.

¹Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. División Académica de Ciencias Agropecuarias. Km 25 carretera Villahermosa-Teapa. Villahermosa, Tabasco. ²Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo. Montecillo, Texcoco, Edo. De México. *E-mail: egomezmen@hotmail.com

Resumen. El objetivo de esta investigación fue comparar el rendimiento de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) con el manejo de plantas conducidas a uno, dos y tres tallos, con dos densidades de bolsas (2.08 y 4.16 m²) hasta los seis racimos, bajo condiciones protegidas en un sistema hidropónico en el estado de Tabasco. El experimento se estableció de noviembre de 2008 a abril de 2009. Se empleó el híbrido SUN-7705, tipo saladette de hábito indeterminado. Como sustrato se utilizó tepetzil, la fertilización se realizó con la solución de Steiner completa. Se utilizó un diseño completamente al azar con seis tratamientos y 10 repeticiones, en dos tamaños de bolsas (15 y 19 L). Las variables agronómicas analizadas fueron: rendimiento de fruto (kg m⁻²). Número de frutos·m⁻², peso promedio por racimo, peso por planta y peso promedio de fruto. Los datos se analizaron mediante el programa SAS. Se encontró que los tratamientos con 4.16 bolsas por m² con una planta por bolsa conducida a dos tallos y dos plantas por bolsa conducidas a un tallo, ambos con 8.32 tallos por m², presentaron el mayor rendimiento y número de frutos. El valor más alto en peso promedio por racimo lo presentó el testigo (una planta por bolsa conducida a un tallo con densidad de 4.16 bolsas por m²). El primer racimo aportó en promedio 26.29% de la producción total de la planta y el sexto racimo solo el 9.14%. El mayor peso promedio de fruto lo presentó el tratamiento conducido a un tallo con dos plantas por bolsa y densidad de 2.08 bolsas por m². El tallo secundario produjo igual que el tallo principal ya que no hubo diferencias significativas.

Palabras clave: Jitomate, número de tallos, conducción de plantas, densidad de población

Abstract. The objective of this research was to compare the performance of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) with plant management conducted with one, two and three stems, with six clusters, with two bag densities (2.08 and 4.16 m⁻²) in a hydroponic system under protected conditions in the state of Tabasco. The experiment was established from November 2008 to April 2009. Hybrid saladette type SUN-7705 was used, which has an indeterminate growth habit with tepetzil, a volcanic material used as substrate and with full Steiner solution. We used a completely randomized design with six treatments and 10 repetitions each, in two bag sizes (15 and 19 L). The agronomic variables analyzed were: fruit yield (kg m⁻²). Number of fruits per m⁻², average weight per cluster and per plant, average fruit weight (g), the data were analyzed using SAS software. Treatments with 4.16 bags per m⁻² with one plant per bag conducted with two main stems and two plants per bag conducted with a stem, both with 8.32 stems per m⁻² had the highest yield and number of fruits. The highest average weight per cluster was presented by the witness. The first cluster contributed on average 26.29% of the total production of the plant and the sixth cluster only 9.14%. The highest average fruit weight was presented by the treatment conducted with one stem with two plants per bag, and density of 2.08 bags per m⁻². The secondary stem produced as much as the main stem since there were no significant differences.

Key words: Tomato, stem number, plants conduction, population density

Introducción

El jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) es una de las especies hortícolas más importantes para el consumo humano, ya que genera importantes ingresos, empleos y posee un alto valor nutritivo. En México en el 2009 se sembró una superficie de 101,328 ha con una producción de 2 millones 727,691 toneladas y un rendimiento promedio de 39.5 t ha⁻¹ (SAGARPA, 2010). Sin embargo, la producción de jitomate a campo abierto se hace cada vez más difícil, debido a condiciones ambientales adversas y a la incidencia de plagas y enfermedades que afectan la productividad de este cultivo. Al respecto Ruiz y Aquino (1996) mencionan que las pérdidas en producción frecuentemente afectan el 100% de la cosecha, especialmente en el período de primavera, cuando se presentan las mayores densidades de mosca blanca. En el año 2009 se sembraron 37.25 ha a cielo abierto, con rendimiento promedio de 10.81 t ha⁻¹, (SAGARPA, 2010) lo que se considera bajo. Aunado a lo anterior, el jitomate producido bajo estas condiciones presenta problemas de mala calidad, por una maduración irregular conocida como pata de gallo. Al respecto Estrada et

al. (2006) en el estado de Tabasco utilizando un sistema hidropónico e invernadero obtuvieron rendimientos de 85 t ha⁻¹, de jitomate tipo saladette, lo que indica que con buen manejo del cultivo y variedades adecuadas, se puede incrementar el rendimiento, aunque las investigaciones aún son incipientes. Con base en lo anterior es necesario buscar alternativas de producción que incrementen el rendimiento y calidad del producto. Por lo anterior el objetivo de esta investigación fue comparar el rendimiento de jitomate por unidad de superficie, que se puede obtener con el manejo de plantas conducidas a uno, dos y tres tallos con dos densidades de bolsas por unidad de superficie. Como hipótesis se planteó que es posible aumentar el rendimiento por m² en el cultivo de jitomate por medio del manejo de la densidad de plantas mediante el uso de tallos secundarios y terciarios.

Materiales y métodos

El experimento se estableció del 21 de noviembre de 2008 al 30 de abril de 2009, en un invernadero tipo megavent de 8.22 m de ancho por 20 m de largo, de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, localizada entre los 17° 46'56" de latitud norte y los 92° 57'28" de longitud oeste. Se empleó el híbrido de jitomate SUN-7705, de tipo saladette de hábito de crecimiento indeterminado de la empresa Nunhems,. Como sustrato se empleo tepetzil. Se utilizó un diseño completamente al azar con seis tratamientos (Cuadro 1) y 10 repeticiones, en dos tamaños de bolsas (15 y 19 L) con un total de 120 unidades experimentales. Cada unidad experimental consistió en una bolsa de polietileno negro para vivero, calibre 400 (contenedor) con una o dos plantas de jitomate conducida a uno, dos o tres tallos dependiendo del tratamiento (Figura 1) Debido a que no hubo diferencia estadísticas entre los dos tamaños de bolsa (datos no mostrados) se presentan únicamente los resultados de las bolsas de 19 L.

Cuadro 1.

Descripción de los tratamientos evaluados en jitomate tipo saladette (híbrido Sun-7705), en condiciones de invernadero e hidroponía.

Tratamientos	Descripción	Bolsas por m ²	Nº. de tallos por m ²
1	1 planta por bolsa conducida a 2 tallos	2.08	4.16
2	2 plantas por bolsa conducidas a 1 tallo	2.08	4.16
3	1 planta por bolsa conducida a 2 tallos	4.16	8.32
4	2 plantas por bolsa conducidas a 1 tallo	4.16	8.32
5	1 planta por bolsa conducida a 3 tallos	2.08	6.24
6	1 planta por bolsa conducida a 1 tallo (testigo)	4.16	4.16

La siembra de las semillas se realizó en charolas de plástico de 200 cavidades, se empleó como sustrato turba canadiense, se regó solamente con agua de pozo hasta la emergencia de las hojas cotiledanales. Posteriormente se aplicó la solución nutritiva Steiner al 25%, con pH de 6.0, hasta el momento del trasplante a los 30 días después de la siembra (Velazco y Nieto, 2006). El tutorio se llevó a cabo con cordón de rafia. Se realizaron podas 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, dos o tres tallos dependiendo del tratamiento. La polinización se llevó a cabo de forma manual todos los días entre las 10 y 12 h. La nutrición de la planta se suministró con la solución nutritiva de Steiner (1961), para la preparación se usaron fertilizantes comerciales, el pH se mantuvo entre 5.5 y 6.0, y conductividad eléctrica de 3.5 ds/m. Con base en trabajos previos se determinó la necesidad hídrica del cultivo, por lo que se dieron ocho riegos diarios en los que la duración estuvo determinada en función de la fase fenológica de la planta y condiciones ambientales. Durante los primeros 30 días se suministró 0.3 litros por planta al día, durante los siguientes 40 días el consumo se incrementó a 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. Las variables agronómicas evaluadas hasta el sexto racimo fueron: rendimiento de fruto total y comercial en kg m^{-2} ; rendimiento por tallo primario, secundario y terciario en kg m^{-2} ; número de frutos por m^{-2} , donde se contabilizaron los frutos totales y comerciales por racimo de cada planta y se obtuvo el total por planta y por m^{-2} . Peso promedio por racimo y peso promedio de fruto en g, para lo cual se consideró el peso total comercial por m^{-2} dividido entre el número de frutos comerciales por m^{-2} , en cada uno de los tratamientos. Con los datos se realizaron 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

El análisis de varianza mostró diferencias significativas ($P \leq 0.05$) para la variable peso promedio por racimo (Cuadro 2). El tratamiento T1, con una planta por bolsa conducida a dos tallos, y el tratamiento T2, con dos plantas por bolsa conducidas a un tallo, ambos tratamientos con 2.08 bolsas por m^{-2} , fueron estadísticamente igual al testigo (T6) que fue conducido a un solo tallo con densidad de 4.16 bolsas por m^{-2} . Estos tratamientos presentaron las medias más altas de 441.17 g a 479.89 g y las densidades más bajas de 4.16 plantas m^{-2} , en lo referente al número de tallos

por m^{-2} con respecto a los demás; es decir que al disminuir la densidad de plantas se incrementó ligeramente el peso promedio por racimo en comparación con los tratamientos que tuvieron 6.24 y 8.32, tallos por m^{-2} .



Figura 1. Conducción de plantas 1A) una planta por bolsa a 2 tallos, 1B) dos plantas por bolsas a un tallo, 1C) una planta por bolsa a un tallo (testigo), 1D) una planta por bolsa a 3 tallos.

En lo referente al manejo Sánchez *et al.* (1999) mencionan que la densidad de plantas permite optimizar la radiación interceptada, a fin de convertir la energía solar en biomasa, estrategia importante para aumentar el rendimiento. El incremento en la densidad de plantación se puede lograr ya sea por un mayor número de plantas por m^{-2} , como permitiendo que tallos laterales se desarrollen para aumentar el número de tallos por m^{-2} (Cockshull y Ho, 1995). Por otro lado, el peso promedio por racimo está estrechamente relacionado con la variable número de frutos promedio por racimo (Cuadro 3), ya que se observó un comportamiento casi similar en los tratamientos T1, T2 y T6, que presentaron el mayor número de frutos (de 4.86 para el tratamiento T1 a 5.27 para el tratamiento T6); mientras que los tratamientos T4 y T3 presentaron los valores más bajos con 3.59 y 3.70 frutos, respectivamente; siendo estadísticamente iguales ($P \leq 0.05$). Los tratamientos T3 y T4, con las medias más bajas en número de frutos, fueron los que tuvieron la densidad más alta de tallos por m^{-2} (8.32), lo que indica que la competencia entre plantas afectó el número de frutos por racimo, no obstante, fueron los que presentaron el rendimiento y número de frutos más altos por m^{-2} al compararse con los demás, lo cual se atribuye a un aumento en la densidad de plantas. Sobre lo mismo Cebula (1995) y Sánchez *et al.*, (1998) mencionan que la relación que existe entre la densidad de población y el rendimiento por planta no siempre es la misma; en pimiento y jitomate el incremento en la densidad de población disminuye el número de frutos por planta sin afectar el peso medio del fruto. Mientras que Cockshull y Ho (1995) reportaron que el crecimiento del cultivo a densidades altas no sólo produce más frutos, sino también más asimilados por unidad de superficie, como consecuencia de un IAF más alto que intercepta mayor porcentaje de la radiación solar incidente.

En las plantas conducidas a dos tallos, independientemente de la densidad de bolsas por m^2 , el tallo secundario produjo aproximadamente el mismo rendimiento que el tallo principal, ya que para el tratamiento T1 la diferencia fue de 10.64% y para el tratamiento T3 de 9% (Cuadro 2). Por esta razón el tratamiento T1, planta conducida a dos tallos y densidad de 2.08 bolsas por m^2 , fue estadísticamente igual ($P \leq 0.05$) que el tratamiento testigo (T6) el cual fue manejado a un tallo por planta con una densidad de 4.16 contenedores por m^2 . Con base en estos resultados, es posible disminuir el uso de semillas, bolsas y sustrato en un 50% para el tratamiento T1 y de sustrato y bolsas para el tratamiento T2, comparándolos con el testigo (T6), sin afectar el rendimiento. Al respecto Grijalva *et al.* (2010) mencionan que el conducir a la planta de jitomate bajo invernadero a dos tallos por planta permite reducir los costos de producción sin afectar significativamente el rendimiento. Por otro lado cuando se incrementó la densidad a 4.16 bolsas por m^2 , manejando las plantas a dos tallos (T3), el rendimiento por tallo disminuyó en 33% y 29.63% el número de frutos con respecto al testigo (T6) (cuadro 4). Este comportamiento también se presentó cuando se establecieron dos plantas por bolsa con igual densidad (T4), es decir que la producción de cada tallo disminuyó; sin embargo, la producción por m^2 incrementó debido a un aumento en la densidad de población, ya sea de plántulas o tallos secundarios. Al respecto Peil y Gálvez (2004) encontraron que la adición de tallos laterales redujo en 20% el rendimiento total, pero vino acompañada por un ahorro de un 21% en el número de plantas. Investigaciones sobre el efecto de la densidad de plantación en jitomate, en condiciones de invernadero, señalan una respuesta positiva en el rendimiento a medida que se incrementa el número de plantas por m^2 , con el inconveniente de reducir el tamaño del fruto (Grasso *et al.*, 2004). Al respecto, Decoteau y Graham (1994), Cebula (1995) y Lorenzo y Castilla (1995), mencionan que dentro de ciertos límites, el aumento en la densidad de población causa disminución en el rendimiento por planta, pero incrementa el rendimiento por unidad de superficie.

Por otro lado, para el porcentaje que aporta cada racimo de la planta (Cuadro 2) se observó que en los primeros racimos se concentra el mayor peso, el cual varió de 22.4% para el primer racimo del tratamiento T6 a 31.2%, del primer racimo del tallo principal en el tratamiento T3 con un promedio de 26.3 %, este porcentaje tendió a disminuir conforme aumentó el número de racimos en la planta, de tal manera que en el racimo seis se presentó el porcentaje más bajo con un 9.1% en promedio de rendimiento total. Para este caso valdría la pena considerar el manejo de la planta a cuatro o cinco racimos tomando en cuenta el costo de producción por racimo.

Al comparar la disminución de peso de los racimos en relación al primero

(Cuadro 2), se observó que el 2° racimo disminuyó 23.5% con respecto al primero, y que a partir del quinto racimo, la disminución fue más de la mitad con 53.3% y 65.2% para el sexto racimo. Se observó un promedio de 10.4% de disminución entre un racimo y el siguiente. Se sugiere considerar estos resultados para establecer un sistema de producción de jitomate de hábito indeterminado y se recomienda podar las plantas a cuatro racimos, ya que en las condiciones agronómicas y climáticas en que se llevó a cabo el presente estudio, a partir del 5° racimo el peso promedio disminuyó considerablemente. Para la variable peso promedio de fruto (Cuadro 4) hubo diferencias significativas ($P \leq 0.05$); el tratamiento T2 presentó el mayor peso (92.34 g) y fue estadísticamente igual que los tratamientos T1, T3 y T6 (testigo) y el de menor peso promedio fue el tratamiento T5, de plantas conducidas a tres tallos (6.24 tallos/m²) con 81.99 g. Este último fue igual estadísticamente ($P \leq 0.05$) que los tratamientos T3 y T4 con 85.62 y 83.60 g respectivamente, ambos con 8.32 tallos/m². Estos resultados indican que al incrementar la densidad de tallos el peso del fruto tendió a disminuir, por lo que era de esperarse que el tratamiento T5 presentara el fruto de menor peso, ya que fue conducido a tres tallos lo cual indujo una mayor competencia por fotoasimilados en la planta. En general, fue mínima la diferencia entre los tratamientos, por lo que aún con densidades de 8.32 tallos por m² se obtuvieron frutos con buen peso comercial.

Cuadro 2.

Porcentaje de peso que aporta cada racimo (R) y peso promedio de racimo en jitomate tipo saladette (híbrido Sun-7705), en condiciones de invernadero e hidroponía.

Tratamiento	Tallos	R1	R2	R3	R4	R5	R6	Aporte por tallo (%)	Peso promedio por racimo (g)
1	T. P.	24.7	18.7	14.6	15.6	14.7	11.6	55.3	441.17 ^a
	T. S.	22.5	18.9	19.5	16.4	13.8	8.9	44.7	
2	T. U.	24.8	18.9	15.9	14.8	13.3	12.2		479.38 ^a
	T. P.	31.2	22.5	14.9	13.4	9.4	8.5	54.5	
3	T. S.	25.5	18.9	19.5	15.8	12.7	7.6	45.5	318.10 ^b
	T. U.	29.3	19.3	16.2	13.8	11.5	9.7		
4	T.P.	29.7	21.1	17.5	12.4	10.8	8.5	43.2	299.20 ^b
	T. S.	27.8	19.4	21.2	14.2	10.8	6.6	27.6	
5	T. T.	24.8	20.6	20.2	14.6	12.4	7.3	29.1	338.46 ^b
	T. U.	22.4	22.5	15.8	15.3	13.4	10.5		
(testigo)									479.89 ^a
Promedio		26.3	20.1	17.5	14.6	12.3	9.1		
Disminución de peso [†]		N/A	23.5	33.3	44.4	53.3	65.2		

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha=0.05$), N/A= no aplica. T.P.= tallo principal, T.S.= tallo secundario, T.T. tallo terciario, T.U.= tallo único. [†]Con respecto al primer racimo.

Cuadro 4.

Comparación de medias de variables agronómicas en jitomate tipo saladette (híbrido Sun-7705) en condiciones de invernadero e hidroponía.

Tratamientos	Rendimiento de fruto comercial (kg m ⁻²)	Número de frutos comercial/m ²	Peso promedio de fruto (g)	Rendimiento de fruto/tallo kg m ⁻²	Número de fruto/tallo m ⁻²
1	11.01 ^b	121.47 ^c	90.70 ^{ab}	2.64 ^a	29.15 ^a
2	11.96 ^b	129.58 ^c	92.34 ^a	2.87 ^a	31.15 ^a
3	15.88 ^a	185.12 ^a	85.62 ^{abc}	1.90 ^b	22.25 ^{bc}
4	14.93 ^a	179.29 ^a	83.60 ^{bc}	1.79 ^b	21.55 ^c
5	12.67 ^b	154.96 ^b	81.99 ^c	2.03 ^b	24.83 ^b
6	11.97 ^b	131.56 ^c	90.70 ^{ab}	2.87 ^a	31.62 ^a

Dentro de cada columna medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha=0.05$)

La alta densidad de plantas aumenta la precocidad y reduce el ciclo biológico, y los frutos producidos son de menor tamaño y calidad (Nuez, 1995). Para este caso no se observaron frutos de mala calidad debido a que las densidades manejadas estuvieron dentro de lo recomendado, de tal manera que como lo señala Gardner *et al.* (1990), no se llegó a niveles de competencia por radiación entre las plantas que limitaran la producción de fotoasimilados, a tal grado que influyeran de forma negativa sobre el número de frutos por racimo o el peso medio de los mismos. Para la variable rendimiento de fruto comercial se observaron diferencias significativas entre los tratamientos ($P \leq 0.05$). La densidad de 4.16 bolsas/m², con dos plantas por contenedor conducidas a un tallo y una planta por contenedor conducida a dos tallos, presentaron los rendimientos mas altos de 15.88 kg m⁻² para el tratamiento T3 y 14.93 kg m⁻² para el tratamiento T4, es decir que al incrementar la densidad a 8.32 tallos/m², se incrementó el rendimiento por m², comparado con el testigo manejado a una densidad de 4.16 bolsas por m², pero con plantas conducidas a un solo tallo. Sin embargo, la producción por tallos disminuyó ya que estos tratamientos con el mayor rendimiento por m², presentaron el rendimiento más bajo por tallo.

En cuanto al número de frutos comerciales por m², el comportamiento fue estadísticamente similar al de la variable rendimiento comercial ($P \leq 0.05$), ya que los mismos tratamientos T3 y T4 (8.32 tallos por m²) produjeron 185.12 y 179.29 frutos por m², respectivamente. El tratamiento T5 con plantas conducidas a tres tallos (6.24 tallos por m²) superó a los tratamientos T1, T2 y T6 (4.16 tallos por m²) aunque de manera no significativa ($P \leq 0.05$). Es decir, que esta variable se encuentra relacionada con la densidad de plantas, ya que al incrementar el número de tallos por m² se incrementa el número de frutos y por ende el rendimiento. Al respecto Vázquez *et al.* (2007) concluyeron que el mayor rendimiento de jitomate por unidad

de superficie es consecuencia de la obtención de un mayor número de frutos por unidad de superficie sin detrimento del peso medio de fruto. Por otro lado, Sánchez *et al.* (1999) indicaron que el número de frutos por unidad de superficie tiende a incrementarse con un aumento en la densidad de población, aunque el rendimiento por planta disminuye. Es decir, la reducción individual es compensada por el aumento en el número de plantas por unidad de área.

Conclusiones

El uso de tallos secundarios y terciarios es una opción viable para incrementar la densidad de población y por ende el rendimiento de jitomate en condiciones hidropónicas e invernadero. Con dos tallos por planta con densidades de 4.16 bolsas por m², se tiene el mayor rendimiento y el mayor número de frutos. En plantas de jitomate cosechadas a seis racimos es posible disminuir hasta en un 50% el uso de semillas, bolsas y sustrato con plantas manejadas a dos tallos y 2.08 bolsas por m² sin afectar el rendimiento.

Literatura citada

- Cebula, S. 1995. Optimization of plant and shoot spacing in greenhouse production of sweet pepper. *Acta Hort.* 412:321-329.
- Cockshull, K.E.; Ho, L.C. 1995. Regulation of tomato fruit size by plant density and truss thinning. *Journal of Horticultural Science* 70(3) 395-407.
- Decoteau, D. R. and Graham, H. A. H. 1994. Plant spatial arrangement affects growth, yield, and pod distribution of cayenne peppers. *Hortsci.* 29:149-151.
- Estrada B.M, Brito M.N.P, De la Cruz L.E, Gómez V.A, López N.U, Mendoza P.J.D, Gómez M.E. 2006. Producción de jitomate en condiciones protegidas. En: Memorias del IX Congreso Nacional Agronómico 26 y 27 de Abril de 2006, Texcoco, México.
- Grasso, R., Muguero A., Ferrato J., Mondino M.C. y Longo A. 2004. Efecto de la época y la densidad de plantación sobre la productividad del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) bajo invernadero. *Revista FAVE-Ciencias Agrarias* 3: 7-11.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2006. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/> (consulta: Febrero 15, 2011).
- Nuez F. 1995. El cultivo de Tomate. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. pp:190-219.
- Peil, R.M.N. y Gálvez, J.L. 2004. Rendimiento de plantas de tomate injertadas

- y efecto de la densidad de tallos en el sistema hidropónico. *Horticultura Brasileira*, Brasília 22(2):265-270.
- Ruiz, V. J. y Aquino B.T. 1996. Control integrado de mosquita blanca en tomate y chile por métodos de bajo impacto ecológico. IPN - CIIDIR Unidad Oaxaca. 12 p.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación) 2010. Sistema Integral de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Disponible en: http://www.siap.sagarpa.gob.mx/ar_comagr2c.html (consulta: Marzo 15, 2011).
- Sánchez del C F, J Ponce. 1998. Densidad de plantación y nivel de despunte en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado en hidroponía. Revista. Chapingo Serie. Horticultura 4 (2):89-93.
- Sánchez, Del C. F.; Ortiz, C. J.; Mendoza, C. M. C.; González, H. V. A. y Bustamante, O. J. 1998. Physiological and agronomical parameters of tomato in two new production systems. Revista Fitotecnia Mexicana 21(1):1-13.
- Sánchez, del C.F., Ortiz C.J., Mendoza C.M., González H.V.A. y Colinas L.M.T. 1999. Características morfológicas asociadas con un arquetipo de jitomate para un ambiente no restrictivo. Agrociencia 33:21-29.
- SAS institute. 2002. SAS/STAT Computer Software. Release 9.00. SAS Institute Inc. Cary, North Carolina, U.S.A.
- Steiner A.A. 1961. A Universal Method for preparing nutrient solutions of certain desired composition. Plant Soil 15: 134-154.
- Vázquez-Rodríguez, J. C.; Sánchez-Del Castillo, F. y Moreno-Pérez, E. del C. 2007. Producción de jitomate en doseles escaleriformes bajo invernadero. Revista Chapingo Serie Horticultura 13:55-62.
- Velasco, H. E. y Nieto, A. R. 2006. Cultivo de jitomate en hidroponía e invernadero. Material didáctico. Universidad Autónoma de Chapingo. Departamento de fitotecnia. 2ª Edición. 100 p.
- Villegas, C.J.R., González, H. V.A., Carrillo, S.J.A., Livera, M.M., Sánchez. Del C, F. y Osuna, E.T. 2004. Crecimiento y rendimiento de tomate en respuesta a densidades de población en dos sistemas de producción. Revista Fitotecnia México 27(4): 333 -338.

**Evaluación de cuatro variedades de nopal
(*Opuntia ficus-indica* L. Miller) bajo condiciones de túnel**

**Evaluation of four varieties of nopal
(*Opuntia ficus-indica* L. Miller) under tunnel conditions**

García Osuna Hermila Trinidad¹, Catalina Rivas Morales¹, Julia Verde Star¹,
Eufemia Morales Rubio¹, René Miranda Ruvalcaba² y Adalberto Benavides Mendoza^{3*}.

Universidad Autónoma de Nuevo León. Ciudad Universitaria, San Nicolás de los Garza, Nuevo León.² Universidad Nacional Autónoma de México. ³Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Departamento de Horticultura. *E-mail: abenmen@gmail.com

Resumen. Los objetivos del presente estudio fueron identificar las variedades de nopal que manifiesten mayor productividad y mejor calidad en cuanto a sus componentes bromatológicos y contenido mineral. Se sembraron cuatro variedades de nopal (Copena VI, Jalpa, Milpa Alta y Villanueva), se evaluaron bajo condición de túnel de plástico con riegos ligeros semanarios durante el invierno. Para ésto se utilizó un sistema intensivo de producción. Se determinaron las variables agronómicas y fitoquímicas en diferentes estadios de desarrollo del cladodio (4, 6 y 8 semanas de desarrollo). En cada etapa se evaluaron los parámetros de crecimiento: número de brotes, longitud, anchura, grosor, peso fresco, peso seco; las variables bromatológicas: extracto etéreo, proteína, fibra, cenizas; las variables químicas de acidez titulable, sólidos solubles, pH y minerales. La variedad Villanueva presentó diferencia significativa en cuanto a mayor número de variables: número de brotes, proteína, minerales. Asimismo la variedad Copena presentó diferencia significativa en extracto etéreo en los tres estadios de desarrollo. La variedad Milpa Alta mostró diferencia significativa en color y contenido de fibra cruda.

Key word: *Opuntia ficus-indica*, aspectos nutricionales, composición química.

Abstract. The objectives of this study were to identify varieties of cactus that expressed higher productivity and better quality of its components bromatological and mineral content. Four varieties of cactus were planted (Copena VI, Jalpa, Milpa Alta and Villanueva), and evaluated under plastic tunnel conditions with weekly light watering during the winter. An intensive system of production was used. The

agronomic and phytochemical variables at different stages of development of the cladodes (4, 6 and 8 weeks of development) were determined. At each stage were evaluated the growth parameters: number of buds, length, width, thickness, fresh weight, dry weight; variables bromatological: ether extract, protein, fiber, ash, chemical variables of acidity, soluble solids, pH and minerals. The variety Villanueva presented significant difference in a larger number of variables: number of outbreaks, protein, minerals, Copena variety also showed significant differences in ether extract in the three stages of development. The result of the variety Milpa Alta showed a statistically significant difference in color and fiber content.

Key Word: *Opuntia ficus-indica*, *nutricion aspects*, *chemical composition*.

Introducción

El nopal (*Opuntia ficus-indica* (L.) Miller) pertenece a la familia Cactaceae. Su importancia surge desde las culturas prehispánicas que se establecieron en las regiones semiáridas de México. Ha representado una alternativa ecológica en regiones que poseen suelos pobres en materia orgánica. México aporta el 90% de la producción mundial. Se estima en alrededor de 600 mil toneladas y el rendimiento varía de 4 a 45 t ha⁻¹. La producción de nopal verdura en México se desarrolla en base a tres sistemas de aprovechamiento: nopaleras silvestres, huertos familiares y plantaciones comerciales (Flores-Valdéz, 2001).

En la producción de nopalito en México participan 19 entidades federativas con 10, 500 ha en total. Sin embargo, solo el Distrito Federal aporta el 51.8% de la superficie y casi el 57% de la producción total. Siendo la delegación Milpa Alta en el Distrito Federal, la mayor y más antigua zona productora de nopal verdura en México. Las plantaciones silvestres comprenden tres millones de hectáreas, en ellas existe una gran diversidad de especies. Por lo general en la época de brotación (primavera) se cosechan para autoconsumo. Los huertos familiares revisten importancia por la gran diversidad genética presente, pues han experimentado procesos de cruzamiento y selección durante mucho tiempo, de esta manera han surgido los materiales genéticos para las plantaciones comerciales. Mientras que las plantaciones comerciales surgieron alrededor de 1950 entre los productores de Milpa Alta, Distrito Federal, al seleccionar las mejores variedades de sus huertos para plantarlas en sus parcelas agrícolas (Blanco-Macías *et al.*, 2008). Siendo estos los sistemas de producción que siguen vigentes en la actualidad. El interés por conocer el contenido nutrimental de los cladodios en diferentes etapas del desarrollo y bajo diferentes condiciones de cultivo que favorezcan un incremento

en sus propiedades nutraceuticas ha ido creciendo. El nopal tierno presenta un elevado contenido de proteína mientras que la fibra cruda al igual que el contenido de elementos minerales como el Ca y Fe se incrementa a medida que la planta se desarrolla (Hernández-Urbiola, *et al.*, 2010). Por consiguiente el objetivo de este trabajo fué identificar las variedades que manifiesten mayor productividad y mejor calidad en cuanto a sus componentes bromatológicos y contenido mineral.

Materiales y métodos

La investigación se realizó en el ejido Agua de la Mula del municipio de General Cepeda, Coahuila. Se utilizaron cladodios de *O. ficus-indica* y se evaluaron cuatro variedades: Copena V1, Jalpa, Milpa Alta y Villanueva, con una sola dosis de composta ($40\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$) El experimento se estableció bajo un diseño de bloques completamente al azar con tres repeticiones, cada parcela de evaluación lo conformaron 40 plantas, la distancia entre plantas fue de 30 cm y 30 cm entre hileras. Se utilizó una cubierta plástica para el período octubre-febrero de 2009.

Variables físicas evaluadas. Peso. Esta medición se realizó con una balanza granataria marca Ohaus, registrando el peso en gramos. Longitud y anchura. Para obtener esta variable se utilizó una regla de 30 cm, registrando el resultado en centímetros, la anchura se midió en la parte media del cladodio. Grosor. Se midio con un vernier digital marca Metax. Firmeza. La resistencia a la penetración se registró mediante un penetrómetro digital compact Gauge (MECMESIN® EUA). La medición se tomó en cladodios con cutículas realizándose en la parte media central del mismo registrándose en Newtons (Nw). Color. Se midió con un colorímetro Minolta CR-30. La medición se realizó en 10 cladodios (una medición por cladodio), Se usó la colorimetría de triestímulo o sistema L^* , a^* y b^* . Los resultados se expresaron como los tres atributos de color que son: ángulo de tono ($\text{hue} = \arctan b/a$) que es el tono de color ya sea rojo, verde, amarillo o azul; croma (saturación de color) $c^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$ y valor L^* (luminosidad o brillantez).

Pruebas bromatológicas. Macrocomponentes. Para los análisis bromatológicos se realizaron los métodos propuestos por la A.O.A.C. (2000). Se evaluó: materia orgánica, proteína, fibra cruda; extracto etéreo. La humedad se determinó por el método de secado en una estufa marca Telco, mod 27, a $50\text{ }^\circ\text{C}$ hasta peso constante. Las cenizas se obtuvieron calcinando a $600\text{ }^\circ\text{C}$ hasta peso constante. La grasa se extrajo por el método de Soxhlet, utilizando éter de petróleo como solvente

de extracción. Para la fibra se aplicó el método de Kennedy que consiste en un tratamiento ácido y otro alcalino. La proteína se cuantificó por el método Kjeldhal, (Labconco). Los cladodios cosechados se colocaron en charolas de aluminio en el interior de un horno a 50 °C hasta obtener peso constante, el cual se determinó en una balanza granataria marca Ohaus. Una vez seco el material vegetativo se molió finamente en un mortero de porcelana y se almacenó en recipientes de vidrio. Contenido mineral en cladodios. Los análisis químicos de minerales se realizaron con base en peso seco. Los minerales Zn Cu, Fe, Mn, Mg, K, Ca fueron analizados por digestión húmeda mediante un espectrofotómetro de absorción atómica. La determinación de azufre fue por turbidimetría con cloruro de bario (BaCl_2) al 10 % y glicerina directamente del filtrado obtenido por digestión húmeda; se leyó por colorimetría a una longitud de onda de 800 nm. El contenido de fósforo se determinó por el método de colorimetría a una longitud de onda de 640 nm.

Pruebas químicas. Acidez titulable (%) y pH. La acidez titulable fue determinada utilizando el método propuesto por la A.O.A.C. (2000), el cual consiste en homogenizar 10 g de muestra con 50 ml de agua destilada, se procedió a titular con NaOH (0.1N) usando fenoftaleína como indicador. El pH se midió de forma directa con un potenciómetro manual marca Hanna. Sólidos solubles. Se siguió el procedimiento descrito por la A.O.A.C. (2000). Se homogenizó 30 g de muestra y se colocó una gota de homogenizado en un refractómetro marca Atago (0-30°), los resultados se presentaron como ° Brix.

Diseño experimental. Los resultados se analizaron empleando la herramienta estadística de análisis de varianza y comparación de medias de Tukey al 5% de probabilidad. Todos los datos estadísticos se calcularon en el programa estadístico de R®.

Resultados y discusión

Variabes físicas. En el Cuadro 1 se observan las variables de crecimiento. La variedad Villanueva presentó un crecimiento significativo en longitud en el primer estadio (11.30 cm); sin embargo, en las siguientes etapas este parámetro no se conservó. Esto podría estar relacionada con los cambios en la temperatura ambiental, al registrarse durante este período una helada (-2 °C) de 1 día de duración. En cambio el comportamiento en la producción de brotes (2.33, 3.57 y 3.67) presentó una diferencia significativa en las tres edades.

De las características croma y firmeza (Cuadro 2), en el parámetro de pureza de color, la variedad Milpa Alta presentó mayor intensidad de color en el segundo estadio,

valor que no se conservó en la siguiente etapa. Un valor de pureza mas alto indica una mayor intensidad de color. Las variedades estudiadas presentaron valores muy uniformes en color (ángulo de tono) en todos los estadios de desarrollo. El parámetro relacionado con firmeza las variedades presentan valores inferiores a los reportados por Aguilar-Sánchez *et al*, (2007) a los 30 días de desarrollo, Milpa Alta presentó un valor significativo en el tercer estadio de desarrollo, en relación con las otras variedades.

Cuadro 1.

Variables físicas de las cuatro variedades de *O. ficus-indica*.

Estadio 1						
Variedad	Longitud (cm) (*)	Ancho (cm) (NS)	Grosor (mm) (NS)	Peso Fresco (gr/planta)(NS)	Peso Seco (gr) (NS)	Número de brotes (*)
Copena	8.34 ^b	9.04	0.55	17.23 ^b	1.10	1.24 ^b
Jalpa	10.27 ^b	8.56	0.52	18.24 ^b	1.19	1.42 ^b
Milpa Alta	8.96 ^b	8.75	0.50	17.27 ^b	1.42	1.52 ^b
Villanueva	11.30 ^a	9.87	0.48	24.68 ^a	1.86	2.33 ^a
Estadio 2						
Copena	16.96	12.06	1.93	315.67	32.23	2.16 ^b
Jalpa	17.03	12.33	2.10	325.62	31.59	2.37 ^b
Milpa Alta	18.01	11.98	1.86	329.44	31.98	2.18 ^b
Villanueva	18.18	11.35	2.21	335.76	31.50	3.57 ^a
Estadio 3						
Copena	28.19	13.17	2.25	434.27	51.33	2.43 ^b
Jalpa	29.30	14.91	2.37	425.23	53.09	2.27 ^b
Milpa Alta	27.99	14.31	2.31	433.67	53.98	2.43 ^b
Villanueva	32.01	14.83	2.69	429.21	55.67	3.67 ^a

Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05);* significativa; NS: no significativa. Las demás variables presentan un incremento con la edad, sin significancia entre variedades y entre estadios.

Macrocomponentes. La materia orgánica (Cuadro 3) presenta diferencias entre estadios; en el segundo estadio se observa una disminución de materia orgánica en todas las variedades lo que sugiere la presencia de un estrés oxidativo por las fluctuaciones de temperatura en el período invernal lo que limitó el almacén de reservas. En cambio, la variable extracto etéreo presentó diferencias estadísticamente significativas en las tres edades en Copena V1. Se plantea que esta variable está relacionada con las características fenotípicas de la variedad, las características morfológicas de la variedad y el grosor de la cutícula. En relación al contenido de fibra cruda la variedad Milpa Alta presentó diferencia significativa en el primer estadio de desarrollo.

Cuadro 2.Variables de croma y firmeza de cuatro variedades de *O. ficus-indica*.

Estadio 1				
Variedad	Brillantez (L) (NS)	-a (NS)	+b (NS)	Firmeza (NS)
Copena	42.97	15.55	24.65	2.33
Jalpa	43.75	15.78	24.16	2.45
Milpa Alta	42.29	15.36	24.56	2.35
Villanueva	42.65	15.36	24.99	2.37
Estadio 2				
Copena	42.82 ^b	15.56	24.68 ^b	2.88
Jalpa	42.66 ^b	15.26	24.34 ^b	2.62
Milpa Alta	46.89 ^a	15.57	27.65 ^a	2.35
Villanueva	42.65 ^b	15.46	24.78 ^b	2.68
Estadio 3				
Copena	42.17	14.76	22.16	2.28 ^b
Jalpa	42.06	15.63	21.80	2.56 ^b
Milpa Alta	42.29	15.14	22.64	3.60 ^a
Villanueva	42.98	15.77	22.76	2.41 ^b

Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05);* significativa; NS: no significativa

Cuadro 3.

Variables bromatológicas de cuatro variedades de nopal en tres estadios desarrollo.

Estadio 1				
Variedad	% Materia orgánica (NS)	% Extracto etéreo (*)	% Fibra cruda (*)	% Proteína(NS)
Copena	64.47	4.62 ^a	7.42 ^b	2.48
Jalpa	66.28	2.79 ^b	7.36 ^b	2.56
Milpa Alta	69.77	2.58 ^b	8.92 ^a	2.29
Villanueva	70.66	2.96 ^b	7.24 ^b	2.55
Estadio 2				
Copena	42.64	4.88 ^a	12.27	1.98
Jalpa	39.86	2.84 ^b	12.36	1.86
Milpa Alta	43.75	2.96 ^b	12.98	1.88
Villanueva	41.34	2.88 ^b	12.47	2.68
Estadio 3				
Copena	59.82	4.96 ^a	14.34	1.23 ^b
Jalpa	59.07	2.24 ^b	14.89	1.65 ^b
Milpa Alta	56.69	2.36 ^b	14.25	1.34 ^b
Villanueva	57.81	2.08 ^b	14.54	2.93 ^a

Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05);* significativa; NS: no significativa

El contenido de proteína presentó en tres variedades una tendencia a disminuir. Este parámetro no se relaciona con la edad pero sí con factores como la disponibilidad de agua, temperatura y períodos de luz/oscuridad como lo mencionan Hernández-Urbiola *et al* 2010. En cambio la variedad Villanueva presenta una relación positiva con la edad. Sin embargo, estos valores son menores a los observados por Rodríguez-Félix y Cantwell (1988) para la especie.

Minerales. Se observa un incremento por la edad en las variables de contenido de Fe, K y Ca tiene una relación positiva con la edad, los demás elementos no observan una tendencia relacionada con el estadio (Cuadro 4). El Ca presenta diferencia significativa en el segundo estadio en la variedad Milpa Alta. Los valores de minerales están relacionados con condiciones de manejo y respuesta fisiológica del cultivar.

Cuadro 4.

Contenido de minerales presente en cuatro variedades de nopal.

Estadio 1									
Variedad	& S (NS)	% P (NS)	Zn (ppm) (NS)	Cu (ppm) (NS)	Fe (ppm) (NS)	Mn (ppm) (NS)	Mg (ppm) (NS)	K (ppm) (NS)	Ca (ppm) (NS)
Copena	0.37	0.35	22.42	3.3	46.71	23.1	7340	1568	2980
Jalpa	0.33	0.31	23.36	2.9	43.19	22.8	7280	1542	2738
Milpa Alta	0.38	0.34	26.11	3.5	43.43	25.2	7710	1538	3168
Villanueva	0.34	0.35	25.32	3.2	43.88	24.4	8200	1496	3018
Estadio 2									
Copena	0.19	0.42	32.4	5.6	83.4	43.4	8220	1970	4560 ^b
Jalpa	0.18	0.47	33.4	7.2	73.8	37.8	8020	2130	5830 ^{ab}
Milpa Alta	0.25	0.53	35.8	6.8	78.2	33.4	9200	2280	6280 ^b
Villanueva	0.22	0.47	35.6	6.6	82.6	42.6	8320	1890	4620 ^b
Estadio 3									
Copena	0.28	0.28	36.4	11.6	171.8	45.8	9600	4520	7630
Jalpa	0.38	0.24	39.8	13.8	189.6	52.8	10400	4760	7420
Milpa Alta	0.36	0.26	38.4	13.6	190.2	48.2	9900	4870	7580
Villanueva	0.34	0.22	37.6	12.8	188.6	51.6	10200	4660	7800

Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05);* significativa; NS: no significativa.

Variables químicas. Los parámetros químicos (Cuadro 5) se observan muy constantes entre estadios y variedades. Robles-Contreras (1986) menciona una relación entre la cantidad de riego y la variación de estas variables, esto pudiera estar relacionado con aspectos fisiológicos del metabolismo CAM facultativo, bajo condiciones de humedad y temperatura uniformes presente en túnel. Por otro lado,

Rodríguez-Félix *et al* (2010) reporta fluctuaciones de acidez titulable durante el día para *O. ficus-indica* de 15 a 21 cm de longitud, relacionada con metabolismo CAM.

Cuadro 5.

Medidas del valor del contenido de acidez, pH y ° Brix de cuatro variedades de nopal.

Estadio 1			
Variedad	% de Acidez	pH	°Brix
Copena	0.62	4.36	3.10
Jalpa	0.56	4.20	2.66
Milpa Alta	0.59	4.22	3.18
Villanueva	0.52	4.30	2.64
Estadio 2			
Copena	0.52	4.28	2.68
Jalpa	0.60	4.26	2.44
Milpa Alta	0.59	4.32	2.58
Villanueva	0.58	4.24	2.38
Estadio 3			
Copena	0.66	4.22	2.64
Jalpa	0.68	4.33	2.56
Milpa Alta	0.66	4.36	2.64
Villanueva	0.69	4.29	2.96

Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes

(Tukey,0.05);*significativa; NS: no significativo

Conclusiones

Se concluye que para el período de invierno bajo condiciones de cultivo en túnel, la variedad Villanueva presentó mayor rendimiento y contenido de proteína en los diferentes estadios de desarrollo.

Literatura citada

Aguilar-Sánchez L., Martínez-Damián M.A, Barrientos-Priego A.F, Aguilar-Gallegos N., C. Gallegos Vásquez. 2007. Potencial de oscurecimiento enzimático de variedades de nopales. J PACD 165-184.

A.O.A.C. 2000. Official methods of analysis. Association of methods analytical chemists. EUA.

- Blanco-Macías F., Valdez-Cepeda R., Vázquez-Alvarado R.E., P. Almaguer-Sierra. 2008. Establecimiento y manejo del nopalito para verdura. En: Vázquez-Alvarado R.E, Blanco-Macías F, y R. Valdéz-Cepeda. (eds). Memorias del VII Simposium Nacional: Taller de Producción y Aprovechamiento del Nopal en el Noreste de México. Facultad de Agronomía Universidad Autónoma de Nuevo León, Marín, Nuevo León, México. Octubre 24-25.
- Flores-Valdéz A.C. 2001. Producción industrialización y comercialización de nopalitos. CIESTAAM. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo estado de México. 28 p.
- Hernández-Urbiola, M.I., Contreras-Padilla, M., Pérez-Torrero, E., Hernández-Quevedo, G., Rojas-Molina, J.I., Cortes, M.E., M.E. Rodríguez-García. 2010. Study of nutritional composition (*Opuntia ficus indica* cv. Redonda) at different maturity stages. The Open Nutrition Journal 4: 11-16.
- Robles-Contreras, F. 1986. Efectos de la frecuencia de riego sobre las relaciones hídricas. Universidad de Sonora, México. Tesis profesional. 66 p.
- Rodríguez-Félix, A., M. Cantwell. 1988. Developmental changes in composition and quality of prickly pear cactus cladodes (nopalitos). Plant Foods for Human Nutrition 38: 83-93.

Uso de malla sombra de color en la producción de chile poblano

Use of colored shade net in the production of poblano pepper

Márquez-Quiroz César^{1*}, Pedro Cano-Ríos¹, Arturo Palomo-Gil¹,
Maximiano Estrada-Botello², Efraín de la Cruz-Lázaro² y Sayani López-Espinosa¹.

¹Posgrado. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna (UAAAN-UL), Periférico Raúl López Sánchez y carretera a Santa Fe S/N, Torreón, Coahuila, México. ²División Académica de Ciencias Agropecuarias (DACA), Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT). Km. 25 Carretera Villahermosa-Teapa, Villahermosa, Tabasco. México. *Email: cesar_quiroz23@hotmail.com

Resumen. La malla sombra negra es ampliamente utilizada en el cultivo protegido de plantas hortícolas como técnica de control de la luz y la temperatura. Recientemente han salido al mercado mallas de colores con propiedades fotométricas especiales para mejorar el aprovechamiento de la radiación solar. En la presente investigación se evaluó la fotoselectividad de malla negra, azul y perla, cada una con 30 % de sombra, a través de la radiación total (350 a 1050 nm) y la radiación fotosintéticamente activa (40 a 700 nm) que transmitieron; así como el efecto que ocasionaron en el crecimiento y producción de frutos en plantas de chile poblano cultivadas en macrotúneles. Los resultados indican que las mallas de colores alteraron la cantidad y calidad de luz transmitida sobre las plantas de chile poblano. No obstante, ninguna de las propiedades fotométricas medidas en las mallas pareció particularmente destacable, sino que posiblemente fue la asociación de todas esas propiedades la que influyó para que las plantas de chile poblano que crecieron bajo la malla perla con 30 % de sombra presentaran mayor área foliar, el mayor rendimiento y el mayor número de frutos. De acuerdo con los resultados obtenidos, la malla sombra de color perla con 30 % de sombra constituye una alternativa para mejorar el cultivo de chile poblano bajo macrotúneles, ya que incremento significativamente el rendimiento en 62 y 144 %, comparado con los respectivos rendimientos obtenidos con la malla negra y el testigo, habitualmente utilizados por el productor. EL genotipo Puebla cultivado en malla sombra perla reportó el mayor rendimiento con 38.4 Mg ha⁻¹.

Palabras clave: *Capsicum annum*, película plástica, macrotúnel, producción, cubierta de color.

Abstract. Black shade net is widely used in the protected crop of vegetables as a technique of control of light and temperature. Recently appeared in the market colored shade nets with special optical properties to improve the use of the solar radiation. In the present investigation the photoselectivity of black, blue and pearly plastic nets was evaluated, each one with 30 % of shadow; through the total radiation (350 to 1050 nm) and photosynthetic active radiation (300 to 700 nm) transmitted; as well as effect that causes in the growth and production of fruits in plants of poblano pepper. The results indicate that the colored shade nets altered the quantity and quality of the light transmitted. Nevertheless, none of the photometric properties measured in the plastic nets seemed particularly notable, but possibly was the association of both properties the one that influenced so that the plants of poblano pepper that grew under the pearly net with 30 % of shadow presented greater leaf area, greater leaf number, the larger yield and greater number of fruits. According to the results obtained, the pearly color net with 30 % of shadow constitute an alternative to improve the macrotunnel pepper cultivation, since it increased significantly the yield in 62 y 144 %, compared with the respective average yield obtained with black net and control, habitually utilized by the producers of pepper. The cultivar puebla planted under the pearly colored shade net had the greater yield with 38.4 Mg ha⁻¹.

Keywords: *Capsicum annuum*, plastic films, macro-tunnel, crop production, colored cover.

Introducción

En 2009, la producción nacional de chile poblano (*Capsicum annuum*) fue de 190,486 ha con rendimiento promedio de 15.36 t ha⁻¹. Zacatecas es el principal Estado productor, seguido por los estados de Sinaloa, Guanajuato, Durango y Chihuahua (SIAP, 2011). La utilización de malla plástica para sombrear es una técnica de control de la temperatura cada vez más extendida en la horticultura protegida, con la cual se busca disminuir la intensidad de la radiación, para evitar altas de temperatura durante periodos cálidos (Valera *et al.* 2001), o para el ahorro de energía en invierno (Anglés, 2001). Las mallas utilizadas con dichos fines son negras y aluminadas, respectivamente. Las primeras se usan más que las segundas porque cuestan menos, pero son poco selectivas a la calidad de la luz; es decir, sombrean por igual en toda la banda del espectro electromagnético, causando disminución de la fotosíntesis y consecuentemente en el rendimiento agrícola (Valera *et al.* 2001). De ahí que recientemente se haya iniciado el desarrollo de mallas plásticas de sombreo

con propiedades ópticas especiales, como un nuevo enfoque para mejorar el uso de la radiación solar en los cultivos agrícolas (Ganelevin, 2008, Fallik *et al.* 2009). Éstas son mallas sombra de colores, cada una de las cuales modifica específicamente el espectro de la luz filtrada en las regiones ultra-violeta, visible y rojo lejano, e intensifica su dispersión (luz difusa), y afecta sus componentes térmicos (región infrarroja), en función de los aditivos cromáticos del plástico y el diseño del tejido (Oren-Shamir *et al.* 2001; Shahak *et al.* 2004a; Rajapakse y Shahak, 2007).

De acuerdo con Shahak *et al.* (2008), la nueva tecnología fomenta la estimulación diferencial de algunas respuestas fisiológicas reguladas por la luz tales como la fotosíntesis, que transforma la energía solar en energía química utilizando luz de longitudes de onda entre 400 y 700 nm, conocida como radiación fotosintéticamente activa (RFA), absorbida principalmente por los pigmentos clorofílicos; y la fotomorfogénesis, que incluye efectos sobre la elongación del tallo, expansión foliar, desarrollo de cloroplastos, síntesis de clorofila, y muchos otros metabolitos secundarios, en respuesta a la incidencia de luz azul (400 a 500 nm), roja (600 a 700 nm) y roja lejana (700 a 800 nm), percibidas por fotorreceptores biológicos, principalmente fotocromos y criptocromos, presentes en pequeñas cantidades en las plantas (Decoteau *et al.* 1993). Por lo anterior y a la falta de información respecto del uso de malla sombra de color en la producción de esta hortaliza, el objetivo del presente trabajo fue valorar agrónomicamente la fotoselectividad de mallas sombra de colores, que empiezan a aparecer en la escena de los textiles agrícolas, así como de la malla sombra negra, tradicionalmente usada por los productores de hortalizas, para determinar su influencia sobre la cantidad y calidad de la radiación solar y, el efecto de cada color de malla sobre el crecimiento y rendimiento de frutos de plantas de chile poblano.

Materiales y métodos

El estudio se hizo en instalaciones localizadas en Saltillo, Coahuila, México (25° 23' N y 101° 00' O). La evaluación agronómica se llevó a cabo entre el 23 de marzo y 12 de agosto de 2009, con una duración de 142 d, en macrotúneles cubiertos con malla sombra de color (Chromatinet®, 70 % de transmitancia), de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN). Se utilizaron plántulas de chile poblano cv Mulato y Puebla producidas en charolas germinadoras de poliestireno de 200 cavidades, las cuales se trasplantaron surcos de suelo con acolchado plástico de color plateado, con una separación de 90 cm entre surcos y 30 cm entre plantas, para una densidad de 3 plantas m⁻². Se emplearon mallas tejidas tipo Rashel con

un tamaño de orificio de 6 x 8 mm (30 % se sombra; Polysack Plastic Industries, Ltd.), de color azul (AZ), negro (NE) y perla (PE) y un testigo sin cubierta (TE). Las mallas fueron colocadas antes del trasplante, por encima de la estructura de los macrotúneles con una altura de 2.3 m.

Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar, que consideró los factores de color y el genotipo de Chile. De tal manera que las combinaciones posibles formaron 8 tratamientos: AZMulato, AZPuebla, NEMulato, NEPuebla, PEMulato, PEPuebla, TEMulato, TEPuebla los cuales se establecieron con tres repeticiones y arreglo en parcelas divididas, la parcela grande se asignó el color de la malla sombra (MS) y la parcela chica el genotipo de Chile (G).

Las propiedades químicas del agua se caracteriza por 3.51, 0.48, 0.22, 2.71, 3.12, 2.3 y 2.62 mmol L⁻¹ de Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺, HCO₃⁻, Cl⁻, SO₄²⁻, respectivamente, pH 7.8, conductividad eléctrica (CE) 1.05 dS m⁻¹, relación de absorción de sodio (RAS) de 2.18 y se clasificó como agua de baja salinidad y bajo contenido de sodio (C1S1) (Ayers y Westcot, 1994). Se utilizó cinta de riego con un gasto de 3.28 L h⁻¹ m⁻¹ para la fertirrigación, la cual se realizó durante todo el ciclo vegetativo, con una solución nutritiva diseñada para aplicar: 8, 0.6, 3.2, 3.8 y 1.5 mmol L⁻¹ de NO₃⁻, H₂PO₄⁻, Ca²⁺, K⁺ y Mg⁺, respectivamente, con una CE 2.0 dS m⁻¹. La concentración de los micronutrientes fue de: 1.0, 0.5, 0.3, 0.5, 0.1 y 0.05 mg L⁻¹ de Fe, Mn, Zn, B, Cu y Mo, en el mismo orden. El pH de la solución se ajustó entre 5.6 y 6.2 con H₂SO₄.

Se realizaron mediciones de temperatura, humedad relativa y del espectro de transmisión de radiación solar, por medio del sensor portátil Quantum Apogee® modelo BQM-S y luxómetro portátil Milwaukee® modelo SM-700, para registrar la radiación fotosintéticamente activa (RFA) en $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y radiación total (RT) en kilolux (klx), respectivamente, los cuales se colocaron a 30 cm sobre el nivel del suelo. Todas las mediciones fueron realizadas durante condiciones de cielo despejado entre 08:30, 12:00 y 15:00 h (hora local), en el centro de cada una de las mallas sombra. También se evaluaron los aspectos relacionados con el crecimiento de las plantas de Chile, específicamente diámetro del tallo (DT), altura de la planta (AP), área foliar (AF) (integrador LI-COR®; LI-3100) y número de hojas por planta (NH), así como el peso de fruto (PF), diámetro ecuatorial (DE), longitud del fruto (L) y rendimiento de frutos (R). Cada una de las variables fueron obtenidas a través del muestreo de 15 plantas por tratamiento, sujetas a un análisis de varianza y pruebas de comparación de medias por diferencia mínima significativa ($P \leq 0.05$) con el paquete estadístico Statistical Analysis System (SAS Institute Inc., 1999).

Resultados y discusión

La temperatura ambiental media fluctuó entre 30.1 y 30.8 °C, mientras que la humedad relativa media osciló entre 32.6 y 33.3 %. Los resultados obtenidos indican que las mallas modificaron la cantidad y calidad de la radiación solar percibida por las plantas de chile poblano (Cuadro 1), a causa del color de la malla y su porcentaje de sombra. La RT en el macrotúnel con MS PE, respecto al testigo, registró una disminución de 42.9 %, Tognoni (2000) señala que del 100 % de radiación sólo 65 a 70 % penetra al interior de la cubierta plástica. La RFA presentó diferencias entre los tratamientos. En relación con la RFA del testigo, la cual fue en promedio 1055.9 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, se presentó una reducción de 43.6, 43.5 y 44.7 % de transmisión para los tratamiento con malla NE, PE y AZ, respectivamente. Ryu *et al.* (1999) y Cerny *et al.* (1999), citan reducciones de 25 a 35 %, pero sin especificar las características de las películas. En estos resultados se denota que las MS de colores transmitieron diferentes cantidades de RT, lo cual se debe a que en la malla negra sólo la radiación que pasa a través de los orificios de la malla es transmitida, ya que los hilos de plástico negro son esencialmente opacos. Sin embargo, las mallas de colores, las cuales son tejidas más densamente para lograr el mismo efecto de sombreo, una mayor fracción de la radiación solar pasa a través de los hilos plásticos y es filtrada selectivamente (Oren-Shamir *et al.* 2001; Shahak *et al.* 2008).

Así, los resultados indican que las MS PE y AZ fueron las más eficaces para reducir RT y RFA. Estos hallazgos también coinciden con los resultados de Retamates *et al.* (2008), quienes al comparar la RFA transmitida por mallas negras, blancas, grises y rojas con 35 y 50 % de sombra, reportaron que las malla sombra blanca 35 y 50 %, gris 35 y 50 % y roja 35 % redujeron la RFA en 29 %, mientras que las mallas sombra roja 50 % y negra 35 y 50 % disminuyeron la RFA en 41, 47 y 53 %, respectivamente, con respecto a la RFA del tratamiento testigo, sin malla. Quizá por eso, y porque son más baratas, las mallas negras son las más utilizadas para sombrear plantas y evitar excesos de temperatura durante los periodos con alta radiación solar ($> 300 \text{ W m}^{-2}$) y como consecuencia más cálidos (Velera *et al.* 2001)

Cuadro 1.

Valor promedio de la radiación y temperatura registrada, en cada tratamiento con película plástica de color.

Malla	RT ² (klx)	RFA ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Temperatura (°C)		HR (%)
			Suelo	Ambiente	
Azul	68.3 ab ^y	583.8 b	21.3 a	30.2 a	33.3 a
Perla	60.9 b	595.5 b	20.9 a	30.1 a	32.6 a
Negro	78.8 ab	595.4 b	21.1 a	30.2 a	33.1 a
Testigo	106.6 a	1055.9 a	22.1 a	30.8 a	32.7 a
Media general	79.2	707.6	21.4	30.4	33.0
CV (%)	31	25	6	20	30

²RT = radiación total, RFA = radiación fotosintéticamente activa, HR = humedad relativa, CV = coeficiente de variación; ^yValores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo con la prueba DMS ($P \leq 0.05$).

El DT se redujo a causa de menores cantidades de RT y RFA, mientras que mayores transmisiones de RT y RFA encontradas bajo las mallas PE, NE y AZ provocaron que la longitud de tallo aumentara (Cuadro 2). El área foliar fue mayor en plantas del cv. Puebla que crecieron bajo la influencia de la malla PE, debido a que recibió menor cantidad de RT y RFA, por lo que produjeron hojas más grandes, de mayor espesor y fotosintéticamente más aptas (datos no mostrados) (Rodríguez *et al.* 1998; Oguchi *et al.* 2003). Resultados similares fueron obtenidos por Cockshull *et al.* (1992), quienes reportaron rendimientos de cultivos hortícolas cuando la altura de planta es mayor, cuando existe una disminución de la altura, el rendimiento se reduce hasta en 22 % (Fletcher *et al.* 2002). El PF y L no se afectó por las MS. Sin embargo, de acuerdo con el pliego de condiciones para el uso de la marca oficial "México Calidad Suprema" en Chile (SAGARPA-ASERCA, 2011), el tamaño de fruto grande corresponde a una longitud superior a 13.8 cm, por lo que la mayoría de las MS evaluadas caen en esta categoría a excepción de interacción MS x G AZMulato, PEMulato y TEMulato (Cuadro 2).

Las diferencias observadas en el rendimiento fueron debidas al número de frutos por planta y no al peso promedio de los mismos. Se encontró que en los valores más altos de rendimiento total se reportaron en PEPuebla con una media de 38.4 Mg ha⁻¹, es decir, 2.51 veces más, que lo obtenido en producción de Chile poblano en campo que es de 15.3 Mg ha⁻¹ (SIAP, 2011). Esto coincide con lo informado por El-Aidy (1991), quien reportó que el rendimiento de pepino se incrementó conforme redujo el sombreado de 63 a 40 % durante la etapa de verano. Estos resultados también son congruentes con Shahak *et al.* (2008), quienes utilizaron mallas roja,

amarilla y perla con 30 y 40 % de sombra y obtuvieron rendimientos de pimiento morrón de 115 a 135 % más altos comparados con el rendimiento que cosecharon con la malla negra del mismo nivel de sombra. Adicionalmente, de acuerdo con Shahak et al. (2004b) la MS PE tiene una mayor difusión de luz (62 %) que las MS AZ (26 %) y NE (11.4 %). También refieren que debido a que la luz difusa penetra mejor los doseles densos, la exposición de las plantas a la luz total bajo las mallas de colores (difusoras) es mayor que en las mallas negras. Por lo que las plantas bajo una malla de color con 30 % de sombra realmente capta más luz que aquellas bajo una malla sombra negra 30 %.

Conclusiones

El porcentaje de sombra o diseño del tejido de las mallas y la pigmentación del plástico influyeron en la capacidad de transmisión de radiación solar. La malla perla transmitió la menor cantidad de radiación total (60.9 klx) y fotosintética (595.5 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), es decir, fue la malla más eficiente para sombrear. Tales propiedades fotométricas de la malla influyo en el crecimiento de las plantas de chile poblano. El diámetro de tallo, la altura y el área foliar se incrementó a causa de una menor cantidad de radiación total transmitida por la malla perla. Consecuentemente, también se obtuvieron diferentes respuestas de rendimiento y calidad de chile poblano. Con la radiación solar transmitida por la malla perla se cosecharon los mayores rendimientos, así mismo el cv puebla cultivado en la malla blanca registro la supremacía en el rendimiento, superando al testigo puebla en 161.2 %.

Cuadro 2.

Valores promedio y diferencia estadística de las variables evaluadas en genotipos de chile poblano, desarrollados en sombra de color.

T ²	PF (g)	L	DE (cm)	DT	AP	NF	AF dm ²	NH	R (Mg ha ⁻¹)
G									
Mulato	83.4 a ^y	13.3 a	62.2 a	1.5 a	91.5 a	29 a	45.8 b	469 a	15.1 a
Puebla	80.2 a	14.3 a	55.3 b	1.3 b	63.6 b	45 a	75.8 a	280 b	23.0 a
MS									
AZ	83.4 a	14.2 a	57.5 b	1.4 a	81.7 a	31 ab	59.5 b	481 a	15.9 b
NE	85.3 a	14.7 a	59.0 ab	1.5 a	88.0 a	37 ab	62.4 b	361 a	18.3 ab
PE	86.2 a	13.5 a	60.8 a	1.6 a	92.4 a	55 a	90.8 a	350 a	29.8 a
TE	72.2 a	13.0 a	57.5 ab	1.1 b	48.2 b	26 b	30.6 c	305 a	12.2 b
G x MS									
T1	84.0 a	13.7 a	60.6 a	1.6 a	104.5 a	16 c	48.6 d	619 a	8.7 d
T2	82.9 a	14.7 a	54.4 bc	1.2 b	58.9 bc	45 ab	70.4 b	344 bc	23.0 b
T3	88.0 a	14.4 a	62.4 a	1.6 a	108.1 a	41 bc	52.6 cd	426 ab	20.9 bc
T4	82.7 a	14.9 a	55.6 bc	1.4 ab	67.9 bc	33 bc	72.2 b	297 bc	15.8 bcd
T5	89.5 a	14.0 a	58.9 ab	1.5 a	81.34 ab	70 a	117.3 a	285 bc	38.4 a
T6	83.0 a	13.0 a	62.8 a	1.6 a	103.4 a	40 bc	64.4 bc	414 b	21.1 bc
T7	66.0 b	13.8 a	52.3 c	1.0 c	46.4 c	34 bc	43.5 d	193 c	14.7 bcd
T8	79.0 ab	12.2 a	62.8 a	1.2 bc	50.1 c	19 c	17.6 e	417 b	9.6 cd
Media general	81.8	13.8	5.8	1.4	77.5	37.0	60.8	374.0	19.0
CV (%)	7	15	5	9	22	30	12	26	24

T² = tratamiento; G = genotipo, MS = malla sombra, Valores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo con la prueba DMS (P≤0.05). AZ = malla color azul; NE = malla color negro; PE = malla color perla; TE = testigo sin cubierta. PF = Peso de fruto; L = Longitud; DE = Diámetro ecuatorial; NF = Número de frutos por planta; AP = altura de planta; DT = diámetro de tallo; AF = área de planta; AF = área foliar; NH = número de hojas por planta; R = rendimiento; CV = coeficiente de variación.

Literatura citada

- Anglés M. 2001. Control climático y ciclo de cultivo. *Horticultura* 19: 28-34.
- Ayers R. S and D. W. Westcot. 1994. Water Quality for Agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper 29 Rev. 1. FAO. Rome. 174 p.
- Cerny A.T, Rajapakse NC, Ryu OY. 1999. Recent development in photosensitive greenhouse covers. *In: Proc. Nat. Agric. Plastics Congress. American Society for Plasticulture. May 19-22, 1999. Tallahassee, Florida. pp: 75-80.*
- Cockshull K. E., C. J. Graves., C. R. K. Cave. 1992. The influence of shading on yield of glasshouse tomatoes. *J. Hort. Sci.* 67(1): 11-24.
- Decoteau D. R., H. A. Hatt., J. W. Kelly., M. J. McMahon., N. Rajapakse., R. E. Joung and R. K. Pollock. 1993. Applications of photomorphogenesis research to horticultural systems. *Hortscience* 28: 974-1063.
- El-Aidy, F. 1991. The effect of planting date, density, variety and shade on production of cucumber under tunnels. *Acta Hort.* 287: 281-288.
- Fallik E., S. Alkalai-Tuvia., Y. Parselan., Z. Aharon., A. Elmann., Y. Offir., E. Matan., H. Yehezkel., K. Ratner., N. Zur., Y. Shahak. 2009. Can Colored Shade Nets Maintain Sweet Pepper Quality during Storage and Marketing? *In: Proc. IVth Balkan Symp. on Vegetables and Potatoes. L. Krasteva and N. Panayotov (Eds). Acta Hort.* 830:37-44.
- Fletcher J. M., A. Tatsiopoulou., P. Hadley., F. J. Davis and R. G. C. Henbest. 2002. Growth, Yield and Development of Strawberry cv. 'Elsanta' under Novel Photosensitive Film Clad Greenhouses. *Proc. XXVI IHC – Protected Cultivation 2002. A.P. Papadopoulos (Ed). Acta Hort.* 633: 99-106.
- Ganelevin R. 2008. World-wide commercial applications of colored shade nets technology (Chromatinet®). *Acta Hort.* 770: 199-203.
- Oguchi R., K. Hikosaka and T. Hirose. 2003. Does the change in light acclimation need leaf anatomy?. *Plant Cell Environ.* 26: 505-512.
- Oren-Shamir M., E. E. Gussakovsky., E. Spiegel., A. Nissim-Levi., K. Ratner., R. Ovadia., Y. E. Giller and Y. Shahak. 2001. Coloured shade nets can improve the yield and quality of green decorative branches of *Pittosporum variegatum*. *J. Hort. Sci. Biotech.* 76: 353-361.
- Rajapakse N. C and Y. Shahak. 2007. Light quality manipulation by horticulture industry. *In: G. Whitelam and K. Halliday (Eds.), Light and Plant Development, Blackwell Publishing, UK. pp: 290–312.*
- Retamates J. B., J. M. Montecino., G. A. Lobos and L. A. Rojas. 2008. Colored shading nets increase yields and profitability of highbush blueberries. *Acta Hort.* 770: 193-197.

- Rodríguez M. M. N., G. G. Alcántar., S. A. Aguilar., B. J. D. Etchevers., R. J. A. Santizó. 1998. Estimación de la concentración de nitrógeno y clorofila en tomate mediante un medidor portátil de clorofila. *Terra* 16 (2): 8135-141.
- Ryu O. Y., M. O. Kohgo., M. Iwata., S. Ikado., 1999. Practical approach for photoselective plastics. In: Proc. Nat. Agric. Plastics Congress. American Society for Plasticulture. May 19-22, 1999. Tallahassee, Florida. 80 p.
- SAGARPA-ACERCA. 2011. Pliego de condiciones para el uso de la marca oficial México Calidad Suprema en Chile. BANCOMEXT. ASERCA. PC-011-2004. [Fecha de consulta: 8 de agosto de 2011] Disponible en: http://www.normich.com.mx/archivos/OC/mcs/PLIEGOS%20DE%20CONDICIONES%2012/PC_011_2004_Chile_vsj.pdf. 16 p.
- SAS Institute, Inc. 1999. SAS/STAT User's Guide. Version 8. SAS Institute Inc. Cary N. C. USA.
- Shahak Y., E. E. Gussakovsky., E. Gal and R. Ganelevin. 2004a. Colornets: crop protection and light-quality manipulation in one technology. *Acta Hort.* 659:143-151.
- Shahak Y., E. E. Gussakovsky., Y. Cohen., S. Lurie., R. Stern., S. Kfir., A. Naor., I. Atzmon., I. Doron., Y. Greenblat-Avron. 2004b. ColorNets: a new approach for light manipulation in fruit trees. *Acta Proc. XXVI IHC – Deciduous Fruit and Nut Trees*. A.D. Webster (Ed). *Hort.* 636:609–616.
- Shahak Y., E. Gal., Y. Offir and D. Ben-Yakir. 2008. Photoselective shade netting integrated with greenhouse technologies for improved performance of vegetable and ornamental crops. *Acta Hort.* 797: 75-80.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2011. Producción de Chile Verde Poblano. [Fecha de consulta: 8 de agosto de 2011] Disponible en: <http://www.siap.gob.mx/>
- Tognoni F. 2000. Radiación. In: Memoria del Curso Internacional de Ingeniería, Manejo y Operación de Invernaderos para la Producción Intensiva de Hortalizas. Instituto Nacional de Capacitación para la Productividad Agrícola (INCAPA, S.C.). 21-26 de Agosto de 2000. Guadalajara, Jal. México. pp:38-43.
- Valera, D., F. Molina y J. Gil. 2001. Las mallas como técnica de control climático en invernaderos. *Vida Rural* 8: 50-52.

Aplicación de abonos orgánicos sólidos en la producción de tomate

Application of solid organic fertilizers in the field tomato

Gómez Pérez Gerardo, Candelero de la Cruz Juan*, Fernando Peraza Luna,
Gustavo Gío Escalante y Nery Ma. Ruz Febles

Instituto Tecnológico de Tizimín. Departamento de Ingenierías.
Final Aeropuerto Cupul s/n, Tizimín, Yucatán. *E-mail:candeleroacruz@hotmail.com

Resumen. El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto de los abonos orgánicos con una dosis baja de fertilizantes químicos en el crecimiento y rendimiento de tomate (*Lycopersicon esculentum* M.). Los tratamientos evaluados consistieron en las siguientes combinaciones: 25 % de abono + el 75 % de tierra, 50 % de abono + 50 % de tierra, y 75 % de abono + 25 % de tierra. Las fuentes de abonos orgánicos fueron Gallinaza, Bovinaza y Contenido Ruminal. Se observó que las plantas abonadas con la mezcla de 75 % tierra + 25 % Gallinaza y la mezcla 25 % tierra + 75 % Bovinaza en la primera, segunda y tercera etapa tuvieron mayor crecimiento, cuyos valores fueron 24.66, 43.16 y 77.83 cm de altura, respectivamente. Las plantas en el tratamiento con 75 % Bovinaza + 25 % tierra tuvieron mayor rendimiento, con una media de 2,520 g/planta superando significativamente al testigo sin aplicación de abono orgánico.

Palabras clave: enmiendas orgánicas, composta.

Abstract. The objective of this study was to determine the effect of organic fertilizers with a low dose of chemical Fertilizer, assessing the growth and yield of tomato production (*Lycopersicon esculentum* M.). Treatments consisted of a proportion of 25 % compost and 75 % of soil, 50 % of compost and 50 % soil, 75 % compost and 25 % of soil. We observed that the best organic Fertilizer, according to the effect shown in the parameters of growth and development was the mixture of 75 % soil + 25 % poultry feces manure and the proportion of 25 % soil + 75 % cattle feces, getting 20, 45 and 70 cm in height respectively. It can be seen that treatment with 75 % cattle

feces + 25 % soil as aid the best effect in performance significantly exceeding the witness.

Key words: organic amendments, compost.

Introducción

A nivel mundial México ocupa el décimo primer lugar en la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill), con producción de 2800.12 miles de toneladas (INEGI, 2007). Sin embargo, la producción tomate y superficie cultivada en el estado de Yucatán y específicamente en la Región del Oriente que comprenden los municipios de Valladolid, Sucilá, Espita, Temax, Chemax y Tizimín, se ha incrementado por la cercanía de Cancún, Quintna Roo y de la ciudad de Mérida. Por otro lado, el uso de las tecnologías para incrementar el rendimiento de la producción de tomate ha ocasionado una serie de problemas a la salud humana, y al medio por el uso irracional de insecticidas y fertilizantes inorgánicos. Por lo anterior, es conveniente buscar alternativas de fertilización utilizando productos de origen animal siempre y cuando exista disponibilidad a un costo bajo que representen menos riesgos de contaminación para evitar la infiltración de nitratos al manto freático. Entre los abonos orgánicos sólidos se encuentra la Gallinaza, Bovinaza y el Contenido Ruminal como principales fuentes de nitrógeno, fósforo, potasio y elementos menores que mejoran las características físico químicas del suelo, tales como la estructura, considerado como el factor principal que condiciona la fertilidad y productividad de los suelos, estabiliza el pH e incrementa la capacidad de intercambio catiónico y la degradación de residuos de plaguicidas (Castellanos, 2000). El uso de los abonos orgánicos en la producción de hortalizas, favorece la tasa de crecimiento de las raíces, hojas, formación de flores, frutos y semillas (Aranda, 2002). Asimismo, es un medio que promueve la germinación de plántulas vigorosas y reduce la permanencia de las plántulas en el vivero. La calidad de los productos cosechados es igual y en algunos casos superior a las siembras convencionales (Martínez y Méndez, 2002). Por otro lado, el tomate producido orgánicamente contiene concentraciones altas de vitamina C y licopeno, mientras que los niveles de nitratos son bajos (Worthington, 2001).

El municipio de Tizimín, principal zona ganadera del estado de Yucatán, en el 2008 generó un volumen superior a las 630 toneladas de contenido ruminal de Bovino. En cuanto a la producción de desechos de granjas avícolas se generaron 883 toneladas, incluyendo restos de camas (Méndez *et al.*, 2009). Los desechos mencionados pueden considerarse como contaminantes, los cuales para disminuir

su impacto pueden ser transformados en abono orgánico, mediante el composteo o utilizarse directamente en la producción de hortalizas, lo cual permitiría evitar en parte el problema de la contaminación ambiental. Por lo anterior el objetivo del presente estudio fue determinar el efecto de los abonos orgánicos sólidos de origen animal (Bovinaza, Gallinaza y Contenido Ruminal), en el crecimiento y rendimiento del cultivo de tomate.

Materiales y métodos

La aplicación de los abonos orgánicos sólidos se desarrolló en la unidad de producción e investigación agrícola del Instituto Tecnológico de Tizimín, ubicada en la región noreste a 160 km de la ciudad de Mérida a 07°58' Latitud Norte y 88°09'04' Longitud Oeste, durante el período de noviembre 2008 a marzo del 2009. El contenido ruminal se recolectó en el rastro tipo inspección federal, la bovinaza en los establos del Instituto y la gallinaza en las granjas avícolas de la región oriente del estado.

Preparación de la mezcla. Para la desinfección de la mezcla de los materiales recolectados se aplicó agua caliente con una regadera de metal. En el Cuadro 1 se presentan los tratamientos evaluados en el cultivo de tomate. Después de la desinfección, se procedió al llenado de las bolsas de polietileno. Se utilizó el tomate híbrido Xaman® Seminis.

Siembra. El llenado, la siembra y el control fitosanitario se llevó a cabo de acuerdo con Soria *et al.*, (2006). Para el riego se realizó por goteo, distancias de 60 cm entre goteros y de 120 cm entre líneas con una densidad de población de 13,833 plantas ha⁻¹. El trasplante se realizó a los 25 días después de la germinación, cuando las plántulas tenían una altura promedio de 18 cm. Para el control de la mosca blanca se aplicó vel rosita al 1 %. En lo que respecta a la fertilización inorgánica, se realizaron aplicaciones con el fosfato monoamónico 12-61-00, nitrato de potasio 13-00-44, adicionando el complejo nutrimental poliquelmulti. La relación de los fertilizantes aplicados 20 días después del trasplante(ddt) fueron de 2:1, aplicando cada tercer día 600 y 300 g de las formulas 12-61-00 y 13-00-44, respectivamente. En la segunda etapa que comprende 20 + 20 ddt, la relación fue 1:2, aplicando 300 g del 12-61-00 y 600 g del 13-00-44, siendo la misma cantidad de los fertilizantes pero teniendo mayor aplicación de potasio en esta etapa. Para la tercera etapa que comprende 40+90 ddt, las aplicaciones se realizaron cada cuatro días a razón de 600 g de fosfato monoamónico y 1200 g del nitrato de

potasio, para evitar la deficiencia de potasio y asegurar el amarre floral y cuaje del fruto, haciendo una aplicación total de 22.5 kilogramos de ambos fertilizantes. El tiempo de riego para el tomate fue una hora diaria.

Cuadro 1.

Mezcla de los abonos orgánicos sólidos en la producción de tomate (*L. esculentum* M.).

Mezclas o tratamientos

100 % de tierra (Testigo)
75 % tierra + 25 % Gallinaza
75 % tierra + 25 % Bovinaza
75 % tierra + 25 % Contenido Ruminant
50 % tierra +50 % Gallinaza
50 % tierra + 50 % Bovinaza
50 % tierra + 50 % Contenido Ruminant
25 % tierra + 75 % Gallinaza
25 % tierra + 75 % Bovinaza
25 % tierra + 75 % Contenido Ruminant

Distribución de los tratamientos. Los tratamientos se distribuyeron en un diseño experimental completamente al azar con 10 tratamientos y 5 repeticiones, con un total de 50 plantas para el experimento. Para medir la altura de planta se utilizó una cinta métrica de 5 m, tomando desde la base del tallo hasta la parte más alta, la altura se midió cada ocho días. La variable rendimiento se determinó pesando los frutos de las plantas con una balanza granataria.

Resultados y discusión

Altura de la planta. En la primera etapa de crecimiento que corresponde a los 20 días después del trasplante (ddt), las plantas de las mezclas 75 % tierra + 25 % Gallinaza, 50 % tierra + 50 % Bovinaza y 50% tierra + 50 % Contenido Ruminant tuvieron mayor altura comparado con el testigo sin aplicación de abono. En la segunda etapa de crecimiento 40 días después del trasplante (ddt), los tratamientos que permitieron mayor altura de planta fueron 25 % tierra + 75 % Bovinaza y 50 % tierra + 50 Gallinaza, con respecto al testigo sin aplicación, el cual solo alcanzó 32.33 cm. La altura de plantas de los tratamientos 75 % tierra + 25 % Bovinaza fue menor que las del testigo. En la tercera etapa se observó diferencia significativa entre las plantas de los tratamientos de abonos orgánicos y el testigo, las plantas con las combinaciones 75 % tierra + 25 % Gallinaza, 75 % tierra + 25 % Bovinaza, 75 % tierra + 25 % Contenido Ruminant permitieron un

incremento del 30 % en la altura, con respecto al testigo, que solo alcanzó 58 cm de altura. También se observó menor altura en las plantas tratadas con 25 % tierra + 75 % Gallinaza, cuyos valores promedio fueron de 57 cm (Cuadro 2). En un estudio realizado en solanáceas por López y López (2003) encontraron resultados similares al evaluar el efecto del contenido ruminal como abonos orgánicos en el cultivo de chile habanero a cielo abierto. Sin embargo, en el presente estudio se observó que la Gallinaza manifestó el mejor efecto en la altura del tomate con una media de 77.83 cm, seguido por el contenido ruminal y la bovinaza quienes mostraron buen efecto, con medias de 75.5 y 74.5 cm Respectivamente; mientras que el testigo sin aplicación de abonos mostró la menor altura de 58 cm. Dicho comportamiento se presupone que se deba a que los abonos orgánicos fomentan el intercambio de cargas entre los nutrientes que se encuentran en el suelo y por alguna acción se quedan inmóvil por falta de iones y cationes que se encuentran en la solución del suelo. Además, la calidad de las plantas está en función de la cantidad de abono que se le adicione al suelo y al tiempo de descomposición y manejo de los abonos orgánicos que se le da antes los desechos sólidos en el ambiente, ya que cada tipo de material utilizado tiene diferentes grados y tiempos de maduración (Barber *et al.*, 1992). Los abonos orgánicos sólidos muestran una alternativa para disminuir el uso de los fertilizantes químicos al abastecer al suelo de nutrimentos como el nitrógeno y los demás elementos esenciales que contiene la composta. De acuerdo al abonado del suelo, los estiércoles se mineralizan al 70 % a partir del primer año de aplicación y con efectos residual en el suelo hasta por dos años y el resto se transforma en humus, que se incorpora al suelo y produce un efecto benéfico en la estructura del suelo durante el primer año (Castellanos *et al.*, 1996).

Cuadro 2.

Efectos de los abonos orgánicos sólidos a los 20, 40 y 60 días después del trasplante en el cultivo de tomate.

Tratamiento	1ª etapa	2ª etapa	3ª etapa
	20 ddt	40 ddt	60 ddt
Tierra=Testigo	21.66	32.33	58.00
75 % tierra + 25 % Gallinaza	24.26	33.33	77.83
75 % tierra + 25 % Bovinaza	20.66	28.33	74.51
75 % tierra + 25 % Contenido Ruminal	17.91	37.66	75.51
50 % tierra + 50 % Gallinaza	19.25	40.16	66.33
50 % tierra + 50 % Bovinaza	22.16	34.33	71.83
50 % tierra + 50 % Contenido Ruminal	22.51	33.16	73.83
25 % tierra + 75 % Gallinaza	15.85	37.51	57.00
25 % tierra + 75 % Bovinaza	19.25	43.16	57.66
25 % tierra + 75 % Contenido Ruminal	17.41	32.16	66.33

Rendimiento. En el análisis estadísticos en la variable rendimiento se encontró diferencia significativa entre los tratamientos evaluados de los abonos orgánicos establecidos en el campo con respecto al testigo sin aplicación (Cuadro 3). Las plantas tratadas con 75 % Bovinaza + 25 % tierra permitió mayor rendimiento de frutos con una media de 2,520 g/planta, seguido por la combinación 50 % Bovinaza + 50 % tierra con 2,348 g/planta, y 75 % Contenido Ruminal + 25 % tierra con una media de 2,194 g/planta. Las plantas del testigo sin aplicación tuvieron una media de 766 g/plantas. Incluso, se observó menor rendimiento en el tratamiento 75 % Gallinaza + 25 % tierra con valores de 401 g/planta. Al respecto Guevara *et al.*, (2005) mencionan que los abonos orgánicos tienen buen efecto en el rendimiento de tomate. Mientras que estudios como los realizados por Rodríguez *et al.*, (2008) al evaluar abonos orgánicos en tomate cultivado bajo invernadero obtuvieron rendimientos de 279.3 t ha⁻¹.

Cuadro 3.

Comparación de medias para la variable rendimiento en el cultivo de tomate tratadas con diferentes combinaciones de abonos orgánicos.

Tratamiento	Kilogramos/planta	DMS
25 % tierra + 75 % Bovinaza	2.520	a
50 % tierra + 50 % Bovinaza	2.358	a
25 % tierra + 75 % Contenido Ruminal	2.194	a
50 % tierra + 50 % Contenido Ruminal	2.000	a
75 % tierra + 25 % Contenido Ruminal	1.998	a
75 % tierra + 25 % Bovinaza	1.799	ab
75 % tierra + 25 % Gallinaza	1.602	ab
50 % tierra + 50 % Gallinaza	1.506	abc
Tierra=Testigo	0.766	bc
25 % tierra + 75 % Gallinaza	0.401	c

Medias con letras iguales no son significativas. (Diferencia Mínima Significativa P0.05).

Conclusiones

Los fertilizantes inorgánicos son la fuente principal de elementos esenciales para el cultivo de tomate, sin embargo la combinación de estos con los abonos orgánicos son una alternativa más para incrementar el rendimiento de tomate y disminuir la contaminación de los desechos que se generan en las granjas avícolas y los rastros de Tipo Inspección Federal. Las plantas tratadas con 25 y 50 % de abono orgánico incrementaron su altura en un 30 y 34 % con respecto al testigo. El uso de abonos orgánicos incrementa el rendimiento de tomate.

Literatura citada

- Aranda, D.E. 2002. Usos y aplicaciones de las Lombricomposta en México. Lombricultura y Abonos Orgánicos. Memorias del II Simposium Internacional y Reunión Nacional. Facultad de Ciencias Agrícolas. UAEM. pp: 22-35
- Barber, K.L., Maddux, L.D., Kissel, D.E., Pierzynski, G.M y Bock B.R. 1992. Corn Responses to Ammonium and Nitrate-Nitrogen Fertilization. Soil Sci.Soc. Am. J. 56:1166-1171.
- Castellanos, U.B y Aguilar S. 2000. Manual de Interpretación de Análisis de Suelo, Aguas Agrícolas, Plantas y ECP. pp: 48-56
- Castellanos, J.Z., J.J. Marquez, O. J. Etchevers B., Aguilar, A. S. y Salinas J.R. 1996. Efecto a Largo Plazo de la Aplicación de estiércol de ganado Lechero Sobre el Rendimiento de Forrajes y las Propiedades del suelo en una Región Árida del Norte de México. Terra 14:151-158.
- Guevara, A., González, M., Pérez, D., Arozarena, N., Peña, E, Hartman, y Bardanca T.T. 2005. Efecto de la Aplicación de fertilizantes fosfóricos y abonos orgánicos en la producción de hortalizas en casa de cultivo. Centro Agrícola. No.1. Cuba.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadísticas, Geografía e Informática), 2007. Banco de Información Electrónica. México, D.F. <http://www.inegi.gob.mx>.12 de febrero 2012.
- López, C.N y López, C.F. 2003. Evaluación del Contenido Ruminal, Cerdaza y Bovinaza como Materia Orgánica en el Cultivo de Chile Habanero (*Capsicum chinense*). Tesis de Licenciatura del Instituto Tecnológico Agropecuario No. 19, Tizimín, Yucatán. 60 p.
- Martínez, C.C. y Méndez A.N. 2002. Utilización de Lombricomposta en la Producción de Hortalizas Ecológicas y Abonos Orgánicos. Lombricultura y Abonos Orgánicos. Memorias del II Simposium Internacional y Reunión Nacional. Facultad de Ciencias Agrícolas. UAEM. pp:140-142.
- Méndez, N.R., Borges, C.E., Vázquez, B.E., Briceño, P.O., Coronado P.V., Pat, C.R. y Garrido V.P. 2009. Estimación del Potencial Contaminante de las Granjas Porcinas y Avícolas del estado de Yucatán. Ingeniería. Revista Académica de la FI-UADY. pp: 13-21.
- Rodríguez, D.N., Cano, P.R., Figueroa, V.U., Palomo, G.A., Fuvela, Ch.E., Álvarez, V.P.R., Márquez, H.C y Moreno R.A. 2008. Producción de Tomate en Invernadero con Humus de Lombriz como sustrato. Revista Fitotecnia, México 31(3):265-272.
- Soria, F.M., Tun, S.Ma., Trejo, R.A y Terán S.R. 2006. Tecnología de Producción de Hortalizas a Cielo Abierto en la Península de Yucatán. Centro de Investigación

y Graduados Agropecuarios. Instituto Tecnológico Agropecuario No. 2. Conkal, Yucatán. 430p.

Worthington, V. 2001. Nutritional Quality of Organic Versus Conventional Fruits, Vegetables, and Grains. *J. Altern. Complementary Medicine* 7: 161-173.

Uso de abonos orgánicos en la producción de chile jalapeño en invernadero

Use of organic fertilizers in Jalapeño pepper production in greenhouse

Márquez-Quiroz César^{1*}, Pedro Cano-Ríos¹, Arturo Palomo-Gil¹, Alejandro Moreno-Reséndez¹, Uriel Figueroa-Viramontes², Maximiano Estrada-Botello³, Efraín De la Cruz-Lázaro³ y Sayani López-Espinosa¹.

¹Posgrado. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna (UAAAN-UL), Periférico Raúl López Sánchez y carretera a Santa Fe S/N, Torreón, Coahuila, México. ²Campo Experimental La Laguna, INIFAP. Blvd. José Santos Valdés 1200 Pte. Col. Centro. 27440, Matamoros, Coah., México. ³División Académica de Ciencias Agropecuarias (DACA), Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT). Km. 25 Carretera Villahermosa-Teapa, Villahermosa, Tabasco. México. *Email: cesar_quiroz23@hotmail.com

Resumen. El propósito del estudio fue evaluar el té de vermicompost como fertilizante orgánico para la producción de chile jalapeño en invernadero. Durante la primavera-verano 2011 se evaluaron los cultivares de chile jalapeño Centella y Euforia en cinco tratamientos de fertilización: F1 = arena + solución nutritiva inorgánica; F2 = arena + té de vermicompost; F3 = mezcla de arena + compost (relación 1:1; v/v) + té de vermicompost diluido (relación 1:3; v/v, té de vermicompost:agua de la llave); F4 = mezcla de arena + vermicompost (relación 1:1; v/v) + té de vermicompost diluido y F5 = mezcla de arena + compost + vermicompost (relación 2:1:1; v/v) + té de vermicompost diluido. Los diez tratamientos se distribuyeron en un diseño completamente al azar. El rendimiento y la calidad de fruto no fueron afectados por los tratamientos de fertilización ($P \leq 0.05$). El rendimiento promedio del cultivar Euforia de 14.7 Mg ha⁻¹ fue superior al promedio de 11.4 Mg ha⁻¹ del genotipo Centella, mientras que la F5 incremento el rendimiento hasta 54.7 % en comparación con el testigo. El presente estudio sugiere que, al haber diferencias en rendimiento entre fuentes orgánicas e inorgánicas de nutrientes, el té de vermicompost puede ser considerado como un fertilizante alternativo para la producción orgánica de chile jalapeño bajo condición protegida.

Palabras clave: Capsicum annum, fertilizante orgánico, extractos orgánicos, agricultura sustentable.

Abstract. To evaluate the usage of vermicompost tea as organic fertilizer for jalapeño pepper production in greenhouse was the purpose of this study. During

2011 spring-summer seasons, Centella and Euforia jalapeño peppers cultivars were evaluated with five fertilizer treatments: F1 = sand + inorganic nutrient solution; F2 = sand + vermicompost tea; F3 = sand + compost (1:1; v/v) + diluted vermicompost tea (1:3; v/v); F4 = sand + vermicompost (1:1; v/v) + diluted vermicompost tea and F5 = sand + compost + vermicompost (2:1:1; v/v) + diluted vermicompost tea. The ten treatment combinations were distributed in a completely randomized design. Jalapeño pepper yield and quality fruit were not affected by fertilizer treatments ($P \leq 0.05$). The 14.7 Mg ha⁻¹ average yield of the Euforia cultivar was higher than the 11.4 Mg ha⁻¹ average obtained with Centella, whereas the yield in F5 increased until 54.7 % compared with the control. This study suggests that since there were differences in yield between the organic and inorganic nutrient source, vermicompost tea may be considered as an alternative fertilizer for organic jalapeño pepper production in greenhouse.

Keywords: *Capsicum annuum*, organic fertilizer, organic extracts, sustainable agriculture.

Introducción

El chile jalapeño (*Capsicum annuum*) se cultiva en casi todos los estados de la República Mexicana, solo seis concentran en promedio 79.37 % de la producción, destacando Chihuahua como el principal productor, seguido de Sinaloa, Michoacán, Jalisco, Tamaulipas y Sonora (SIAP, 2011a). La producción orgánica de chile se lleva a cabo en Baja California Sur, con rendimientos bajos (13 Mg ha⁻¹) (SIAP, 2011b), por lo que es conveniente, producir en invernadero, buscando rendimientos mucho más elevados, con la aplicación de insumos orgánicos para garantizar la obtención de un producto orgánico e inocuo. La adición de compost (C) y vermicompost (VC) a los suelos y sustratos de cultivo incrementa el crecimiento y la productividad de una gran cantidad de cultivos hortícolas tales como el tomate (Gutiérrez-Miceli *et al.*, 2007, Steffen *et al.*, 2010), la lechuga (Steffen *et al.*, 2010), los pimientos (Arancon *et al.*, 2004a), los ajos (Argüello *et al.*, 2006), las fresas (Arancon *et al.*, 2004b), algunas plantas medicinales (Prabha *et al.*, 2007), algunas leguminosas como el garbanzo verde (Karmegam *et al.*, 1999), algunas gramíneas como el sorgo (Reddy y Ohkura, 2004, Sunil *et al.*, 2005) y el arroz (Bhattacharjee *et al.*, 2001), algunas hierbas aromáticas como la albahaca (Anwar *et al.*, 2005), algunos frutales como el plátano (Cabanás-Echevarría *et al.*, 2005) y la papaya (Acevedo y Pire, 2004), y algunas plantas ornamentales como los geranios (Chand *et al.*, 2007), los tajetes (Atiyeh *et al.*, 2002), las petunias (Arancon *et al.*, 2008), los crisantemos (Hidalgo y Harkess, 2002a)

y las flores de pascua (Hidalgo y Harkess, 2002b). A diferencia de los fertilizantes minerales el C y VC constituyen una fuente de nutrientes de liberación lenta disponibles para la planta a medida que ésta los va necesitando (Chaoui *et al.*, 2003), y que al mezclarlos con medios inertes, mejoran sus características físicas y químicas evitando la hipoxia, además pueden satisfacer los requerimientos nutrimentales del cultivo de chile jalapeño en invernadero durante los primeros dos meses después del trasplante. No obstante, después de este tiempo, el cultivo manifiesta deficiencias nutrimentales, principalmente de nitrógeno; lo anterior puede deberse a la baja tasa de mineralización del nitrógeno en C y V. En este sistema de producción, el estrés nutrimental del cultivo puede evitarse adicionando otras fuentes de nutrición. El té de vermicompost, solución resultante de la fermentación aeróbica de vermicompost en agua, puede utilizarse como fertilizante, debido a que contiene nutrimentos solubles y microorganismos benéficos (Edwards *et al.*, 2010). En nuestro país no hay muchas referencias del uso de té de vermicompost como fuente de nutrimentos. Con base en lo anterior el objetivo de este estudio consistió en determinar si el té de vermicompost aplicado como fertilizante puede sustituir parcial o totalmente otras formas de fertilizantes en la producción de chile jalapeño bajo condición protegida.

Materiales y métodos

El experimento se desarrolló durante el ciclo agrícola P-V 2011, en la Comarca Lagunera (25° 05' y 26° 54' N y 101° 40' y 104° 45' O), en un invernadero de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN-UL). El invernadero es de forma semicircular, con cubierta de acrílico reforzado y protegido con malla sombra durante las estaciones del año más calurosos, piso de grava y sistema de enfriamiento automático mediante pared húmeda y dos extractores. Con ventanas laterales de 1.20 m de alto, cubiertas con acrílico enrollable y protegías con malla antiafido (Malla Plas®). Los tratamientos fueron conformados de acuerdo a un arreglo factorial que consistió en dos cultivares de chile jalapeño: Centella y Euforia (híbridos de la compañía Enza Zaden® y Harris Moran®) y cinco formas de fertilización, evaluados en un diseño completamente al azar. La unidad experimental estuvo compuesta por una maceta, con una planta por maceta y se tuvieron 16 macetas por tratamiento.

Las formas de fertilización evaluadas fueron: a) = arena + fertilizantes inorgánicos (testigo); b) = arena + té de vermicompost al 10 %; c) = mezcla de arena + compost (1:1 v:v) + té de vermicompost diluido, en una relación té:agua (1:3); d) = mezcla de arena + vermicompost (1:1 v:v) + té de vermicompost diluido; y e) = mezcla de arena + compost + vermicompost (2:1:1 v:v) + té de vermicompost

diluido. La siembra se realizó el 6 de marzo de 2011 en charolas germinadoras de 200 cavidades rellenas con Peat Moss (Premier®). El trasplante fue el 9 de abril de 2011, colocando una planta por contenedor. Estos consistieron en bolsas de polietileno negro con capacidad de 18 litros, llenadas con base en el volumen. La densidad de población fue de 4 plantas m⁻². La arena utilizada en los sustratos fue previamente desinfectada con una solución de agua y cloro al 5 %.

El compost fue comercial (MaxCompost®) y el vermicompost se adquirió en el Módulo de Abonos Orgánicos y Lombricultura de la UAAAN-UL, y fue elaborado en un periodo de tres meses con una mezcla de residuos de paja de alfalfa (*Medicago sativa* L.) y estiércol bovino (20:80), para esto se utilizó la lombriz *Eisenia fetida*. Las características químicas y composición nutrimental de los tratamientos usados se presentan en el Cuadro 1. La composición de la solución nutritiva empleada en la Fórmula 1 (Cuadro 2) fue la recomendada por Castellanos y Ojodeagua (2009) y se preparó a partir de Ca (NO₃)₂ 4H₂O, KNO₃, NH₄NO₃, MgSO₄ 7H₂O y H₃PO₄. En la preparación del té de vermicompost al 10 % se aplicó el método recomendado por Edwards *et al.* (2010), con una variación consistente en que la bolsa con vermicompost se introdujo en un recipiente con 20 L de agua durante cinco minutos para lavar el exceso de sales, antes de someterse a oxigenación. En un contenedor de 60 L de capacidad se oxigenaron 45 L de agua con una bomba de aire (BIOPRO: BP9891. TIRAY TECHNOLOGY CO LTD®) 2 h antes de introducir la bolsa con 4.5 kg de vermicompost, la oxigenación continuo hasta el fin del proceso (24 h), se agregaron 40 g de piloncillo como fuente de energía para los microorganismos, además se agregaron 25 ml de una fuente de nitrógeno, fósforo y potasio orgánico (Gregalis®, 8 % N, 10 % P, 8 % K, Agroquímicos Versa S. A. de C. V.), calculados para cumplir con los requerimientos de nitrógeno y fósforo del cuadro de Castellanos y Ojodeagua (2009).

La aplicación del té de vermicompost fue constante durante todo el ciclo y aireado durante 24 h diariamente; para la Formula 2, se aplicaron 0.5 L de té a cada maceta sin diluir, mientras que para la Formula 3, 4 y 5, el té se diluyó a una proporción de 1:3 utilizando 1 L de té de vermicompost por cada 3 L de agua, de esta mezcla se aplicó 1 L por bolsa. El pH del té de vermicompost fue ajustado a 5.5 con ácido cítrico grado alimenticio (C₆H₈O₇*H₂O) aplicado a una concentración 5 mM (1.2 g L⁻¹) (Capulín-Grande *et al.*, 2007). Para el suministro de agua de riego se utilizó riego por goteo en todos los tratamientos y la cantidad de agua aplicada, según la etapa fenológica del cultivo, osciló de 0.35 a 1.9 L planta⁻¹ día⁻¹. El agua de riego tenía 3.51, 0.48, 0.22, 2.71, 3.12, 2.3 y 2.62 mmol L⁻¹ de Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺, HCO₃⁻, Cl⁻, SO₄²⁻, respectivamente, pH 7.8, CE 1.05 dS m⁻¹ y se clasificó como agua de baja salinidad y bajo contenido de sodio (C1S1, con una relación de absorción de sodio de 2.18) (Ayers y Westcot, 1994); la temperatura mínima y máxima dentro del

invernadero fluctuó entre 17.4 y 36.9 °C, respectivamente, mientras que la humedad relativa mínima y máxima osciló entre 20 y 79 %, respectivamente, durante el ciclo de cultivo que duró 97 días después del trasplante (ddt).

Cuadro 1.

Análisis químico de la arena, compost, vermicompost y té de vermicompost.

	N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Zn	Mn	pH	CE
	(mg kg ⁻¹)										
C ²	118.3	42.0	614.6	98.0	85.4	3.2	7.79	5.12	4.29	8.5	6.7
VC	48.8	38.7	361.8	258.0	25.5	194.8	3.9	1.45	3.71	8.2	2.4
A	1.6	11.2	102.5	48.0	4.6	0.16	5.78	0.9	4.58	7.5	0.65
TV	188	16.4	181	410.0	18.9	112.8	2.4	0.52	1.58	8.4	4.2

²C = compost; VC = vermicompost; A = arena; TV = té de vermicompost.

Cuadro 2.

Concentración de la solución nutritiva empleada para el desarrollo de chile jalapeño en invernadero.

Ion	Plantación y establecimiento	Floración y cuajado	Inicio de maduración y cosecha
	mmol L ⁻¹		
NO ₃ ⁻	6	8	10
NH ₄ ⁺	0.5	0.5	0.05
H ₂ PO ₄ ⁻	1.5	1.5	1.5
K ⁺	3.5	5.5	7
Ca ²⁺	4	4	4
Mg ²⁺	1	1.5	2
SO ₄ ²⁻	1.5	3	3
HCO ₃ ⁻	1	1	1
Na ⁻	<5	<5	<5
Cl ⁻	3	3	5
CE ²	1.4	1.8	2.2

²CE = conductividad eléctrica.

Se evaluaron un total de 16 plantas por tratamiento en las cuales se registró: altura de planta, rendimiento total, la calidad de fruto se determinó en cuatro plantas por tratamiento, y en quince frutos por planta, considerando las siguientes variables: peso individual, espesor de pericarpio, número de lóculos en el fruto, longitud del fruto y diámetro ecuatorial. Para analizar el comportamiento de la variable altura de planta, a través del tiempo, se utilizó regresión, mientras que en las variables de rendimiento y calidad se aplicó un análisis de varianza. Cuando se encontraron diferencias significativas se realizó una comparación entre medias utilizando la prueba Tukey al 5 %. Los análisis de varianza se realizaron mediante el programa estadístico SAS (SAS Institute, Inc., 1999).

Resultados y discusión

La dinámica de crecimiento longitudinal de las plantas de chile jalapeño en las diferentes formas de fertilización evaluadas se muestra en las ecuaciones de regresión lineal (Cuadro 3). El ajuste lineal para todos los tratamientos resultó muy aceptable ya que el r^2 fluctuó entre 87 y 99 %. Los tratamientos que promovieron la mayor altura a través del ciclo de cultivo fueron el testigo, así como las mezcla de arena + vermicompost y arena + compost + vermicompost, para ambos genotipos. Una mayor altura conlleva al aumento en número de hojas y por tanto, al mayor contenido de clorofila (Rodríguez *et al.*, 1998). En el presente trabajo, la altura final promedio por tratamiento del cv. Centella y Euforia fue de 74.71, 35.90, 51.33, 89.82, 103.46 y 79.36, 45.87, 48.87, 90.05 y 109.73 cm, respectivamente para cada fuente de fertilización. Este resultado se puede atribuir a la carga genética de los genotipos y su interacción con el medio donde se cultivaron.

Cuadro 3.

Ecuaciones de regresión para las fuentes de fertilización en relación con la altura de planta en chile jalapeño orgánico.

Fertilización ²	Altura cv. Centella Ecuación de Regresión*	r^2	Altura cv. Euforia Ecuación de Regresión	r^2
F1	$y = 0.79365x - 2.27024$	0.96	$y = 0.87483x - 5.49107$	0.96
F2	$y = 0.46365x - 9.06708$	0.87	$y = 0.57390x - 9.7909$	0.93
F3	$y = 0.57569x - 4.50199$	0.92	$y = 0.53007x - 3.07023$	0.96
F4	$y = 0.93595x - 0.96158$	0.93	$y = 0.96181x - 3.23637$	0.92
F5	$y = 1.17946x - 10.94975$	0.99	$y = 1.26177x - 12.65852$	0.98

²F1 = arena + fertilizantes inorgánicos (testigo); F2 = arena + té de vermicompost al 10 %; F3 = mezcla de arena + compost (1:1 v:v) + té de vermicompost diluido; F4 = mezcla de arena + vermicompost (1:1 v:v) + té de vermicompost diluido; F5 = mezcla de arena + compost + vermicompost (2:1:1 v:v) + té de vermicompost diluido; * y = altura.; x = ddt

La interacción fertilización x genotipo fue significativa ($P \leq 0.05$) para el peso de fruto, número de frutos, número de lóculos y espesor de pericarpio (Cuadro 4). Para el rendimiento, se detectaron diferencias entre fertilización y genotipos. El mayor peso en el cultivar Centella y Euforia, se obtuvieron en la F5 y F1, respectivamente, mientras que el menor peso se registro en la F3. Sin embargo, de acuerdo al pliego de condiciones para el uso de la marca oficial "México Calidad Suprema" en Chile (SAGARPA-ASERCA, 2011), el tamaño de fruto grande corresponde a una longitud entre 8.3 y 8.8 cm, por lo que la mayoría de los tratamientos evaluados caen en esta categoría. Las diferencias observadas en el rendimiento en la interacción fertilización x genotipo fueron debidas al número de frutos por planta y no al peso promedio de los mismos. El rendimiento

promedio general fue de 13.05 Mg ha⁻¹ es decir, se incremento 0.38 % que lo obtenido en campo (13.00 Mg ha⁻¹) (SIAP, 2011b). La Formula 5, registró una supremacía de 54.7 % con relación al promedio obtenido por el testigo, con un rendimiento de 21.2 Mg ha⁻¹. El genotipo Euforia presentó el mayor rendimiento en la F5, con una media de 23.9 Mg ha⁻¹ superando con 23.0 % al genotipo Centella con 18.4 Mg ha⁻¹. De acuerdo con datos de Inzunza-Ibarra *et al.* (2010), una cosecha de chile jalapeño extrae 69.16 g de N por tonelada de fruto en fresco. En el presente estudio se supuso una extracción similar, de modo que el cv.Centella y Euforia extrajeron el equivalente a 7.88 y 10.17 g de N, respectivamente. Sin embargo, Castellanos (2004) comenta que hasta 42 % de N se lixivia del sustrato en condiciones de invernadero.

Cuadro 4.

Valores promedio y diferencia estadística de las variables evaluadas en genotipos de chile jalapeño, desarrollados con abonos orgánicos bajo condiciones de invernadero.

T ^z		PF (g)	L	DE (cm)	EP	NF	NL	R (Mg ha ⁻¹)
Genotipos (G)								
	Centella	45.4 ^{ay}	8.5 ^a	3.4 ^a	0.56 ^a	7.8 ^a	2.5 ^a	11.4 ^b
	Euforia	43.8 ^a	8.5 ^a	3.3 ^b	0.57 ^a	8.3 ^a	2.4 ^a	14.7 ^a
Fertilización (F)								
	F1	47.9 ^a	8.3 ^b	3.47 ^a	0.57 ^a	8.9 ^{ab}	2.5 ^a	13.7 ^{bc}
	F2	41.1 ^b	8.4 ^{ab}	3.2 ^b	0.59 ^a	2.3 ^c	2.5 ^a	3.7 ^d
	F3	35.2 ^c	8.4 ^{ab}	3.1 ^b	0.54 ^a	5.5 ^{bc}	2.4 ^a	8.1 ^{dc}
	F4	49.0 ^a	8.7 ^{ab}	3.6 ^a	0.58 ^a	10.0 ^{ab}	2.6 ^a	18.4 ^{ab}
	F5	49.4 ^a	8.8 ^a	3.6 ^a	0.58 ^a	13.5 ^a	2.4 ^a	21.2 ^a
G x F								
T1	Centella x F1	45.8 ^{ab}	8.2 ^a	3.5 ^{ab}	0.58 ^b	8.6 ^{abc}	2.6 ^{abc}	10.5 ^{bcd}
T2	Centella x F2	40.7 ^b	8.6 ^a	3.1 ^{bc}	0.50 ^c	2.2 ^c	2.0 ^c	3.5 ^d
T3	Centella x F3	41.1 ^b	8.3 ^a	3.2 ^{bc}	0.58 ^b	4.8 ^{bc}	2.8 ^{ab}	7.5 ^{dc}
T4	Centella x F4	48.7 ^{ab}	8.5 ^a	3.6 ^a	0.60 ^{ab}	9.3 ^{abc}	2.6 ^{abc}	16.8 ^{abc}
T5	Centella x F5	50.9 ^a	8.8 ^a	3.7 ^a	0.56 ^{bc}	14.0 ^a	2.6 ^{ab}	18.4 ^{ab}
T6	Euforia x F1	50.1 ^{ab}	8.5 ^a	3.4 ^{ab}	0.56 ^{bc}	9.2 ^{abc}	2.3 ^{abc}	17.0 ^{abc}
T7	Euforia x F2	41.6 ^{ab}	8.2 ^a	3.2 ^{bc}	0.67 ^a	2.5 ^c	3.0 ^a	3.9 ^d
T8	Euforia x F3	29.3 ^c	8.5 ^a	3.0 ^c	0.50 ^c	6.2 ^{acb}	2.0 ^c	8.6 ^{cd}
T9	Euforia x F4	49.2 ^{ab}	8.8 ^a	3.5 ^{ab}	0.56 ^{bc}	10.7 ^{ab}	2.6 ^{abc}	19.9 ^{ab}
T10	Euforia x F5	48.9 ^{ab}	8.7 ^a	3.4 ^{ab}	0.59 ^b	13.1 ^a	2.2 ^{bc}	23.9 ^a
Media general		44.6	8.5	3.4	0.57	8.1	2.5	13.05
CV (%)		13	7	6	28	38	12	23

^zT = tratamiento; ^yValores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey con $P \leq 0.05$. F1 = arena + fertilizantes inorgánicos (testigo); F2 = arena + té de vermicompost al 10 %; F3 = mezcla de arena + compost (1:1 v:v) + té de vermicompost diluido; F4 = mezcla de arena + vermicompost (1:1 v:v) + té de vermicompost diluido; F5 = mezcla de arena + compost + vermicompost (2:1:1 v:v) + té de vermicompost diluido. PF = Peso de fruto; L = Longitud; DE = Diámetro ecuatorial; NF = Número de frutos; EP = espesor de pericarpio; NL = número de lóculos; R = rendimiento; CV = coeficiente de variación.

Conclusiones

Los resultados obtenidos permiten concluir que el té de vermicompost preparado a partir de estiércol bovino tiende a provocar efectos positivos en los indicadores de desarrollo en el cultivo de chile jalapeño. Por lo que el té de vermicompost, compost y vermicompost puede ser considerado como un fertilizante alternativo para la producción orgánica en invernadero por contener nutrimentos solubles que pueden suplir la nutrición de la planta. Lo anterior pone de manifiesto que producir orgánicamente chile jalapeño en invernadero utilizando abonos orgánicos aumenta considerablemente los rendimientos. Las mezclas orgánicas de arena + vermicompost, arena + compost + vermicompost y el té de vermicompost no variaron en rendimiento, estos tratamientos de fertilización presentaron una media de 17.8 Mg ha⁻¹, sin disminuir la calidad de fruto. Los híbridos evaluados fueron iguales en la longitud de fruto y peso promedio de fruto. Los tratamientos orgánicos en el híbrido Euforia con respecto al tipo de Fórmula 1 testigo, pueden igualar el rendimiento e incrementar el número de frutos. Finalmente, bajo las condiciones de manejo del presente trabajo, se logró satisfacer la demanda nutritiva del chile jalapeño y por lo tanto se fortalece la idea que el té de vermicompost combinado con sustrato de compost + vermicompost + arena tiene potencial para desarrollar y producir chile jalapeño orgánico en invernadero.

Literatura citada

- Acevedo I. C., R. Pire. 2004. Effects of vermicompost as substrate amendment on the growth of papaya (*Carica papaya* L.). *Interciencia* 29(5): 274-279.
- Anwar M., D. D. Patra., S. Chand., A. Kumar., A. A. Naqvi, S. P. S. Khanuja. 2005. Effect of organic manures and inorganic fertilizer on growth, herb and oil yield, nutrient accumulation, and oil quality of French basil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 36 (1-14): 1737-1746.
- Arancon N. Q., C. A. Edwards., A. Babenko., J. Cannon., P. Galvis, J. D. Metzger. 2008. Influences of vermicomposts, produced by earthworms and microorganisms from cattle manure, food waste and paper waste, on the germination, growth and flowering of petunias in the greenhouse. *Applied Soil Ecology* 39: 91-99.
- Arancon N. Q., C. A. Edwards., P. Bierman., C. Welch, J. D. Metzger. 2004b. Influences of vermicomposts on field strawberries: 1. effects on growth and yields. *Bioresource Technology* 93: 145-153.

- Arancon N. Q., C. E. Edwards., R. M. Atiyeh, J. D. Metzger. 2004a. Effects of vermicompost produced from food waste on the growth and yields of greenhouse peppers. *Bioresource Technology* 93: 139-144.
- Argüello J. A., A. Ledesma., S. B. Núñez., C. H. Rodríguez, M. D. C. D. Goldfarb. 2006. Vermicompost effects on bulbing dynamics nonstructural carbohydrate content, yield, and quality of 'Rosado Paraguayo' garlic bulbs. *Hortscience* 41(3): 589-592.
- Atiyeh R. M., N. Arancon., C. A. Edwards, J. D. Metzger. 2002. The influence of earthworm-processed pig manure on the growth and productivity of marigolds. *Bioresource Technology*. 81: 103-108.
- Ayers R. S., D. W. Westcot. 1994. *Water Quality for Agriculture*. FAO Irrigation and Drainage Paper 29 Rev. 1. FAO. Rome. 174 p.
- Bhattacharjee G., P. S. Chaudhuri, M. Datta. 2001. Response of paddy (Var. TRC-87-251) crop on amendment of the field with different levels of vermicompost. *Asian Journal of Microbiology, Biotechnology and Environmental Sciences* 3(3): 191-196.
- Cabanas-Echevarría, M., A. Torres-García., B. Díaz-Rodríguez., E. F. H. Ardisana, Y. Creme-Ramos. 2005. Influence of three bioproducts of organic origin on the production of two banana clones (*Musa* spp AAB.) obtained by tissue cultures. *Alimentaria* 369: 111-116.
- Capulín-Grande J., R. Nuñez-Escobar., J. L. Aguilar-Acuña., M. Estrada-Botello y P. Sánchez-García., J. J. Mateo-Sánchez. 2007. Uso de estiércol líquido de bovino acidulado en la producción de pimienta morrón. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 13(1): 5-11.
- Castellanos J. Z. 2004. Manejo de la fertirrigación en suelo. *En: Manual de producción hortícola en invernadero*. J Castellanos Z. R. (Ed.). Intagri. Celaya, Guanajuato, México. pp:103-123.
- Castellanos J. Z., J. L. Ojodeagua. 2009. Formulación de la solución nutritiva. *En: Manual de producción de tomate en invernadero*. J Z Castellanos (Ed.). Intagri. México. pp:131-156.
- Chand S., P. Pande., A. Prasad., M. Anwar, D. D. Patra. 2007. Influence of integrated supply of vermicompost and zinc-enriched compost with two graded levels of iron and zinc on the productivity of geranium. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 38: 2581-2599.
- Chaoui H. I., L. M. Zibilske, T. Ohno. 2003. Effects of earthworm casts and compost on soil microbial activity and plant nutrient availability. *Soil Biology and Biochemistry*. 35: 295-302.

- Edwards C. A., A. Askar., M. Vasko-Bennet, N. Arancon. 2010. The Use and Effects of Aqueous Extracts from Vermicompost or Teas on Plant Growth and Yields. *In: Vermiculture Technology*, ed. C.A. Edwards, N. Arancon and R. Sherman (Eds.). CRC Press, Boca Raton, FL. pp:235- 248.
- Gutierrez-Miceli F. A., J. Santiago-Borraz., M. J. A. Montes., N. C. Carlos., M. Abud-Archila., M. A. L.Oliva., R. Rincón-Rosales, L. Dendooven. 2007. Vermicompost as a soil supplement to improve growth, yield and fruit quality of tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Bioresour Technol* 98(15): 2781-2786.
- Hidalgo P. R., R. L. Harkess. 2002a. Earthworm casting as a substrate amendment for *Chrysanthemum* production. *Hortscience* 37(7): 1035-1039.
- Hidalgo P. R., R. L. Harkess. 2002b. Earthworm casting as a substrate for Poinsettia production. *Hortscience*. 37(2): 304-308.
- Inzunza-Ibarra M. A., M. Villa-Castorena., E. A. Catalán-Valencia, A. Roman. López. 2010. Extracción de nutrientes y producción de chile jalapeño bajo acolchado plástico y niveles de riego. *Terra Latinoamericana* 28(3): 211-218.
- Karmegam N., K. Alagumalai, T. Daniel. 1999. Effect of vermicompost on the growth and yield of green gram (*Phaseolus aureus* Roxb.). *Tropical Agriculture* 76: 143-146.
- Prabha M. L., I. A. Jayraay, R. Jayraay, D. S. Rao. 2007. Effect of vermicompost on growth parameters of selected vegetable and medicinal plants. *Asian Journal of Microbiology, Biotechnology and Environmental Sciences* 9(2): 321-326.
- Reddy M. V., K. Ohkura. 2004. Vermicomposting of rice-straw and its effects on sorghum growth. *Tropical Ecology* 45(2): 327-331.
- Rodríguez M. M. N., G. G. Alcántar., S. A. Aguilar., B. J. D. Etchevers, R. J. A. Santizó. 1998. Estimación de la concentración de nitrógeno y clorofila en tomate mediante un medidor portátil de clorofila. *Terra* 16(2): 135-141.
- SAGARPA-ACERCA. 2011. Pliego de condiciones para el uso de la marca oficial México Calidad Suprema en Chile. BANCOMEXT. ASERCA. PC-011-2004. [Fecha de consulta: 8 de agosto de 2011] Disponible en: http://www.normich.com.mx/archivos/OC/mcs/PLIEGOS%20DE%20CONDICIONES%2012/PC_011_2004_Chile_vsj.pdf. 16 p.
- SAS Institute, Inc. 1999. SAS/STAT User's Guide. Version 8. SAS Institute Inc. Cary N. C. USA.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2011a. Producción de Chile Verde Jalapeño. [Fecha de consulta: 8 de agosto de 2011] Disponible en: <http://www.siap.gob.mx/>

- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2011b. Producción de chile verde orgánico. [Fecha de consulta: 8 de agosto de 2011] Disponible en: <http://www.siap.gob.mx/>
- Steffen G. P. K., Z. I. Antonioli, R. B. Steffen, R. G. Machado. 2010. Cascara de arroz y estiercol bovino como sustrato para la multiplicación de lombrices de tierra y la producción de plántulas de tomate y lechuga. *Acta Zoologica Mexicana* (n.s). Número Especial 2: 333:343.
- Sunil K., C. R. Rawat., D. Shiva, K. R. Suchit. 2005. Dry matter accumulation, nutrient uptake and changes in soil fertility status as influenced by different organic and inorganic sources of nutrients to forage sorghum (*Sorghum bicolor*). *Indian Journal of Agricultural Science* 75(6): 340-342.

Evapotranspiración en la producción de *Capsicum chinense* Jacq. en condiciones de invernadero

Evapotranspiration in the production of *Capsicum chinense* Jacq. under greenhouse conditions

Moreno Sanchez Samuel, Vicente Reyes Oregel, Helbert Mena Martin*,
Alfonzo Pérez Gutierrez y Julio Rodríguez Pérez.

Instituto Tecnológico de Conkal, km 16.3 antigua carretera Mérida-Motul, Conkal, Yucatán. Tel. (999)
9124130 *Email: hmena.itc@hotmail.

Resumen. La aplicación de láminas de riego en cultivos protegidos con sustrato se basa en la utilización de instrumentos sofisticados que permitan adecuar la aportación de agua a las necesidades hídricas de la planta. En muchas ocasiones dichos instrumentos no están disponibles para la mayoría de los productores o su manejo es complicado, razón por la cual se requiere un método sencillo de usar y de fácil acceso, que permita determinar las necesidades hídricas de los cultivos. El objetivo de este estudio fue estimar la evapotranspiración del cultivo de chile habanero a partir de la evaporación de un tanque tipo A y dos tanques reducidos. Los tratamientos consistieron en utilizar diferentes diámetros de tanque el T_1)20cm, T_2)30 cm y T_3)122 cm. Los tratamientos se distribuyeron en un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. Se compararon los valores diarios de evapotranspiración de referencia (ET_0) provenientes de labandeja clase A (122 cm) y dos tanques reducidos (20 y 30 cm de diámetro). Los resultados mostraron que no existe diferencia estadísticamente significativa entre tanques, la ET_0 calculada fue similar para todos, el tanque de 20 cm registró una ET_0 diaria promedio de 2.92 mm, 2.96 mm para el tanque de 30 cm y 3.15 mm para el tanque tipo A. El análisis de regresión entre el tanque de 20 cm con el de 122 cm mostró una $R^2=0.93$ 122 cm mientras que el tanque de 30 con el de 122 cm una $R^2=0.94$.

Palabras Clave: Evapotranspiración, coeficientes de tanques

Abstract. The application of irrigation in protected cultivation on soil is based on the use of sophisticated instruments that allow us to tailor the provision of water to

the water needs of the plant and this in order that the plant will not have problems of stress in the substrate crop. In many cases these instruments are not available for a large number of producers or their management is complicated, which is why it requires a simple to use and easy access, allowing adequate to determine the water needs of crops. The aim of this study was to estimate the evapotranspiration of habanero chile plants in relation to the evaporation of a tank type A and two small tanks. The treatments consisted of using different diameters of the tank T₁) 20cm, T₂) 30 cm and T₃) 122 cm. replacement of water, was performed using a graduated cylinder. The treatments were arranged in a complete block design with three replications. We compared the daily values of reference evapotranspiration (ET₀) from labandaja Class A and the two small tanks (20.30 cm in diameter). The results show no statistically significant difference between tanks so the calculated ET₀ was similar for all, being in the cast of 20 is average daily ET₀ of 2.92 mm, 2.96 mm for the cast of 30 and 3.15 mm for tank type A. Regression analysis showed a R² = 0.93 for tank 20 with 122 cm, R² = 0.94 a tank of 30 to 122cm.

Key words: Evapotranspiration, tanks coefficients

Introducción

Los cultivos hortícolas, necesitan una adecuada aplicación hídrica que pueda garantizar la expresión genética de las diferentes especies y/o variedades. Un aporte de agua al cultivo de manera inadecuada o desproporcionada influye desfavorablemente sobre los rendimientos y la calidad de la cosecha. En algunos casos puede producir retrasos indeseables en el ciclo productivo. (Romero *et al.*, 2009). Con el riego se debe aplicar la cantidad óptima para cubrir el consumo de agua del cultivo (ET_c). Una aportación de agua inferior a la ET_c puede llegar a provocar déficit hídrico (Fernández, 2001). En México, durante el ciclo agrícola 2006 se tuvo una superficie sembrada de 835.38 ha de chile habanero, de las cuales se cosecharon un volumen de producción de 7 175.71 t. El estado de Yucatán ocupa el primer sitio en importancia, del total de la superficie nacional, el Estado aporta el 50.98%, generando un volumen de producción de 3 489.32 t (SIAP, 2006).

En la actualidad, los productores de Yucatán los productores que utilizan áreas protegidas y sustrato como medio de cultivo para la producción de chile habanero desconocen los métodos para estimar los requerimientos de agua del cultivo, aplicando de manera empírica el riego. Fernández *et al.*, (2001) evaluaron en condiciones de invernadero distintos modelos para estimar la ET₀ (Penman-FAO, Radiación-FAO, Hargreaves y FAO-Tanque). El modelo FAO-Tanque resultó la

expresión más precisa para estimar la ET_0 a corto plazo en condiciones de invernadero, aún sin calibración numerosos autores han comparado muchos métodos para medir la evapotranspiración. Araujo *et al.*, (2005), mediante lisímetros de pesada y tanque A informan coeficientes de determinación (R^2) del orden de 0.77 y 0.65 en el caso de los evaporímetros; Andersson y Johansson 1969 reportan un valor de R^2 de 0.93 con tanque A; en tanto que Messing (1998) los compara con atmómetros de piche y tanque A, obteniendo valores R^2 de 0.78 y 0.85, respectivamente.

Materiales y métodos

La evaluación se realizó en el área de invernaderos del Instituto Tecnológico de Conkal, Yucatán ubicado en el km 16.3 de la antigua carretera Mérida–Motul según la clasificación Köppen, modificada por García (1981), tiene una altitud de 8 msnm; el clima predominante es Aw_0 (x) (i) g, con una temperatura media anual de 26.5° C y una precipitación media anual de 900 mm distribuidos en forma irregular, concentrándose la mayor parte durante los meses comprendidos de mayo a septiembre. El trasplante se realizó utilizando plántulas de chile habanero *Capsicum chinense* Jacq de 10 cm de altura. El experimento consistió en evaluar la evapotranspiración de cultivo estimada por la evaporación de dos tanques reducidos 20 cm de diámetro (T_1), 30 cm (T_2) y un tanque tipo A (122 cm) con diferentes coeficientes (Cuadro 1).

Los tratamientos se distribuyeron en un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. Los datos se analizaron en el programa estadístico STATGRAPHICS PLUS 5.1, la comparación de medias mediante la prueba de tukey ($P \leq 0.05$). Así como la realización de un análisis de regresión y correlación entre los tanques utilizados. Se realizaron registros diarios de la evaporación en los tanques a partir de las 8:00 a.m. La reposición de agua se hizo con una probeta graduada mediante los cálculos de ET_0 y ET_c descritos en las ecuaciones 1 y 2.

Cuadro 1.

Coefficientes de tanques de acuerdo con el diámetro de tanque utilizado en invernadero.

Tratamientos	Diámetro de tanque (cm)	Coefficiente de tanque
T_1	20	0.61
T_2	30	0.64
T_3	122	0.78

Fuente: (Palacios, 2006)

Estimación de la evapotranspiración de referencia. La evapotranspiración de referencia se determinó usando la siguiente ecuación.

$$ET_0 = Ep * Kp \quad (1)$$

Donde:

ET_0 = Evapotranspiración de referencia (mm)

Ep = Evaporación del tanque tipo A (mm)

Kp = Coeficiente del tanque (adm)

Con el resultado obtenido se calculó la evapotranspiración máxima con la siguiente ecuación:

$$ETx = ET_0 * Kc \quad (2)$$

Donde:

ETx = Evapotranspiración máxima (mm)

ET_0 = Evapotranspiración de referencia (mm)

Kc = Coeficiente de cultivo (adm).

El coeficiente de tanque se definió por el diámetro del tanque (Palacios, 2006), el Kc se utilizó tomando en consideración el porcentaje de desarrollo del cultivo propuesto por Cisneros, (2003) a partir de la fecha de trasplante. La aplicación de la lámina de riego fue a 2/3 de la lámina almacenada por el sustrato (La) de acuerdo con los requerimientos registrados y calculada por medio de la siguiente ecuación:

$$La = (CC - PMP) * Da * Pr / 100 \quad (3)$$

Donde;

La = Lámina de agua que almacena el sustrato (cm)

CC = Porcentaje de humedad a Capacidad de campo (%)

PMP = Porcentaje de humedad a punto de marchitez permanente (%)

Da = Densidad aparente (gcm^{-3})

Pr = Profundidad de enraizamiento (cm)

Resultados y discusión

Evapotranspiración de referencia (ET_0). Diversos autores han observado que la evapotranspiración en el interior de los invernaderos es menor que al aire libre (Farias *et al.*, 1994; Braga y Klar, 2000). Estos resultados pueden explicarse por la influencia de la principales factores de la demanda evaporativa de la atmósfera, como la reducción de los valores de velocidad del viento, humedad relativa superior y menor incidencia de la radiación solar directa en el interior invernaderos. En la figura 1 se observa el comportamiento de la evapotranspiración de referencia (ET_0) durante tres meses. Se aprecia que el comportamiento fue similar entre los tanques.

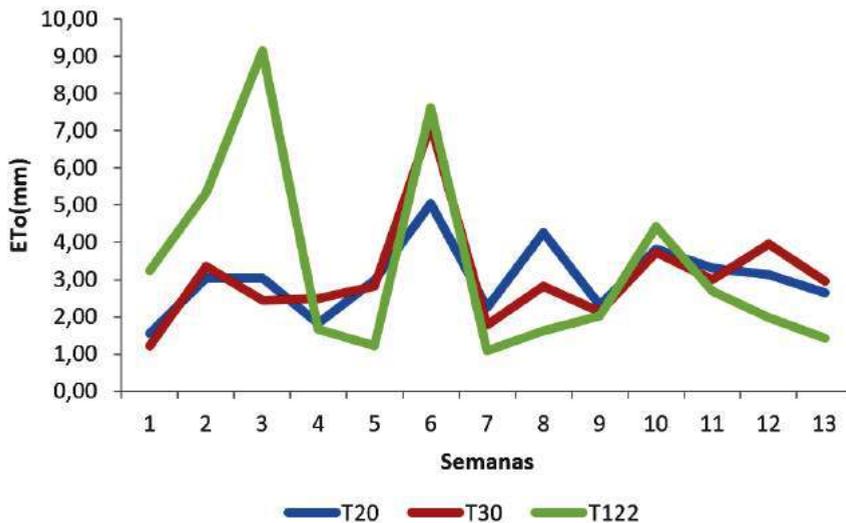


Figura 1. Valores semanales de la evapotranspiración de referencia (ET_0).

Análisis de Varianza. Se realizaron los análisis de varianza para encontrar la relación entre los tanques 20 -122 y 30-122, los resultados se presentan en los cuadros 2 y 3.

Cuadro 2.

Análisis de varianza para los tanques 20 -122.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	90915.7	1	90915.7	1300.01	0.0000
Residuo	6084.31	87	69.9346		
Total (Corr.)	97000.0	88			

El análisis de varianza muestra que existe una relación estadísticamente significativa entre T122 y T20 con un nivel de confianza del 95.0 % entre el tanque de 20 cm y el tanque tipo A.

Cuadro 3.

Análisis de varianza para los tanques 30 -122.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	91799.3	1	91799.3	1535.67	0.0000
Residuo	5200.69	87	59.7781		
Total (Corr.)	97000.0	88			

Para el caso de tanque de 30 con el de 122 cm el análisis de varianza también mostró una relación estadísticamente significativa. La evapotranspiración de referencia promedio diaria fue de 3.15 mm para T_3 , y de 2.92 y 2.96 mm para T_1 y T_2 respectivamente. Al respecto Medeiros *et al.* (1997) encontraron que la evaporación en un molde reducido fue mayor que la del tanque A, explicando este hecho por el aumento de la evaporación con la disminución de la superficie del agua, la transferencia de energía entre la superficie del agua y la atmósfera. Pereira, 2004 menciona que la tasa de evaporación depende de la zona de exposición del tanque. Cita también algunos trabajos que se han hecho con tanques subterráneos que demuestran que la tasa de evaporación disminuye exponencialmente con el aumento de área del tanque. Los resultados de la revisión de literatura no están de acuerdo con los resultados que se encuentran con los datos obtenidos de la investigación. Estas variaciones se pueden atribuir a diferentes condiciones climáticas en las que los experimentos se llevaron a cabo, lo que confirma la importancia de llevar a cabo este tipo de investigación para cada región.

Evapotranspiración real acumulada. La Figura 2 muestra la evapotranspiración de cultivo (ETc) registrada a partir del tanque A y los dos tanques reducidos. La ETc acumulada a los 68 días después del trasplante (ddt) fue de 41,49 mm para el tanque de 20 cm de diámetro, 36.67 mm para el tanque de 30 cm y 49.00 para el tanque tipo A. La ETc acumulada a los 98 ddt fue de 78.40 mm para tanque de 20 cm, 87.95 para 30 cm y 76.59 para el Tanque tipo A. En 123 ddt se obtuvo una ETc acumulada de 128,78 en tanque de 20 cm, 135.81 mm en tanque de 30 cm y 117.52 mm en el tanque tipo A.

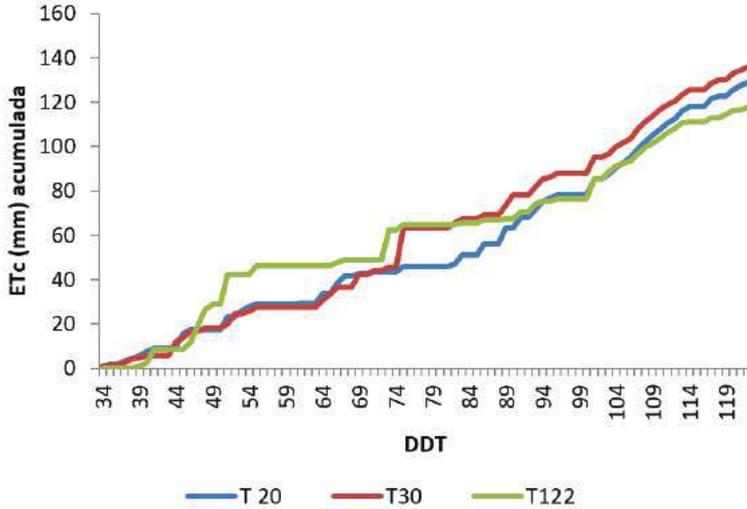


Figura 2. Evapotranspiración de cultivo acumulado durante la etapa fenológica del cultivo de chile habanero en condiciones de invernadero.

En la Figura 3 se observa el gráfico del análisis de regresión simple de la evapotranspiración de cultivo acumulado (ETc) que explica la fuerte relación y correlación que existe entre los valores obtenidos en los tanques de evaporación.

En la Figura 4 se observa el gráfico del análisis de regresión simple de la evapotranspiración acumulada del cultivo (ETc) en los tanques de 122 y 30 cm.

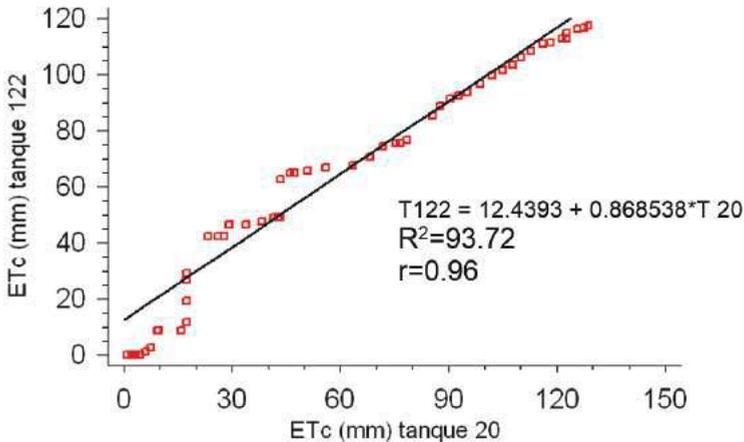


Figura 3. Relación de la evapotranspiración de cultivo acumulado (ETc) en el tanque de 20 cm y tanque de 122 cm.

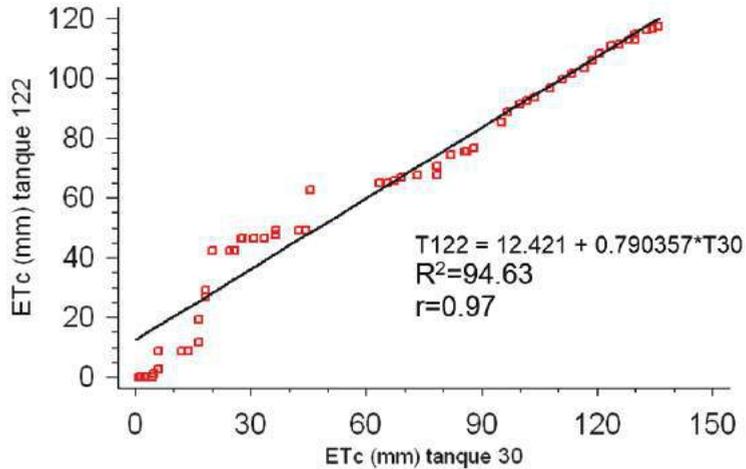


Figura 4. Relación de la evapotranspiración de cultivo en mm del tanque tipo A y el tanque de 30 cm en invernadero.

Las regresiones indican que existe una alta correlación entre los valores obtenidos López, (2000) en su trabajo, propone utilizar los tanques de tamaño reducido en sustitución al tanque clase "A" porque el costo del tanque tipo A es relativamente alta y ocupa un mayor espacio dentro de las aéreas protegidas. Aunado a esto se obtendrían resultados similares en el cálculo de la evapotranspiración.

Conclusiones

Teniendo en cuenta los altos coeficientes de correlación entre los valores estimados semanales ET_o , dentro del invernadero, con los tanques de 20 y 30 cm es posible reemplazar la clase de tanque tipo A con estos últimos, para estimar ET_o , además de ocupar una menor área dentro del invernadero, misma que puede ser ocupada por un mayor número de plantas, los moldes reducidos implican costos más bajos de adquisición y son más fáciles de operar. Sin embargo, debido a la influencia de los elementos del clima sobre la estimación de ET_o , es necesario probar y ajustar las evaporaciones registradas a las diferentes condiciones climáticas de la zona en la que se vayan a instalar.

Literatura citada

- Andersson, S. 1969. A new evaporimeter. Grundförbättring (Journal of Agricultural Land Improvement) 22:59-66.
- Araujo, G., Bussmeyer, F., Sakai, E. 2005. Crop coefficient for irrigated beans derived using three reference evaporation methods. Agric. For. Meteorol. 135:135-143.
- Braga, M., Klar, A. 2000. Evaporação e evapotranspiração de referencia em campo e estufa orientadas nos sentidos norte/sul e leste/oeste. Irriga 5:222-228.
- Cisneros, A. 2003. Apuntes de la materia de riego y drenaje. Centro de Investigación y Estudios de posgrado y área Agro geodésica. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Farias, J., Bergamaschi, H., Martins, S. 1994. Evapotranspiração no interior de estufas plásticas. Revista Brasileira de Agrometeorologia 2:17-22.
- García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen para adaptarlo a las condiciones de la república Mexicana. Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F
- Johansson, W. 1969. The influence of meteorological elements on the evaporation from the Andersson evaporimeter. Grundförbättring. Journal of Agricultural Land Improvement 22:83-105.
- Medeiros, S.P. 1998. Avaliação de métodos de estimativa de evapotranspiração de referencia para a região mesoclimática de Santa Maria RS. Revista Brasileira de Agrometeorologia 6:105-109.
- Messing, I. 1998. A simple practical evaporimeter: comparison of Andersson evaporimeter with Class A pan, Picheatmometer, and Penman evaporation. AridSoil Res. Rehab 12:275-290.
- Pereira, A.R., Pruitt, W.O. de 2004. Adaptación de la Thornthwaite esquema para estimar la evapotranspiración de referencia diaria. Agric. Administrar el agua. 66:251-257.
- Palacios V, E 2006. Curso sobre sistemas de riego presurizado, capítulo 1 Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Edo de México.
- Romero, E., Rodríguez, A., Rázuri, L., Suniaga, J., Montilla, E. 2009. Estimación de las necesidades hídricas del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.), durante las diferentes etapas fenológicas, mediante la tina de evaporación. Agricultura Andina 16:56-69.
- SIAP. 2006. Anuario Estadístico de Producción Agrícola. Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera. <http://www.siap.gob.mx/>

Trezza, R. 2001. Métodos Actualizados para la estimación de la evapotranspiración de los cultivos: Teoría y aplicaciones. Núcleo Universitario Rafael Rangel. ULA – Trujillo – Venezuela

Producción de tres variedades de *Pennisetum purpureum* fertilizadas con dos diferentes fuentes nitrogenadas en Yucatán

Production of three varieties of *Pennisetum purpureum* fertilized with two sources different of nitrogen in Yucatán

Ramos Trejo Olivier^{1*}, Juan Sandoval Gio¹, Luis Salas Noh¹ y Fernando Duarte Vera²

¹Instituto Tecnológico de Tizimín, Profesor-investigador, área pecuaria, Final aeropuerto Cupul, Tizimín, Yucatán. ²INIFAP, Sitio Experimental Tizimín, Nutrición Animal, Km 15, carretera Tizimín-Colonia Yucatán, Tizimín, Yucatán. *E-mail: oramost@yahoo.com.mx

Resumen. El objetivo del presente trabajo fue comparar el rendimiento de materia seca (MS) de tres variedades de *Pennisetum*, el Clon Cuba OM-22, el CT-115 y el King grass con dos fuentes nitrogenadas. La investigación se realizó en el área pecuaria del Instituto Tecnológico de Tizimín, Yucatán, que cuenta con un clima Awo, según Köppen. Las tres variedades de *Pennisetum* se establecieron el 1° de Agosto de 2008 mediante material vegetativo con dos a tres yemas (nudos), en surcos a 10 cm, de profundidad, con un tamaño de las varetas de 25 cm, la densidad de siembra fue de 0.5 m entre plantas y 1 m entre hileras con orientación de Este a Oeste, para una mayor captación de luz solar. La urea y el agua residual porcina fueron las fuentes de nitrógeno en dosis de 300 Kg N ha⁻¹ año⁻¹. Se encontró diferencia significativa (P <.05) en la producción de MS entre las tres variedades de forraje, el mayor rendimiento fue para el OM-22 (155 a 160 t MS ha⁻¹ año⁻¹) cuando se fertilizó con 300 kg N ha⁻¹ año⁻¹ con cualquiera de las dos fuentes utilizadas. Esta misma tendencia se observó con el pasto King grass dando un rendimiento de 131 a 140 t MS ha⁻¹ año⁻¹. Los pastos OM-22, CT-115 y King grass fueron diferentes estadísticamente (P<.05) al tratamientos testigo.

Palabras clave: rendimiento, *Pennisetum*, variedades, fertilización.

Abstract. The aim of this study was to determine the yield of dry material (DM) of three varieties of *Pennisetum* such as the Clone Cuba OM-22, CT-115, and King grass with two nitrogen. The research was conducted in the area's livestock of the Tizimín Institute of Technology, Yucatán, which has a climate Awo, Köppen classification.

The three varieties of *Pennisetum* was established on August 1, 2008 using plant material with two to three buds (nodes) in furrows of 10 cm deep, with a size of 25 cm shoots, planting distances were 0.5 m between plants and 1 m between rows oriented east to west, to get a greater uptake of sunlight. Urea and Swine Wastewater were the sources of nitrogen at doses of 300 kg N ha⁻¹ yr⁻¹, respectively. Statistically significant difference was found (P <.05) in DM production between the three varieties of fodder, the highest yield was for the OM-22 (155-160 t DM ha⁻¹ yr⁻¹) when fertilized with 300 kg N ha⁻¹ yr⁻¹ with either of the two sources used. The same trend was observed with King grass pasture giving a yield of 131-140 t DM ha⁻¹ yr⁻¹. Pastures OM-22 and King Grass were statistically different (P <0.05) to the control treatments. The grass CT-115 showed no statistical difference (P > 0.05) when compared to the control.

Key word: Yield, *Pennisetum*, varieties, fertilization.

Introducción

Los pastos y forrajes constituyen la fuente más abundante y barata para alimentar la industria ganadera. Sin embargo, al igual que en otros países tropicales, la marcada estacionalidad de nuestro clima afecta la calidad y volumen de su rendimiento, obligando al productor a buscar nuevas opciones alimenticias para cubrir las deficiencias nutricionales presentadas en períodos de sequía (Enriquez *et al.* 1999). El ganadero, en su afán de mantener una producción continua, recurre a medidas como la compra de insumos, renta de pastizales o inversión en sistemas de riego, aumentando sus costos de producción y disminuyendo la rentabilidad. Esta situación obliga a una constante búsqueda de nuevas variedades de especies forrajeras que satisfagan los requerimientos nutricionales de sus animales mediante un sistema de cosecha constante (Meléndez *et al.* 2000).

Las especies de *Pennisetum purpureum*, gramínea originaria de África Septentrional, satisfacen esta necesidad ya que poseen excelentes cualidades forrajeras de corte y alto volumen de producción, hasta 40 t de materia verde (MV) por hectárea y más de 120 t MV ha⁻¹ año⁻¹. Sin embargo, son susceptibles a la deficiente fertilidad del suelo, especialmente al reducido contenido de nitrógeno (Pizarro, 2001). Se han producido cruces genéticos de *Pennisetum* obteniéndose los pastos OM-22, CT-115, CT-169, Gigante, Camerún, King grass y otros que se adaptan a la deficiencia de nutrientes del suelo (Hertentains *et al.* 2005, Chacón y Vargas 2009). El forraje King Grass es un híbrido entre el pasto Elefante (*Pennisetum purpureum*) y el sorgo forrajero (*Sorghum typhoides*). Su alta talla, próxima a los

3 metros y crecimiento erecto, así como su adaptación a condiciones tropicales y alturas de hasta los 1500 msnm, permite sembrarse en tierras altas y bajas, con suelos pobres, moderadamente ácidos y con periodos secos (Araya y Boschini 2005). La variedad OM-22 es una variedad híbrida que se obtuvo *in vitro* a partir del pasto Elefante (*Pennisetum purpureum*) y del pasto King Grass tiene como característica de entrenudos cortos que aparecen después de los 45 días de rebrote. Por ello, florece muy poco y alcanza una talla de más de tres metros de altura. Produce abundante follaje desde su base y presenta tallos gruesos pero con muy buena digestibilidad. Para su desarrollo requiere suelos entre ligeramente ácidos y neutros y soporta períodos de sequía prolongados (Huynh 1998). El cultivar CT-115 posee diversas cualidades como el acortamiento de los entrenudos, ajuste a ciclos lluviosos y tolerancia a períodos de sequía prolongados lo que generaliza su uso como forraje de corte y pastoreo (Herrera *et al.* 2002, Couoh 2008).

En Yucatán se han introducido variedades mejoradas como el OM-22, CT-115, King Grass, pero sin estudios sistemáticos y concluyentes que fundamenten su uso (Márquez *et al.* 2007, Feria *et al.* 2007). Por lo anterior el objetivo de la presente investigación fue comparar el rendimiento de tres variedades de *Pennisetum purpureum*, con las fuentes nitrogenadas de urea y agua residual porcina en un suelo Luvisol.

Materiales y métodos

La investigación se realizó en el área pecuaria del Instituto Tecnológico de Tizimín, Yucatán, ubicado en el municipio del mismo nombre. El clima predominante es Awo, según Koppen (Orellana *et al.*, 1999). Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con un arreglo factorial de 3 x 3 donde el primer factor corresponde a las variedades de *Pennisetum purpureum* (OM-22, CT-115 y King Grass) y el segundo factor correspondió a las fuentes de fertilización (testigo sin fertilizar, urea y agua residual porcina), en cantidades que aportaron 300 kg N ha⁻¹,año⁻¹ divididas en seis aplicaciones, cada dos meses a partir del corte de uniformización. La fertilización con urea se realizó desde el corte de uniformización y después de cada corte, el agua residual porcina también se aplicó de la misma manera, sin embargo en cada aplicación se hicieron análisis de laboratorio y la cuantificación de la concentración de nitrógeno se determinó por el método Kjeldahl. Del contenido de N del agua residual porcina se determinó la cantidad del líquido proveniente del pozo colector, que mediante cubetas calibradas se distribuyó en cada parcela. En total se tuvieron 9 tratamientos con cuatro repeticiones, en parcelas con suelo tipo Luvisol de 5 x 5 m.

Las tres variedades de *Pennisetum purpureum* se establecieron el 1° de Agosto de 2008 mediante material vegetativo que consistió de varetas de 25 cm que tenían de dos a tres yemas (nudos), en surcos a 10 cm de profundidad. La distancia entre planta fue de 0.5 m y de 1.0 m entre hileras con orientación de Este a Oeste, para una mayor captación de luz solar. El experimento duró un año. Los cortes se realizaron cada 60 días a una altura de 20 cm del suelo, con riegos planificados de acuerdo a su desarrollo vegetativo. Se controló las malas hierbas, plagas y enfermedades comunes en la región con productos químicos. Los resultados se analizaron con una ANOVA y a una comparación de medias de Tukey con el programa estadístico Statistix (SX) versión 4.0 (1990).

Resultados y discusión

Las tres variedades de *Pennisetum purpureum* estudiadas tuvieron diferencias significativas ($P < 0.05$) en producción de MS, correspondiendo el mayor rendimiento al cultivar OM-22 (155 a 160 t MS ha⁻¹ año⁻¹), esto cuando se fertilizó con 300 kg N ha⁻¹ año⁻¹ con ambas fuentes nitrogenadas utilizadas (urea y agua residual porcina) (Cuadro 1, Figura 1). Al respecto Hertentains *et al.* (2005) concluyen que el aporte de nitrógeno recomendado para esta especie es de 275 kg ha⁻¹ año⁻¹ para mantener una producción forrajera adecuada, especialmente en suelos desprovistos de este macroelemento (Pizarro, 2001). En el presente estudio se hizo manifiesta la importancia de proveer este nutriente, ya que hubo diferencias significativas entre los tratamientos fertilizados y el testigo sin fertilizante, para los cultivares OM-22, CT-115 y King Grass, no obstante los resultados no difirieron significativamente entre los tratamientos con urea o agua residual porcina. La tendencia de alto rendimiento de MS también se observó con el pasto King Grass (131 a 140 t MS ha⁻¹ año⁻¹) (Cuadro 1, Figura 1). Estos resultados son similares a los obtenidos por otros autores que lo aluden como el cultivar de *Pennisetum* con mejor rendimiento de MS anual (Martínez *et al.*, 1986; Herrera y Ramos, 1990).

Conclusiones

Las tres variedades de *Pennisetum purpureum* estudiadas tuvieron diferencias significativas en producción de MS, correspondiendo el mayor rendimiento al cultivar OM- 22 (155 a 160 t MS ha⁻¹ año⁻¹), esto cuando se fertilizó con 300 kg N ha⁻¹ año⁻¹ con ambas fuentes nitrogenadas utilizadas en un suelo tipo Luvisol (Kankab). Mientras que entre fuentes de fertilización no se encontraron diferencias.

Cuadro 1.

Producción de materia seca t ha⁻¹ año⁻¹ de Clon Cuba OM-22, CT-115 y King grass, con y sin fertilización nitrogenada.

Variedades	Fertilización	Rendimiento
OM-22	Sin fertilizante	112.83 ^b
OM-22	Urea	155.03 ^a
OM-22	Agua Residual Porcina	160.30 ^a
CT-115	Sin fertilizante	80.36 ^c
CT-115	Urea	90.16 ^c
CT-115	Agua Residual Porcina	95.26 ^{bc}
King grass	Sin fertilizante	102.73 ^{bc}
King grass	Urea	131.86 ^{ab}
King grass	Agua Residual Porcina	139.93 ^{ab}

Los valores con superíndices iguales en una misma fila son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

Literatura citada

- Araya M., Boschini C. 2005. Producción de forraje y calidad nutricional de Variedades de *Pennisetum purpureum* en la meseta central de Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana* 16(1): 37-43.
- Chacón H., Vargas R. 2009. Digestibilidad y calidad del *Pennisetum purpureum* cv. King Grass a tres edades de rebrote. *Agronomía Mesoamericana* 20:399-408.
- Couoh C. 2008. Morfología y Rendimiento de las variedades de CT- 115 y OM-22 (*Pennisetum purpureum*) bajo temporal en Yucatán. Tesis de licenciatura. Instituto Tecnológico de Conkal, Yucatán. México.
- Enríquez Q, Meléndez F, Bolaños E. 1999. Tecnología para la producción y manejo de forrajes tropicales en México. INIFAP. CIRGOC. Campo experimental Papaloapan. Libro técnico No 7. División Pecuaria Veracruz, México. 262 pp.
- Faría J, González B, Chirinos Z. 2007. Producción forrajera de cuatro germoplasmas de *Pennisetum purpureum* en sistemas intensivos bajo corte. *Memorias XII Jornada de Producción Animal*. AIDA.
- Herrera R y Ramos N. 1990. Evaluación agronómica. *En: Herrera, R. (Ed). King Grass. Plantación, establecimiento y manejo en Cuba*. EDICA, Cuba, pp:111-170.
- Herrera R, Martínez R, Tuero R, García M, Cruz A. 2002. Movement of substances during grazing and regrowth of the clone Cuba CT-115 (*Pennisetum purpureum*). *Cuban Journal of Agricultural Sciences* 36(4): 403-407
- Hertentains L, Troetsch O, Santamaría E. 2005. Manejo y utilización de cultivares de *Pennisetum purpureum* en fincas lecheras de las tierras altas de Chiriquí.

- Manual Técnico. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. 4p.
- Huynh D. 1998. Growing *Pennisetum purpureum* and *Panicum maximum* 1.429 on grey podzolic soils in the Southeast region of Vietnam. pp:221-227.
- Márquez F, Sánchez J, Urbano D, Dávila C. 2007. Evaluación de la frecuencia de corte y tipos de fertilización sobre tres genotipos de pasto elefante (*Pennisetum purpureum*). 1. Rendimiento y contenido de proteína. Zootecnia Tropical 25(4): 253-259.
- Martínez R, Herrera O, Monzote M, Cruz R. 1986. Obtención de mutantes utilizando el cultivo de tejidos y otras técnicas en; King grass, plantación, establecimiento y manejo en Cuba. EDICA. Cuba.
- Meléndez J, Ibarra G, Iglesias O. 2000. *Pennisetum purpureum* cv. CRA-265 en condiciones de secano. Parámetros agronómicos y valor nutritivo. Producción Animal 12:17-20.
- Orellana A, Lanza, R. 1999. Evaluación climática. En: Altas de procesos territoriales de Yucatán. P. A. Chico Ponce de León (Cpmp.). Universidad Autónoma de Yucatán. pp: 163-182.
- Pizarro E. 2001. Grasses and legumes for tropical zones. En: Tejos, R. C. Zambrano, L. Mancilla y W. García. 2001. VII Seminario manejo y utilización de pastos y forrajes en sistemas de producción animal. pp:151-170.

Características químicas del abono líquido fermentado de estiércol ovino

Chemical characteristics of sheep manure fermented liquid fertilizer

León-Nájera José Armando^{1*}, Maximiano Estrada-Botello¹, Miguel Ángel Pérez-Méndez², Julio César Álvarez-Rivero¹ y Rosa Ma. Salinas-Hernández¹.

División Académica de Ciencias Agropecuarias, UJAT. ²División Académica de Ciencias Biológicas, UJAT. *E-mail: armando.leon@ujat.mx

Resumen. En la actualidad el uso de los abonos orgánicos tienen gran importancia, debido a que presentan propiedades similares a los abonos inorgánicos. Por ello, el objetivo del presente trabajo fue caracterizar el abono líquido fermentado de estiércol de ovino. Se elaboró una composta a partir de este material, posteriormente se usó ésta para su fermentación anaeróbica en un periodo de 60 días en el que se caracterizó el pH, CE, Ca, Mg, K y Na, en los siguientes periodos, 0, 5, 10, 15, 20, 30 40 y 60 días. Se realizó un análisis de varianza ($p < 0.05$). Se encontró que la fermentación en la mayoría de los parámetros químicos estudiados se estabilizó a los 15 días.

Palabras clave: Abono líquido, estiércol, ovinos

Abstract. At present the use of organic fertilizers are of great importance, because they exhibit similar properties to inorganic fertilizers. Therefore, the objective of this study was to characterize the fermented liquid manure of sheep manure. Compost was produced from this material, then it used to anaerobic fermentation over a period of 60 days in which characterized the pH, EC, Ca, Mg, K and Na in the following periods, 0, 5, 10, 15, 20, 30 40 and 60 days. An analysis of variance ($p < 0.05$) was performed. Fermentation was found in the majority of studied chemical parameters stabilized at 15 days.

Key words: Liquid fertilizer, manure, sheep.

Introducción

En México existe una población de 7 305 578 cabezas de ganado ovino, siendo el principal productor el estado de México, mientras que el estado de Tabasco ocupa el vigésimo primer lugar con 731004 cabezas (Bustamante, 2012). Por otro lado, estos animales producen 250 kg de estiércol por cada 100 cabezas, lo que puede causar problemas como son los malos olores, salinización y contaminación de mantos acuíferos por nitratos (Medina, 2005), esto último en Tabasco puede ser un problema al presentarse mantos acuíferos someros (Estrada *et al.* 2002) ya que los nitratos pueden lixiviarse y provocar daños a los ecosistemas. Por tal razón es importante dar un uso adecuado a este tipo de estiércoles, como por ejemplo en la elaboración de compostas y/o biofertilizantes. En la actualidad la agricultura orgánica tiene gran importancia a nivel mundial, debido a la contaminación de los alimentos por el exceso en el uso de productos químicos: plaguicidas, herbicidas y fertilizantes inorgánicos, además del alto costo de los productos inorgánicos (Capulín-Grande *et al.* 2007), por lo que es necesario la búsqueda de alternativas para la agricultura. La aplicación de abonos sólidos o líquidos al suelo promueven cambios físicos y químicos (Sutton *et al.* 1986; Randall *et al.* 2000; Butler y Muir, 2006) que contribuyen al incremento de los rendimientos de los cultivos, debido a la disponibilidad para la absorción de los nutrimentos (Griffin *et al.* 2002; Butler y Muir, 2006).

Por otro lado la agricultura orgánica considera el uso de los abonos líquidos, sin embargo, éstos varían en su concentración nutrimental por el tipo de estiércol del animal, la especie a la que pertenezca y la nutrición del mismo. A su vez, esto afecta en la preparación de los abonos orgánicos fermentados, así como los ingredientes para su elaboración (Galindo *et al.* 2007). La fracción líquida que se obtiene del proceso de compostaje del estiércol se conoce como lixiviados de compost, extractos de compost y té de compost y presenta como ventaja una densidad más uniforme en la aplicación de los cultivos (Simpson, 1986). Los lixiviados han sido considerados, tradicionalmente, como un fertilizante líquido orgánico (Fortis-Hernández *et al.* 2009). Los abonos líquidos contienen los nutrimentos que una planta necesita para su desarrollo; no obstante, requieren de un acondicionamiento previo para hacerlos accesibles a los cultivos, ya que presentan salinidad alta y pH alcalino (Capulín-Grande *et al.* 2001). Esto debido a que los fertilizantes líquidos tienen excedentes de nutrientes que en lugar de ayudar al cultivo lo puede perjudicar (Hjorth *et al.* 2010). La separación de fracciones líquidas de los estiércoles disminuye los costos de transportación (Møller *et al.* 2000; Sørensen *et al.* 2003), así como olores y ayudan en la producción de biomasa rica en energía que puede ser utilizada para la incineración o la producción de biogás (Møller *et al.* 2007a; Hjorth *et al.* 2009). En

general, la separación de líquidos de los estiércoles y reciclaje de materia orgánica y nutrientes vegetales pueden mitigar los riesgos ambientales, ya que contribuirá a la optimización de fertilización de los cultivos, reduciendo así la necesidad de fuentes externas de N, P, K y micronutrientes (Hjorth *et al.* 2010). Por tal razón el presente trabajo tiene como objetivo caracterizar químicamente el abono líquido fermentado del estiércol de ovino.

Materiales y métodos

El experimento se realizó en la División Académica de Ciencias Agropecuarias, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, de septiembre de 2009 a mayo de 2010. Se utilizaron 1200 kg de estiércol de ovino para realizar la composta, la cual se apiló y se tapó con plástico negro; la mezcla se revolvió cada 15 días durante 6 meses (León-Nájera *et al.* 2010). Posteriormente se puso a fermentar anaeróbicamente una mezcla de 3 kg de estiércol composteado más 15 L de agua, colocada en un recipiente de plástico con capacidad de 19 L, de cierre hermético, almacenados a temperatura ambiente y bajo techo; se emplearon cuatro repeticiones. El muestreo de los abonos líquidos fermentados se hizo a los: 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 y 60 días. Durante los periodos de muestreo se tomaron muestras de 200 mL, empleando una bomba de émbolo, manual; dichas muestras se colocaron en botellas de vidrio color ámbar, cerradas con taparoscas y se almacenaron en refrigeración para su posterior análisis químico. Se determinó la conductividad eléctrica (CE), pH, Mg, Ca, Na y K (Etchevers, 1988). Para la medición de la conductividad eléctrica se usó el conductímetro Dist 4 marca Hanna, para el pH el potenciómetro 225 marca Denver Instruments y el espectrómetro de absorción atómica Perkin-Elmer AAnalyst 100 para la cuantificación de los cationes alcalinos.

Las variables pH, concentración de potasio, calcio, magnesio y sodio fueron transformadas empleando la función recíproco, la conductividad eléctrica no necesitó transformación, lo anterior debido a que los valores originales no cubrían los parámetros de homocedasticidad, tomando como criterio que el sesgo y la curtosis estándar estuvieran en el intervalo de -2 a +2; para definir la igualdad de varianzas se utilizaron las pruebas de igualdad de varianzas de Cochran, Bartlett, Hartley y Levene (Zar, 1984; Kuehl, 1994). Los análisis estadísticos se realizaron con datos faltantes para el Ca, Mg y K, en los muestreos de 15, 25 y 60 días, respectivamente. También se realizó la comparación de medias por el método de Diferencia Mínima Significativa de Fisher (Zar, 1984; Kuehl, 1994); para los procesos anteriores se usó el programa estadístico Statgraphics Plus Versión 5.1 (Manugistics Inc., 2000).

Cuadro 1.

Parámetros del Análisis de varianza de las características químicas del abono líquido de estiércol ovino en diferentes períodos de fermentación.

Variable	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medio	F	p	Significancia
pH	0.0007	9	0.0001	60.97	0.00	**
CE	11.0615	9	1.229	16.26	0.00	**
CK	0.0024	8	0.0003	13115.62	0.00	**
CCa	0.0001	8	0.00002	99.28	0.00	**
CMg	0.0012	8	0.0001	2309.43	0.00	**
CNa	0.0015	9	0.0001	29286.13	0.00	**

** : Alta significancia, CE: Conductividad eléctrica, CK: Concentración de potasio, CCa: Concentración de calcio, CMg: Concentración de magnesio, CNa: Concentración de sodio.

Resultados y discusión

En el Cuadro 2 se muestra la comparación de medias ($p=0.05$) de los parámetros evaluados en el experimento, se observa que el pH y la CE durante el proceso de fermentación disminuyó de 8.1 a 7.2, a los 5 y 60 días de fermentación, respectivamente; y de 8.6 a 6.7 dSm^{-1} , a los 0 y 10 días, respectivamente. Las concentraciones máximas de Mg, Ca y K, fueron de 158, 292 y 896 mg L^{-1} , a los 35, 10 y 0 días, respectivamente; la más alta concentración de Na fue de 2684 mg L^{-1} y la mínima de 40 mg L^{-1} , a los 30 y 20 días, respectivamente. En relación a la evaluación de la concentración nutrimental se encontraron diferencias significativas para cada uno de los metales alcalinos, sin embargo el pH presentó tendencias más estables durante el experimento. La estabilización de los fermentados prácticamente inicia a los diez días, existiendo después algunos aumentos y disminución de la concentración de los elementos metálicos, excepto para el Mg que tiene un comportamiento diferente a los demás.

Las concentraciones de Ca y Mg fueron similares a las reportadas por Capulin-Grande *et al.* (2007), y no así para K que prácticamente fue superior en 50 % a las reportadas por estos autores. Respecto a las concentraciones de Na son superiores hasta 10 veces respecto a las que reporta Capulin-Grande *et al.* (2007), cuyas variaciones se atribuyen al tipo de estiércol utilizado y al modo de preparación, como lo indican Galindo *et al.* (2007). Respecto al pH, Matsi *et al.* (2003) obtuvieron valores similares en abonos líquidos de estiércoles de ovinos y concentraciones de Mg con rangos de 230 a 850 mgKg^{-1} , Ca de 600 a 3200 mgKg^{-1} , K de 100 a 2200 mgKg^{-1} . Mientras que Berenguer *et al.* (2008) encontraron pH similares en abonos líquidos de estiércoles de ovinos y contenidos de Mg con intervalos de 730 a 900

mgKg⁻¹, Ca de 1200 a 2800 mgKg⁻¹, K de 2800 a 6600 mgKg⁻¹, Na de 400 a 700 mgKg⁻¹. No obstante, los resultados reportados por Yokoyama *et al.* (2006) fueron inferiores a los obtenidos en este trabajo, ya que ellos consideraron la introducción de microorganismos en la mezcla para los estiércoles líquidos de ovino, en los que encontraron concentraciones de Mg con rangos de 25.3 a 26.3 mgL⁻¹, Ca de 21.7 a 22.2 mg L⁻¹ y Na de 3.13 a 3.31 mg L⁻¹, lo cual puede deberse a la preparación de la composta y/o a la forma de preparar el fertilizante líquido.

Cuadro 2.

Análisis de medias de las concentraciones de nutrimentos en el abono líquido fermentado de estiércol ovino.

Días de fermentación	Ph	CE dSm ⁻¹	Mg	Ca	K	Na
			mgL ⁻¹			
0	7.65 ^{ab}	8.64 ^b	66.76 ^c	122.45 ^a	896.82 ^a	1522.81 ^b
5	8.19 ^a	6.93 ^a	63.50 ^c	91.55 ^b	756.94 ^{abc}	1536.93 ^b
10	7.73 ^a	6.70 ^a	61.40 ^c	292.49 ^a	618.32 ^c	1551.82 ^b
15	7.55 ^b	7.42 ^a	70.37 ^c	s.d.	836.11 ^{ab}	1934.03 ^b
20	7.59 ^{ab}	7.53 ^{ab}	79.46 ^c	105.05 ^{ab}	36.45 ^d	40.47 ^a
25	7.39 ^b	7.64 ^{ab}	39.05 ^d	111.67 ^{ab}	s.d.	1004.95 ^b
30	7.42 ^b	7.75 ^{ab}	40.28 ^d	121.20 ^a	707.80 ^{abc}	2684.13 ^c
35	7.28 ^b	7.83 ^{ab}	158.08 ^a	102.96 ^b	648.29 ^c	1359.19 ^b
40	7.53 ^b	7.61 ^b	137.37 ^b	118.11 ^{ab}	695.58 ^{bc}	1124.01 ^b
60	7.23 ^b	8.16 ^b	s.d.	87.21 ^c	646.98 ^c	1367.86 ^b
DMS	0.0991	0.3971	1.7	10.1	167.6	263.7

Letras minúsculas iguales denotan que no hay diferencia significativa; DMS: Diferencia Mínima Significativa de Fisher, p=0.05; s.d.: no hubo dato para el análisis estadístico.

Conclusiones

El abono líquido fabricado a partir de estiércol de borregos mostró que para lograr la mayor concentración de potasio no se necesita someterse a fermentación anaeróbica, sin embargo, para generar el máximo contenido de Ca y Mg se necesitan de 10 y 35 días de fermentación anaeróbica, respectivamente; no obstante el Na y la conductividad eléctrica son elevados en cualesquiera de los períodos de medición para permitir el desarrollo de vegetales, por lo que se requiere realizar las diluciones apropiadas del fertilizante foliar para el cultivo, así como la frecuencia de aplicación para cubrir las necesidades nutricionales de los mismos. El abono líquido fermentado proveniente del estiércol ovino presenta altas concentraciones de potasio y sodio de interés en la nutrición vegetal y su estabilización se da a los 15

días de fermentación, esto puede favorecer su aplicación para los cultivos hortícolas a través de fertirriego.

Literatura citada

- Berenguer P., S. Cela, F. Santiveri, J. Boixadera, and J. Lloveras. 2008. Copper and Zinc Soil Accumulation and Plant Concentration in Irrigated Maize Fertilized with Liquid Swine Manure. *Agronomy Journal* 100 (4): 1056–1061.
- Butler, T.J., J.P. Muir. 2006. Dairy manure compost improves soil and increases tall wheatgrass yield. *Agronomy Journal* 98:1090–1096.
- Bustamante, S. V. 2012. Efecto de la condición corporal de la madre, época del año, sexo y tipo de parto en el peso al nacer de corderos en Comalcalco. Maestría en Producción alimentaria en el trópico. Cárdenas Tabasco. 90 p.
- Capulín-Grande J., R. Núñez-Escobar, J. L. Aguilar-Acuña, M. Estrada-Botello, P. Sánchez-García, J. J. Mateo-Sánchez. 2007. Uso de estiércol líquido de bovino acidulado en la producción de pimiento morrón. *Revista Chapingo. Serie horticultura* 13(1): 5-11.
- Capulín-Grande J., R. Núñez-Escobar, J. Etchevers-Barra, G. Baca-Castillo. 2001. Evaluación del extracto líquido de estiércol bovino como insumo de nutrición vegetal en hidroponía. *Agrociencia* 35(3): 287-299.
- Estrada-Botello M. A., I. Nikolskii-Gavrilov, F. Gavi-Reyes, J. D. Etchevers-Barra y O. L. Palacios-Vélez. 2002. Balance de nitrógeno inorgánico en una parcela con drenaje subterráneo en el trópico húmedo. *Terra* 20:189-198.
- Etchevers, B. J. 1988. Análisis químicos de suelos y plantas. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 212 pp.
- Fortis-Hernández, M., J. A. Leos-Rodríguez, P. Preciado-Rangel, I. Orona-Castillo, J. A. García-Salazar, J. L. García-Hernández, J. A. Orozco-Vidal. 2009. Aplicación de abonos orgánicos en la producción de maíz forrajero con riego por goteo. *Terra Latinoamericana* 27 (4): 329-336.
- Galindo, A., C. Jerónimo, E. Spaans y M. Weil. 2007. Los abonos líquidos fermentados y su efectividad en plántulas de papaya (*Carica papaya* L.). *Tierra Tropical* 3 (1): 91-96.
- Griffin, T., E. Giberson, and M. Wiedenhoef. 2002. Yield responses of long-term mixed grassland swards and nutrient cycling under different nutrient sources and management regimes. *Grass Forage Science* 57:268–278.

- Hjorth M., K.V. Christensen, M.L. Christensen, S.G. Sommer. 2010. Solid–liquid separation of animal slurry in theory and practice. A review. *Agronomy Sustainable Development* 30:153–180.
- Hjorth M., A.M. Nielsen., T. Nyord, M.N. Hansen, P. Nissen, S.G. Sommer. 2009. Nutrient value, odour emission and energy production of manure as influenced by anaerobic digestion and separation. *Agronomy for Sustainable Development* 29, 329–338.
- Kuehl R.O. 1994. *Statistical principles of research design and analysis*. ITP, Belmont, California. 686 p.
- León-Nájera J. A, J. E. Poot-Matu, M. A. Estrada-Botello, R. Gómez-Álvarez, A. Martínez-Morales, M. A. Pérez-Méndez, M. A. Mijangos-Cortés. 2010. Características químicas del abono líquido fermentado de estiércol porcino. En: Cuesto, W. J. A.; L. V. Macías G.; O. E. Ortiz R. (comps.). V Reunión Nacional de Innovación Agrícola Memoria. Reuniones Nacionales de Investigación e Innovación Agroalimentaria y Forestal en México. 22-27 de noviembre de 2010. p. 137.
- Manugistics Inc. 2000. *Statgraphics Plus Versión 5.1*. Rockville, MD, Estados Unidos de Norteamérica. Consultado el 10 de junio de 2010. www.statgraphics.com
- Matsi T., A. S. Lithourgidis, and A. A. Gagianas. 2003. Effects of Injected Liquid Cattle Manure on Growth and Yield of Winter Wheat and Soil Characteristics. *Agronomy Journal* 95:592–596.
- Medina J. D. 2005. Manejo de estiércol de ovino mediante dos especies de lombriz; (*Eisenia foetida*) y una nativa. Tesis de licenciatura. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia Michoacán. 60p.
- Møller H.B., J.D. Hansen, C.A.G. Sørensen. 2007a. Nutrient recovery by solid-liquid separation and methane productivity of solids, *Trans. ASABE* 50: 193–200.
- Møller H.B., I. Lund, S.G. Sommer. 2000. Solid–liquid separation of livestock slurry: efficiency and cost. *Bioresource Technology* 74: 223–229.
- Randall, G.W., T.K. Iragavarapu, and M.A. Schmitt. 2000. Nutrient losses in subsurface drainage water from dairy manure and urea applied for corn. *Journal Environmental Quality* 29:1244–1252.
- Simpson, K. 1986. *Abonos y estiércoles*. Acribia. Zaragoza, España. 155 p.
- Sørensen, C.G., B.H. Jacobsen, S.G. Sommer. 2003. An assessment tool applied to manure management systems using innovative technologies, *Biosystems Engineering* 86, 315–325.

- Sutton, A.L., D.W. Nelson, D.T. Kelly, and D.L. Hill. 1986. Comparison of solid vs. liquid dairy manure applications on corn yield and soil composition. *Journal Environmental Quality* 15:370–375.
- Yokoyama, H., H. Ohmori, M. Ishida, M. Waki, and Y. Tanaka. 2006. Treatment of cow-waste slurry by a microbial fuel cell and the properties of the treated slurry as a liquid manure. *Animal Science Journal* 77: 634–638.
- Zar J.H. 1984. *Biostatistical analysis*. Prantice Hall, Inglewood Cliffs, N.J. 718 p.

Cultivo de tejidos vegetales *in vitro* para la propagación de orquídea (*Laelia anceps* Lindl)

Plant propagation for orchid (*Lailia anceps* Lindl) by *in vitro* tissue culture

Aguilar Jiménez Daniel^{1*}, José Luis Rodríguez de la O²
y José Guadalupe Álvarez Moctezuma².

¹Universidad Tecnológica de Izúcar de Matamoros, Programa Educativo de Agrobiotecnología. Puebla C.P. 74420. ²Departamento de Fitotecnia. Departamento de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. de México C.P. 56230. *E-mail: yolot777@hotmail.com

Resumen. Como una estrategia *in vitro* para recuperar, multiplicar y preservar especies vegetales amenazadas, en el caso de la orquídea (*Lailia anceps* Lindl), se buscó optimizar la mejor combinación de medios de cultivo, reguladores y coadyuvantes de la brotación a partir de semillas germinadas *in vitro*. Empleando como medio básico, las sales inorgánicas de Murashige y Skoog (MS) suplementado con vitaminas de Wetmore y Sorokin (WS), con 3 % (w/v) de azúcar de mesa, 0.7% (w/v) agar-agar, 100 mg.L⁻¹ de myo-inositol y 0.40 mg.L⁻¹ de tiamina-HCl. Se evaluó el efecto del ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D), 6-benzyl aminopurina (BA), kinetina (K), sulfato de adenina (SA) extracto de malta (EM) y caseína hidrolizada (CH), en la multiplicación y longitud de brotes, así como en la multiplicación y longitud de las raíces obtenidas. La mejor respuesta para promover tanto la longitud de brotes, número y longitud de raíces fue cuando se emplearon en fase semisólida las sales MS 100%, 0.3 mg.L⁻¹ 2,4-D y 1g.L⁻¹ de carbón activado (CA). La proliferación de nuevos brotes y de protocormos fue promovida con la adición de 500 mg.L⁻¹ de EM y con 0.3 mg.L⁻¹ de K; además, este tratamiento originó mayor longitud de raíces con excelente vigor.

Palabras clave: Multiplicación *in vitro*, brotación, coadyuvantes, vitaminas, sales inorgánicas.

Abstract. As a strategy *in vitro* to recover, to multiply and to preserve threatened vegetable species, in the case of the orchid (*Lailia anceps* Lindl), the objective of this work was optimize the best combination of medium culture, regulators of growth,

and sprouting promoters, starting from seeds germinated *in vitro*. Using like basic medium, the inorganic salts of Murashige and Skoog (MS), supplemented with the vitamins of Wetmore and Sorokin (WS), with 3% of sugar, 100 mg.L⁻¹ of myo-inositol and 0.40 mg.L⁻¹ of thiamine-HCL. It was evaluated both the number as the length of buds, as well as the number and the length and the obtained roots. To evaluate this responses, it was used a model of regressions of type polynomial statistically $p \leq 0.01$ and variance analysis for each treatment with the significant minimum difference (DMS) with $p = 0.05$ for the of media comparison. The regulators of growth utilized are BA, 2,4-diclorofenoxiacetic (2,4-D) and kinetin (K); the sprouting promoters utilized are extract of malt (EM), hydrolyzed casein and adenine sulfate; and the medium of culture to evaluate are the salts MS to 100% in phase solid and semisolid. The best responses to promote the length of buds so much, number and length of roots was when they were used medium in phase semisolid with the salts MS to 100%, and 0.3 mg.L⁻¹ of 2,4-Diclorofenoxicetic acid (2,4-D), and 1.0 g.L⁻¹ of charcoal activated. The proliferation of new buds and of protocorms it was obtained with the addition of 500 mg.L⁻¹ of extract of malt (EM), and with 0.3 mg.L⁻¹ of kinetin (K), also obtained a bigger length of roots was presenting an excellent strength.

Key Words: Multiplication *in vitro*, sprouting, promoters, vitamins, inorganic salts.

Introducción

Las orquídeas son plantas que pertenecen a la familia *Orchidaceae*, dentro de las especies silvestres de alto potencial económico se encuentran las que pertenecen al género *Laelia*, (Villalobos *et al.*, 1994), que se distinguen por tener inflorescencias decorativas (Soto y Hágsater, 1990; López, 1995). Sin embargo, muchas de éstas se encuentran amenazadas o en peligro de extinción debido a la sobreexplotación, el comercio ilegal, la destrucción del hábitat (Sánchez *et al.*, 2002), difícil reproducción de las orquídeas de manera natural ya que las cápsulas son raramente formadas como consecuencia de la baja polinización y fertilización de los óvulos, aunado a ello, la necesidad de las semillas de requerimientos climáticos y bióticos (micorrizas) muy particulares para que por lo menos una pequeña cantidad de éstas germine (Larson, 2004). Por lo tanto, una de las técnicas más usadas en la reproducción de orquídeas es la germinación *in vitro* ya que con ello se obtienen y regeneran individuos viables de muchas especies, conservándolas y multiplicándolas en pequeños espacios bajo condiciones ambientales y de nutrición controladas (Vidalie H., 1986; Pierik, 1990). Sin embargo, Villalobos *et al.*, (1994) mencionan que aún no se cuenta con medios que faciliten un adecuado desarrollo de estas plantas. Es por ello que como

una estrategia *in vitro* para recuperar, multiplicar y preservar especies vegetales amenazadas, como el caso de la orquídea *L. anceps* L.

Por lo anterior el objetivo de este trabajo fue evaluar la acción e interacción de dos consistencias del medio de cultivo con reguladores de crecimiento vegetal y coadyuvantes de la brotación en el crecimiento y desarrollo de protocormos a partir de la germinación de semillas *in vitro* de *L. anceps* Lindl.

Materiales y métodos

Origen del material vegetal. La presente investigación se realizó en el Laboratorio de Cultivo de Tejidos Vegetales perteneciente al Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo con protocormos obtenidos a partir de la germinación de semillas *in vitro* de *L. anceps* L. Las semillas fueron colectadas en Xalapa Veracruz, México.

Condiciones de cultivo. El medio de cultivo que se empleó fue el de Murashige and Skoog (1962) al 100%, complementado con tiamina 1.0 mg.L^{-1} , inositol 100 mg.L^{-1} , azúcar de mesa 30 g.L^{-1} , 0.7% de agar y vitaminas WS 1.0 mg.L^{-1} ; ajustando la solución final a un pH de 5.7 ± 0.1 . Para el medio de consistencia semisólida se usó 0.35% de agar. Después de diluir el agar en el medio nutritivo, éste se vertió en frascos gerber en una cantidad de 20 ml/frasco y se taparon con tapas de polipropileno para esterilizarse por 20 minutos en una autoclave de vapor de agua tipo horizontal a 121°C y 1.5 kg.cm^2 de presión. Una vez cultivados los explantes *in vitro* fueron incubados a $26 \pm 2^\circ\text{C}$ con 18 horas de luz fluorescente. El experimento se constituyó por 9 tratamientos con las sales minerales MS 100% (1962) como medio básico y con reguladores de crecimiento vegetal y coadyuvantes de la brotación (Cuadro 1). El medio de consistencia semisólida sólo se experimentó con 2,4-D. Con estos tratamientos se evaluaron: número y longitud de brotes y de raíz, y nivel de diferenciación.

Análisis estadístico. En este trabajo de investigación, para las respuestas se utilizó el modelo de regresiones de tipo polinomial con significancia de $p \leq 0.01$, con los datos obtenidos cada dos semanas de incubación, ± 1 -2 días. Se utilizó un análisis de varianza completamente al azar en la evaluación del efecto final de cada tratamiento sobre las variables estudiadas, utilizando la comparación de medias DMS ($p = 0.05$) para comparar los efectos medios de los tratamientos.

Cuadro 1.

Tratamientos evaluados en la propagación *in vitro* de la orquídea *L. anceps* L.

No.	Medio de cultivo	Sustancia a evaluar	% de agar
1	MS (1962) 100%	BA 0.3 mg.L ⁻¹	0.70%
2	MS (1962) 100%	Extracto de malta (500 mg.L ⁻¹ + kinetina 0.3 mg.L ⁻¹)	0.70%
3	MS (1962) 100%	Caseína hidrolizada (500 mg.L ⁻¹ + kinetina 0.3 mg.L ⁻¹)	0.70%
4	MS (1962) 100%	Sulfato de adenina (80 mg.L ⁻¹ + BA 0.3 mg.L ⁻¹)	0.70%
5	MS (1962) 100%	Sulfato de adenina (160 mg.L ⁻¹ + BA 0.3 mg.L ⁻¹)	0.70%
6	MS (1962) 100%	2,4-D (0.1 mg.L ⁻¹ + carbón activado 1 g.L ⁻¹)	0.70%
7	MS (1962) 100%	2,4-D (0.3 mg.L ⁻¹ + carbón activado 1 g.L ⁻¹)	0.70%
8	MS (1962) 100%	Carbón activado (0 mg.L ⁻¹)	0.70%
9	MS (1962) 100%	Carbón activado (1 g.L ⁻¹)	0.70%

Resultados y discusión

Efecto de los tratamientos testigo. El tratamiento con las sales inorgánicas MS 100% (v/v) y CA favorece el crecimiento de raíces pero ya formadas, pues en donde aún no había presencia de ellas sólo ayudó al incremento del material vegetal con el desarrollo de algunos brotes. El medio de cultivo MS 100% (v/v) sin CA tuvo respuestas similares al tratamiento anterior (Cuadro 2). Sin embargo, el medio MS 100% (v/v) y CA favorecieron el crecimiento de raíces y la longitud de brotes gracias al obscurecimiento que le da al medio para un mejor desarrollo radicular y nunca originó oxidación de los brotes y protocormos cultivados. Al respecto Pierik (1990) menciona que el carbón activado frecuentemente favorece la estimulación del crecimiento en especies leñosas, pero en *L. anceps* L. que es una especie herbácea, no originó respuestas significativas con relación al tratamiento que contiene únicamente la sales inorgánicas MS 100% (v/v) (Cuadro 2).

Efecto del extracto de malta y caseína hidrolizada más kinetina. El medio de cultivo MS más kinetina con EM fue eficaz y superior estadísticamente a todos los otros tratamientos en promover la proliferación de brotes *in vitro* a partir de protocormos de *L. anceps* L. También ayuda a que se desarrollen nuevos protocormos para futuros subcultivos y a su diferenciación en plántulas completas (Figura 1a) proporcionándoles raíces con excelente vigor y longitud pero en poca cantidad (Figura 1b y Cuadro 2) no encontrándose diferencias de interés estadístico respecto a CH, pero sí con relación a los demás tratamientos en esta variable, por lo que los resultados concuerdan con lo citado por Nieves *et al.*, (2001), Mroginski *et al.*, (2002), Arditti (1983) y Hartmann y Kester (2001). Sin embargo, CH presentó

oxidación en los protocormos y brotes cultivados *in vitro*, y las raíces originadas aunque también fueron de buena longitud, son delgadas respecto a las originadas con EM. Sin embargo, en *L. anceps* L., la obtención de brotes a partir de protocormos originados de la germinación de semillas *in vitro*, es mucho más eficiente al utilizarse un medio MS 100% (v/v), EM y K (Cuadro 2).

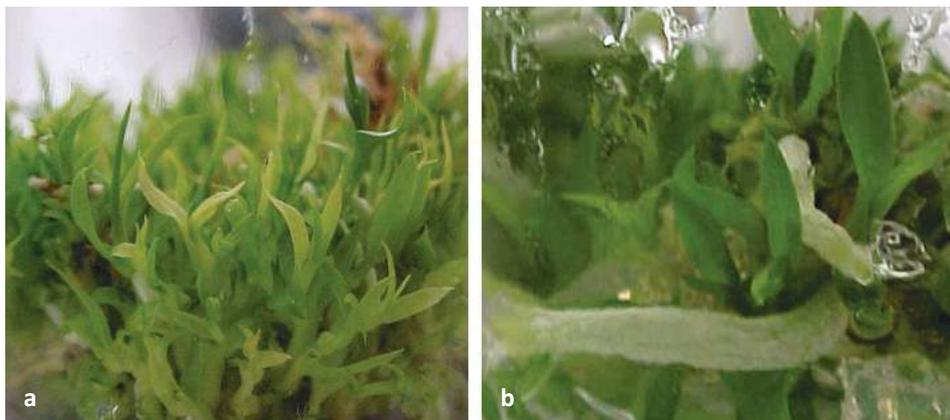


FIGURA 1. a) Formación de brotes a partir de protocormos *in vitro* de *Laelia anceps* con 500 mg.L⁻¹ EM y 0.3 mg.L⁻¹ K b) Raíces formadas en brotes *in vitro* de *Laelia anceps* con 500 mg.L⁻¹ EM y 0.3 mg.L⁻¹ K.

Efecto del sulfato de adenina y 6-benzyl aminopurina. El medio de cultivo con SA más BA favoreció la formación de brotes conforme se aumentó la concentración de SA. Sin embargo, cuando se baja la concentración favorece la elongación de los brotes pero no la formación de éstos. En protocormos sólo funcionó para su proliferación de manera similar al extracto de malta y a caseína hidrolizada, pero no fue eficaz para formar y/o desarrollarlos. Con respecto a la formación y longitud de raíz en los brotes no tuvo gran efecto (Cuadro 2) y su capacidad para diferenciar los protocormos a brotes es baja y lenta. Al igual que el tratamiento con CH, originó oxidación en los protocormos y brotes cultivados. Skoog y Miller (1957), Nitsch *et al.*, (1969a), Nitsch (1968), Dolfus y Nicolas-Prat (1969), citados por Pierik (1990), mencionan que en algunos casos resulta favorable para la formación de vástagos, la combinación de citokinina y sulfato de adenina; pero en este caso, el SA en combinación con BA no fue eficaz en la obtención de brotes ó plántulas *in vitro* de *L. anceps* L. Sin embargo, BA sin combinación con SA sí fue favorable en la formación de brotes a partir de protocormos ya que, aunque fue en poca cantidad y pequeños (Cuadro 2), estos se diferenciaron bien por lo que sí se está de acuerdo con Tanaka

y Sakanishi (1977, 1985) citados por Pierik (1990), quienes también mencionan esta función de BA sobre fragmentos de hojas en vástagos jóvenes de la orquídea *Phalaenopsis*. Mientras que Arriaga *et al.* (2005) mencionan que la combinación de ANA y BA como reguladores son eficientes para la producción de pseudobulbos y para la obtención de un buen número de brotes en *Laelia autumnales*. Sin embargo en *Laelia anceps* L no fue así tal vez por la falta de una auxina en combinación con BA en el medio de cultivo; además estos autores la han utilizado en una concentración más elevada para favorecer la longitud de plántulas en *Laelia autumnales*.

Efecto del ácido 2,4-Diclorofenoxiacético y carbón activado. En lo que concierne al 2,4-D, al incrementarse la cantidad de éste en el medio nutritivo favorece más la organogénesis de protocormos de *Laelia anceps* L derivados de semillas germinadas *in vitro*, ya que resultó ser el mejor tratamiento en la mayor concentración (0.3 mg.L^{-1}) en casi todas las variables estudiadas; a excepción de la variable multiplicación de brotes o protocormos, pues en esta variable no favoreció la proliferación de brotes ni protocormos sino una excelente diferenciación de ellos proporcionándoles una buena longitud, formación y longitud de raíces (Cuadro 2 y Figura 2a y Figura 2b) de manera similar a lo mencionado por Bapat y Narayanaswamy (1977), Chang y Chang (1998) y Lee y Lee (2003), además, nunca originó oxidación en los protocormos y brotes cultivados. Por ser de efecto fuerte, a bajas concentraciones favoreció el crecimiento de brotes *in vitro* en *Laelia anceps* L y no promovió la formación de callo como lo que cita Pierik (1990) y Jacques (1988). También Arditti (1983) menciona al 2,4-D en la propagación de plantas del género *Laelia* y en la diferenciación de plántulas a partir de secciones de callo en *Epidendrum*.

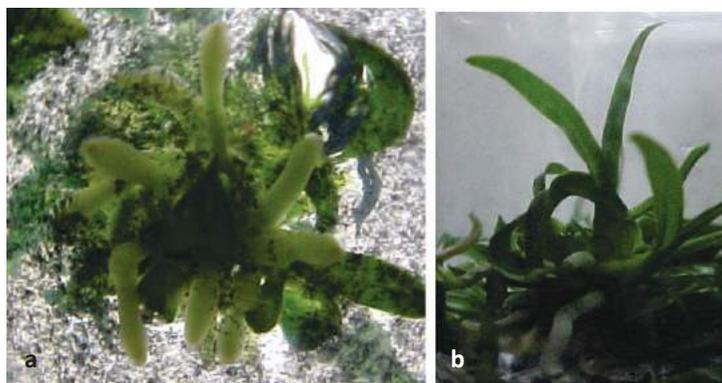


FIGURA 2. a) Raíces formadas en brotes *in vitro* de *Laelia anceps* con 0.3 mg.L^{-1} 2,4-D y 1 g.L^{-1} CA en un medio de consistencia semisólida b) Brotes obtenidos a partir de protocormos *in vitro* de *Laelia anceps* con 0.3 mg.L^{-1} 2,4-D y 1 g.L^{-1} CA en un medio de consistencia semisólida.

Sin embargo, en éste experimento, el tratamiento con 0.1 mg.L^{-1} 2,4-D no ejerció ningún efecto positivo en la formación y longitud de raíz porque el CA, de acuerdo con lo que menciona Jaques (1988), puede absorber a los reguladores de crecimiento que se encuentran en el medio de cultivo, y por haber sido menor la cantidad de 2,4-D en este tratamiento, no fue suficiente para vencer la capacidad de absorción del CA.

Efecto de la consistencia de los medios de cultivo. En cuanto al empleo de un medio de consistencia sólida y otro de consistencia semisólida, el crecimiento y desarrollo de los protocormos *in vitro* de *Laelia anceps* L resultó ser mejor combinando el medio semisólido con 0.3 mg.L^{-1} 2,4-D más CA (Cuadro 3), resultados parecidos a los mencionados por Pateli *et al.*, (2003) en *Epidendrum radicans* y Arditti (1983) en orquídeas del género *Vanda*. Y aunque no hay una diferencia estadística de interés entre un medio y otro en esta investigación, este tratamiento tanto en el medio de consistencia sólida como semisólida, ocasionó una coloración amarillenta en la base central de las hojas después de 6 semanas de incubación ya que el 2,4-D es de efecto fuerte (Pierik, 1990) y por lo tanto, pudo causar intoxicación en los tejidos vegetales.

Cuadro 2.
Efecto final de cada tratamiento en brotes *in vitro* de *Laelia anceps* L.

Tratamiento	Media aritmética								
	No. de brotes	Longitud de brotes (cm.)	No. de raíz	Longitud de raíz (cm.)					
Extracto de malta (500 mg.L ⁻¹ + kinetina 0.3 mg.L ⁻¹)	20 ± 3	a	2.9 ± 0.1	bc	15 ± 3	abc	1.5 ± 0.9	a	a
Caseína hidrolizada (500 mg.L ⁻¹ + kinetina 0.3 mg.L ⁻¹)	15 ± 1	b	2.6 ± 0.1	de	17 ± 3	ab	1.25 ± 0.55	abc	abc
Sulfato de adenina (160 mg.L ⁻¹ + BA 0.3 mg.L ⁻¹)	10.5 ± 3.5	c	2.2 ± 0.2	g	2 ± 2	def	0.2 ± 0	gh	gh
Sulfato de adenina (80 mg.L ⁻¹ + BA 0.3 mg.L ⁻¹)	4.5 ± 0.5	hi	2.7 ± 0.1	d	2 ± 2	defg	0.2 ± 0	g	g
2,4-D (0.3 mg.L ⁻¹ + carbón activado 1 g.L ⁻¹)	9.5 ± 2.5	cd	4.4 ± 0.3	a	17 ± 3	a	1.4 ± 0.7	ab	ab
2,4-D (0.1 mg.L ⁻¹ + carbón activado 1 g.L ⁻¹)	7.5 ± 1.5	cde	3 ± 0.2	b	0 ± 0	i	0 ± 0	i	i
BA 0.3 mg.L ⁻¹	6.5 ± 0.5	ef	1.2 ± 0.1	i	3 ± 2	d	0.7 ± 0.1	abcde	abcde
Sales minerales MS 100% (v/v) y 1.0 g.L ⁻¹ CA	6 ± 1	efg	2.6 ± 0.1	def	3 ± 1	de	0.85 ± 0.45	abcd	abcd
Sales minerales MS 100% (v/v) y 0.0 g.L ⁻¹ CA	5 ± 1	gh	2.1 ± 0.2	gh	2 ± 1	defgh	0.6 ± 0.2	abcdef	abcdef

Respuestas de brotes *in vitro* de *Laelia anceps* L., por tratamiento (Media aritmética ± Desviación estándar). Los tratamientos que tienen la misma letra, no son estadísticamente diferentes (DMS, P=0.05).

Conclusiones

El ácido 2,4-diclorofenoxiacético 0.3 mg.L⁻¹ + carbón activado 1 g.L⁻¹ en un medio de cultivo MS (1962) 100% y de consistencia semisólida es viable tanto para la longitud de brotes como para el número y longitud de raíz; además de ser un excelente estimulador de la diferenciación *in vitro* de protocormos de *Laelia anceps* L en órganos (raíz y hojas) en poco tiempo. El extracto de malta 500 mg.L⁻¹ + kinetina 0.3 mg.L⁻¹ en un medio de cultivo MS (1962) 100%, es factible tanto para la proliferación de protocormos de *Laelia anceps* L con capacidad de diferenciarse, así como en la producción de raíces con excelente vigor y longitud. El ácido 2,4-diclorofenoxiacético por ser de efecto fuerte, a bajas concentraciones favorece la propagación *in vitro* de la orquídea *Laelia anceps* L.

Cuadro 3.

Efecto final de los tratamientos de consistencia sólida y semisólida en brotes *in vitro* de *Laelia anceps* L.

Tratamiento	Media aritmética							
	No. de brotes		Longitud de brotes (cm.)		No. de raíz		Longitud de raíz (cm.)	
0.0 mg.L ⁻¹ 2,4-D medio semisólido	6 ± 1	cdef	2.6 ± 0.1	cf	3 ± 1	cef	0.85 ± 0.2	cef
0.0 mg.L ⁻¹ 2,4-D medio sólido	5 ± 1	e	2.3 ± 0.1	e	4 ± 1	e	0.7 ± 0.3	ce
0.3 mg.L ⁻¹ 2,4-D medio semisólido	7.5 ± 1.5	abcd	3 ± 0.2	ad	0 ± 0	d	0 ± 0	d
0.3 mg.L ⁻¹ 2,4-D medio sólido	7.5 ± 1.5	abc	2.7 ± 0.1	c	2 ± 1	c	0.6 ± 0.4	c
0.1 mg.L ⁻¹ 2,4-D medio sólido	9.5 ± 2.5	ab	4.4 ± 0.3	b	17 ± 3	ab	1.4 ± 0.7	ab
0.1 mg.L ⁻¹ 2,4-D medio semisólido	9.5 ± 2	a	3.1 ± 0.2	a	14 ± 2	a	1.7 ± 0.4	a

Respuestas de brotes *in vitro* de *Laelia anceps* L., por tratamiento (Media aritmética ± Desviación estándar). Los tratamientos que tienen la misma letra, no son estadísticamente diferentes (DMS, P=0.05).

Literatura citada

- Arditti J. 1983. *Orchid Biology*. Cornell University Press. 2ª impresión. New York. 310 p.
- Arriaga O. S. E.; Santos M. E. P.; Palomares Ma. E. A.; Palomares U. A.; Fernández I. V. 2005. Evaluación de reguladores del crecimiento, sacarosa, sales minerales y medios sólido y líquido en la micropropagación de *Laelia autumnalis*. En: Guillen-Andrade, H; López-Medina, J; Ramírez-Mandujano, C.A; Pedraza-Santos, M.C. (compiladores). X Congreso Nacional y III Internacional de Horticultura Ornamental. Facultad de Agrobiología. Uruapan, Michoacán, México.
- Bapat V. A.; Narayanaswamy S. 1977. Rhizogenesis in a Tissue Culture of the Orchid *Spathoglottis*. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*. 104. 1. 2-4.
- Chan C.; Chang W. C. 1998. Plant regeneration from callus culture of *Cymbidium ensifolium* var. *misericors*. *Plant Cell Reports*. Springer Berlin/Heidelberg. Vol. 17(4): 251-255.
- Hartman H. T.; Kester D. E. 2001. *Propagación de plantas*. 2ª edición. CECSA. México. pp: 549-618.
- Jacques M. 1988. *Multiplicación Vegetativa y Cultivo In Vitro*. Los Meristemos y la Organogénesis. Mundi-Prensa. Madrid, España. 232 p.
- Larson A. R. 2004. *Introducción a la Floricultura*. 3ª reimpresión. EGT EDITOR, S.A. 551 p.
- Lee Y.; Lee N. 2003. Plant regeneration from protocorm-derived callus of *Cypripedium formosanum*. *In Vitro Cellular and Developmental Biology Plant*. 39: 475-479.
- López V. A.; Sosa M. C.; Mejía J. M. 1995. Plantas del Sureste de México con Potencial Ornamental: Orquídeas. *Revista Chapingo. Serie horticultura* 3: 45-56.
- Mroginski E.; Beltrán V. M.; Diamante A.; Zubrzycki H. 2002. Embriogénesis somática a partir de callos nucleares y regeneración de plantas cítricas. En: www.embrio_lab_biotechnologia/citrus/25g.htm.
- Murashigue T. and Skoog F. 1962. A revised medium for rapid growth and bio-assays with tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum* 15: 473-497.
- Nieves R. N.; Lorenzo F. J.; Blanco J. M. A.; González O. J. L.; Tapia T. R.; González F. A. 2001. Composición de un endospermo artificial para embriones de mandarina "Cleopatra" (*Citrus reshni* Hort ex tan). *Rev. Fac. Agron.* 27: 11-15.
- Pateli P.; Papafotiou M.; Chronopoulos J. 2003. Influence of *in vitro* culture medium on *Epidendrum radicans* seed germination, seedling growth and *ex vitro* establishment. *Acta Horticulturae* 616: 189-192.
- Pierik R. L. M. 1990. *Cultivo In Vitro de las Plantas Superiores*. Mundi-Prensa. Madrid, España. 325 p.

- Sánchez M. A.; Sarmiento M.; Andrews J. M. 2002. Orquídeas de Campeche. INIFAP. México, D.F. pp: 15-96.
- Soto M. A.; Hágsater E. 1990. Algunas ideas acerca de la conservación de las orquídeas mexicanas y un listado preliminar de los taxa amenazados. En: Áreas Naturales Protegidas en México y Especies en Extinción. J L Camarillo y F Rivera (eds.). UNAM. pp: 155-172.
- Vidalie H. 1986. Cultivo *In Vitro*. Científica S.A. de C.V. 191 p.
- Villalobos L. A.; Mejía J. M.; Sosa M. C. 1994. Cultivo de Tejidos de Orquídeas: *Cattleya*, *Eneyelia*, *Oncidium* y *Stanhopea*. Revista Chapingo. Serie Horticultura 1: 58-62.

Evaluación de la actividad exopeptidasa durante la germinación de cacao criollo (*Theobroma cacao* L.)

Evaluation of exopeptidase activity during the germination of cacao criollo (*Theobroma cacao* L.)

Sánchez-Mundo María de la Luz^{1*}, Consuelo Bautista-Muñoz²
y María Eugenia Jaramillo-Flores³.

¹Instituto Tecnológico Superior de Las Choapas. Carretera Las Choapas-Cerro de Nanchital Km 6, Col. J. Mario Rosado, Las Choapas, Ver. tels. 01 (923) 32-32010 al 32017; Fax: 01 (923) 32-32018. ²Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. ³Escuela Nacional de Ciencias Biológicas-Instituto Politécnico Nacional. Unidad Profesional Lázaro Cárdenas, Prolongación de Carpio y Plan de Ayala s/n, Col. Santo Tomas C.P. 11340 Del. Miguel Hidalgo, D.F. Email: qfbluzsanchez@hotmail.com

Resumen. Durante la germinación de cacao (*T. cacao* L.) ocurren una serie de reacciones de hidrólisis de las sustancias de reserva para generar moléculas más simples y asimilables para el embrión. En cacao se ha propuesto que los precursores del aroma, son generados a partir de la degradación de la albúmina (7S) tipo vicilina por enzimas presentes en las semillas maduras del cacao. En el presente trabajo, la actividad (UI) de Xaa-prolil dipeptidil aminopeptidasa (Xaa-Pro-DAP), el contenido de humedad (X) y la actividad de agua (a_w) fueron monitoreados durante 15 días, con el objetivo de evaluar la actividad enzimática y su relación con X y a_w en el proceso de germinación. Se observaron tres etapas de germinación: la primera (1-7 días) con un contenido de humedad de 0.58 gH₂O/gss seguida de una segunda etapa (8-10 días) con actividad enzimática de 13 UI y los valores más altos de contenido de humedad y a_w (1.32 gH₂O/gss y 0.98 respectivamente). Una tercera etapa (11-15 días) en la cual ocurre una disminución de actividad exopeptidasa (4.4 UI) y contenido de humedad (0.96 gH₂O/gss) incrementándose ambos en el día 15 de germinación debido a la aparición de la radícula. En el proceso de germinación se detectaron concurrentemente valores máximos y mínimos de la actividad de Xaa-Pro-DAP y el contenido de humedad, la relación de ambos parámetros indican diferentes niveles de interacción agua-proteína. En el día 10 de germinación se detectó la máxima actividad exopeptidasa Xaa-Pro-DAP, sugiriendo el día de germinación para estudios de aislamiento de la enzima.

Palabras claves: semillas de cacao, germinación, actividad enzimática, actividad de agua

Abstract. During germination cacao (*T. cacao* L.) occurs hydrolysis reactions of storage proteins to generate assimilable simple molecules for the embryo. In cacao the aroma precursors are derived from albumin (7S) viciline-class degradation by enzymes, present in mature seeds of cacao. In this work, the activity (IU) of Xaa-Proлил dipeptidil aminopeptidase (Xaa-Pro-DAP), water content (X) and water activity (a_w) of germinating cocoa beans were monitored during 15 days with the objective to evaluate the enzymatic activity and its relation with the X and a_w during germination process. Three stages of germination with presence of peaks of water content and enzyme activity were observed; the first one (1-9 days) in which water imbibitions up to moisture contents of 0.58gH₂O/gds were detected, followed by a second stage (9-10 days) in which a pronounced enzyme activity (13 IU) was found and the maximum water content and a_w value observed (1.32 gH₂O/gds and 0.98 respectively). A third stage was observed within 10-15 days of germination in which a decrement in exopeptidase activity (4.4 IU) and water content were observed (0.96 gH₂O/gds), in the day 15. In enzyme activity and water content markedly increased due to the apparition of the radicle. In the germination process the Xaa-Pro-DAP activity and water content showed concurrently maximum and minimum values in their relation indicate different levels of water-protein interactions. The maximum exopeptidase activity value was detected in the 10 day of germination suggesting the day for isolating studies of enzyme.

Key words: cacao seeds, germination, enzymatic activity, water activity

Introducción

La semilla de cacao posee un tipo de germinación epigea, en la cual ocurre un alargamiento del hipocótilo que lleva a los cotiledones y la yema embrionaria por encima del nivel del suelo. Durante el proceso de germinación tienen lugar una serie de reacciones metabólicas de hidrólisis que transforman las sustancias nutritivas de reserva en moléculas más sencillas y asimilables para el embrión. La hidrólisis de las proteínas de reserva es catalizada por diferentes tipos de enzimas proteolíticas, agrupados bajo el nombre de peptidasas. A medida que progresa la germinación, las fracciones proteínicas de reserva se transforman en otras de menor peso molecular, especialmente pequeños péptidos y aminoácidos. Estas proteínas de reserva acumuladas en la semilla durante su desarrollo, sirven como fuente de nitrógeno, azufre y carbono durante la germinación de la propia semilla (Shotwell y Larkins, 1988). Se ha reportado que en las semillas dicotiledóneas, como en el caso del cacao, la degradación de las proteínas de reserva (albúmina y globulina-tipo

vicilina) da lugar a la acumulación de aminoácidos libres en los cotiledones (Bewley *et al.*, 1997). Se ha propuesto que los precursores del aroma, son derivados a partir de la degradación de la albúmina (7S) clase vicilina contenida en la semilla de cacao y que esta degradación es realizada por enzimas con actividad de proteinasa aspártica, carboxipeptidasa y aminopeptidasa, las cuales están presentes en las semillas maduras del cacao no germinado (Voigt *et al.*, 1994).

Existen pocos reportes acerca de la identificación de las enzimas implicadas durante el proceso de germinación de las semillas de cacao (*Theobroma cacao* L.), tal es el caso de la enzima Xaa-prolil dipeptidil aminopeptidasa (Xaa-Pro-DAP) que hasta ahora no había sido reportada en cacao. Las Xaa-Pro-DAP's son enzimas que catalizan la liberación de dipéptidos del extremo amino terminal de polipéptidos que contienen prolina en penúltima posición. La evaluación de la actividad Xaa-Pro-DAP durante la germinación de cacao contribuirá a conocer su posible papel en la degradación de proteínas de reserva de la semilla; la participación de la Xaa-Pro-DAP en la degradación y/o movilización de proteínas es una función que sido atribuida en otras plantas (Ramakrishna, 2007). El objetivo fue evaluar los niveles de actividad proteolítica de Xaa-Pro-DAP durante el proceso de germinación de la semilla de cacao criollo, además del contenido de humedad y la actividad de agua; los resultados obtenidos servirán de antecedente para el aislamiento y estudio de las enzimas en cacao.

Materiales y métodos

Material Biológico. Se utilizó semillas de cacao (*Theobroma cacao* L.) provenientes de plantas del genotipo criollo almendra blanca, cultivado en el Rancho "La Joya" ubicada en la Ranchería Río Seco 1ª. Sección del Municipio de Cunduacán, Tabasco, México, entre las coordenadas 18°17'55'' latitud norte y 93°18'03''. El muestreo se llevó a cabo durante la segunda cosecha de los meses de marzo y abril de 2007 y 2010.

Condiciones de germinación. Se usaron semillas frescas desprovistas del mucílago, las cuales fueron lavadas 2 min con hipoclorito de sodio al 1% y lavadas tres veces con agua destilada estéril. Las semillas fueron puestas a germinar sobre agrolita húmeda en charolas germinativas a 25 °C con un periodo de luz/oscuridad de 12 h a temperatura ambiente. Las semillas germinadas fueron colectadas cada 24 h durante 15 días después de la imbibición (Laloi *et al.*, 2002). Durante todo el período de germinación se monitoreó diariamente la actividad enzimática de Xaa-Pro-DAP (UI), el contenido de humedad (X) y la actividad de agua (a_w).

Determinación de humedad (Método de termobalanza). El contenido de humedad se determinó en 3 semillas midiendo la pérdida de masa a 100 ° C, durante 2 h utilizando una termobalanza (Marca Brainweigh, modelo MB300, USA) hasta que la muestra alcanzó un peso constante (Nollet, 1996). El contenido de humedad se reportó como gramos de agua/gramos de sólidos secos (gH₂O/gss).

Determinación de actividad de agua (a_w). Las semillas germinadas (3 por repetición), fueron trituradas a homogeneidad y colocadas en pequeños recipientes para la determinación de actividad de agua (a_w) de acuerdo a el Método 978.18, AOAC, 2005 utilizando un equipo Aqualab 4TE de Decagon Device Inc. (Pullman, WA, USA) siguiendo las especificaciones del manual del fabricante.

Obtención de polvos secos cetónicos de cacao o polvos secos de acetona. Los polvos secos de acetona (PDA-Power Dry Acetone) se obtuvieron de acuerdo al método descrito por Hansen *et al.* (1998) y Sánchez *et al.* (2010) utilizando 3 semillas para cada ensayo durante los 15 días de germinación. Los PDA's obtenidos diariamente se utilizaron para obtener cada extracto enzimático.

Extracto enzimático. El extracto enzimático se obtuvo de acuerdo a Davy *et al.* (2000) con algunas modificaciones tales como el porcentaje de saturación con sulfato de amonio, el regulador de extracción y detergentes adicionados. El extracto enzimático fue precipitado a 40% de saturación de sulfato de amonio y dializado durante 24 h a 4°C (Davy *et al.*, 2000). La proteína obtenida fue dializada en una membrana de celulosa 10,000 MWCO contra regulador de fosfatos 20 mM (pH 7.0) con un flujo de 2 ml/min y concentrada por ultrafiltración en una celda de diafiltración de Millipore (Amicon® Millipore) conectada a un tanque de nitrógeno puro a una presión menor de 55 psi (Gallo *et al.*, 2005). En el extracto obtenido se cuantificó la concentración de proteína total y la actividad enzimática Xaa-Pro-DAP.

Determinación de actividad enzimática de Xaa-Pro-DAP. En el extracto enzimático la actividad de Xaa-Pro-DAP se determinó mediante la reacción con Alanina-prolina-*p*-nitroanilida (Ala-Pro-*p*NA; Bachem, Bubendorf, Switzerland). La *p*-nitroanilina liberada por la reacción fue medida espectrofotométricamente a 405 nm. Una unidad de Xaa-Pro-DAP (UI) fue definida como equivalente a 1µmol de *p*-nitroanilina del sustrato hidrolizado en 1 min a 37°C.

Determinación de proteínas. La concentración de proteína se determinó utilizando el método de Folin-Lowry modificado por Markwell *et al.* (1978). Se uso usando albúmina sérica como estándar y se midió la absorbancia a 280 nm.

Resultados y discusión

Durante el estudio se observaron tres etapas en el proceso de germinación con la presencia de máximos y mínimos en el contenido de agua y actividad enzimática, como se muestra en la Figura 1a y b. En la primera etapa (I) comprendida entre los días 1 y 7 de germinación se detectó un contenido de humedad inicial (día 1) de $0.55 \text{ gH}_2\text{O/gss}$ manteniéndose en promedio durante esta primera etapa (Figura 1b). Durante este periodo también se observó que a partir del tercer día de imbibición de la semilla, los cotiledones emergen del sustrato debido al crecimiento del hipocótilo, así mismo desaparece el color blanco de la semilla tornándose a color verde claro (Figura 1a), éste cambio se atribuye a la diferenciación de los cloroplastos en los cotiledones, transformándolos en órganos fotosintéticos actuando como si fueran hojas, correspondiente al tipo de germinación epigea que presenta el cacao (Herrera *et al.*, 2006). En el día 7, al final de la etapa (I) se identificaron los valores más bajos de humedad ($0.28 \text{ gH}_2\text{O/gss}$) y de actividad de agua (0.9695), sin embargo existe una actividad de agua considerable para que la semilla continúe el proceso germinativo y por otra parte las enzimas también comienzan a incrementar su actividad (3.55 UI) que es más evidente hasta los 10 días de germinación.

En la segunda etapa (II) comprendida entre 8-10 días de germinación, se detectó un incremento en la actividad enzimática, específicamente en el día 10 del proceso con valores de actividad Xaa-Pro-DAP de 13 UI que también coinciden con los valores máximos de contenido de agua y de actividad de agua, $1.32 \text{ gH}_2\text{O/gss}$ y 0.98 respectivamente (Figura 1b). Estos resultados indican que de acuerdo a las condiciones de germinación de cacao criollo en este estudio, en el día 10 de germinación existe una actividad proteolítica estimulada por los niveles de humedad y agua disponible para las reacciones propias del proceso germinativo. Además, durante este periodo se observó que la radícula penetra y atraviesa la cubierta del cotiledón, en algunos casos alcanza la ruptura del mismo, dando paso al desarrollo del epicótilo en los días siguientes. Estos resultados podrían estar relacionados con los reportes realizados por Biehl *et al.* (1982b) quienes mediante estudios de microscopía electrónica, indicaron que en el día 10 y hasta el día 13 de germinación de cacao, las proteínas vacuolares incrementaron su tamaño y se fusionaron en una vacuola central, la cual se observó ópticamente vacía en días posteriores. Una tercera etapa (III) se observó entre los días 11-15 de germinación, en el día 14 detectó una disminución en la actividad enzimática (4.44 UI) y en el contenido de humedad ($0.96 \text{ gH}_2\text{O/gss}$) y visualmente se aprecia el desarrollo del epicótilo; en el día 15 la actividad enzimática y el contenido de agua incrementaron marcadamente, posiblemente debido al inicio del siguiente proceso, el desarrollo de la plántula, esto coincide visualmente con la aparición de las primeras hojas (Figura 1a y 1b).

Conclusiones

Se detectaron valores máximos y mínimos de actividad enzimática y del contenido de agua, que sugiere la existencia de diferentes niveles de interacción agua-proteína durante el proceso de germinación, lo anterior se refleja en los diferentes niveles de actividad proteolítica detectados. Los mayores niveles de actividad de la Xaa-Pro-DAP fue observado durante la última etapa del periodo de germinación lo que sugiere que la enzima en conjunto con otras peptidasas, juega un posible papel en la degradación de las proteínas de reserva durante la germinación de las semillas de cacao. Así mismo, los resultados obtenidos en este estudio servirán de precedente para estudios posteriores sobre la caracterización de las enzimas presentes en cacao. Dado que la última etapa (III) corresponde a la iniciación de cambios morfológicos visibles, como la elongación del eje embrionario y emergencia de la radícula; la enzima puede estar involucrada en el desarrollo de la planta y expresada en otros órganos además de los cotiledones.

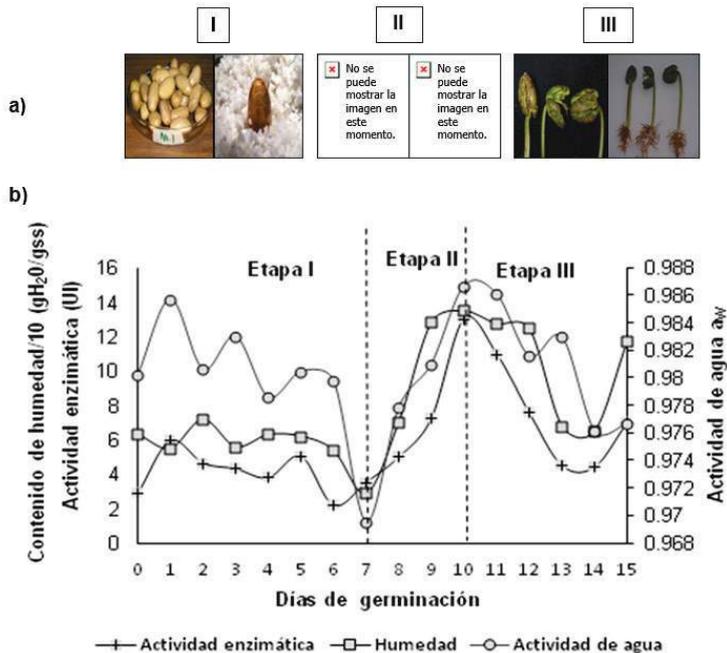


Figura 1. a) Cambios morfológicamente visibles ocurridos durante las tres etapas identificadas en el proceso de germinación de cacao (*T. cacao* L.) b) Representación gráfica de la actividad enzimática de Xaa-Pro-DAP, contenido de humedad y actividad de agua evaluados durante la germinación de semillas de cacao genotipo criollo almendra blanca.

Literatura citada

- AOAC Official Methods of Analysis of AOAC International, 18th ed., 2005. Method No. 978.18.
- Bewley, J. 1997. Seed germination and dormancy. *Plant Cell* 9:1055-1066.
- Biehl, B., Wewetzer, C., Passern, D. 1982b. Vacuolar (storage) proteins of cocoa seeds and their degradation during germination and fermentation. *J. Sci. Food Agri.* 33:1291-1304.
- Davy, A., Thomsen, K., Juliano, M., Alves, L., Svendsen, I. and Simpson, D. 2000. Purification and Characterization of Barley Dipeptidyl Peptidase IV. *Plant Physiol* 122:425-431.
- Gallo, G., De Angelis, M., McSweeney, P., Rosaria, M., Gobbetti, M. 2005. Partial purification and characterization of an X-prolyl dipeptidyl aminopeptidase from *Lactobacillus sanfranciscensis* CB1. *Food Chem* 91:535-544.
- Herrera, J., Alizaga, R. Guevara, E., Jimenez, V. 2006. Germinación y crecimiento de la planta. 1^a ed. Editorial Universidad de Costa Rica. Costa Rica. P. 18-22.
- Laloi, M., McCarthy, J., Morandi, O., Gysler, C. and Bucheli, P. 2002. Molecular and biochemical characterization of two aspartic proteinases TcAP1 y TcAP2 from *Theobroma cacao* seeds. *Planta* 215:754-762.
- Markwell, M., Haas, S., Bieber, L. and Tolbert, N. 1978. A modification of the Lowry procedure to simplify protein determination in membrane and lipoprotein samples. *Anal Biochem* 87:206-210.
- Nollet, L.M. 1996. Handbook of Food Analysis. M. Dekker, Nueva York.
- Ramakrishna, V. 2007. Mobilization of albumins and globulins during germination of Indian bean (*Dolichos lablab* L. var. *lignosus*) seeds. *Acta Botan Croat* 66 (2):135-142.
- Sánchez-Mundo, M.L, Bautista-Muñoz, C. and Jaramillo-Flores, M.E. 2010. Characterization of the exopeptidase activity existing in *Theobroma cacao* L. *Process Biochem* 45 (7):1156-1162.
- Shotwell, M., Larkins, B. 1988. The biochemistry and molecular biology of seed storage proteins. In the *Biochemistry of Plants. A comprehensive Treatise*, Vol. 15, ed. A Marcus Academic Press, New York, pp: 297-345.
- Voigt, J., Biehl, B., Heinrichs, H., Marsoner, G. and Hugi, A. 1994. In-vitro formation of cocoa-specific aroma precursors: aroma-related peptides generated from cocoa seed protein by co-operation of an aspartic endoprotease and a carboxypeptidase. *Food Chem.* 49:173-180.

Efecto de *Bacillus subtilis* Y *Trichoderma harzianum* en plantas de chile dulce (*Capsicum annuum* L.)

Effect of *Bacillus subtilis* and *Trichoderma harzianum* in sweet pepper plants (*Capsicum annuum* L.)

Tun-Suárez José María*, Roberth Canul-Tec, Luis Latournerie-Moreno,
Jairo Cristóbal-Alejo y Roberto Araujo-Vargas.

Instituto Tecnológico de Conkal. División de Estudios de Posgrado e Investigación. Km 16.3 antigua
carretera Mérida-Motul, Conkal, Yucatán. *Email: jose.tun@itconkal.edu.mx.

Resumen. Con el propósito de conocer el efecto de la aplicación al suelo de *Bacillus subtilis* y *Trichoderma harzianum* sobre el crecimiento y rendimiento de plantas de chile dulce criollo (*Capsicum annuum* L.), se evaluaron cinco tratamientos: tres productos biológicos formulados comercialmente; Probac BS (*Bacillus subtilis*), Spectrum Trico H (*Trichoderma harzianum*), Biorgan SF (*Bacillus subtilis* + *Trichoderma harzianum*); un fungicida Derosal 500D (i.a. Carbendazim) y un testigo absoluto. Estos se aplicaron de manera individual a un lote de 800 semillas en tratamiento de inmersión, en las plántulas cada siete días y en plantas de campo cada 15 días después del trasplante. Los resultados de las variables evaluadas indicaron que los tratamientos biológicos y el fungicida tuvieron un comportamiento similar en relación al crecimiento y rendimiento de fruto pero ambos superaron al testigo absoluto. El Biorgan SF (*Bacillus subtilis* + *Trichoderma harzianum*) resultó el tratamiento que manifestó los mejores valores en las variables en ambas fases evaluadas con excepción del rendimiento promedio total. El mayor rendimiento obtenido en el tratamiento Probac BS (*Bacillus subtilis*) fue superior en 29.14% al testigo absoluto.

Palabras clave: *Bacillus subtilis*, *Trichoderma harzianum*, crecimiento, rendimiento, chile dulce.

abstract. To determine the effect of application of *Bacillus subtilis* and *Trichoderma harzianum* on plant growth and yield of native sweet pepper (*Capsicum annuum* L.), five treatments were evaluated: three biological products commercially formulated;

Probac BS (*Bacillus subtilis*), Spectrum Trico H (*Trichoderma harzianum*), SF Biorgan (*Bacillus subtilis* + *Trichoderma harzianum*); a chemical fungicide Derosal 500D (a.i. Carbendazim) and absolute control. The treatments were initially applied to a batch of 800 seeds by immersion, then to the seedlings every seven days and subsequently to the plants in field every 15 days after transplant. The results showed that biological and the chemical fungicide treatments had similar responses on growth and fruit yield. These treatments showed higher response than that showed by the absolute control. Plants treated with Biorgan SF (*Bacillus subtilis* + *Trichoderma harzianum*) showed higher values on the evaluated variables on seedling and field, except for fruit yield. The higher fruit yield was observed on plants treated with Probac BS (*Bacillus subtilis*), which was 29.14% higher than that of the absolute control.

Key words: *Bacillus subtilis*, *Trichoderma harzianum*, growth, fruit yield, sweet pepper.

Introducción

En el estado de Yucatán el chile dulce (*Capsicum annuum* L.) es una de las especies de importancia cultural por su uso como condimento en la elaboración de platillos regionales (Noh, 2004). Sin embargo, uno de los puntos críticos en su cultivo es la producción de plántulas de calidad agronómica y sanitaria que garanticen su establecimiento en campo. Condición que implica el uso de una gran cantidad de insumos como contenedores, sustratos, fertilizantes, pesticidas entre otros que elevan los costos de producción, en algunos casos con el empleo de pesticidas que inducen la selección de patógenos resistentes (Brada *et al.*, 1995). Ante esta situación, la búsqueda de insumos menos costosos y contaminantes al ambiente para la producción de plántulas resulta de gran relevancia (Castellanos *et al.*, 1995). En este sentido el uso de microorganismos con propiedades antimicrobianas y promotoras de crecimiento, representan una alternativa viable como lo demuestran los resultados obtenidos en tomate (*Lycopersicon esculentum* L.), pepino (*Cucumis sativus* Mill) y pimiento (*Capsicum annum* L.) sobre el vigor de las plantas y reducción de enfermedades con origen en el suelo, y en consecuencia un mejor desarrollo y producción en campo (Galeano, 2002; Lagunas *et al.*, 2001). Entre estos microorganismos se encuentran *Bacillus subtilis* que es una bacteria antagonista gram negativa considerada eficaz para controlar enfermedades (foliares y de raíces) y aplicado a las semillas influye positivamente en la germinación, desarrollo y rendimiento, ya que producen sustancias promotoras del crecimiento que favorecen una mejor nutrición de las plantas (Kim *et al.*, 1997). Por otra parte

Trichoderma harzianum es un hongo antagonista que parasita a otros para obtener nutrientes, tiene acción fungicida y su efecto en las plantas tratadas estimula el crecimiento y desarrollo (Fernández y Cenjas, 1997). Por tal motivo el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la aplicación al suelo de *Bacillus subtilis* y *Trichoderma harzianum* sobre el crecimiento y rendimiento de plantas de chile dulce criollo, como una alternativa para su incorporación en la tecnología de producción de este cultivo.

Materiales y métodos

La investigación se realizó en el Instituto Tecnológico de Conkal, ubicado en el km 16.3 de la antigua carretera Mérida-Motul, del municipio de Conkal, Yucatán; el clima predominante es cálido subhúmedo con lluvias en verano Awo(X')(i')g de acuerdo a la clasificación de Köepen modificada por García (1988). La temperatura y precipitación media anual es de 26.5°C y 900 mm, respectivamente. Los productos biológicos evaluados fueron: Probac BS (*Bacillus subtilis*), Spectrum Trico H (*Trichoderma harzianum*), Biorgan SF (*Bacillus subtilis* + *Trichoderma harzianum*), un fungicida Derosal 500D (i.a.Carbendazim) en dosis de 15, 2, 2 y 1 mL L⁻¹, respectivamente; y un testigo absoluto. Estos se aplicaron de manera individual a semillas, plántulas y plantas de chile dulce criollo.

Las semillas en grupos de 800 se introdujeron en una solución de cada producto por cinco minutos, se extrajeron, secaron con papel absorbente estéril y sembraron en contenedores de poliestireno de 200 cavidades previamente desinfectados y rellenas con el sustrato comercial Berger® BM-2 a base de turba, perlita y vermiculita. A partir de la emergencia de las plántulas, los productos se aplicaron cada siete días a la misma dosis empleada para las semillas hasta los 45 días de germinadas. En campo para el trasplante se realizó la limpieza de un área experimental de 480 m², que constó de 8 surcos de 30 m de largo por 2 m entre surcos. El trasplante se realizó bajo un diseño experimental de bloques completos al azar, considerando cuatro tratamientos (los tres productos biológicos y un fungicida) y un testigo absoluto cada uno con ocho repeticiones. Las plantas se cubrieron con agribón 17 para prevenir el ataque de insectos vectores de virus y cada 15 días se realizó la aplicación al suelo de los productos Spectrum Trico H, Probac BS, Biorgan SF, un fungicida Derosal 500 D en dosis de 1, 5, 4 y 1 mL L⁻¹ y un testigo absoluto, con una bomba de mochila de 20 L de capacidad. Se empleó un sistema de riego por goteo a través del cual se aplicaron riegos cada 48h por 2h y fertilizó considerando la fórmula de fertilización 200-250-250 de NPK. Para el control de las plagas:

barrenillo del chile (*Anthonomus eugenii* Cano), minador de la hoja (*Lyriomyza* sp.), ácaro blanco (*Polyphagotarsonemus latus*) y mosca blanca (*Bemisia tabaci* Genn), se aplicaron Vydate 90 L[®] (i.a. Oxamil), Trigar 75 PH[®] (i.a. Ciromacina), Agrimec[®] (i.a. Abamectina), en dosis de 2 ml·L⁻¹, 0.25 g·L⁻¹, 1ml·L⁻¹, y 2ml·L⁻¹, respectivamente. Las variables de estudio en fase de plántula: altura, No. de hojas, diámetro de tallo, volumen de raíz, área foliar, masa fresca y masa seca (planta completa, follaje y raíz); en fase de campo: altura de planta, diámetro de tallo, fruto (peso, diámetro y longitud) y rendimiento.

Resultados y discusión

Fase de plántula. El porcentaje de germinación de las semillas tratadas con Biorgan SF o Derosal 500D (80%) a los 15 días después de la siembra fueron superiores en 20% con respecto a los demás tratamientos evaluados (60 %). Los resultados de los análisis de las variables evaluadas en plántulas de chile dulce (*C. annuum*) tratadas con los productos biológico y el fungicida no manifestaron diferencias estadísticas significativas con respecto al testigo absoluto. Sin embargo, las plántulas tratadas con Biorgan SF (*Bacillus subtilis* + *Trichoderma harzianum*) superaron a los demás tratamientos en las variables altura de planta, número de hojas, diámetro de tallo, área foliar, y masa seca (raíz, follaje y planta) al registrar valores de 15.33 cm, 7.9 hojas, 2.85 mm, 74.4 cm², respectivamente; masa fresca y seca raíz (0.58/0.04 mg), follaje (1.61/0.08 mg) y planta (3.75/0.170 mg), con excepción del volumen de raíz que fue mayor en el tratamiento Probac BS (*Bacillus subtilis*) con 0.70 mL (Cuadro 1 y 2). Por otra parte el tratamiento Spectrum Trico H (*Trichoderma harzianum*) obtuvo valores de altura de planta, diámetro de tallo, volumen de raíz, área foliar y masa fresca (raíz y planta) inferiores al testigo absoluto, lo cual hace suponer que este organismo no tiene un efecto significativo sobre el crecimiento de las plantas.

Los resultados obtenidos con el tratamiento Biorgan SF (*Bacillus subtilis* + *Trichoderma harzianum*) en este trabajo son similares a los obtenidos en zanahoria (*Daucus carota* L.) por Hernández *et al.* (2006), al evaluar la bioeficiencia de productos orgánicos, biológicos y fungicidas contra *Alternaria dauci* y su efecto en el cultivo, determinaron que a los 95 días después de la siembra, las cepas de la bacteria *Bacillus* (B3, B9, B15 y la combinación de éstas), estimularon el desarrollo de la zanahoria, ya que ésta alcanzó mayor grosor, longitud y peso, con respecto al testigo y a los demás tratamientos. Por su parte Guillén *et al.* (2006) al evaluar *Bacillus* spp. como biocontrol de patógenos con origen en el suelo y su efecto en el desarrollo y rendimiento del cultivo de chile (*Capsicum annuum* L.) obtuvieron un incremento del 33% y 24% en la altura de

las plantas inoculadas con las cepas B3 y B13 con respecto al testigo. Por el contrario, el nulo efecto de *Trichoderma harzianum* sobre el crecimiento de las plántulas de chile dulce coincide con autores que indican que la respuesta sobre el crecimiento de plantas depende del tipo de cultivo, del control de fitopatógenos con origen en suelo y su asociación con otros organismos habitantes de la rizófora como lo señalan González *et al.* (1999), al comparar plantas de tomate tratadas con una suspensión de conidios de *T. harzianum* con plantas sin tratar, a los 35 días de trasplantadas, obtuvieron incrementos significativos en la altura de las plantas (8-15 %), diámetro del tallo (7-12%), número de hojas (11%) y masa fresca de las plantas. Por el contrario, en plantas de papa inoculadas con *T. harzianum* no tuvo ningún efecto sobre el comportamiento de las plantas. Por su parte Soto *et al.* (2002) en plantas ornamentales de Belenes (*Ornithoyalum umbellatum*) y Esquévolas (*Scaevola humilis*) tratadas con *T. harzianum* obtuvo diferencias notorias en el crecimiento (altura, follaje y florecimiento) a las diez semanas con respecto a las plantas control. Este comportamiento de *T. harzianum* explica en parte el leve efecto aditivo que confiere cuando se aplicó en mezcla con *B. subtilis* en el tratamiento Biorgan SF que cuando se emplea de manera individual que incluso obtiene en algunos casos valores de crecimiento inferiores al testigo. Contrario a lo que sucede cuando se emplea solo *Bacillus subtilis*.

Cuadro 1.

Medias de las variables altura de planta, número de hojas, diámetro de tallo, volumen de raíz y área foliar en plántulas de 45 días después de germinadas tratadas con tres productos biológicos, un fungicida y testigo absoluto.

Tratamiento	Altura de planta (cm)	No. de hojas	Diámetro de tallo (mm)	Volumen de raíz (mL)	Área Foliar (cm ²)
Spectrum Trico H	12.36 ^b	7.5 ^a	2.63 ^a	0.45 ^b	62.9 ^a
Probac BS	13.94 ^{ab}	7.8 ^a	2.75 ^a	0.70 ^a	60.9 ^a
Biorgan SF	15.33 ^a	7.9 ^a	2.85 ^a	0.68 ^{ab}	74.4 ^a
Derosal 500D	15.14 ^a	7.4 ^a	2.70 ^a	0.55 ^{ab}	68.9 ^a
Testigo	14.06 ^{ab}	6.6 ^a	2.71 ^a	0.58 ^{ab}	63.9 ^a
CV	8.41	4.00	5.65	18.31	9.74
R²	0.51	0.74	0.23	0.48	0.43

Medias con la misma letra son similares de acuerdo con la prueba de Tukey a una ($P \leq 0.05$).

Fase de campo. Los análisis de varianza de las variables altura de planta y diámetro de tallo no manifestaron diferencias estadísticas significativas. Pero el tratamiento Biorgan SF (*Bacillus subtilis* + *Trichoderma harzianum*) registro los valores superiores a los demás tratamientos y testigo absoluto con 49.35 cm de altura de planta y diámetro de tallo de 17.78 mm (Cuadro 3). Tampoco se encontraron diferencias estadísticas significativas en las variables diámetro de fruto, longitud, peso de

fruto y rendimiento. Sin embargo, el tratamiento Biorgan SF (*Bacillus subtilis* + *Trichoderma harzianum*) superó a los tratamientos y testigo absoluto al registrar los valores promedios más altos de diámetro de fruto con 50.04 mm, longitud de fruto con 50.21 mm y peso de fruto 44.75 g. Pero el mayor rendimiento por planta se registró en el tratamiento Probac BS (*Bacillus subtilis*) con 436.18 g (Cuadro 4).

Cuadro 2.

Medias de las variables masa fresca y masa seca de raíz, follaje y planta en plántulas de 45 días después de germinadas tratadas con tres productos biológicos, un fungicida y testigo absoluto.

Tratamiento	Masa fresca (mg)			Masa seca (mg)		
	Raíz	Follaje	Planta	Raíz	Follaje	Planta
Spectrum Trico H	0.42 ^a	1.38 ^a	2.55 ^c	0.04 ^a	0.07 ^a	0.158 ^a
Probac BS	0.36 ^a	1.36 ^a	2.76 ^{bc}	0.03 ^a	0.06 ^a	0.158 ^a
Biorgan SF	0.58 ^a	1.61 ^a	3.75 ^a	0.04 ^a	0.08 ^a	0.170 ^a
Derosal 500D	0.57 ^a	1.54 ^a	3.23 ^{ab}	0.04 ^a	0.07 ^a	0.157 ^a
Testigo	0.53 ^a	1.33 ^a	2.58 ^c	0.04 ^a	0.06 ^a	0.145 ^a
CV	25.19	9.05	7.78	23.13	17.47	10.27
R ²	0.40	0.48	0.75	0.14	0.26	0.24

Medias con la misma letra son similares de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$)

Cuadro 3.

Medias de las variables altura de planta y diámetro del tallo en plantas de campo 90 días de trasplante tratadas con tres productos biológicos, un fungicida y testigo absoluto.

Tratamiento	Altura de planta (cm)	Diámetro de tallo (mm)
Spectrum Trico H	45.70 ^a	17.33 ^a
Probac BS	47.94 ^a	17.60 ^a
Biorgan SF	49.35 ^a	17.78 ^a
Derosal 500D	44.27 ^a	15.77 ^a
Testigo	43.55 ^a	16.43 ^a
CV	9.41	11.79
R ²	0.22	0.14

Medias con la misma letra son similares de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

A pesar de que no existieron diferencias estadísticas significativas en las variables evaluadas en la fase de campo en este trabajo. Los valores obtenidos en las plantas tratadas con Biorgan SF (*Bacillus subtilis* + *Trichoderma harzianum*) y Probac BS (*Bacillus subtilis*) fueron superiores a los demás tratamientos y esta respuesta en parte es similar a los reportado en zanahoria (*Daucus carota* L.) por Hernández *et al.* (2006), a los 95 días después de la siembra en los tratamientos inoculados con las cepas B3 y B9 de *Bacillus* donde se manifestaron los valores diametrales de 11.3 cm y 10.83 cm, respectivamente; a pesar de no ser estadísticamente diferentes a

los obtenidos con el resto de las cepas; y en relación con la longitud de la raíz los tratamientos todas las cepas de *Bacillus* resultaron ser estadísticamente iguales entre sí, pero significativamente diferentes al testigo. Por su parte Guillén *et al.* (2006), en plantas de Chile (*Capsicum annuum* L.) a los 84 días de inoculadas con *Bacillus* B13 incrementaron en 20% y 100% el rendimiento total con respecto al testigo. No encontrando diferencias estadísticas significativas en el número de flores y número de frutos amarrados.

Cuadro 4.

Medias de las variables diámetro de fruto, longitud de fruto y peso de fruto en plantas de campo 85 días de trasplante tratadas con tres productos biológicos, un fungicida y testigo absoluto.

Tratamientos	Diámetro de fruto (mm)	Longitud de fruto (mm)	Peso de fruto (g)	Rendimiento (g/planta)
Specrum Trico H	46.45 ^a	46.11 ^a	42.55 ^a	380.26 ^a
Probac BS	45.98 ^a	44.58 ^a	41.29 ^a	436.18 ^a
Biorgan SF	50.04 ^a	50.21 ^a	44.75 ^a	402.62 ^a
Derosal 500D	48.97 ^a	46.41 ^a	40.40 ^a	366.09 ^a
Testigo	42.15 ^a	40.07 ^a	35.11 ^a	309.09 ^a
CV	18.64	18.36	22.87	28.36
R ²	0.10	0.15	0.11	0.15

Medias con la misma letra son similares de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

Aunado a lo anterior, Soto *et al.* (2002) al incorporar una solución de 10^6 UFC/g de *Trichoderma harzianum* al suelo en cultivos de ornamentales detectó mayor precocidad y número de botones florales en Belenes (*Ornithoyalum umbellatum*) y en Esquévolas (*Scaevola humilis*), mayor precocidad y número de flores en comparación con las plantas no tratadas. Lo cual hace suponer que la mezcla de *Bacillus subtilis* y *Trichoderma harzianum* propician un desarrollo y rendimiento similar al tratamiento tradicional (químico).

Conclusiones

Los tratamientos biológicos y el químico tuvieron un comportamiento similar en relación al crecimiento y rendimiento de fruto pero superiores con respecto al testigo absoluto. El Biorgan SF (*Bacillus subtilis* + *Trichoderma harzianum*) resultó el tratamiento que manifestó los valores superiores en las variables de ambas fases evaluadas con excepción del rendimiento promedio total y que fueron similares al tratamiento químico con Derosal 500D (i.a Carbendazim). El mayor rendimiento promedio total obtenido en el tratamiento Probac BS (*Bacillus subtilis*) fue superior en 29.14% al testigo absoluto.

Literatura citada

- Brada, I. E.; Quintana, E.; Pelaya, E. y Araujo, T. 1995 Efecto de *Bacillus* sp. sobre la germinación y desarrollo de semillas de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) infestadas con *Fusarium oxysporum* Schl. var. *cubensis* Smith. Revista Chapingo serie Horticultura 28(4): 377-383.
- Castellanos, J. J.; Oliva, P.; Izquierdo, E. y Morales, N. 1995. Evaluación de *Bacillus subtilis* como biocontrol del patógeno *Alternaria porri* (Ell). Cif en cebolla. En Bioplág 95. La Habana, Cuba. INIFAT. 21 p.
- Fernández, L. O. y Cenjas, A. 1997. Producción y conservación de productos de *Trichoderma* por vía fermentativa. Revista Fitotecnia Mexicana 28 (4): 226-300.
- Galeano, M., Menéndez, F. y Urbaneja, A. 2002. Efecto de *Trichoderma harzianum* Rifai (cepa T-22) sobre cultivos hortícolas. Revista Agrícola Vergel 251: 241-249.
- García E. 1988. Apuntes de climatología. Facultad de Ciencias UNAM. México D.F. 219 p.
- González, S.C.H.; Rodríguez, L.L.; Arjona, C.; Puertas, 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. Instituto de investigaciones Agropecuarias Jorge Domitrov. 39 (6): 102-267.
- Guillén, C. R.; Hernández, C. F. D.; Gallegos, M. G.; Rodríguez, H. R.; Aguilar, G. C. N.; Patrón., C. E. y Reyes, V. M. H. 2006. *Bacillus* ssp. como biocontrol en suelo infestado con *Fusarium* spp., *Rhizoctonia solani* Kuhn y *Phytophthora capsici* Leonian y su efecto en el desarrollo y rendimiento del cultivo de Chile (*Capsicum annum* L). Revista Mexicana de Fitopatología 24(2):105-114.
- Hernández, C. F. D.; Adalberto, A. R. H.; Lira, E. y Guerrero, R. G. M. 2006. Bioeficiencia de productos orgánicos, biológicos y químicos contra *Alternaria dauci* Kúhun y su efecto en el cultivo de zanahoria. Revista Internacional de Botánica Experimental 75: 91-101.
- Kim, D. S; Cook, R. J. and Weller, D. M. 1997. *Bacillus* sp. L324-92, for biological control of three root disease of wheat grown with reduced tillage. Phytopathology 87: 551-558.
- Lagunas, L. J.; Zavaleta, E. M.; Osada, S. K.; Aranda, S. O.; Luna, I. R. y Vaquera, H. H. 2001. *Bacillus firmus* como agente de control biológico de *Phytophthora capsici* Leo en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Revista Mexicana de Fitopatología 12(1): 57-65.
- Noh, A.L. 2004. Potencial productivo de chile dulce (*Capsicum annum* L) en Yaxcaba, Yucatán. Tesis de Licenciatura. Instituto Tecnológico de Conkal, Conkal, Yucatán 40 p.

Soto, B.; Osorio, A.; Muñoz, M. Galindo, R. 2002. Efecto de *Trichoderma harzianum* como agente mejorador de plantas ornamentales. Colegio Manrymount 3(1): 1-5.

Fenología del tamarindo (*Tamarindus indica* L.) en la región central del estado de Veracruz, México

Phenology of Tamarind (*Tamarindus indica* L.) in the central region of the state of Veracruz, Mexico

Zetina Lezama Rigoberto* y Andrés Rebolledo Martínez.

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Cotaxtla. Km 34.5 de la carretera federal Veracruz-Córdoba. Medellín de Bravo, Veracruz.

*E mail: zetina.rigoberto@inifap.gob.mx

Resumen. En Veracruz existe potencial edafoclimático para la explotación sustentable del tamarindo, sin embargo, no existen estudios de fenología que permitan desarrollar técnicas para incrementar su productividad actual. Para documentar la fenología del tamarindo, en la Región Central del estado de Veracruz, México, y su interrelación con los factores climáticos, se seleccionaron al azar 10 árboles en cinco plantaciones comerciales y dos árboles de traspatio para darles un seguimiento quincenal. Se consideró como inicio de una etapa la fecha en que más del 50% de los árboles marcados habían iniciado un cambio fenológico. Se observó que la defoliación ocurre en febrero-mayo cuando todos los árboles tiran las hojas viejas hasta quedar completamente desnudos. La brotación vegetativa inició con el estímulo de las lluvias de mayo para revestir al árbol en menos de 30 días. La floración comenzó 20 ó 30 días después de la aparición de los primeros brotes vegetativos. Los árboles defoliados prematuramente florecieron en mayo, pero la floración más fuerte sucedió en junio y julio. La polinización inició 8 ó 10 días después de la aparición de los primeros brotes florales. Entre la aparición de un brote floral y el amarre del fruto transcurrieron de 40 a 50 días. Los frutos tardaron en desarrollarse de 9 a 10 meses (junio-marzo). De las cinco etapas observadas la de mayor duración fue la del desarrollo del fruto (290 días), las otras cuatro ocurrieron en la época seca del año y al inicio de las lluvias.

Palabras clave: Defoliación, Floración, Polinización del tamarindo

Abstract. In Veracruz there is potential soil and climate for the sustainable exploitation of tamarind, however, there are no studies of phenology in order to develop techniques to increase productivity. To document the phenology of tamarind in the central region of Veracruz, Mexico, and its relationship with climatic factors, were randomly selected 10 trees in five commercial orchards and two backyard trees to give them a periodical monitoring. It was considered as the beginning of a stage the date on which over 50% of the trees had begun a marked phenological change. It was observed that defoliation occurs from february to may, when all the trees throw the old leaves until they are completely naked. The vegetative growth began with the encouragement of the rains in may to take the tree in less than 30 days. Flowering began 20 or 30 days after the onset of the first vegetative buds. Defoliated trees bloomed early in may, but stronger flowering occurred in june and july. Pollination started 8 or 10 days after the onset of the first flower buds. Between the appearance of a flower bud and fruit mooring passed 40 to 50 days. The fruits were slow to develop in 9-10 months (june-march). Of the five stages of the longest observed was the development of the fruit (290 days), the other four occurred in the dry season and the beginning of the rainy season.

Key words: defoliation, flowering, pollination of tamarind.

Introducción

La principal área productora de tamarindo de la República Mexicana está ubicada en los estados de Jalisco, Colima y Guerrero, en donde se encuentra el 78.2% del total del área cultivada en México (cerca de 7000 ha). En esta región, en el 2009, se cosecharon alrededor de 30612 t de fruta fresca, con un valor comercial de 114 millones de pesos (SIAP, 2011). El mismo año, en el estado de Veracruz, se reportaron 166.5 hectáreas en las que se produjeron 858 toneladas de fruta fresca, con un valor comercial de 3 millones de pesos. Aún cuando la superficie cultivada y los ingresos obtenidos son muy inferiores a los reportados en Jalisco, Guerrero y Colima, la importancia de este cultivo en la zona centro del estado de Veracruz, principal región productora, radica en que los productores lo consideran como un cultivo secundario, que ofrece recursos adicionales con un mínimo de inversión económica y mano de obra. Además, existen muchas familias que subsisten gracias a la comercialización de esta fruta y sus derivados en mercados informales ubicados en el centro de las poblaciones, sitios turísticos y en las orillas de la carretera.

Al igual que en otros cultivos, la comprensión de los patrones fenológicos del tamarindo en la Región Central del estado de Veracruz, constituye uno de

los puntos medulares del conocimiento básico de la especie, que puede ayudar a diseñar técnicas y programas de manejo agronómico del cultivo dirigidas a mejorar su productividad (Norero, 1990), conocer su interacción con la fauna e incluso establecer programas de conservación de recursos genéticos (Mooney *et al.*, 1980; Huxley, 1983). Los estudios de fenología consideran la respuesta fisiológica del cultivo al estímulo de diversos factores externos como los de tipo climático y edáfico (Fournier y Salas, 1966; Becker, 1976). Al respecto, Mejía (1990) menciona que en las regiones tropicales, la temperatura es relativamente constante en el tiempo, sin embargo, la disponibilidad del agua en el suelo puede variar fuertemente de forma cíclica en un periodo anual por lo que debe ser considerada como la principal variable climática a medir en estudios fenológicos de plantas tropicales. Mientras que Sans y Massalles (1988) argumentan que, a diferencia de las zonas templadas, en el trópico es común observar el fenómeno de erratismo en los árboles frutales, fenómeno que consiste en la aparición anárquica de brotes florales independientes de los factores climáticos.

En México, no hay estudios relacionados con la fenología del tamarindo en las regiones tropicales húmedas, en especial para el estado de Veracruz, por lo que la realización de este tipo de estudios se encuentra justificada. De acuerdo con Martínez (2007) los estudios de fenología son necesarios en la toma de decisiones dirigidas a mejorar la polinización (Zobel y Talbert, 1984), el tamaño de fruto, el momento oportuno de la cosecha y otros aspectos que pueden incrementar los rendimientos y lograr mejor rentabilidad de los sistemas de producción frutícola. Uno de los estudios relacionados con la fenología general del cultivo del tamarindo, en el trópico seco de México, fue publicado por Orozco (2001); mientras que, en diversas partes del mundo, otros investigadores generaron información en aspectos más específicos como las variaciones fenológicas de la biología floral y la biología reproductiva (Pushpakumara y Gunasena, 2006; Nagarajan *et al.*, 1998) y desarrollo del fruto y sus semillas (Oliveira *et al.*, 2006). Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue documentar la fenología del cultivo del tamarindo, en la Región Central del estado de Veracruz, México y su interrelación con los factores climáticos y edáficos prevalecientes a fin de generar los conocimientos básicos necesarios que permitan a los productores de esta región establecer un programa de manejo agronómico eficiente y económico que permita mejorar la rentabilidad actual de sus fincas.

Materiales y métodos

El presente trabajo se desarrolló en cinco plantaciones comerciales y dos árboles de traspatio ubicados en las localidades de Tierra Blanca, Cotaxtla, Soledad de Doblado,

Emiliano Zapata, Medellín de Bravo y Manlio F. Altamirano, de la zona centro del estado de Veracruz (Cuadro 1). El clima prevaleciente es cálido subhúmedo con lluvias de verano (AW_o y AW_1), con una precipitación y temperatura media anual de 1221.2 mm (\pm 229.88) y 25.3 °C, respectivamente (Soto y García, 1989).

Cuadro 1.

Ubicación geográfica y altura sobre el nivel del mar de las cinco plantaciones comerciales y de los dos árboles comerciales incluidos en el estudio.

Localidad	Municipio	Latitud	Longitud	Altitud	Tipo de plantación
Dos matas	Tierra Blanca	18°34'52.84"	96°23'57.29"	80	Finca comercial
Mata Espino	Cotaxtla	18°49'56"	96°19'31"	65	Finca comercial
Loma de los Hoyos	Cotaxtla	18°55'00.87"	96°21'36.35"	69	Finca comercial
Piedra del Indio	Soledad de Doblado	19°00'31.9"	96°29'11.4"	165	Finca Comercial
Plan del rio	Emiliano Zapata	19°24'08.94"	96°38'44.93"	329	Finca comercial
Campo Experimental	Medellín de Bravo	18°55'58"	96°11'31"	11	Lindero/traspatio
Cotaxtla					
Manlio F. Altamirano	Manlio F. Altamirano	19°06'28.5"	96°19'28.8"	46	Lindero/traspatio

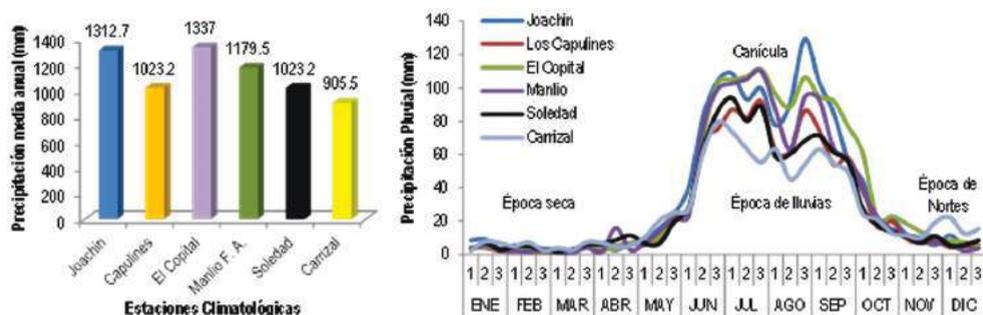
Los suelos dominantes en el área de estudio son Cambisoles, aunque existen áreas importantes cubiertas por Fluvisoles y Vertisoles que están cultivadas con tamarindo. Con excepción de los Fluvisoles que son profundos de topografía poco accidentada; el resto de los suelos son poco profundos con piedras en la superficie y capas endurecidas que pueden presentarse a diferentes profundidades. En cada una de las cinco plantaciones se seleccionaron al azar 10 árboles en etapa productiva, ubicados preferentemente en el centro de la huerta. Adicionalmente se seleccionaron dos árboles de traspatio, en etapa productiva. Las evaluaciones se realizaron quincenalmente a lo largo de 38 meses, durante el periodo comprendido entre febrero 2008 y mayo 2011. Para identificar las fechas en que se presentaron las diferentes etapas fenológicas a lo largo del año se utilizó un método cuantitativo basado en la escala de Fournier (1974), para lo cual se consideró como inicio de una etapa, la fecha en que más del 50% de los árboles marcados habían iniciado un cambio fenológico.

Los cambios fenológicos fueron asociados a datos de temperatura y precipitación pluvial, registrados durante los años 2008, 2009 y 2010 en las estaciones meteorológicas de los campos experimentales de la Posta y Cotaxtla del INIFAP. Adicionalmente, con los datos publicados por Díaz *et al.*, (2006), se realizó un análisis decenal del comportamiento de estas mismas variables y la evaporación, en el periodo 1961-2003, en seis estaciones climatológicas: 078 de Joaquín municipio

de Tierra Blanca, 094 de Los Capulines, municipio de Cotaxtla, 048 del Copital, municipio de Medellín de Bravo, 101 de Manlio F. Altamirano, 163 de Soledad de Doblado y 021 del Carrizal, Municipio de Emiliano Zapata.

Resultados y discusión

Comportamiento climático. Con excepción de la localidad del Carrizal, al analizar los antecedentes del comportamiento climático del área de estudio, en el ciclo 1961-2003, se observaron similitudes en precipitación media anual y distribución decenal de la precipitación pluvial. En el primer caso, la precipitación media anual varió de 905 a 1336 mm, con media de 1130.18 mm y desviación estándar de ± 174.2 (Figura 2A). Asimismo, en la Figura 2B se puede observar que la época de lluvias inicia en la segunda decena de mayo y se prolonga hasta la tercera decena de octubre. En la segunda decena de agosto generalmente se presenta una sequía intraestival, conocida localmente como canícula, que es un período corto, ubicado dentro de la temporada de lluvias, en el cual la precipitación pluvial disminuye notablemente y la temperatura se incrementa. Entre los meses de noviembre y febrero se localiza la época de “nortes”; en la cual la temperatura media alcanza sus valores más bajos, la precipitación pluvial y la evaporación disminuyen sensiblemente y se presentan de manera frecuente vientos del norte con velocidades hasta de 120 km/h. La época seca del año inicia en la tercera decena de febrero y se prolonga hasta la primera de mayo, periodo en el cual la temperatura media y la evaporación se incrementan notablemente.



en el ciclo 1961-2003, en seis estaciones climatológicas ubicadas en el área de estudio.

Las diferencias más notables entre las series de datos analizados se registraron para la evaporación, la cual varió de 516.1 a 1455 mm anuales en las comunidades de

Soledad de Doblado y Carrizal, respectivamente (Figura 2 A). Los distintos niveles de evaporación registrados dieron lugar a periodos de diferente duración en los que la humedad evaporada superó a la precipitada (Figuras 2B y 2C) situación que prolongó la época seca del año hasta 15 días más con posibles períodos de excesos de humedad más marcados en la estación del Carrizal que en la del Copital.

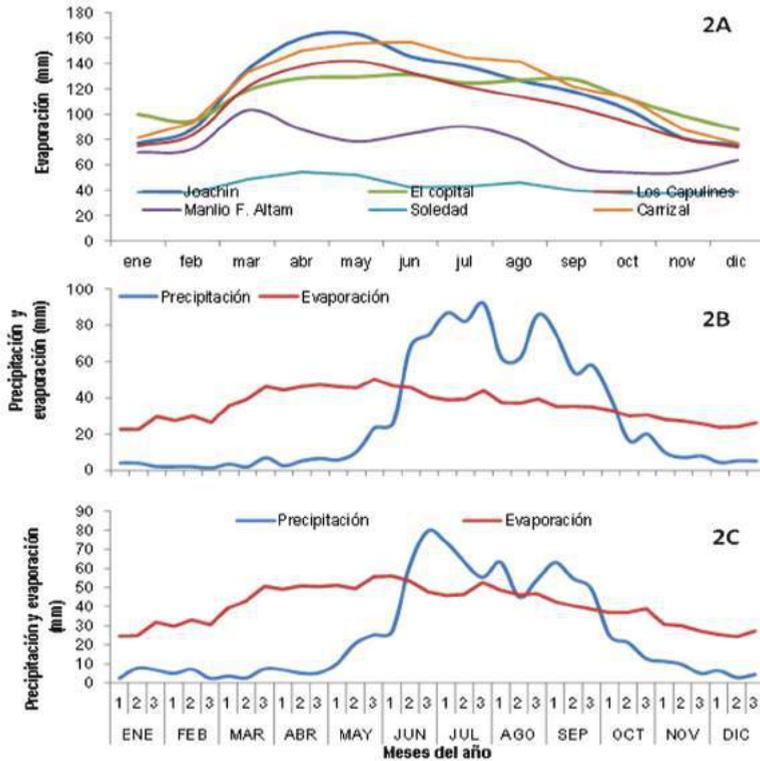


Figura 2. Evaporación mensual (2A) de seis estaciones localizadas en el centro del estado de Veracruz y su relación con la precipitación pluvial en las estaciones climatológicas de Carrizal (2B) y Copital (2C).

Etapas fenológicas. En los árboles que se encuentran en las etapas de ensayo y productiva (más de cuatro años de edad) se observaron cinco etapas fenológicas: Abscisión o defoliación, emisión de hojas, floración, polinización y fructificación. La época del año en que se presentaron cada una de estas etapas, la temperatura media mensual y la precipitación pluvial se presenta en la Figura 3. Los aspectos más importantes observados en cada una de estas etapas se discute a continuación:

Abscisión o defoliación. Es la pérdida programada de las hojas de las plantas que ocurre cuando se disuelven las paredes de un grupo de células especializadas que se localizan en el peciolo de las hojas. Durante esta etapa todos los árboles jóvenes, adultos y viejos empiezan a tirar poco a poco las hojas viejas hasta quedar completamente desnudos en poco tiempo. Este proceso comienza de manera casi imperceptible cuando el fruto inicia su madurez fisiológica, lo cual sucede generalmente al inicio de la época seca del año, alrededor del mes de febrero y se acentúa durante el mes de marzo, para finalizar en los meses de abril y mayo, justo cuando la temperatura ambiental incrementa ($> 40.0\text{ }^{\circ}\text{C}$), la lluvia disminuye y el contenido de humedad en el suelo alcanza su nivel más bajo durante el año (Figura 3). Lo cual coincide con lo reportado por Pushpakumara y Gunasena, (2006) quienes mencionan que el tamarindo tira sus hojas y produce nuevos brotes hacia el final de la época seca de año, entre los meses de marzo y abril. Al respecto Chaturvedi (1985) menciona que el proceso de defoliación generalmente es más evidente en las zonas calientes y áridas que en las zonas húmedas, razón por la cual los árboles que crecen con una menor restricción de humedad permanecen desnudos por muy poco tiempo.

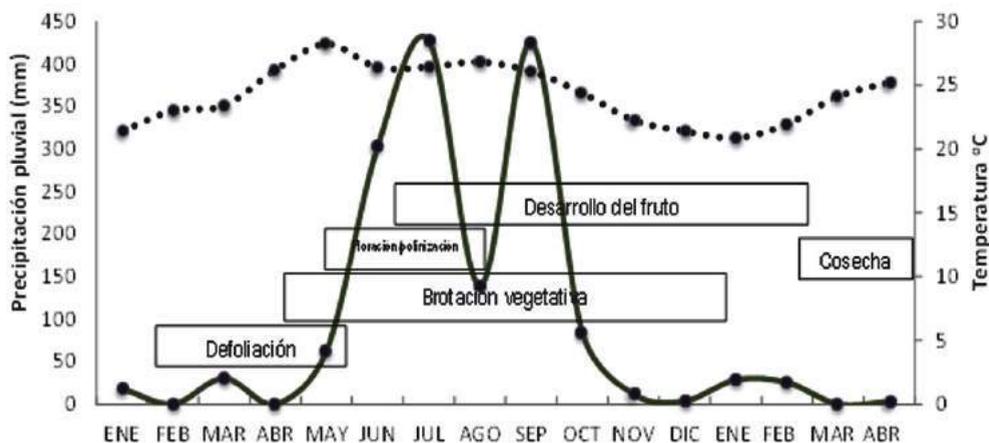


Figura 3. Fenología del cultivo de tamarindo en la zona centro del estado de Veracruz y su relación con la precipitación pluvial.

En algunos casos, los árboles que produjeron poca fruta tienden a defoliarse más rápido que los que registraron una mayor producción en ese mismo año. Lo que coincide con lo reportado por Orozco (2001) quien menciona que el proceso de defoliación de un árbol generalmente concluye en un periodo no mayor a 45 días;

sin embargo, este proceso parece prolongarse mucho más debido a que no todos los árboles inician este proceso al mismo tiempo. Al parecer, este fenómeno es mucho más marcado en el estado de Veracruz que en los estados de Jalisco y Colima debido a que casi la totalidad de las plantaciones comerciales fueron establecidas con plantas reproducidas por medio de semillas lo que ha dado lugar a una fuerte variación genética entre fincas y dentro de las mismas plantaciones. Otro factor que podría estar ligado a este fenómeno es la variabilidad de las propiedades físicas y químicas de los suelos de la región mismas que podrían ocasionar una desigual disponibilidad de nutrientes y agua entre las plantas, aún dentro de una misma finca. Éste último supuesto se fundamenta en el hecho de que el patrón de abscisión foliar del tamarindo está más asociado a factores climáticos que a factores de regulación interna como lo indican Killmann y Thong (1995) para el caso de arbustos perennifolios. No se encontraron estudios específicos que hablen de la abscisión foliar del tamarindo, sin embargo, en la mayoría de las plantas leñosas este proceso está precedido de cambios estructurales y químicos que se llevan a cabo cerca del peciolo (Santamaría *et al.*, 1992). Mientras que Longman y Jeník (1987) mencionan que el tamarindo es un intercambiador de hojas, debido a que sus hojas caen en el periodo de brotación de las yemas con longevidad foliar cercana a los 11 meses. De acuerdo con Santamaría *et al.* (1992) el proceso de abscisión se produce en tres etapas: a) de iniciación o activación, que en el caso del tamarindo podría estar estimulada por la temperatura y la sequía, factores ambientales que se encuentran fuertemente asociados a las relaciones hídricas en las plantas leñosas. En este sentido se considera que el principal pico de abscisión foliar coincide con el inicio de la estación seca del año y constituye un mecanismo de la planta para mitigar el efecto negativo de la sequía (Mooney y Dunn, 1970). b) de desarrollo, donde tienen lugar los cambios bioquímicos y estructurales de las células de la zona de abscisión. En esta etapa, durante la senescencia de las hojas, ciertas moléculas reutilizables, iones magnesio, aminoácidos y azúcares son recuperados por el árbol al ser transportados de las hojas viejas a las hojas jóvenes (Addicott, 1982). De manera paralela se presentan cambios importantes en las paredes celulares de la capa de separación de la zona de abscisión a lo largo de la base del peciolo. Los cambios incluyen un debilitamiento de la lámina media y la hidrólisis de las propias paredes celulósicas. Si existe división celular, las paredes celulares recién formadas sufren una fuerte degradación. Entonces, debajo de la capa de separación se forma una capa protectora de células altamente suberificadas que aísla la hoja del cuerpo principal de la planta antes de que caiga. c) separación, en que tiene lugar la separación física del órgano. Después de la formación de la capa protectora, la hoja queda unida a la planta solamente por unas pocas fibras de tejido vascular que se

romperán debido al engrosamiento de las células parenquimatosas de la capa de separación, en consecuencia las hojas se desprenderán fácilmente del árbol por la acción del viento, lluvia, insectos y otros.

Brotación Vegetativa. Una vez que el árbol casi ha concluido su proceso de defoliación, lo cual ocurre generalmente en el mes de mayo, inicia la emisión de brotes nuevos los cuales son pequeños de color verde claro y rojizo. Las primeras lluvias que ocurren en el mes de mayo y continúan en junio favorecen la producción abundante de brotes vegetativos y la emisión de hojas nuevas lo que le permite al árbol recuperar rápidamente la totalidad de su follaje en estos dos meses. No obstante, se ha observado que la emisión de brotes vegetativos inicia aunque persista un bajo contenido de humedad en el suelo ya que en las huertas de los municipios de Tierra Blanca, Mata Espino y Loma de los Hoyos se observó la emisión de rebrotes vegetativos en árboles en condiciones de estrés severa de humedad y con el proceso de defoliación no concluida. Tal y como sucede en las huertas del este de la isla de Java y Tailandia (Pushpakumara y Gunasena (2006) los árboles de tamarindo, de la región central del estado de Veracruz, continúan emitiendo brotes vegetativos y ramas nuevas hasta el mes de febrero, cuando la planta inicia nuevamente el proceso de defoliación. Las altas temperaturas (26°C) y las lluvias intensas y frecuentes que ocurren en los meses de junio, julio y septiembre estimulan fuertemente la emisión de hojas y el crecimiento de las ramas; en ésta época del año el desarrollo vegetativo de los árboles alcanza su máximo pico de crecimiento. Este proceso es menos pronunciado después del mes de noviembre cuando la temperatura media es de 21°C, la precipitación pluvial disminuye considerablemente (menos de 20 mm) y los vientos del norte incrementan su velocidad.

Floración. De acuerdo con los datos que se presentan en la Figura 4, en el centro del estado de Veracruz los árboles de tamarindo inician su etapa de floración 20 a 30 días después del inicio de los brotes vegetativos. Esto significa que algunos árboles que comenzaron el proceso de defoliación prematuramente pueden comenzar su floración en la primera quincena del mes de mayo. En algunos casos se ha observado que de manera esporádica algunos árboles pueden emitir brotes florales en el mes de marzo pero alcanzan su plenitud en los meses de mayo y junio, como sucede en países como Ecuador y Etiopía (FAO, 1988). La mayoría de las flores aparecen sobre las ramas nuevas, aunque algunas pueden hacerlo en el tallo y las ramas principales. Las flores son hermafroditas, de un tamaño que puede variar de 10 a 15 cm, de color generalmente amarillo, aunque también se ha observado que algunos árboles

emiten flores de color rojo. La emisión más fuerte de flores parece estar estimulada por la presencia de altas temperaturas y un mayor contenido de humedad en el suelo, por lo que la mayor parte de la floración, generalmente se emite al inicio de la época de lluvias durante los meses de junio y julio. En esta etapa el árbol se encuentra en plena actividad reproductiva emitiendo flores y brotes vegetativos por lo que la presencia de altos índices de radiación solar y un buen contenido de humedad y de nutrientes en el suelo resultan factores indispensables para asegurar una buena cosecha en el próximo año. No obstante lo anterior, algunos árboles de tamarindo siguen emitiendo pequeñas cantidades de brotes florales durante el resto del año, comportamiento atribuido a una interacción genotipo-ambiente (Coronel, 1991 y Nagarajan *et al.*, 1998). Sin embargo, aquellas que proliferan durante los últimos cinco meses del año generalmente carecen de importancia para la producción de fruto comercial. Al respecto Orozco (2001) indica que bajo condiciones de trópico seco que se presentan en el estado de Colima los árboles llegan a emitir de tres a cuatro floraciones entre los meses de julio a octubre, con una periodicidad de 20 a 25 días.

Fructificación. Después del amarre del fruto, se observaron tres etapas en el desarrollo, mismas que se presentan en la Figura 4 y se describen brevemente a continuación: 1) durante los primeros 100 días la vaina empieza a crecer relativamente rápido, sin embargo, la ganancia de peso es muy baja. Este periodo coincide generalmente con el inicio y establecimiento de la época de lluvia que ocurre entre los meses de junio a agosto, temporada en la cual la temperatura media ambiental supera los 25 °C y la humedad relativa es mayor al 90%. 2) en la segunda etapa, que también tiene una duración aproximada de 100 días, el fruto gana peso y tamaño rápidamente hasta alcanzar las dimensiones y el peso máximo. Esta etapa inicia en septiembre y octubre, meses en los cuales se registran las precipitaciones más altas del periodo de lluvias y finaliza en el mes de noviembre en el cual la precipitación pluvial disminuye y la temperatura media ambiental empieza a disminuir de manera sensible. 3) la tercera etapa tiene una duración aproximada de 90 a 100 días, periodo en el cual el fruto detiene su crecimiento y empieza a perder peso después que ha alcanzado su madurez fisiológica y comercial. Este periodo coincide con la época invernal en la cual la precipitación pluvial es muy baja y la temperatura alcanza sus valores más bajos del año. Por lo anterior se puede inferir que en la parte Central del estado de Veracruz los frutos de tamarindo tardan en desarrollarse de 9 a 10 meses, por lo que las flores que fueron polinizadas en el mes de mayo darán lugar a frutos que se cosecharan en el mes de febrero del próximo año. Debido a que durante los primeros seis meses (junio-noviembre)

el fruto alcanza su mayor crecimiento es de suma importancia que durante este periodo el árbol cuente con la nutrición y la humedad adecuada para el máximo desarrollo del fruto.

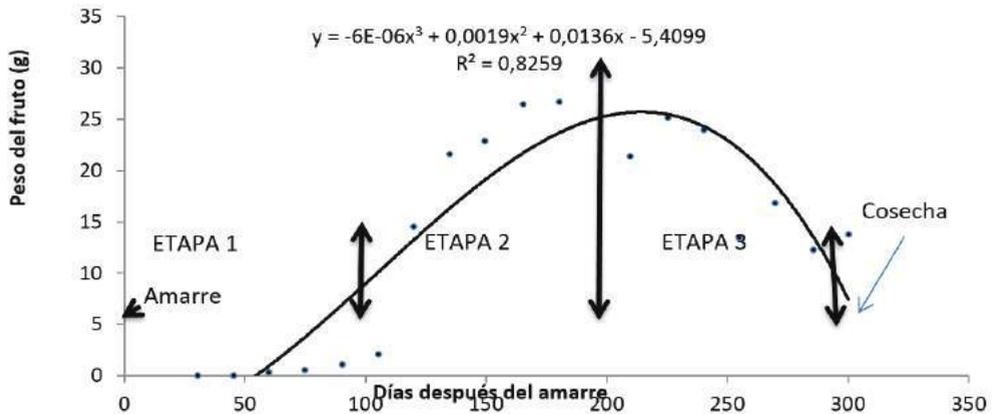


Figura 4. Desarrollo del peso del fruto de tamarindo desde la etapa de amarre hasta la maduración comercial en plantaciones comerciales del Centro de Veracruz.

Conclusiones

La fuerte variabilidad genética que presentan las plantaciones comerciales de tamarindo, en el centro de Veracruz, genera un comportamiento poco uniforme en las fechas de inicio y finalización de las etapas fenológicas del cultivo. Esta condición hace que las etapas de defoliación y revestimiento, que tienen un periodo de duración poco prolongado, se extienda hasta por tres meses en una misma huerta. No obstante, la metodología utilizada permitió identificar y ubicar en el tiempo, el comportamiento fenológico del cultivo en su etapa adulta. Las plantaciones comerciales de tamarindo en etapa productiva, presentaron cinco etapas fenológicas bien diferenciadas: defoliación, brotación vegetativa, floración, polinización y fructificación. Las cuatro primeras etapas ocurrieron entre los meses de febrero y junio estimuladas por presencia de altas temperaturas y las lluvias que se presentan al inicio de la época húmeda del año; mientras que la fructificación y desarrollo del fruto requiere de 290 días y se desarrolla entre los meses de junio y febrero del año próximo inmediato.

Literatura citada

- Addicott F T. (1982). *Abscission*. 15ª Ed. University of California Press, Berkeley. London England. 369 p.
- Becker V O. (1976). Microlepidopteros asociados con Carapa, Cedrela, y Swietenia en Costa Rica. In: Whitemore J L (ed.). Studies on the shootborer, *Hypsipyla grandella* (Zeller), Lep.Pyralidae. Vol. I. IICA. Misc. Publ. No. 101. CATIE, Turrialba, Costa Rica. pp:75-101.
- Chaturvedi A N. (1985). Firewood farming on the degraded lands of the Gangetic plain. U. P. *Forest Bulletin* No.50. Lucknow, India Government of India Press. 286p.
- Coronel R E. (1991). *Tamarindus indica* L. In: Verheij E W M and Coronel R E (Eds.) Plant Resources of South East Asia, Wageningen, Pudoc. No. 2. Edible fruits and nuts. PROSEA Foundation, Bogor, Indonesia. pp: 298-301.
- Díaz P G, Ruiz C J A, Cano G M A, Serrano AV y Medina G G. (2006). Estadísticas climáticas básicas del estado de Veracruz (Periodo 1961- 2003). INIFAP-CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla. Libro técnico Núm. 13. Veracruz, México. 292 p.
- Food and Agriculture Organization (FAO). (1988) *Fruit Bearing Trees*. Technical notes. FAO-SIDA Forestry Paper 34: 165-167.
- Fournier L A. (1974). Un método cuantitativo para la medición de características fenológicas en árboles. Turrialba. 24(4):422-423.
- Fournier L A, Salas S. (1966). Algunas observaciones sobre dinámica de la floración en el bosque tropical húmedo de Villa Colón. *Rev. Biol. Trop.* 14:75-85.
- Huxley P A. (1983) Phenology of tropical woody perennials and seasonal crop plants with reference to their management in agroforestry systems. In: P A Huxley (ed.) Plant research and agroforestry. Nairobi, KE, ICRAF. pp:503-525.
- Killmann W, H L Thong. (1995). The periodicity of growth in tropical trees with special reference to *Dipterocarpaceae* - a review-. *IAWA Journal* 16: 329-335.
- Longman K A, J Jeník. (1987). Tropical forest and its environment. 2ª edition. Longman Scientific & Technical, Essex. London, England. 347 p.
- Martínez M E. (2007). Estructura y caracterización morfológica del nanche (*Byrsonima crassifolia* (L.) HBK) con base en hoja, fruto y semilla. Tesis doctoral. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Fitotecnia. Instituto de Horticultura. Chapingo estado de México. 105 p.
- Mejía M G. (1990). Fenología: Fundamentos y métodos. En: Treviño T. (Ed.). Memoria del 2º Seminario Taller en Semillas Forestales Tropicales. Bogotá, Colombia. pp. 65-79.

- Mooney H A, E L Dunn. (1970). Convergent evolution of Mediterranean-climate evergreen sclerophyll shrubs. *Rev. Evolution* 24: 292-303.
- Mooney H A, O Bjorkman, A E Hall, E Medina and P B Tomlinson. (1980). The study of physiological ecology of tropical-current status and needs. *Bioscience* 30:22-26.
- Nagarajan B A, Nicodemus A K., Mandal A K., Verma R K., Gireesan K. and Mahadevan N P. (1998). Phenology and controlled pollination studies in tamarind. *Silvae Genetica* 47:237-242.
- Norero A. (1990). Fenología: un estudio científico que tiene aplicaciones prácticas en la planificación de los cultivos. *Panorama económico de la agricultura. Universidad Católica de Chile* 13 (68):20-23.
- Oliveira G K C, R de L Alcantara B, F de A Cardoso A, W E Pereira, G Bandeira B (2006). Desenvolvimento de frutos e sementes de tamarindo. *Rev. Bras. Frutic. Jaboticabal SP* 28 (3): 351-354.
- Orozco S M. (2001). El cultivo del tamarindo (*Tamarindus indica* L.) en el trópico seco de México. SAGARPA, INIFAP, CIRPAC. C.E. Tecomán. Folleto Téc. No. 1. Tecomán, Colima. 89 p.
- Pushpakumara D K N G, and H P M Gunasena. (2006). Reproductive biology. Chapter 6. *In: Williams J T, Smith R W, Haq N, Dunsiger Z (Eds.). Fruits for the future 1: Tamarind Tamarindus indica L. Southampton Centre for Underutilised Crops, Southampton, UK. pp: 87-94.*
- Sans F, y R Masalles. (1988). Fenología de las primeras etapas de la sucesión secundaria tras el abandono de los cultivos de la comarca de la “Las Ganigas”. *Larva* 10:169-179.
- Santamaría del C S, F Lloret M, M Mas i S, M A Cardona F, L Rossellis. (1992). Biología de las Plantas. Versión en español. Editorial Reverté, S.A. España. 773 p.
- Servicio de información agroalimentaria y pesquera (SIAP). 2011. Cierre de producción agrícola del cultivo de tamarindo. [En línea]. Consultado el 22 de junio de 2011. http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&Itemid=350.
- Soto E M y E García. (1989). Atlas climático del estado de Veracruz. Instituto de Ecología. Xalapa, Veracruz. 125 p.
- Zobel B and Talbert J. (1984). Applied Forest Tree Improvement. John Wiley and Sons, New York, USA. pp: 234–244.

Rendimiento y recambio de tejido foliar del pasto *Brachiaria híbrido 36061* a diferente manejo

Yield and leaf tissue replacement of the grass *Brachiaria híbrido 36061* to different management

Cruz Hernández Aldenamar^{1*}, Alfonso Hernández Garay²,
Armando Gómez Vázquez¹ y Efraín de la Cruz Lázaro¹.

¹Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. División Académica de Ciencias Agropecuarias. Km 25 Carretera Villahermosa-Teapa. Centro, Tabasco. ²Ganadería, Recursos Genéticos y Productividad, Colegio de Postgraduados. Km. 35.5 carretera México-Texcoco, Montecillo, Estado de México, México. *Email:ingaldecruzhmc@hotmail.com

Resumen. El objetivo fue evaluar el rendimiento de los componentes morfológicos y tasa de recambio de tejido del pasto Mulato a diferente manejo de pastoreo. Se evaluaron tres frecuencias (14, 21 y 28 días) y dos intensidades de pastoreo (9-11 y 13-15 cm), distribuidas aleatoriamente en un diseño de bloques al azar con arreglo factorial 3x2 y tres repeticiones. En hoja, hubo efecto de frecuencia y de intensidad de pastoreo durante el experimento. La frecuencia de pastoreo de 28 días presentó 74 y 141% mayor rendimiento de hojas que el de 21 y 14 días. El mayor rendimiento de hojas se presentó en lluvias y aumentó en un 75 y 135% al incrementar el intervalo de pastoreo de 14 a 21 y 28 días, respectivamente; seguido por nortes y seca. Respecto a la tasa de recambio, al pastorear ligeramente cada 28 días se obtuvo mayor elongación foliar y tasa de crecimiento neto foliar, con mayor recambio de tejido en lluvias. Se concluye, el mayor rendimiento de hojas, tallos y crecimiento neto foliar se concentró al pastorear cada 28 días con intensidad de 13-15 cm.

Palabras clave: Pasto Mulato, rendimiento, recambio de tejido, frecuencia e intensidad de pastoreo

Abstract. The aim was to evaluate the yield of morphological components and tissue turnover rate of mulato grass at different grazing management. We evaluated three frequencies (14, 21 and 28 days) and two grazing intensities (9-11 and 13-15 cm), randomly distributed in a randomized block design with 3x2 factorial arrangement and three replications. In leaf, was no effect of frequency and intensity of grazing

during the experiment. Grazing frequency of 28 days showed 74 and 141% higher yield than that of sheets 21 and 14 days. The highest yield of leaves was present in rainfall and increased by 75 and 135% by increasing the grazing range of 14 to 21 and 28 days, respectively, followed by windy and dry. Regarding the turnover rate, to graze slightly every 28 days was greater leaf elongation and leaf net growth rate, with greater tissue turnover in rain. It is concluded, the highest yield of leaves, stems and leaf net growth was concentrated in grazing intensity every 28 days with 13-15 cm

Keywords: Pasto mulato, yield, tissue replacement, frequency and intensity of grazing

Introducción

El manejo eficiente de las gramíneas forrajeras, representa la mejor oportunidad de mantener y mejorar la estabilidad ecológica de los ecosistemas en pastoreo; es decir, aprovechar mejor la energía lumínica, que junto con la lluvia, ayudan a satisfacer las necesidades de energía y proteína de origen animal para la población humana (Da Silva y Nascimento, 2007), por ello, un manejo que considere la frecuencia e intensidad a la que es pastoreado la pradera, permitiría obtener mayor rendimiento y calidad del forraje sin el deterioro de la misma. Trabajos realizados por Mello, (2002); Penati, (2002); Balsalobre, (2002), con *Panicum maximum* cv Tanzânia (capim-Tanzânia) bajo régimen de defoliación intermitente (pastoreo rotacional) por bovinos de carne en crecimiento, revelaron que la condición de 95% de interceptación luminosa del dosel forrajero, en esa especie forrajera fue caracterizada consistentemente por una altura de 65-70 cm del dosel, independientemente de la masa de forraje residual evaluada (1000, 2500 y 2444 kg MS/ha). En este sentido, el periodo de descanso y la altura del pasto después de la defoliación reviste gran importancia, ya que restaura las reservas orgánicas, área foliar, intercepción de radiación luminosa, tasa media de acumulación de forraje y recientemente hojas verdes por tallo. Este último concepto se fundamenta en la morfogénesis del forraje, ya que prevé la pérdida de biomasa por senescencia, muerte de hojas y tallos, de modo que se optimiza eficientemente la utilización de forraje producido (Candido *et al.*, 2005), en este contexto, la recuperación del dosel en una pradera se caracteriza por el flujo de biomasa, involucrando el proceso de formación, crecimiento y senescencia de nuevas hojas y tallos.

La introducción y evaluación de nuevas especies en la región tropical tales como: *B. brizantha* (A. Rich.) Stapf, *B. decumbens* Stapf, *B. humidicola* y Mulato

(*B. brizantha* X *B. ruziziensis*), con alto potencial forrajero, han sido considerados prominentes dentro de su género (Gerardo, 2006). La importancia de utilizar, el pasto Mulato radica en su gran adaptación a las zonas tropicales, ya que soportan condiciones edafoclimáticas difíciles para otros pastos (Argel *et al.*, 2006). El objetivo fue determinar el efecto del manejo del pastoreo sobre el rendimiento de materia seca y tasa de recambio de tejido del pasto Mulato.

Materiales y métodos

El estudio se realizó de noviembre 2007 a octubre 2008 en el Área Experimental de la División Académica de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), localizado a 17° 46' 56" LN y 92° 57' 28" LO, a 10 msnm. El sitio corresponde a un clima Am (f) (i') gw (García, 1988), el suelo predominante es luvisol crómico (Palma y Cisneros, 1996).

Establecimiento de las praderas. La siembra del pasto Mulato se realizó manualmente a "piquete", al inicio de la época de lluvias, en el mes de julio del año 2006. Antes de sembrar se aplicó un herbicida sistémico para eliminar malezas emergidas. La densidad de siembra fue de 6.0 kg de semilla ha⁻¹, distribuida a una distancia de 50 cm entre surcos y plantas. Se ocupó un área de 1800 m² (37.5 x 48 m), dividida en 18 unidades experimentales de 100 m² (12.5 x 8 m), distribuidas en un diseño de bloques al azar con arreglo factorial 3x2, el primer factor estudiado fue, frecuencias de pastoreo (FP: 14, 21, 28 días) y el segundo factor intensidades de pastoreo (IP): severa sacando los animales cuando el pasto adquiriera una altura entre 9-11 cm y ligera sacando los animales cuando el pasto adquiriera una altura entre 13-15 cm con tres repeticiones. Quince días antes de iniciar el estudio, se realizó un pastoreo de uniformización a 10 cm de altura, en todas las unidades experimentales. No se aplicó ningún tipo de fertilizante durante todo el periodo experimental.

Componentes morfológicos. Los componentes morfológicos evaluados de la pradera fueron: hoja, tallo y material muerto. Para evaluar el rendimiento estacional y anual de los componentes morfológicos, un día antes de iniciar el estudio, se colocaron aleatoriamente, en cada repetición, dos cuadrantes fijos de 50 x 100 cm, los cuales se cosecharon con tijeras un día antes de cada pastoreo y todo el forraje presente se colectó a la frecuencia correspondiente. Se pesó el forraje en verde y se obtuvo una submuestra de 100 g, la cual se separó en tres componentes morfológicos de los cuales se depositaron en bolsas etiquetadas. Los diferentes componentes

se secaron por separado en una estufa de aire forzado a 55 °C durante 48 h y se pesaron en una balanza digital. Posteriormente, se utilizaron cinco becerros de 180 a 230 kg por parcela, hasta alcanzar la intensidad de pastoreo correspondiente (4 a 8 h dependiendo de la época del año). El rendimiento de materia seca de hoja y tallos de la pradera se agrupó por estación y total anual.

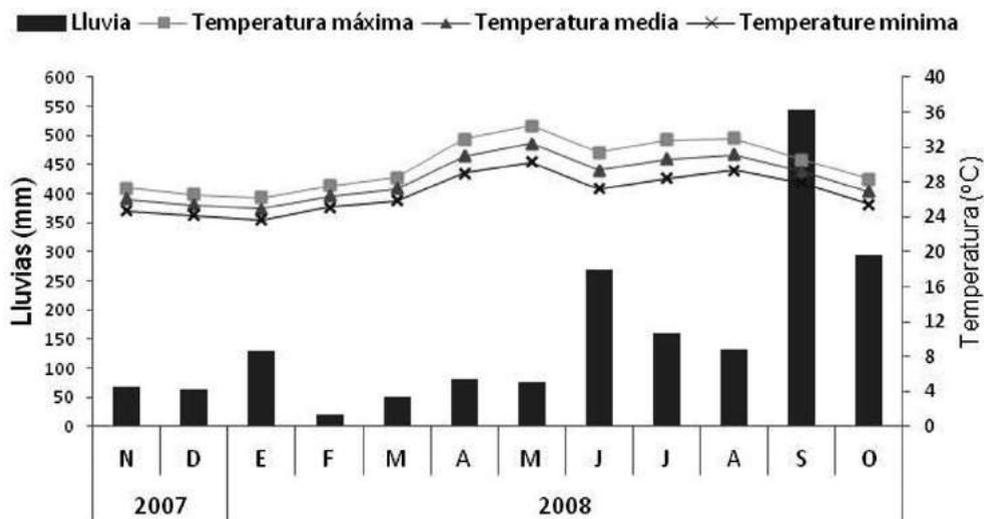


Figura 1. Datos mensuales de precipitación pluvial y temperaturas máximas, medias y mínimas, del sitio experimental localizado en el km 25 de la carretera Villahermosa-Tabasco.

Tasa de recambio de tejido. La tasa de recambio de tejido foliar, la cual consistió en medir las tasa de elongación (TEF), de senescencia (TSF) y de crecimiento neto (CNF) por tallos. Se realizó con la metodología descrita por Ramírez, (2009). A mediados de cada épocas, un día después del pastoreo, en cada unidad experimental, se seleccionaron de manera aleatoria 10 tallos, los cuales fueron identificados con anillos de cable telefónico, y con una regla graduada en mm se midieron en cada hoja, de cada tallo, la longitud de la lámina foliar (desde la lígula hasta el ápice en hojas verdes o hasta la base del tejido clorótico en hojas senescentes). Posteriormente, esta misma determinación se realizó cada semana hasta un día antes del siguiente pastoreo. La TEF $\text{cm tallo}^{-1} \text{d}^{-1}$, se calculó para las hojas en expansión, por la diferencias entre la longitud de las laminas foliares final (LLFf) y al final de dos mediciones sucesivas (LLFi) divididas entre el número de días (T), entre mediciones sucesivas. $\text{TEF} = (\text{LLFf} - \text{LLFi}) / \text{T}$. La TSF $\text{cm tallo}^{-1} \text{d}^{-1}$, se obtuvo para hojas

maduras y en proceso de senescencia, como la diferencia entre la longitud de las láminas foliares verdes al inicio (LFVi) y al final de dos mediciones sucesivas (LFVf), dividida entre el número de días (T) transcurridos entre mediciones sucesivas. $TSF = (LFVi - LFVf) / T$. La CNF $\text{cm tallo}^{-1} \text{ día}^{-1}$, se calculó como la diferencia entre la tasa de elongación foliar (TEF) y la tasa de senescencia foliar (TSF). $CNF = TEF - TSF$.

El análisis estadístico de los datos se realizó utilizando PROC MIXED del paquete estadístico SAS (2001). Los efectos de intervalo entre defoliaciones, época del año y sus interacciones, fueron considerados fijos y el efecto de bloques se consideró aleatorio. Las comparaciones de medias se realizó con la prueba de Tukey ($P < 0.05$) (Steel y Torrie, 1988).

Resultados y discusión

El manejo del pastoreo influye en la velocidad de crecimiento, producción, composición botánica, calidad y persistencia de la pradera (Dong *et al.*, 2004). Al respecto, se ha reportado que conforme se incrementa el intervalo entre pastoreos, en praderas tropicales, se aumenta el rendimiento de forraje con una menor aportación de hojas y mayor acumulación de tallo y material muerto. Lo anterior, indica que es importante considerar no solo el rendimiento forrajero, sino su composición botánica, en particular la proporción de hojas en relación con los tallos y el material muerto. El rendimiento de materia seca varió según la frecuencia e intensidad ($P < 0.01$) de pastoreo en todas las estaciones. La frecuencia de pastoreo de 28 días presentó 74% y 142% mayor acumulación anual de hojas que el de 21 y 14 días respectivamente (Cuadro 1). El mayor rendimiento en hojas se presentó en lluvias y aumentó en un 75% y 135% al incrementar el intervalo de pastoreo de 14 a 21 y 28 días, respectivamente; seguido por la época de nortes y seca (Cuadro 1). La época de nortes presentó un aumento en un 8% y 10% al pastorear cada 14 y 21 días. En la época de seca hubo un 19%, 13% y 5% más rendimiento de hojas con respecto a la frecuencia de pastoreo de 14, 21 y 28 días.

Los mayores cambios morfológicos de la pradera ocurrió en la composición morfológica en la época de lluvias se debieron a que las condiciones edáficas y climáticas favorecieron el crecimiento de las hojas, lo cual concuerda con Festo *et al.* (2003), quienes encontraron que las hojas incrementa su aparición, cuando existen temperatura entre 20 a 32.5 °C, pero disminuye cuando la temperatura superan los 35 °C. Con respecto a la época de nortes, los cambios se pudieron deber, a que el crecimiento de las plantas es inhibida por las bajas temperaturas, mientras que la época de estrés hídrico, el lento crecimiento sólo permitió la cosecha del escaso rebrote constituido principalmente por hojas.

El rendimiento de materia seca de los tallos se vio afectada ($P < 0.01$) por la frecuencia de pastoreo en las épocas de nortes y lluvias, y por efecto de intensidad de pastoreo en la época de lluvias ($P < 0.01$). La mayor acumulación de tallos se observó en la época de lluvias con un aumento de 116% y 318% al ampliar el intervalo de pastoreo de 14 a 21 y 28 días respectivamente; seguido por la época de nortes (Cuadro 1). Al realizar pastoreo ligero la producción de tallos aumentó en un 29.3% con respecto al pastoreo severo en las épocas de lluvias. El rendimiento de materia seca tallos se incrementó al aumentar el intervalo entre pastoreos de 14 a 28 días, lo cual concuerda con lo observado por otros autores (Hernández *et al.*, 2000). Estos autores quienes consignaron que la proporción de hojas en el forraje cosechado disminuye al aumentar el intervalo entre cosechas, debido a un mayor crecimiento del tallo, cuando hay condiciones ambientales favorables para el crecimiento de las plantas (época de lluvias); en contraste, durante la época de nortes la elongación del tallo es inhibida por las bajas temperaturas, mientras que en el periodo seco, el déficit de agua (Sage y Kubein, 2007) es el factor limitante del crecimiento vegetal y por consiguiente de la escasa contribución del tallo al rendimiento.

Se registró efecto de frecuencia de pastoreo en la tasa de elongación foliar ($P < 0.01$) durante todo el periodo de evaluación (Cuadro 2). En la época de lluvias la elongación foliar al pastorear cada 28 días superó en 25% y 155%, al de 21 y 14 días, respectivamente. En la época de nortes el pastoreo cada 28 días registró 216.5% mayor elongación que el de 14 días respectivamente. Durante el periodo seco, las frecuencias de corte de 14 y 21 días tuvieron 266% y 50% menor tasa de elongación que el de 28 días. La tasa de senescencia foliar presentó la misma tendencia que la tasa de elongación foliar (Cuadro 2). La senescencia foliar aumentó conforme el intervalo de pastoreo se incrementó de 14 a 28 días ($P < 0.05$). Hubo efecto de frecuencia de pastoreo en todo el periodo de evaluación ($P < 0.05$) en el crecimiento neto foliar. La tasa de crecimiento neto foliar se incrementó al aumentar el intervalo entre pastoreos en todas las épocas del año (Cuadro 2). Durante la época de lluvias la tasa de crecimiento neto aumentó en 143% y 19% al incrementar el intervalo de pastoreo de 14 y 21 días, respectivamente.

Cuadro 1.

Acumulación estacional de los componentes morfológicos del pasto *Brachiaria híbrido 3606* (cv. mulato) a diferentes frecuencia e intensidades de pastoreo.

Tratamientos		Épocas del año			Acumulación anual
Frecuencia (días)	Intensidad (cm)	Nortes	Seca	Lluvias	
kg MS ha ⁻¹ (Hojas)					
14		1211c	773c	2210c	4134c
21		2011b	1368b	3832b	7212b
28		2713a	2101a	5197a	10012a
	Severo	1822b	1240b	3575b	6644b
	Ligero	2129a	1561a	3917a	7608a
EEM		72	39	81	115
Frecuencia de Pastoreo		*	**	*	**
Intensidad de Pastoreo		**	**	**	**
kg MS ha ⁻¹ (Tallos)					
14		117b	&	352c	469c
21		289b	&	762b	1051b
28		671a	&	1472a	2145a
	Severo	319a	&	752b	1072b
	Ligero	399a	&	972a	1372a
EEM		37	&	48	68
Frecuencia de Pastoreo		**	&	**	**
Intensidad de Pastoreo		ns	&	*	*

Nortes (Noviembre-Febrero), seca (Marzo-Mayo), lluvias (Junio-Octubre). Severo (9-11 cm) y ligero (13-15 cm). ns= no significativo; ** $P \leq 0.01$; * $P \leq 0.05$; abc= Diferente literal en la misma columna, indican diferencia ($P < 0.05$); EEM= Error estándar de la media. &=no existió.

Los resultados muestran que la velocidad de crecimiento de la pradera de pasto Mulato varió entre estaciones del año de acuerdo con las condiciones ambientales, y dentro de estaciones con base en el manejo del pastoreo. En la época de lluvias, con condiciones ambientales propicias para el crecimiento, se presentó el mayor flujo de tejido foliar del pasto Mulato, pero el manejo de la frecuencia e intensidad de pastoreo, a la que fue sometida la pradera, favoreció a las praderas cosechadas a intervalos más prolongados, como a sido consignado por Ramírez *et al.* (2009) en praderas de pasto Mombaza. Por su parte, Santos *et al.* (2004) mencionan que al incrementar la edad de la planta a la cosecha, la elongación de hojas es mayor y cuando las defoliaciones son más severas hay remoción de meristemas, lo que propicia un lento crecimiento; sin embargo, si el periodo entre cosechas es prolongado, se incrementa la tasa de senescencia foliar, lo que provoca disminución en la tasa de elongación neta de la hoja.

Cuadro 2.

Cambios estacionales en la tasa de elongación, senescencia y crecimiento neto foliar del pasto *Brachiaria híbrido* (cv. mulato), a diferentes frecuencias e intensidades de pastoreo.

Tratamientos		Épocas del año		
Frecuencia (días)	Intensidad	Nortes	Seca	Lluvias
Tasa de elongación foliar (cm tallo ⁻¹ día ⁻¹)				
14		1.03b	0.74c	1.86c
21		1.04b	1.80b	3.87b
28		3.26a	2.71a	4.82a
	Severo	1.68a	1.53a	3.37a
	Ligero	1.87a	1.97a	3.66a
EEM		0.17	0.31	0.30
Frecuencia de Pastoreo		**	**	**
Intensidad de Pastoreo		ns	ns	ns
Tasa de senescencia foliar (cm tallo ⁻¹ día ⁻¹)				
14		0.00b	0.13a	0.01b
21		0.09b	0.11a	0.11ab
28		0.62a	0.41a	0.35a
	Severo	0.21a	0.21a	0.14a
	Ligero	0.27a	0.23a	0.17a
EEM		0.48	0.13	0.08
Frecuencia de Pastoreo		**	**	**
Intensidad de Pastoreo		ns	ns	ns
Tasa de crecimiento neto foliar (cm tallo ⁻¹ día ⁻¹)				
14		0.95a	0.85b	1.84c
21		1.04b	1.65ab	3.75b
28		2.64b	2.30a	4.48a
	Severo	1.47a	1.46a	3.22a
	Ligero	1.61a	1.75a	3.49a
EEM		0.17	0.33	0.26
Frecuencia de Pastoreo		**	**	**
Intensidad de Pastoreo		ns	ns	ns

Nortes (Noviembre-Febrero), seca (Marzo-Mayo), Lluvias (Junio-October). Severo (9-11 cm) y ligero (13-15 cm). ns= no significativo; ** $P \leq 0.01$; abc= Diferente literal minúscula, en cada columna, indican diferencia ($P < 0.05$); EEM= Error estándar de la media.

En general, se observó un aumento progresivo en la tasa de elongación de la hoja conforme se incrementó el intervalo entre pastoreos. Nula senescencia foliar fue registrada en todas las praderas cosechadas cada 14 días, al pastorear cada 21 días, la elongación aumento, respecto al intervalo de 14 días, y la tasa de senescencia

comenzó a manifestarse, siendo hasta el intervalo de 28 días cuando se registraron los mayores valores de elongación y senescencia foliar, por lo que el crecimiento neto foliar fue similar al registrado a los 21 días de edad de rebrote, en ambas intensidades de pastoreo. Los resultados de esta investigación concuerdan con estudios realizados por Ramírez, (2009) quien al evaluar diferentes frecuencias de corte en *P. maximum* cv. Mombaza, encontró una mayor tasa de crecimiento y senescencia foliar y menor crecimiento neto foliar conforme se incrementó el intervalo de corte de 3 a 7 semanas. Posiblemente la falta de hoja fotosintéticamente activa no fue suficiente para que la pradera presentara un rápido crecimiento lo que, en este sentido, Sbrissia, (2004), recomienda manejar la pradera cultivada con *B. Brizantha* cv. marandu a 30 cm de altura, ya que las praderas manejadas a 40 cm presentaron menores valores de elongación de la hoja, y tasa de crecimiento, asociados con mayores tasas de senescencia foliar (Sbrissia, 2004). En tanto Cruz. (1993) citado por Chapman y Lemaire. (1993) mencionan que praderas mantenidas a 10 cm resultaron plantas más susceptibles al pastoreo, reduciendo considerablemente sus niveles de carbohidratos y por consiguiente disminuyendo su habilidad competitiva en favor de un incremento en la proporción de malezas en la masa de forraje presente

Conclusiones

El mayor rendimiento de hojas, tallos y tasa de crecimiento neto del pasto mulato se obtuvo al pastorear ligeramente cada 28 días, en tanto que la mayor dinámica de recambio de tejido foliar se obtuvo en la época de lluvias.

Agradecimientos

Se agradece a PFICA el financiamiento del proyecto denominado “Evaluación del rendimiento y valor nutritivo de los pastos remolinos, mulato y humidicola en respuesta al pastoreo con clave UJAT-2009-CO6-30, proyecto del cual se logró esta publicación.

Literatura citada

Argel, J.P., Miles, W.J., Guiot, G.J., Lascano, E.C. 2006. Gramínea de alta producción y calidad forrajera para los trópicos (*Brachiaria* híbrido CIAT 36061). Cultivar Mulato. CIAT 24 p.

- Cândido, D.M.J., Gomide, M.C.A., Alejandrino, E., Gomide, J.A. e Pereira, E.W. 2005. Morfofisiologia do Dossel de *Panicum maximum* cv. Mombaça sob Lotação Intermitente com Três Períodos de Descanso. *Rev Bras Zootec*, 34(2):406-415
- Chapman D F, G Lemaire (1993) Morphogenetic and structural determinants of plant regrowth after defoliation. *Proceedings of the XVII International Congress*: 96-104.
- Da Silva, C.S. e Nascimento, J.D. 2007. Ecofisiología da produção animal em pastagem e suas implicações sobre o desempenho e a produtividade de sistemas pastoris. VI Simpósio de Forragicultura e Pastagens. Lavras-MG, Brasil. p.48.
- Balsalobre M A A (2002) Valor alimentar do capim Tanzânia irrigado. Piracicaba. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. 113p.
- Dong, S.K., Kang, M.Y., Hu, Z.Z., Long, R., Pu, X.P. 2004. Performance of cultivated perennial grass mixtures under different grazing intensities in the alpine region of the Qinghai-Tibetan Plateau. *Grass Forage Sci* (59): 298-306
- Festo, J.M., Sabed, N.A. and Jeremy, A.R. 2003. The impact of temperature on leaf appearance in bamba groundnut landraces. *Crop Sci*. 43: 1375-1379 p.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 4ª ed. Ed. Limusa. México. 217 p.
- Gerardo, C.H. 2006. Potencial forrajero de ecotipos de *Brachiaria humidicola*. Tesis de maestría, Colegio de Postgraduados, Montecillos, Texcoco, edo de México. p 5.
- Hernandez, G.A., Mathew, C., Hodgson, J. 2000. The influence of defoliation height on dry-matter partitioning and CO₂ exchange of perennial ryegrass miniature swards. *Grass Forage Sci* (55):372-37
- Mello A C L (2002) Respostas morfofisiológicas do capim Tanzânia (*Panicum maximum* cv Tanzânia) irrigado à intensidade de desfolha sob lotação rotacionada. Piracicaba. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. 67p.
- Palma, L.D.J y Cisneros, D.J. 1996. Plan de uso sustentable de los suelos de Tabasco. Fundación Produce Tabasco, A.C. Villahermosa, Tabasco. 116 p.
- Penati M A (2002) Estudo do desempenho animal e produção do capim Tanzânia (*Panicum maximum*, Jacq.) em um sistema rotacionado de pastejo sob irrigação em três níveis de resíduo pós-pastejo. Piracicaba, Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. 117p.
- Ramirez, R.O. 2009. Dinámica de rebrote de *Panicum maximum*, *Brachiaria brizantha* y *Cynodon plectostachyus*, a diferente intervalo de cortes. Tesis Doctorado, Colegio de Postgraduado. Campus Montecillos, Mexico 147 p.

- Sage, F.R., Kubein, S.D. 2007. The temperature response of C3 and C4 photosynthesis. *Plant Cell and Environment* (30):1086-1106
- Santos, P.M., Balsalobre, M.A.A., Corsi, M. 2004. Características morfológicas e taxa de acúmulo de forragem do capimombaça submetido a três intervalos de pastejo. *Rev Bras Zootec*, 33(4): 843-851.
- Statistic Analysis System Institute (SAS). 2001. *Sas User's Guide: Statistics. Version 8*. Cary, N.C. Cdroom.
- Steel, R.G. y Torrie, J.H. 1988. *Bioestadística. Principios y Procedimientos*. 2a, ed, McGraw Hill. México. 622 p.

Materiales regionales alternativos como sustratos y su comportamiento en dos cultivos

Regional materials as alternative substrates and their behavior in two crops

Martínez-Gutiérrez Gabino Alberto*, Cirenio Escamirosa Tinoco,
Yolanda Donají Ortiz-Hernández, Juana Yolanda López-Cruz y Paulina Alejandra Flores-Ríos.

Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca,
Instituto Politécnico Nacional. Calle Hornos 1003, Indeco Xoxo. Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca.
71230. Tel. y Fax 01 (951) 51 70610 Ext. 82761 y 82723. *Email: gamartinezg@ipn.com

Resumen. Es necesaria la búsqueda de materiales más baratos y menos contaminantes que sirvan como sustrato, para la producción en el cultivo sin suelo de hortalizas. Con el propósito de utilizar como sustratos, se estudió al bagazo de maguey mezcalero (*Agave spp.*), al polvo y fibra del fruto del cocotero, la vermiculita y doce mezclas (% de volumen) de estos materiales. Se determinaron sus propiedades físicas, químicas y biológicas, y se evaluó su efecto en los cultivos de melón (*Cucumis melo* L. c.v. "Magno F1") y tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill. c.v. "Don Raul"). El experimento se estableció bajo un diseño de bloques al azar en invernadero tipo "multitúnel". Los valores de la densidad real, espacio poroso total, conductividad eléctrica y porcentaje de germinación de semillas de lechuga se ubicaron en el intervalo óptimo para sustratos de cultivo sin suelo. El mayor porcentaje en peso se presentó con las partículas medianas (0.25 - 5 mm). El porcentaje en peso de partículas gruesas (> a 2 mm) fue menor y en consecuencia también el índice de grosor. El mayor rendimiento de tomate (12.4 kg m⁻²) se obtuvo al combinar 25 % de polvo de coco más 75 % de vermiculita y en melón el mayor rendimiento (3.1 kg m⁻²) fue con la mezcla del 25 % de bagazo de maguey mezcalero más 75 % de vermiculita. Con ningún tratamiento se afectaron los sólidos solubles totales. La mezcla del bagazo de maguey y/o el polvo de coco, con vermiculita son mejores sustratos que los materiales puros.

Palabras clave: *Agave*, Maguey mezcalero, Bagazo, Cultivo sin suelo, Sustrato, Polvo de coco, Vermiculita.

Abstract. It's necessary the searching of cheaper materials and less contaminants that we can used as substrate for the producción of horticulturae in soilless culture. We have studied some substrates as bagasse maguey waste (*Agave* spp.), the fruit fiber coconut and dust, the vermiculite and twelve mixes more (% of volume) of this materials. It was determinate their physical, chemicals and biological properties, we also evaluated its effect in the melon cultures (*Cucumis melo* L. c.v. "Magno F1" and tomatoe (*Lycopersicon esculentum* Mill. C.v. "Don Raul". This experiment was conducted in a multitunnel greenhouse in a randomized block design. Results indicated that apparent density, total porosity, electrical conductivity and germination rate of lettuce were acceptable for soilless substrates. The medium particles had the highest porcentaje in weight (0.25 – 5 mm). The weight porcentaje in thickness particles (> a 2 mm) was less, in consequence also the indece of thickness. The highest yield of tomatoes (12.4 kg m²) was observed on a substrate composed with 25% coconut dust and 75% vermiculite. In contrast, a mixture of 25% maguey bagasse and 75% vermiculite produced the highest yield of melons (3.1 kg m²). In conclusion mixtures of maguey bagasse and/or coconut dust with vermiculite are superior to pure materials and can be used for the soilless cultivation of melons and tomatoes.

Index words: Agave, maguey mezcalero, dust coconut, soilless culture, vermiculite, waste, substrate.

Introducción

En Oaxaca, el cultivo en invernadero de tomate y otras hortalizas se ha incrementado fuertemente durante los últimos diez años (OEIDRUS, 2008) y continúa en ascenso. En estos invernaderos se encuentran sistemas de producción en suelo y sin suelo; con sustratos orgánicos e inorgánicos. Diversos autores como García *et al.* (2001), Castellanos (2004) y Ojodeagua *et al.* (2008) mencionan que el cultivo en suelo posee la ventaja de ser 50 % más eficiente en el uso de nutrientes y 70 % en el uso del agua (Villareal *et al.*, 2002; Ojodeagua, 2008) en comparación al cultivo establecido en sustratos, siempre que el suelo, no contenga enfermedades y presente altos índices de fertilidad, además de buena textura para su fácil manejo. El uso de sustratos inorgánicos como la lana de roca y perlita entre otros, son materiales muy caros y contaminantes. Una opción puede ser la utilización de los subproductos de las agroindustrias regionales; tales como el bagazo del maguey mezcalero y el polvo y fibra de coco; además de materiales no orgánicos como la vermiculita que es un residuo de la minería no metálica y que ha mostrado buenos resultados cuando

se ha mezclado con otros materiales como la pulpa de papel (Afreeen-Zobayed, *et al.* 2000), además estos materiales son abundantes y disponibles en la región sureste de México.

La región conocida como “del Mezcal” localizada en los Valles Centrales y Sierra Sur del Estado de Oaxaca, se cultivan alrededor de 11,756 hectáreas con plantas de maguey mezcalero (*Agave spp.*) (Arredondo *et al.*, 2003). Durante el año de 1999, se estimó la existencia de 11'329,553 plantas de *Agave spp.* que fue la materia prima para la industria mezcalera con una producción de 3'433,768 L de mezcal, cantidad que ha ido en aumento a través del tiempo. Durante la molienda de la piña previamente cocida en horno para la obtención del mosto o jugo del agave se obtiene como subproducto lo que se conoce regionalmente como bagazo de maguey, el cual y dependiendo del proceso de molienda de las “piñas” se estima entre el 14 y 20 % del peso inicial del tallo del maguey mezcalero (Silva *et al.*, 2003). Anualmente, se generan 4'807,275 t de bagazo o desecho, subproducto que es vertido en ríos, arroyos y una mínima parte se utiliza como combustible en hornos ladrilleros, ocasionado con esto un grave problema al ambiente. Las regiones tequileras del centro y norte del país, emplean el bagazo del maguey tequilero (*Agave tequilana Weber*) para la producción de papel (Idarraga *et al.*, 1999) con resultados comparables a los mostrados por la fibra de pino y de eucalipto (Iñiguez *et al.*, 2001a) además de ser utilizado en las mezclas de granos y cereales para la alimentación animal (Iñiguez, 2001b). Sin embargo, no existen estudios para la utilización del bagazo del maguey mezcalero como sustrato en cultivo sin suelo; no obstante, por sus características morfológicas de fibras duras (Idarraga *et al.*, 1999) y baja densidad, además de su permanente disponibilidad anual y abundancia, tiene amplias posibilidades de ser utilizado como sustrato orgánico alternativo o complementario a los existentes para la propagación de plantas y producción de cosechas. Por esta razón el presente trabajo tuvo como objetivo estudiar el bagazo residual de la industria del mezcal, para utilizarse como medio de cultivo en hortalizas, en forma pura y en diferentes mezclas con el polvo de coco y vermiculita, iniciando con su caracterización, física, química y biológica, además de su evaluación agronómica en cultivos de melón y tomate.

Materiales y métodos

La investigación se realizó de agosto del 2008 a mayo del 2009, en invernaderos y laboratorios de Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR-IPN) Unidad Oaxaca, ubicado en el Municipio de

Santa Cruz Xoxocotlán Oaxaca con ubicación geográfica 17° 13' 21.28" Latitud Norte, 96° 44' 33.19" Longitud Oeste y 2410 m de Altitud. Se utilizó el bagazo residual de la industria del mezcal, compostado de forma natural durante seis meses procedente del palenque de la destiladora Antequera Siglo XXI, ubicado en la comunidad de Villa de Mitla, Valles Centrales de Oaxaca. El polvo de coco (polvo+fibra) se obtuvo mediante la separación mecánica del mesocarpio del fruto de la palma de coco (*Coccus nuccifera* L.), proveniente de la región costa del estado de Oaxaca y procesada en el taller de Ingeniería Mecánica del CIIDIR-IPN, mediante la utilización de un molino de martillos con capacidad de 50 kg h⁻¹. La vermiculita la proporcionó la empresa: Materiales de Antequera S.A. de C.V.[®]. Con los tres materiales "puros", se elaboraron 12 mezclas en diferentes proporciones en volumen (v/v), dando un total de 15 tratamientos (Cuadro 1).

Las propiedades físicas fueron: distribución del tamaño de partícula (expresada como porcentaje en peso) de acuerdo con Richards *et al.* (1986) y Martínez (1992), densidad real y aparente, espacio poroso total, capacidad de retención de agua y humedad por los métodos propuestos por Martínez (1992) y De Boodt y Verdonck (1972). Las propiedades físico-químicas analizadas fueron pH y conductividad eléctrica, por el método del "extracto de saturación" descrito por Warncke (1986) y la materia orgánica por el método propuesto por Martínez (1992).

Los bioensayos de germinación se realizaron siguiendo el método propuesto por Zucconi y Bertoldi (1991), utilizando semillas de lechuga (*Lactuca sativa* L.). Las muestras se analizaron por triplicado. El porcentaje de germinación se determinó, mediante el conteo de las semillas germinadas, contrastadas con las obtenidas en agua destilada. El tamaño de la radícula y de la planta, se obtuvo de manera directa, utilizando papel milimétrico y cuantificando a los 6 días posteriores a la germinación. Todas las determinaciones físicas, químicas y biológicas se realizaron por triplicado.

El experimento se efectuó bajo condiciones de invernadero tipo multicapilla (Castilla, 2005). Los contenedores utilizados fueron bolsas de polietileno negro de 18 L⁻¹, en las cuales se establecieron en forma secuencial, los cultivos de melón (*Cucumis melo* c.v. Magno F1) y tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill. cv. Don Raúl), bajo un diseño experimental en bloques completos al azar con cuatro repeticiones. La unidad experimental fue una planta de melón y dos de tomate. Las variables respuesta fueron rendimiento del fruto (kg m⁻²), frutos comerciales y no comerciales en (kg m⁻²), calidad del fruto expresada como azúcares solubles totales (°Brix).

Se realizaron análisis de la varianza (ANOVA) y cuando ésta resultó significativa, se aplicó la prueba de Tuckey ($P \leq 0.05$). Los cuales se efectuaron mediante el programa Statgraphics Plus 4 (Statistical Graphics Corp, 1999).

Cuadro 1.

Materiales regionales utilizados como sustratos (% en volumen) en los cultivos de tomate (*L. esculentum* Mill c.v. Don Raúl) y Melón (*C. Melo* c.v. Magno F1)

Tratamiento	Bagazo de maguey	Polvo de coco	Vermiculita
1	0	0	100
2	0	25	75
3	0	50	50
4	0	75	25
5	0	100	0
6	25	0	75
7	25	25	50
8	25	50	25
9	25	75	0
10	50	0	50
11	50	25	25
12	50	50	0
13	75	0	25
14	75	25	0
15	100	0	0

Resultados y discusión

El cuadro 2 se observa que tanto las mezclas como los materiales de forma individual mostraron diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) para los diferentes tamaños de partículas. El mayor porcentaje en peso se concentró en las partículas medianas (0.25-2 mm) con mínima presencia de partículas gruesas, lo cual repercutió en los valores bajos del Índice de Grosor (IG), excepto para la mezcla de 25 % de bagazo de maguey con 75 % de polvo de coco que tuvo un índice de grosor de 15.3, valor similar al encontrado por Noguera *et al.* (2000) en polvo de coco de diferentes procedencias y muy inferior al encontrado en cáscara de almendra grano fino (Urrestarazu *et al.*, 2008). La escasez de partículas gruesas (> 2.0 mm) puede afectar las propiedades físicas de los sustratos como: espacio poroso total, capacidad de retención de agua y relaciones aire-agua siendo mayor en la vermiculita y en las mezclas de ésta. Ansorena (1999) menciona la importancia de las partículas con dimensiones menores a un mm de diámetro indica que las partículas mayores tienen poca importancia en la retención de agua. En el Cuadro 3, se aprecia que las propiedades físicas de los materiales individuales y de las mezclas, presentaron cambios altamente significativos ($P \leq 0.01$). Asimismo, se observa que el valor de la densidad aparente fue mayor en el bagazo de maguey mezcalero “puro” (0.41

g cm⁻³), valor ligeramente superior al intervalo óptimo y similar a la densidad de la cáscara de almendra (0.40 g cm⁻³, Urrestarazu *et al.*, 2005). Las mezclas como el polvo de coco y la vermiculita tuvieron valores de densidad aparente inferiores al intervalo óptimo. El menor valor (0.11 g cm⁻³) se presentó con 25 % de bagazo de maguey + 75 % de polvo de coco, el cual fue inferior al encontrado por Konduru *et al.* (1999) en polvo de coco con partículas de 6 mm de diámetro. El bajo valor de la densidad aparente puede ser favorable para el traslado y distribución como medio de cultivo en el interior de los invernaderos. El comportamiento en los valores del espacio poroso total mostró similitud con los valores de la densidad aparente. El menor valor (76.51 %) se obtuvo con el bagazo de maguey mezcalero y fue inferior al óptimo. Sin embargo, al mezclar 25 % de bagazo de maguey + 75 % de polvo de coco, el espacio poroso total aumentó y se ubicó en el intervalo óptimo. El valor del espacio poroso total alcanzado por esta mezcla, se acerca al del sustrato inerte lana de roca indicado por Smith, 1987.

Respecto a la capacidad de retención de agua (CRA), todos los tratamientos tuvieron valores inferiores al óptimo (Abad *et al.*, 1993). Diversos autores (Abad y Noguera, 2000; Gruda *et al.* 2001; Islam *et al.* 2002) indican que un material que pretenda ser utilizado como medio de cultivo de forma única o pura es difícil que reúna todas las propiedades físicas, por lo que es deseable la combinación con otros materiales, aunque esto implique un mayor costo del producto final. Los valores de humedad de los materiales evaluados fueron inferiores al intervalo óptimo, excepto para la mezcla que contenía 25 % de bagazo de maguey mezcalero y 75 % de polvo de coco, así como el polvo de coco en forma pura.

Cuadro 2. Distribución granulométrica del bagazo de maguey mezcalero (A), polvo de coco (B) y vermiculita (C) y de sus mezclas (% de v/v)

Combinaciones			Tamaño de partícula (mm)						IG
			Finas		Medianas		Gruesas		
A	B	C	< 0.125	0.125-0.25	0.25-.5	1-2	2-4	4-8	
(% en peso)									
0	0	100	0.4 ^f	15.2 ^d	78.7 ^a	2.9 ^a	-	-	3.0 ^c
0	25	75	1.5 ^g	17.7 ^d	78.2 ^a	0.2 ^d	1.4 ^c	0.5 ^c	2.0 ^d
0	50	50	3.1 ^g	19.7 ^d	71.8 ^a	0.9 ^d	2.5 ^b	1.5 ^b	4.9 ^c
0	75	25	2.8 ^g	26.8 ^d	66.4 ^b	0.5 ^d	0.1 ^c	-	1.4 ^d
0	100	0	5.0 ^d	30.0 ^a	53.6 ^d	2.7 ^a	2.7 ^b	-	5.5 ^c
25	0	75	3.9 ^e	20.0 ^c	74.5 ^b	0.5 ^d	0.6 ^d	-	1.1 ^d
25	25	50	4.2 ^e	20.7 ^c	70.8 ^b	0.8 ^d	1.1 ^c	0.8 ^c	3.6 ^c
25	50	25	6.5 ^d	28.0 ^a	61.7 ^b	1.2 ^c	2.6 ^b	0.4 ^c	4.2 ^c
25	75	0	9.6 ^c	24.8 ^b	47.7 ^c	2.6 ^a	6.4 ^a	6.3 ^a	15.3 ^a
50	0	50	6.9 ^d	20.8 ^b	69.3 ^c	1.0 ^c	1.2 ^c	-	2.2 ^d
50	25	25	5.5 ^d	24.4 ^b	62.9 ^d	1.9 ^b	3.1 ^b	1.3 ^b	6.4 ^c
50	50	0	13.3 ^b	25.4 ^a	50.8 ^d	2.7 ^a	4.7 ^a	1.2 ^b	8.7 ^b
75	0	25	7.3 ^d	23.5 ^a	63.2 ^d	1.8 ^b	2.8 ^b	-	4.6 ^c
75	25	0	11.6 ^b	28.5 ^a	48.4 ^c	2.9 ^a	6.1 ^a	1.1 ^b	10.1 ^b
100	0	0	16.4 ^a	25.1 ^a	51.6 ^c	2.1 ^b	2.6 ^b		4.7 ^c
Significancia			**	**	**	**	**	**	**

^f: Medias con la misma letra en columnas, son estadísticamente iguales (Tuckey, 0.05); **: Significancia a los niveles de probabilidad de 0.01.; IG: Índice de grosor.

Todas las propiedades fisicoquímicas de los materiales solos o mezclados (Cuadro 4) mostraron diferencias significativas ($P \leq 0.01$). El valor del pH fue ligeramente superior al óptimo y únicamente alcanzaron el óptimo cuando un componente de la mezcla contenía vermiculita. El alto valor de pH es característico de materiales orgánicos como lo señalan Abad *et al.* (2002) y Urrestarazu *et al.* (2008) en las propiedades fisicoquímicas del polvo de coco utilizado como sustrato en plantas ornamentales y en el compost de desechos vegetales de la horticultura bajo invernadero, respectivamente. Los valores de conductividad eléctrica (C.E.) se mantuvieron dentro del nivel óptimo, siendo el máximo de 3.59 d Sm^{-1} , estos valores pueden afectar el crecimiento de ciertas plantas sensible a la salinidad (Bunt,

1988). Sin embargo, se ha demostrado que altos valores de pH y CE del sustrato no presentan riesgo para su uso, ya que el programa de riego aplicado durante el desarrollo del cultivo provoca una eficaz lixiviación de las sales solubles en exceso (Noguera *et al.*, 1997; Abad *et al.*, 2002; Martínez *et al.* 2009). El contenido de materia orgánica fue menor en la vermiculita y en mezclas que contenían este material y mayor en los materiales orgánicos, estos resultados son similares con los reportados por Iñiguez *et al.* (2006) en componentes iniciales de las compostas de biosólidos y bagazo de agave de la industria tequilera.

Cuadro 3.

Comportamiento de las propiedades físicas de materiales regionales alternativos solos y en mezclas (% v/v)

Combinaciones			Densidad aparente	Espacio poroso	CR A	Humedad
A	B	C	(g cm ⁻³)	Total (%)	(ml agua/L sustrato)	(%)
0	0	100	0.25 ^b	89.90 ^a	482.91 ^b	65.59 ^c
0	25	75	0.37 ^b	84.90 ^b	334.17 ^d	46.35 ^d
0	50	50	0.22 ^d	90.54 ^a	380.57 ^c	62.56 ^c
0	75	25	0.21 ^d	89.13 ^a	578.91 ^a	72.92 ^b
0	100	0	0.13 ^c	91.48 ^a	565.15 ^a	81.13 ^a
25	0	75	0.35 ^b	84.80 ^b	564.63 ^a	61.20 ^c
25	25	50	0.29 ^b	86.12 ^b	544.47 ^a	65.10 ^c
25	50	25	0.22 ^d	88.38 ^b	540.47 ^a	70.83 ^b
25	75	0	0.11 ^c	92.53 ^a	526.51 ^a	81.65 ^a
50	0	50	0.36 ^b	81.86 ^d	585.13 ^a	61.33 ^d
50	25	25	0.24 ^d	87.23 ^c	636.83 ^a	72.09 ^b
50	50	0	0.15 ^c	84.80 ^c	605.62 ^a	79.29 ^b
75	0	25	0.28 ^b	90.08 ^a	553.82 ^a	66.10 ^d
75	25	0	0.25 ^d	84.60 ^c	607.01 ^a	70.98 ^b
100	0	0	0.41 ^a	76.51 ^d	410.45 ^c	46.55 ^d
Significancia			**	**	**	**
Intervalo óptimo			< 0.40	> 85	600-1000 ⁽ⁱⁱ⁾	85.9-87.92 ⁽ⁱⁱⁱ⁾

A: Bagazo de maguey; B: Polvo de coco, C: Vermiculita; CRA; Capacidad de retención de agua; ⁱ: Medias con la misma letra en columnas, son estadísticamente iguales (Tuckey, 0.05); ⁽ⁱⁱ⁾: Abad *et al.* (1993); ⁽ⁱⁱⁱ⁾: Noguera *et al.* (1997). **: Significancia $P \leq 0.01$.

Las propiedades biológicas (Cuadro 4) mostraron diferencias significativas ($P \leq 0.01$) entre materiales solos y en las doce mezclas analizadas. El porcentaje de germinación de semillas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) fue superior al mínimo recomendado (Abad y Noguera, 2000), consecuentemente la longitud del tallo y raíz fueron aceptables y los resultados obtenidos fueron similares a los que señala

Ortega *et al.* (1996) en ocho especies hortícolas al utilizar extractos de cortezas de *Quercus suber* L. con diferentes métodos de lavados con agua caliente y fría. El rendimiento de tomate y melón mostró diferencias significativas en todos los tratamientos (Cuadro 5). El mayor rendimiento de tomate fue de 12.4 kg m⁻² al utilizar la mezcla de 25 % de polvo de coco más 75 % de vermiculita. Estos resultados son superiores a los 9.98 kg m⁻² obtenido por Urrestazu *et al.*, 2005, utilizando cáscara de almendra como sustrato, en bolsas de 25 L y muy inferior a los 30.4 kg m⁻² que obtuvieron Ojodeagua *et al.* (2008) utilizando tezontle negro y rojo, así como en suelo convencional. Esta diferencia de rendimientos puede deberse al mayor tiempo de cosecha y a las diferencias en las variedades utilizadas.

Cuadro 4.

Características físico-químicas y biológicas de materiales regionales, para su posible uso como sustrato en cultivos de hortalizas.

Combinaciones			Físico-químicas			Biológicas ¹		
			Ph	CE (d Sm ⁻¹)	Mat. Org. (%)	Germinación (%)	Longitud (cm) tallos	Raíz
A	B	C						
0	0	100	7.99 ^a	1.02 ^f	7.33 ^j	85.00 ^c	3.82 ^g	1.42 ^e
0	25	75	6.87 ^d	1.65 ^e	9.24 ^j	87.00 ^b	5.19 ^d	1.66 ^d
0	50	50	6.48 ^d	2.39 ^c	16.03 ^j	86.33 ^b	6.29 ^a	2.23 ^c
0	75	25	6.62 ^d	2.30 ^d	37.93 ^g	86.67 ^b	7.53 ^a	3.22 ^a
0	100	0	6.54 ^d	2.34 ^c	74.15 ^b	86.00 ^b	6.72 ^a	2.26 ^c
25	0	75	7.73 ^b	1.04 ^f	15.21 ⁱ	85.67 ^b	4.69 ^e	2.64 ^b
25	25	50	6.93 ^c	1.79 ^e	31.06 ^h	85.33 ^b	3.48 ^g	3.69 ^a
25	50	25	7.14 ^c	2.77 ^b	46.10 ^f	82.33 ^c	7.28 ^a	3.48 ^a
25	75	0	7.87 ^b	3.59 ^a	81.85 ^a	90.00 ^a	6.51 ^a	2.51 ^c
50	0	50	7.09 ^b	2.31 ^d	36.34 ^g	84.33 ^b	5.58 ^c	3.57 ^a
50	25	25	7.91 ^a	0.94 ^f	44.91 ^f	86.00 ^b	7.01 ^a	3.77 ^a
50	50	0	7.48 ^b	2.56 ^b	79.29 ^a	86.33 ^b	5.82 ^b	3.31 ^a
75	0	25	8.19 ^a	0.92 ^f	52.26 ^e	86.33 ^b	7.10 ^a	3.51 ^a
75	25	0	7.86 ^b	2.89 ^b	71.05 ^c	87.67 ^b	4.38 ^f	2.13 ^c
100	0	0	8.05 ^a	1.50 ^e	61.72 ^d	85.33 ^b	7.38 ^a	3.41 ^a
Significancia			**	**	**	**	**	**
Nivel optimo			5.20-6.80 ^í	1.0-5.0 ^í	> 90 % ^í	> 50 %	n.d.	n.d.

A: Bagazo de maguey; B: Fibra de coco, C: Vermiculita; a, b, c, d; Medias con la misma letra en cada columna, son estadísticamente iguales (Tuckey, 0.05); **: Significancia $P \leq 0.01$.; ¹: Obtenido mediante el extracto de la pasta saturada en semillas de lechuga (*L sativa* L.); n.d.; No determinado; ^í: Noguera *et al.* (1997).

Conclusiones

El bagazo de maguey el polvo de coco, mostraron mayor amplitud del tamaño de partícula en comparación a la vermiculita. Sin embargo, las mezclas de los dos materiales orgánicos mejoraron la distribución del tamaño de partícula. Todos los valores de los parámetros físicos, químicos y biológicos, del bagazo residual de la industria del mezcal, se encontraron en el nivel de referencia, con excepción del pH, el cual deberá ser corregido para su disminución. La mezcla; 25 % de polvo de coco más 75 % de vermiculita como sustrato puede ser utilizado para el cultivo de tomate y la de 25 % de bagazo de maguey mezcalero más 75 % de vermiculita para el cultivo de melón.

Cuadro 5.

Rendimiento de tomate (*L. esculentum* Mill. c.v. "Don Raúl") y melón (*C. melo* L. c.v. (magno F1) utilizando como sustratos; bagazo de maguey mezcalero (A), polvo de coco (B) y vermiculita (C) en forma pura y en mezclas (% en v/v)

Combinaciones	Tomate						Melón		
	Producción			Frutos			Sólidos solubles (°Bx)	Producción	
	A	B	C	(Kg m ⁻²)	Comerciales	No Comerciales		(Kg m ⁻²)	Sólidos solubles (°Bx)
-	-	100	9.8 ^{b1}	25 ^c	38 ^b	3.6 ^b	1.9 ^c	6.12 ^c	
-	25	75	12.4 ^a	50 ^a	36 ^b	3.6 ^b	2.0 ^b	8.00 ^a	
-	50	50	11.7 ^b	38 ^b	39 ^b	4.0 ^a	2.4 ^b	8.80 ^a	
-	75	25	10.8 ^b	32 ^b	34 ^b	3.8 ^b	2.5 ^b	7.60 ^b	
-	100	-	7.0 ^b	20 ^c	26 ^c	4.0 ^a	2.2 ^b	7.00 ^c	
25	-	75	10.4 ^b	18 ^c	45 ^a	3.8 ^b	3.1 ^a	8.33 ^a	
25	25	50	10.0 ^b	28 ^b	42 ^a	3.5 ^b	2.6 ^b	9.41 ^a	
25	50	25	10.0 ^b	22 ^c	44 ^a	3.4 ^b	2.4 ^b	8.00 ^a	
25	75	-	6.3 ^c	21 ^c	27 ^c	3.0 ^c	2.4 ^b	8.20 ^a	
50	-	50	8.9 ^b	10 ^d	45 ^a	3.4 ^c	2.4 ^b	8.70 ^a	
50	25	25	9.9 ^b	33 ^b	37 ^b	3.0 ^c	2.5 ^b	7.50 ^b	
50	50	-	7.0 ^b	33 ^b	44 ^a	2.8 ^c	2.2 ^b	8.10 ^a	
75	-	25	8.8 ^b	40 ^b	45 ^a	3.2 ^c	2.2 ^b	8.00 ^a	
75	25	-	6.4 ^c	32 ^b	37 ^b	4.0 ^a	2.5 ^b	8.90 ^a	
100	-	-	6.6 ^c	38 ^b	42 ^a	3.0 ^d	2.5 ^b	6.90 ^c	
Significancia			**	**	**	**	**	**	

¹: Medias con la misma letra en columnas, son estadísticamente iguales (Tuckey,0.05) **: Significancia $P \leq 0.01$.

Agradecimientos

A la Fundación Produce Oaxaca A.C., por su financiamiento al proyecto de investigación: Caracterización y evaluación agronómica del bagazo residual de la industria del mezcal como sustrato de cultivo sin suelo, folio 20-2005-2161 y a los proyectos SIP-IPN 20060425 y 20070496.

Literatura citada

- Abad M, P F Martínez, M D Martínez, J Martínez (1993) Evaluación agronómica de los sustratos de cultivo. *Acta Hort.* 11: 141-154.
- Abad M and P Noguera P (2000) Los sustratos en los cultivos sin suelo *In: Urrestarazu, M. (Ed.), Manual del cultivo sin suelo. Mundi-Prensa, España. pp. 137-152.*
- Abad M, P Noguera, R Puchades, A Maquieira, V Noguera (2002) Physical-chemical and chemical properties of some coconut coir dusts for use as a peat substitute for containerised ornamental plants. *Biores. Technol.* 82: 241-245.
- Ansorena M (1999) Sustratos propiedades y caracterización. Mundi-Prensa, España. 172 pp.
- Arredondo V C, Cano G M, Espinoza P H, Bravo M E, Contreras H R, Canseco L M (2003) Fertilización en plantaciones comerciales de maguey mezcalero en Oaxaca (avances). INIFAP- Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca. *In: Foro regional para el aprovechamiento y mejoramiento del agave y del mezcal. CIIDIR-IPN- UNIDAD OAXACA. pp 65-76.*
- Afreen-Zobayed F, S M A Zobayed, C Kubota, T Kozai, O Hosegawa (2000) A combination of vermiculite and paper pulp supporting material for the photoautotrophic micropropagation of sweet potato. *Plant Science, Volume 157: 225-231.*
- Bunt A C (1988) Media and Mixes for Container-Grown Plants. 2nd ed. Unwin Hyman Ltd, London. 350p.
- Castilla N (2005) Invernaderos de plástico tecnología y manejo. Mundi-Prensa. Madrid, España. 462p.
- Castellanos J Z (2004) Manejo de la fertirrigación en suelo. *In: Manual de Producción Hortícola Bajo Invernadero. J Z Castellanos. (ed). 2a ed. ITAGRI Mexico. pp:124-150.*
- De Boodt and O Verdonck (1972) The physical properties of the substrates in horticulture. *Acta Hort.* 26: 37- 44.
- García O C, Alcantar G G, Cabrera R I, Gavi R F, Volke V H (2001) Evaluación de sustratos para la producción de *Epipremnum aureum* y *Spathiphyllum wallisii* cultivadas en maceta. *Terra* 19: 249-258.

- Gruda N, Sippel Ch, Schnitzler H W (2001) Investigation of physical properties of wood fiber substrates under press pot condition. *Acta Hort.* 554: 51-57.
- Idarraga G, Ramos J, Zúñiga V, Sahin T, Young R A (1999) Pulp and paper from blue Agave waste from tequila production. *J. Agric. Food Chem.* 47:4450-4455.
- Islam S, Hhan S, Ito T, Maruo T, Shionoara Y (2002) Characterization of the physical – chemical properties of environmentally friendly organic substrates in relation to rockwool. *J. Hort Sci. Biotechnol.* 77(2): 143-148
- Iñiguez G, Lange S E, Rowell R M (2001a) Utilization of byproducts from the tequila industry: Part 1: agave bagasse as a raw material for animal feeding and fibreboard production. *Bioresource Technology* 77: 25-32.
- Iñiguez G, Díaz T R, Sanjuán D R, Anzaldo H J, Roger R M (2001b) Utilization of by-products from the tequila industry. Part 2: potential value of *Agave tequilana* Weber *azul* leaves. *Bioresource Technology* 77: 101-108.
- Iñiguez G, Parra J, Velasco P A (2006) Utilización de subproductos de la industria tequilera. Parte 8. Evolución de algunos constituyentes de la mezcla de biosólidos-bagazo de agave durante el compostaje. *Rev. Int. Contamin. Ambiental* 22 (2) 83-92.
- Konduru S, Evans M, Stamps R (1999) Coconut husk and processing effects on chemical and physical properties of coconut coir dust. *HortScience* 34:88-90.
- Lopez L R, Cardenas N R, Philippe L, Martinez C O, Escalante L O (2005) Selección de un sustrato para el crecimiento de fresa en hidroponía. *Rev. Fitotec. Mex.* 28(2): 171-174.
- Martínez F X (1992) Propuesta de la metodología para la determinación de las propiedades físicas de los sustratos. *Acta Hort.* 11: 55-66.
- Martínez, G G, Ortiz H Y, Urrestarazu M, Salas San Juan M C, Escamirosa T C (2009) La rotación de cultivos y las propiedades de la cáscara de almendra como sustrato. *Rev. Fitotec. Mex.* 32(2): 135-142.
- Noguera P, M Abad, R Puchades, V Noguera, A Maquieira, J Martínez (1997) Physical and chemical properties of coir waste and their relation to plant growth. *Acta Hort.* 517: 279-286.
- Noguera P, Abad M, Puchades R (2000) Caracterización y evaluación agronómica del residuo de fibra de coco: un nuevo material para el cultivo en sustratos. Ph D. Thesis en CD-Rom. Servicio de Publicaciones de la Universidad Politécnica de Valencia, España.
- OEIDRUS- Oaxaca (2008) II Inventario sobre invernaderos en el estado de Oaxaca. SAGARPA. <http://www.oeidrus-oaxaca.gob.mx/galerias/index.htm>
- Ojodeagua A J L, Castellanos R J Z, Muñoz R J J, Alcantar G G, Tijerina Ch L, Vargas T P, Enriquez R S (2008) Eficiencia de suelo y tezontle en sistemas de producción de tomate en invernadero. *Rev. Fitotec. Mex.* 31 (4): 367 – 374.

- Ortega MC, Moreno M T, Ordovás J, Aguado M T (1996) Behaviour of different horticultural species in phytotoxicity bioassays of bark substrate. *Sci. Hort.* 66: 125 -132.
- Richards D, M Lane, D V Beardsell (1986) The influence of particlesize distribution in pinebark: sand: brown coal potting mixes on water supply, aeration and plant growth. *Sci. Hort.* 29:1-14.
- Silva SL, Caballero CM, Diego N F (2003) Diseño de un equipo de molienda y desgarre del agave mezcalero para el proceso de fabricación del mezcal en el estado de Oaxaca. *En: Foro regional para el aprovechamiento y mejoramiento del agave y del mezcal. CIIDIR-IPN- UNIDAD OAXACA.* pp 84-95.
- Smit L. Denis (1987) *Rockwool in horticulture.* London Grower Books. London. 153p.
- Statistical Graphics Corp. (1999) *STATGRAPHICS plus for Windows 4.1.* Statistical Graphics Corp., Rockville, MD. 140p.
- Urrestarazu M, Martínez G A, Salas M C (2005) Almond sell waste: Possible local rockwool substitute in soilless crop culture. *Scientia Horticulturae* 103:453-460.
- Urrestarazu M, Mazuela P C, Martínez G A (2008) Effect of substrate reutilization on yield and properties of melon and tomato crop. *Journal of plant nutrition* 31:2031-2043.
- Warncke D D (1986) Analyzing greenhouse growth media by the saturation extraction method. *HortScience* 21: 223-225.
- Villareal R M, E. R. García, E T Osuna, B A Armenta (2002) Efecto de dosis y fuente de nitrógeno em rendimiento y calidad de poscosecha de tomate em fertirriego. *Terra* 20:311-320.
- Zucconi F and M de Bertoldi (1991) Specification for solid waste compost. *In: The staff of Biocycle (Eds.), The Biocycle guide to the art and science of composting.* JG Press. Inc. Emmaus, Pa. pp. 120-134.

Transferencia de tecnología de semillas mejoradas de frijol, para fomentar e incrementar la productividad en el centro y sur de Veracruz, México

Transfer of improved bean seeds technology to promote and to increase the productivity in the Center and South of Veracruz, Mexico

Ugalde-Acosta Francisco Javier^{1*}, Oscar Hugo Tosquy-Valle¹, Ernesto López-Salinas¹, Aurelio Morales-Rivera¹, María Elisa Manterola-Sainz², Ignacio Vargas-Cerdán² y Gumaro González-Serrano².

¹Campo Experimental Cotaxtla INIFAP km. 34 carretera Veracruz-Córdoba.

²Fundación Produce Veracruz, A.C. *Email: agrotecnia7@yahoo.com.mx

Resumen. De 2007 a 2010, se realizó el proyecto de desarrollo rural denominado: Transferencia de tecnología de semillas mejoradas de frijol, para fomentar e incrementar la productividad en el centro y sur de Veracruz, México, en el que se aplicó el método de transferencia de tecnología denominada PASF-Municipal, con la finalidad de fomentar la siembra de frijol y elevar la productividad del cultivo en los productores de 19 municipios de las regiones centro-sur y región de Las Altas Montañas del estado de Veracruz. La estrategia consistió: 1) Establecimiento de 24 módulos de validación de variedades mejoradas y se seleccionaron las de mayor productividad y preferencia comercial. En cada zona de validación se comparó el rendimiento promedio de grano de las variedades con el del testigo tradicional, mediante la prueba t-Student. 2) Establecimiento de 11 lotes de producción de las variedades seleccionadas, para abastecer a los productores usuarios de semilla mejorada. 3) Promoción y fomento a la siembra de frijol, mediante eventos demostrativos y entrega de semilla a los productores interesados y participantes. 4) Elaboración y entrega de material didáctico. Con el método de transferencia PASF-Municipal, se contribuyó al desarrollo rural de 19 municipios participantes, al fomentar la siembra de frijol en 222 ha con tres variedades mejoradas seleccionadas en beneficio de 987 productores y aumentar la productividad del cultivo en 1225 kg ha⁻¹, lo que significó un incremento del 142.5%, a la obtenida sobre las variedades tradicionales del productor.

Palabras clave: *Phaseolus vulgaris* L. variedades, transferencia de tecnología, producción, semilla artesanal.

Abstract. From 2007 to 2010, we conducted a rural development Project called: technology transfer of improved bean seed called PASF-Municipal, with the aim of promoting the planting of beans and raise the productivity of crop producers in 19 municipalities of south-central areas and high mountain region of Veracruz. The strategy consisted of: 1) Establishment of 24 validation modules of improved varieties and selecting of those with higher productivity and trade preference. In each validation zone the grain yield average was compared with the traditional witness, by Student t-test. 2) Establishment of 11 lots of production of selected varieties to supply the users of improved seed. 3) Encouraging and promoting the planting of beans, through demonstration events and delivery of seed for interested producers and participants. 4) Preparation and delivery of training materials as a complemented agricultural training of users of improved seed. With the method of PASF-municipal transfer, it was contributed to the rural development of 19 participant municipalities, on having promoted the sowing bean in 222 ha with three improved varieties selected in benefit of 987 producers and to increase the productivity of the culture in 1225 kg ha⁻¹, that meant an increase of 142.5 %, to the obtained one on the traditional varieties of the producer.

Key words: *Phaseolus vulgaris* L. varieties, transfer of technology, production, craft seed.

Introducción

En México el frijol es un cultivo de gran importancia por ser uno de los granos alimenticios básicos y una excelente fuente de proteínas, vitaminas y minerales para los habitantes (Guzmán *et al.*, 2002). Durante el 2010, en el país se sembraron en promedio 1630,224 ha de frijol, de las que se obtuvieron 1156,257 toneladas de grano de diferentes clases comerciales (SAGARPA, 2011). Esta producción no abastece por completo los requerimientos nacionales, por lo que anualmente se tienen que importar alrededor de 150,000 toneladas de frijol, de las cuales el 80% corresponde a frijol de grano negro, que es la clase comercial de mayor demanda por el consumidor en el país (Castellanos *et al.*, 1997; Sánchez *et al.*, 2001; SIAP, 2006).

En el sureste de México, la gran mayoría de las siembras se realizan con frijol negro, el estado de Veracruz ocupa el tercer lugar por su superficie cosechada de frijol (después de Chiapas y Oaxaca), que en 2011 fue de 35,519 hectáreas con rendimiento promedio fue de 600 kg ha⁻¹. En los municipios de la región de Las Altas Montañas del centro de Veracruz se siembran 6,866 hectáreas con un rendimiento menor a los 400 kg ha⁻¹ y en la zona centro-sur de dicha entidad, se siembran 7,069 hectáreas con un rendimiento promedio de 700 kg ha⁻¹ (SAGARPA, 2011). Los bajos rendimientos

observados obedecen a diversos factores técnicos, bióticos y abióticos, entre los que destacan: (1) el uso en la mayoría de las siembras de materiales introducidos no adaptados como Negro Michigan, la cual es susceptible a deficiencias de humedad y a enfermedades (Herrera, 2005). (2) El uso de variedades muy antiguas como Negro Jamapa, liberada por el INIFAP en 1957 y de genotipos criollos de bajo potencial de rendimiento y de adaptación muy local o específica (Durán, 1983; López *et al.*, 1999; 2006). (3) Escasez de semilla de variedades mejoradas, debido a la ausencia de un programa continuo de producción de semilla que abastezca a los agricultores de este insumo, lo que obliga al productor a sembrar granos obtenidos en la cosecha anterior, o bien, del intercambio con otros agricultores o de la compra de grano comercial en los mercados locales (Ugalde *et al.*, 2004).

Para contribuir a solucionar el problema de la escasez de semilla y a la vez fomentar la siembra de frijol con variedades mejoradas, el Programa de Frijol del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en el estado de Veracruz, ha generado variedades mejoradas, de alto rendimiento, amplia adaptación y tolerancia a las principales enfermedades que se presentan en dicha entidad (López *et al.*, 1987; López y Rodríguez, 1993; López *et al.*, 1994b; 1996; 2000; 2007), así también dispone de un método de producción y transferencia de variedades mejoradas denominado “Producción Artesanal de Semilla de Frijol-Municipal (PASF-Municipal)”, que permite abastecer con oportunidad, las necesidades de semilla de los productores y a la vez fomentar la siembra de frijol con variedades mejoradas para elevar la productividad del cultivo (Ugalde *et al.*, 2004). Con este método se ha logrado incrementar en más de 100% el rendimiento de frijol en productores usuarios de semilla de variedades mejoradas de diferentes municipios del estado de Veracruz (Ugalde *et al.*, 2006; 2007; 2008). De 2007 a 2010, mediante el proyecto de desarrollo rural: Transferencia de tecnología de semillas mejoradas de frijol, para fomentar e incrementar la productividad en el centro y sur de Veracruz, México., financiado por la Fundación Produce de Veracruz A. C., para fomentar la siembra de frijol y elevar la productividad del cultivo en productores usuarios, se aplicó el método de transferencia Producción Artesanal de Semillas de Frijol-Municipal, por lo que el objetivo del presente trabajo es dar a conocer el impacto productivo y económico de este proyecto realizado en las zonas centro-sur y región de Las Altas Montañas del estado de Veracruz.

Materiales y métodos

El trabajo se llevó a cabo en dos etapas en 19 municipios del estado de Veracruz; a) durante 2007 y 2008, la estrategia de transferencia se aplicó en los municipios

de: Medellín de Bravo, ubicado en la región central costera, Córdoba, Coetzala y Comapa, en la región de Las Altas Montañas y en San Andrés Tuxtla, Santiago Tuxtla y José Azueta, en la zona sur. b) de 2009 a 2010, la estrategia se aplicó en Rafael Delgado, Zongolica, Atlahuilco, Santana Atzacan, Aquila, Orizaba, Ixtaczoquitlán, Río Blanco, Acultzingo, Córdoba y Comapa y La Perla, en la región de Las Altas Montañas, en Medellín de Bravo, en la zona central costera y Hueyapan de Ocampo, José Azueta e Isla, en la zona sur.

La metodología PASF-Municipal consistió en:

1. Establecimiento con productores cooperantes de 24 módulos, nueve en la zona centro-sur de Veracruz y 15 en la región de Las Altas Montañas de Veracruz, en donde se validaron las variedades mejoradas: Negro Veracruz, Negro INIFAP, Negro Tacaná, Negro Medellín, Negro Tropical, Negro Papaloapan y Negro 8025, generadas por el INIFAP (Rosales *et al.*, 2004), junto con Negro Michigan (testigo regional). Cada variedad de frijol ocupó una superficie de 300 m², para un total de 2500 m²; por módulo; donde productores y técnicos, recibieron capacitación para seleccionar las variedades con base en características de planta como arquitectura, sanidad, carga de vaina, y de aspecto y calidad de grano como tamaño, forma y opacidad, mediante la evaluación participativa en las etapas vegetativa y cosecha del cultivo, integrada en el método PASF-Municipal (Ugalde *et al.*, 2004); En la cosecha se realizaron cuatro muestreos de 8 m² por variedad, para estimar el rendimiento de grano en kilogramos por hectárea al 14% de humedad. En cada zona de validación se comparó el rendimiento promedio de grano de las variedades mejoradas con el testigo regional, mediante la prueba de t-Student (Reyes, 1990).

Para determinar el impacto productivo del método PASF-Municipal, se obtuvieron los rendimientos promedio de cada municipio en cada región de producción y en forma global, los cuales se compararon con los rendimientos reportados en cada municipio, por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Con el rendimiento promedio de cada área de producción y el general, se realizó un análisis de relación beneficio-costos, para determinar la rentabilidad del uso de semilla de variedades mejoradas PASF-Municipal (CIMMYT, 1988).

2. Establecimiento de once lotes de producción de semilla artesanal con una superficie de 5000 m² cada uno, con las variedades Negro Tropical, N. Veracruz y N. Papaloapan seleccionadas por productores y técnicos por su alto rendimiento, tolerancia a enfermedades, arquitectura de planta

y preferencia comercial de grano, en el ciclo invierno-primavera 2007, 2008, 2009 y 2010, bajo condiciones de riego y primavera-verano 2010 de temporal, las cuales se condujeron con productores cooperantes, que se capacitaron en el manejo agronómico del cultivo y beneficio de semilla (López *et al.*, 1994a y Ugalde *et al.*, 2004).

3. Previo a los ciclos de producción, se realizó la promoción y fomento a la siembra de frijol a través de eventos demostrativos y transferencia de variedades mejoradas. Se entregó semilla a los productores interesados y participantes, con el apoyo del personal de la dirección de desarrollo rural de los ayuntamientos de cada comunidad.
4. Elaboración de material didáctico (desplegables técnicas, interactivo y video), como complemento a la capacitación agronómica de los usuarios de las variedades mejoradas.

Resultados y discusión

Módulos de validación. El rendimiento promedio de las variedades mejoradas a través de localidades fue un 62.3% mayor al obtenido con la variedad Negro Michigan (Cuadro 1); en esta zona productora del centro y sur de Veracruz, el 62.8 % de los productores y técnicos seleccionaron a la variedad Negro Tropical, por su alto rendimiento y arquitectura de planta arbustiva erecta y compacta, la cual fue la que presentó los mayores rendimientos en cuatro de los nueve sitios de validación (datos no mostrados).

Cuadro 1.

Rendimiento promedio de variedades mejoradas y Negro Michigan en los módulos de validación en la zona centro-sur del estado de Veracruz 2007-2010.

Municipio	Ciclo/Año	Condición de humedad	Variedades mejoradas (kg ha ⁻¹)	Negro Michigan (kg ha ⁻¹)
Medellín de Bravo	O-I 2007/08	Humedad residual	1219	1195
San Andrés Tuxtla	O-I 2007/08	Riego	801	395
Santiago Tuxtla	O-I 2008/09	Humedad residual	1150	530
Hueyapan de Ocampo	O-I 2008/09	Humedad residual	780	641
José Azueta	I-P 2009	Humedad residual	1041	410
Medellín de Bravo	O-I 2009/10	Humedad residual	999	654
Isla	I-P 2009	Humedad residual	1819	1589
Isla	I-P 2010	Humedad residual	2445	864
Medellín de Bravo	I-P 2010	Fertirriego	1733	1108
Promedio			1331.88 *	820.66

* Promedio de rendimiento significativamente superior, de acuerdo a la prueba t-Student.

En la región de Las Altas Montañas de Veracruz, el incremento en el rendimiento por el uso de variedades mejoradas fue altamente significativo y superior en más de 100% al obtenido con la variedad Negro Michigan (Cuadro 2). La selección de variedades de frijol por los productores y técnicos fue a través de la evaluación participativa realizada en los eventos demostrativos. En los municipios de Córdoba, Orizaba, Rafael Delgado Acultzingo y Zongólica fue seleccionada la variedad Negro Tropical; en los municipios Comapa, Rafael Delgado y Zongolica fue la variedad Negro Veracruz y la variedad Negro Papaloapan, fue elegida por los participantes del proyecto de Córdoba, Comapa y Orizaba. Los resultados de este estudio concuerdan con lo reportado por Durán (1983), quien encontró incrementos en el rendimiento significativamente superiores con el uso de variedades mejoradas de frijol, en comparación con diversos materiales criollos, en las zonas centro y sur de Veracruz. Lo anterior pone de manifiesto que la semilla mejorada, es uno de los insumos estratégicos clave, para obtener mayores rendimientos de grano (Tosquy *et al.*, 1995), ya que con el solo hecho de que el agricultor, sustituya su material de siembra tradicional, por el uso de variedades mejoradas, en el corto plazo puede incrementar significativamente la productividad de frijol en su unidad de producción (Zuloaga *et al.*, 1984).

Cuadro 2.

Rendimiento promedio de variedades mejoradas y Negro Michigan en los módulos de validación en la región de Las Altas Montañas del estado de Veracruz 2007-2010.

Municipio	Ciclo/Año	Condición de Humedad	Variedades Mejoradas (kg ha ⁻¹)	Negro Michigan (kg ha ⁻¹)
Córdoba	O-I 2007/08	Temporal	1227	594
Córdoba	O-I 2007/08	Temporal	1150	670
Coetzala	P-V 2007/08	Temporal	1140	437
Comapa	P-V 2007	Temporal	1462	790
Orizaba	O-I 2007/08	Humedad residual	1098	571
Orizaba	O-I 2008/09	Humedad residual	1439	658
Orizaba	O-I 2008/09	Humedad residual	1686	1026
Rafael Delgado	I-P 2009	Riego	1835	628
Rafael Delgado	I-P 2009	Riego	3682	1267
Zongolica	P-V 2009	Temporal	1010	270
Atlahuilco	P-V 2009	Temporal	650	150
Comapa	P-V 2010	Temporal	1280	648
Acultzingo	P-V 2010	Temporal	1158	1187
Orizaba	O-I 2009/10	Humedad residual	618	495
Orizaba	I-P 2010	Riego	2587	749
Promedio			1388.21 **	670.78

** Promedio de rendimiento altamente significativo, de acuerdo a la prueba de t-Student.

Lotes de producción de semilla artesanal. Se obtuvo en total 10 toneladas de semilla apta para siembra, cuatro toneladas de Negro Veracruz, una y media toneladas de N. Papaloapan y cuatro y media toneladas de N. Tropical. Durante la conducción de lotes, se capacitaron a 20 productores sobre la producción artesanal de semilla de frijol en los aspectos de: método de siembra, riegos, fertilización, control de malezas y plagas, desmezcles y beneficio de semilla, para garantizar semilla de alta calidad genética y física.

Promoción, fomento a la siembra de frijol y transferencia de variedades. Durante la conducción de parcelas y lotes de producción, se promocionó y fomentó la siembra de frijol en 23 demostraciones de campo y 10 cursos de capacitación en los que se transfirieron los principales componentes tecnológicos para un adecuado manejo agronómico del cultivo, tales como métodos de siembra, fertilización, control de malezas y plagas, también se capacitó a los 850 asistentes en el método de estimación de rendimiento. También se capacitaron a 26 técnicos para la selección de variedades mejoradas y el método PASF-Municipal. Las variedades mejoradas se transfirieron mediante eventos de entrega de semilla en 19 municipios; se entregaron en total 10 toneladas de semilla artesanal de las variedades mejoradas de frijol a 987 productores de 154 localidades para la siembra comercial de 222 ha de frijol de grano negro. La productividad promedio de los cuatro años de duración del proyecto, obtenida por los productores usuarios de la semilla mejorada fue de 1225 kg ha⁻¹, superior en 142.5% a la obtenida sobre las variedades tradicionales del productor, con una relación beneficio/costo de 1:2.75, que indica que por cada peso que el productor invirtió en la producción de frijol, lo recuperó y obtuvo una ganancia de \$1.75.

Elaboración de material didáctico. Como apoyo a las acciones de transferencia de tecnología y capacitación de productores y técnicos, se elaboraron y entregaron tres despleables para productores: una sobre la tecnología de producción de frijol en el sur de Veracruz, otra para la región de Las Altas Montañas de Veracruz y una sobre la producción artesanal de semilla de frijol a nivel municipal, así como también se elaboró un interactivo sobre el manejo agronómico del cultivo de frijol en Veracruz y un video reseña con la metodología y resultados del proyecto.

Conclusiones

El proyecto de transferencia de tecnología de variedades mejoradas de frijol, a través del método PASF-Municipal, incrementó en 142.5% la productividad del

cultivo de frijol y mejoró la relación beneficio costo en 1:2.75, que se tradujo en un mejor bienestar de las familias involucradas en el proyecto en las regiones centro-sur y de Las Altas Montañas del estado de Veracruz.

Agradecimientos

Al personal de la Fundación Produce de Veracruz, A. C., por el apoyo económico para la realización del proyecto. De manera especial al personal de las direcciones de fomento agropecuario y productores participantes de los ayuntamientos de las zonas centro y sur del estado de Veracruz.

Literatura citada

- Castellanos, Z. J., H. Guzmán M., A. Jiménez, C. Mejía, J. De J. Muñoz R., J. A. Acosta G., G. Hoyos, E. López S., D. González E., R. Salinas P., J. González A., J. A. Muñoz V., P. Fernández H. y B. Cáceres. 1997. Hábitos preferenciales de los consumidores de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) en México. Arch. Latinoam. Nutr. 47(1):163-167.
- CIMMYT (Centro Internacional para el Mejoramiento de Maíz y Trigo). 1988. La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: Programa de Economía. México, D. F. 30 p.
- Durán, P. A. 1983. Evaluación de la fórmula de producción para el cultivo de frijol en el centro y sur de Veracruz. Tesis Profesional de Ingeniero Agrónomo. Universidad de Guadalajara. Las Agujas, Zapopan, Jal., México. 152 p.
- Guzmán, M. S. H., J. A. Acosta G., M. A. Álvarez M., S. García D. y G. Loarca P. 2002. Calidad alimentaria y potencial nutracéutico del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Agric. Téc. Méx. 28(2):159-173.
- Herrera, H. G. 2005. Comparación de las características de calidad de frijol negro nacional e importado. Tesis de Licenciatura. Instituto Tecnológico de Celaya. Celaya, Gto., México. 60 p.
- López, S. E., A. Durán P., E. N. Becerra L., V. A. Esqueda E. y O. Cano R. 1994a. Manual de producción de frijol en el estado de Veracruz. Folleto para Productores Núm. 7. SARH. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla. Veracruz, Ver. 29 p.
- López S., E., E. N. Becerra L., O. Cano R. y G. Fraire V. 1994b. Reacción al virus del mosaico dorado, adaptación y rendimiento de la línea de frijol DOR-390, en el sureste de México. Rev. Mex. Fitopatol. 12:139-145.

- López, S. E., J. Cumpian G., E. N. Becerra L., B. Villar S., F. J. Ugalde A. y J. A. Acosta G. 2000. Adaptación y rendimiento de la variedad de frijol Negro Medellín en el sureste de México. *Agron. Mesoam.* 11(2):47-52.
- López, S. E., J. Acosta, O. Cano, G. Fraire, J. Cumpián, E. Becerra, B. Villar y F. J. Ugalde. 1999. Estabilidad de rendimiento de la línea de frijol negro DOR-500 en el trópico húmedo de México. *Agron. Mesoam.* 10(2):69-74.
- López, S. E., K. Yoshii O. y M. C. Cervantes L. 1987. Negro Veracruz, nueva variedad de frijol para las zonas central y sur del estado de Veracruz. *Rev. Fitotec. Mex.* 9:57-63.
- López, S. E., O. H. Tosquy V., B. Villar S., E. N. Becerra L., F. J. Ugalde A. y J. Cumpián G. 2006. Adaptabilidad de genotipos de frijol resistentes a enfermedades y a suelos ácidos. *Rev. Fitotec. Mex.* 29(1):33-39.
- López, S. E., O. H. Tosquy V., B. Villar S., J. Cumpian G., F. J. Ugalde A. y E. N. Becerra L. 2007. Negro Papaloapan, nuevo cultivar de frijol para las áreas tropicales de México. *Agric. Téc. Méx.* 33(3):257-267.
- López, S. E. y J. R. Rodríguez R. 1993. Negro Cotaxtla-91, nuevo cultivar de frijol para zonas tropicales de Veracruz. *Rev. Fitotec. Mex.* 16(1):89.
- Reyes, C. P. 1990. Diseño de experimentos aplicados agronomía, biología, química, industrias, ciencias sociales y ciencias de la salud. 3a. ed. Trillas. México, D. F. 348 p.
- Rosales, S. R., J. A. Acosta G., J. S. Muruaga M., J. M. Hernández C., G. Esquivel E. y P. Pérez H. 2004. Variedades mejoradas de frijol del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Libro Técnico Núm. 6. SAGARPA. INIFAP. CIRCE. Campo Experimental Valle de México. Chapingo, Edo. de Méx., México. 148 p.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2011. Anuarios estadísticos de la producción agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). México, D. F. <http://www.siap.sagarpa.gob.mx> [consultado el 16 de julio de 2011].
- Sánchez, R. G., J. A. Manríquez N., F. A. Martínez M. y L. A. López I. 2001. El frijol en México competitividad y oportunidades de desarrollo. *Boletín Informativo FIRA.* XXXIII (316):1-87.
- Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2006. Situación actual y perspectivas de la producción de frijol en México 2000-2005. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). México. 34 p.
- Tosquy, O., M. Sierra, F. Rodríguez, R. Castillo, J. Ortiz, A. Tinoco, A. Sandoval y S. Uribe, S. 1995. Validación del híbrido de maíz (*Zea mays* L.) de cruza doble H-512 en el estado de Veracruz, México. *Agron. Mesoam.* 6:93-97.

- Ugalde, A. F. J., E. López S., O. H. Tosquy V. y J. A. Acosta G. 2004. Producción artesanal de semilla de frijol municipal (PASF-Municipal), método ágil de transferencia de tecnología de variedades para elevar la productividad del cultivo en Veracruz. Folleto Técnico Núm. 37. SAGARPA. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla. Veracruz, México. 21 p.
- Ugalde, A. F. J., E. López S. y O. H. Tosquy V. 2006. Mayor productividad del cultivo de frijol en Veracruz al transferir variedades mejoradas con el método PASF-Municipal. *In: 1ª Reunión Nacional de Innovación Agrícola y Forestal 2006.* Mérida, Yuc., México. p. 33.
- Ugalde, A. F. J., O. H. Tosquy V. y E. López S. 2007. Impacto productivo del uso de semilla de variedades mejoradas en tres municipios de la zona central del estado de Veracruz. *In: 2ª Reunión Nacional de Innovación Agrícola y Forestal 2007.* Guadalajara, Jal., México. p. 38.
- Ugalde, A. F. J., E. López S. y O. H. Tosquy V. 2008. Estrategia de transferencia de tecnología de variedades de frijol para la zona centro y sur de Veracruz, México. *In: Memoria de la XLIV Reunión del Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos y Animales.* San José, Costa Rica. p. 144.
- Zuluoga, A., S. Díaz, H. González y S. Mendoza. 1984. Manual para parcelas demostrativas. Folleto Misceláneo Núm. 1. Dirección General de Distritos y Unidades de Temporal. INIA. FIRCO. México, D. F. 66 p.

Determinación molecular de *Glomerella cingulata* Penz y su efecto en la calidad del aguacate Hass

Molecular determination of *Glomerella cingulata* Penz and its effect in avocado Hass quality

Vázquez-Hernández Ma. Cristina^{1*}, Ramón Guevara-González²,
Cristina Pérez-Pérez³ y Claudia Muñoz-Sánchez³.

¹Instituto Tecnológico de Roque. Depto. Ingenierías. Km.8 Carr. Celaya-J. Rosas. Celaya, Gto.
²Universidad Autónoma de Querétaro. Depto. Ingeniería. ³Instituto Tecnológico de Celaya. Depto.
Ingeniería Bioquímica. *Email: crisedi3@hotmail.com

Resumen. La importancia del aguacate (*Persea americana* Mill) var. Hass en el mercado internacional ha crecido sostenidamente, dejando de ser una fruta exótica para incorporarse a la dieta de muchos países. A nivel internacional, la explotación comercial de aguacate se ha intensificado en las últimas décadas. En 1997 comenzó la exportación en México de este fruto hacia Estados Unidos, Europa y Asia. Ha sido caracterizado con base en su composición química y en su fenotipo. Sin embargo, no se le ha dado importancia a su aspecto sensorial, siendo este parámetro de gran interés tanto para el control de calidad como para el consumidor. Una de las enfermedades que afecta al fruto es la antracnosis, que es causada por *Glomerella cingulata* y provoca su pudrición, generando pérdidas a los productores de hasta un 90%. En el presente trabajo se analizaron las características sensoriales del aguacate por el Método Spectrum MR y análisis instrumental de textura con el texturómetro TA.XT2i. El fruto se sanitizó e infectó con *Glomerella cingulata*. Como herramienta de diagnóstico del patógeno se utilizó análisis microbiológico y la técnica por PCR, con los iniciadores específicos de la caja de alta movilidad HMG se obtuvo una banda de aproximadamente 238 pb que confirma la presencia del patógeno en los frutos infectados. Con respecto a la evaluación sensorial, la pulpa de los frutos infectados con el hongo perdió firmeza, disminuyó su viscosidad y aumentó su rugosidad, además se presentó un olor desagradable.

Palabras clave: Aguacate, sensorial, antracnosis

Abstract. The importance of the avocado (*Persea americana* Mill) var. Hass in the international market has grown maintainly, and stop being an exotic fruit to joining up itself into the diet of many countries. Inan international level, the avocado's commercial operation has intensified in the last decades. In 1997, Mexico's exportation of this fruit began to the United States, Europe and Asia. Based on his chemical composition and its phenotype it has been characterized. Nevertheless, the importance of its sensory aspect has not been given a great importance, and this is a parameter of great impotance both as a quality control and a consumer reference. One of the diseases that affect the fruit is anthracnosis which is caused by *Glomerella cingulata* and it causes the avocado rotting, causing losses to the producers to up to a 90%. In the present work the avocado sensory aspect was analyzed by the SpectrumMR Method, and also the instrumental analysis of the texture with a texturometer TA.XT2i and the volatile compounds by a gas-FID chromatography. The fruits were sanitized and infected with *Glomerella cingulata*. As a pathogen diagnosis tool, a microbiological analysis and a PCR technique were used, with the specific initiators of the box of the high mobility HMG, a band of approximately 238pb was obtained, that confirms the presence of the pathogen in the infected fruits. With regard to the sensorial evaluation, the pulp of the infected fruits with the fungus lost firmness, diminished its viscosity and increased its wrinkle in addition to a disagreeable scent appeared.

Key words: Avocado, sensorial, anthracnosis

Introducción

El aguacate (*Persea americana* Mill) var. Hass, es una de las pocas especies nativas cultivadas de clima subtropical, es una baya de una sola semilla, de superficie lisa o rugosa, pertenece a la familia de las Lauraceas y al género *Persea*. Tiene un alto valor nutricional por su contenido de ácidos grasos (palmítico y oleico), vitaminas A, C, y E, fibra, proteína, carbohidratos y minerales. En México la producción de este fruto es muy importante aproximadamente 905 mil toneladas métricas anuales (INEGI, 2003), los principales estados productores son: Nayarit, Puebla, Estado de México, Morelos y Michoacán; siendo este último el mayor productor a nivel nacional y mundial con una producción anual estimada de 750 mil TM, de las cuales 130 mil TM se exportan a Estados Unidos, Europa y Asia (Morales L., 2007). En el año 2003 se llevó a cabo la firma de un plan de trabajo para la exportación de aguacate a Estados Unidos, en el cual se incluyen diversos requerimientos por parte de las autoridades fitosanitarias en cuanto al manejo del fruto para su distribución

y comercialización. Existen diversas plagas y enfermedades que pueden afectar al aguacate, una de ellas es la antracnosis que es causada por la infección del hongo patógeno *Glomerella cingulata*, cuyas esporas penetran en el fruto en condiciones de alta humedad relativa (50-53 %) y temperatura de aproximadamente 28 °C, germinan formando apresorios e invaden el fruto. La infección avanza más rápidamente cuando el fruto tiene lesiones provocadas por otros microorganismos, insectos, o por daño mecánico ocurrido durante la cosecha o poscosecha. Esta enfermedad provoca lesiones necróticas (melanizadas) con la subsecuente pudrición del fruto. Los primeros pobladores de América Central, del Sur y de México ya disfrutaban su exquisito sabor, sin embargo hasta el momento no se ha caracterizado este fruto en cuanto a sus propiedades sensoriales cuando ha sido infectado con el hongo *G. cingulata*. El análisis sensorial es una disciplina científica que ayuda a establecer los atributos que contribuyen a la calidad de un alimento, los diferentes métodos empleados han sido estandarizados, estructurados y metodológicamente codificados ya que determinan la aceptabilidad o rechazo de un determinado producto por el consumidor, además existen métodos instrumentales que relacionan las características sensoriales con las propiedades físicas y químicas de un producto. Con base en lo anterior, se almacenaron aguacates a diferentes tiempos de maduración (0, 7, 14 y 21 días), bajo condiciones controladas (humedad relativa 53% y temperatura de 4 °C), como herramienta de diagnóstico del patógeno se llevó a cabo análisis microbiológico y la técnica de reacción en cadena de la polimerasa (PCR). Utilizando el Método Spectrum® se realizó el análisis sensorial de textura por tacto y aroma de aguacate (*Persea americana* Mills var. Hass), además se evaluó instrumentalmente la textura empleando el texturómetro mod. TA.XT2i de Stable Micro Systems, y por cromatografía de gases-FID se analizaron los compuestos volátiles. El objetivo fue determinar el efecto de la presencia del hongo *Glomerella cingulata* sobre las características sensoriales de textura y aroma del aguacate (*Persea Americana* Mill) Var. Hass los cuales se correlacionarán con análisis instrumental de textura y análisis de compuestos volátiles.

Materiales y métodos

Se emplearon aguacates provenientes de una Huertas ubicada en el municipio de Uruapan, Michoacán y se almacenaron por 21 días a 4 °C y 53% de humedad relativa. Utilizando una cámara húmeda, se realizaron estudios morfológicos del hongo. Para determinar la presencia del patógeno se amplificó el dominio HMG de la caja de alta movilidad de los genes de apareamiento MAT 1-2 (Rodríguez R.

y col., 2005). Se utilizó el método SpectrumMR (Meilgaard D. y col., 2006) para la evaluación sensorial de textura por tacto y aroma de la pulpa de aguacate. Se evaluó la textura instrumental con el texturómetro TA.XT2i, con 3 sondas: navaja, aguja y quijada Volodkevich (Chimal B., 2007). Se analizaron por cromatografía de gases-FID los cambios ocurridos en los compuestos volátiles de la pulpa de aguacate infectada (Morales L., 2007).

1. Aislamiento del hongo *G. cingulata*. Una cepa monoconidial de *G. cingulata* (CT-100), fue aislada de un aguacate proveniente de Uruapan, Mich. El aguacate fue seleccionado basándose en las lesiones presentes en el fruto (Chen Y., 2002). Se observó al microscopio la muestra infectada, se seleccionó una espora del hongo y se sembró en medio sólido de papa y dextrosa (PDA) para obtener el cultivo puro, que se resembró cada mes, se almacenó a temperatura ambiente y a 4 °C en medio PDA.
2. Estudios morfológicos. Se muestrearon al azar de la muestra problema y el control, tres trozos de cáscara de aproximadamente 1 cm². Del primer trozo se tomó una muestra con cinta adhesiva transparente, se colocó sobre un portaobjetos en el microscopio para observar la presencia de esporas de *G. cingulata*. El segundo trozo se incubó a temperatura ambiente sobre un portaobjetos en cámara húmeda, y se tomó una muestra con cinta adhesiva para observarse al microscopio a 0, 24, y 48 h. Del tercer trozo se realizó la extracción de ADN genómico para ser utilizado como templado en la amplificación por PCR y así identificar la presencia del patógeno.
3. Extracción de ADN genómico (micelio del hongo, cáscara y pulpa de aguacate). Se utilizó el método de Dellaporta para lo cual la muestra se pulverizó en presencia de nitrógeno líquido y se colocó en un tubo Eppendorf de 1.5 ml, a continuación se adicionó 1 ml de regulador de Dellaporta, se homogenizó mediante vortex y se adicionaron 50 µl de SDS 20X, se resuspendió por inversión y se incubó a 65 °C durante 20 min, se agregaron 300 µl de acetato de potasio a 5 M y se dejó reposar en hielo durante 20 min, se centrifugó a 12000 rpm por 10 min. Se realizaron dos lavados del sobrenadante con un volumen de fenol: cloroformo (50:50), y se homogenizó mediante vortex por 2 min. Se centrifugó y se decantó el sobrenadante que se colocó en otro tubo y se agregó un volumen de isopropanol con relación a la muestra (1:1), se dejó reposar en hielo durante 10 min, se centrifugó a 12000 rpm por 10 min, se eliminó el sobrenadante y se resuspendió la pastilla en 50 µl de H₂O destilada desionizada estéril (Joaquín A., 2005).

4. Diagnóstico molecular de *Glomerella cingulata*. Las reacciones de PCR fueron incubadas en un termociclador marca BIORAD con un volumen de reacción de 25 μ L (100 ng de ADN genómico, 1.5 mM de $MgCl_2$, 2.5 U/ μ L Taq polimerasa DNA (Platinum), 0.2 mM de cada dNTP, 0.1 μ M de cada oligonucleótido (sentido y antisentido), 2.5 μ L de Amortiguador PCR (Minus)). El ciclo de amplificación consistió de una desnaturalización a 95 °C por 5 min., seguida por 40 ciclos de 30 s a 95 °C, 30 s a 55 °C y 1.5 min a 72 °C. Los productos de PCR fueron separados por electroforesis en un gel de agarosa al 1.2 % teñido con bromuro de etidio y visualizados en un trasiluminador de UV (Du M. y col., 2005; Rodríguez R. y col., 2005).
5. Se utilizaron oligonucleótidos específicos que amplifican los genes de apareamiento MAT 1 y MAT 2, sintetizados por la compañía INVITROGEN life technologies, de acuerdo a la secuencia reportada en 2005 por Du y col. Para el oligonucleótido sentido (5'-3'): CCTAATGCGTACATTCTCTACC, y para el oligonucleótido antisentido (5'-3'): CCTAATGCGTACATTCTCTACC.
6. Análisis sensorial. Selección y entrenamiento de panelistas. El panel se integró con 9 alumnos de Licenciatura de la carrera de Ingeniería Bioquímica. Se seleccionaron en función de su sensibilidad a textura y aroma. El entrenamiento del panel siguió la metodología SpectrumMR. La escala de intensidad empleada fue de 15 puntos, donde 1 = nada de intensidad o apenas detectable, 7 = intensidad moderada, y 15 = intensidad extrema. Cada punto de la escala está definido por un estándar (generalmente es un producto de marca comercial conocida) (Meilgaard D. y col., 1991). Se calibró el panel hasta obtener una desviación estándar menor de 1 como lo describe Chimal B. (2007).
7. Análisis instrumental de textura. Se utilizó el Analizador de Textura Stable Micro Systems, modelo TA.XT2i, con 3 diferentes aditamentos para realizar las mediciones de compresión o de tensión: navaja, aguja y quijada Volodkevich. La sonda navaja guillotina determina la fuerza requerida para cortar el aguacate; la sonda quijada Volodkevich, simula la acción de los incisivos a través de la muestra midiendo la fuerza de compresión; la sonda aguja mide la fuerza de compresión e indica la firmeza de la muestra.
8. Análisis de compuestos volátiles. Para realizar el análisis de compuestos volátiles de uso el Cromatógrafo de Gases Modelo 6890 (Aligent Technologies), con un detector de ionización de flama (FID). El extracto de aguacate se inyectó en forma manual utilizando una microjeringa; el volumen de muestra fue de 1 μ L. Se utilizó un modo de inyección de split en relación 5:1, la temperatura del inyector fue de 250 °C y la del detector de 175 °C.

Resultados y discusión

Se determinó la presencia del hongo *G. cingulata* en los aguacates inoculados como se muestra en la Figura 1. Lo cual indica que los genes de apareamiento además de ser determinantes en la compatibilidad sexual, pueden ser usados para la identificación de *G. cingulata*.



Figura 1. Amplificación por PCR del fragmento de interés. Carril 1: Marcador de tamaño molecular 1 Kb; Carril 2-7: ADN genómico de aguacates sin inocular; Carril: 8, 10, 12, 23: ADN genómico de aguacates inoculados con *G. cingulata*; Carril 13-22: ADN genómico de aguacates con diferentes tratamientos de sanitización (hipoclorito de sodio, Benomil, plata coloidal); Carril 29: Control Negativo; Carril 30: Control Positivo.

Conforme aumentó el tiempo de almacenamiento se observó que la intensidad de los atributos sensoriales de dureza, viscosidad, y aroma disminuyeron (Figura 2, 3, 5 respectivamente). De manera contraria el aumento del tiempo de almacenamiento ocasionó una mayor intensidad en el atributo de rugosidad (Figura 4). Al aumentar el tiempo de almacenamiento de los aguacates inoculados con el hongo, se presentaron notas particulares de olores desagradables a cartón húmedo, pescado podrido, azufre, levadura, heno, tallo podrido, caramelizado quemado.

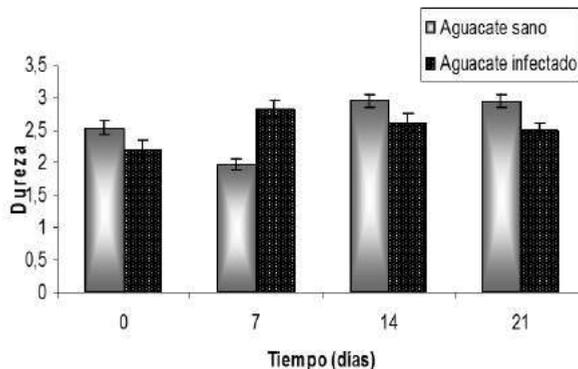


Figura 2. Efecto del tiempo de almacenamiento en la dureza del aguacate. DMS * Aguacate ($\alpha=0.05$) = 0.7012; DMS*Tiempo ($\alpha=0.05$) = 0.7618. Media de 9 panelistas y 3 repeticiones

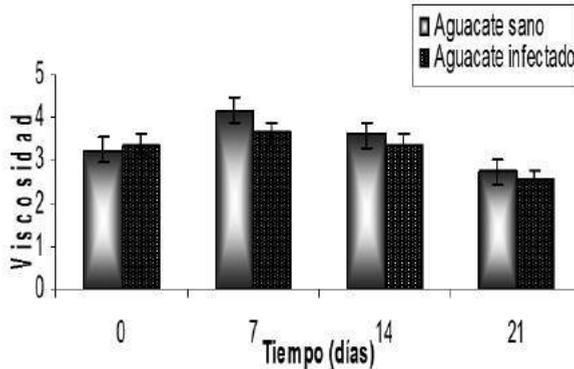


Figura 3. Efecto del tiempo de almacenamiento en la viscosidad del aguacate. DMS * Aguacate ($\alpha=0.05$) = 0.8821; DMS*Tiempo ($\alpha=0.05$) = 0.9759. Media de 9 panelistas y 3 repeticiones

Los resultados del análisis instrumental de textura se presentan en el Cuadro I, en donde se pueden observar que existe una correlación entre el atributo de dureza con la sonda Quijada Volodkevich y la sonda Aguja, y el atributo de rugosidad con la sonda de Navaja.

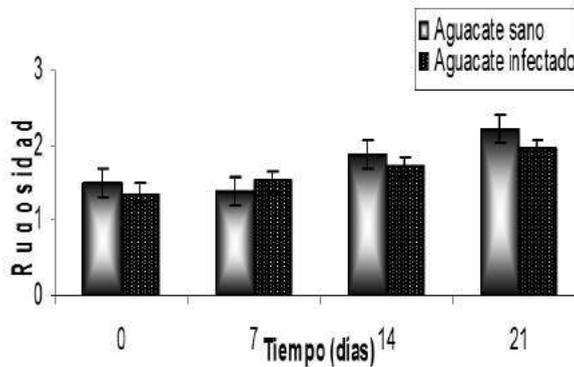


Figura 4. Efecto del tiempo de almacenamiento en la rugosidad del aguacate. DMS * Aguacate ($\alpha=0.05$) = 0.3528; DMS*Tiempo ($\alpha=0.05$) = 0.3833. Media de 9 panelistas y 3 repeticiones

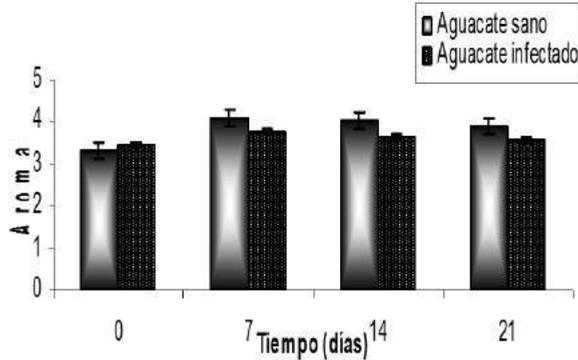


Figura 5. Efecto del tiempo de almacenamiento en el aroma del aguacate. DMS * Aguacate ($\alpha=0.05$) = 0.6133; DMS*Tiempo ($\alpha=0.05$) = 0.6664. Media de 9 panelistas y 3 repeticiones

Cuadro 1.

Correlaciones entre análisis sensorial de textura por tacto e Instrumental de textura.

	Dureza		Rugosidad
	Módulo de deformación (N/s)	Trabajo (N.s)	Módulo de deformación (N/s)
Quijada Volodkevich	0.53	0.60	NC
Navaja	NC	NC	0.67
Aguja	0.55	0.59	NC

NC=No hay correlación

El análisis de compuestos volátiles por cromatografía de gases-FID mostró que a mayor tiempo de almacenamiento se presentan picos que no están presentes en los extractos de pulpa de aguacate no infectado como se muestra en la Figura 6 (picos 2, 5, 11, 12, 14, 15 y 16).

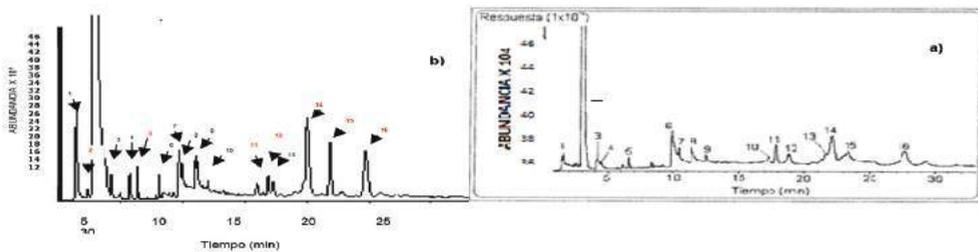


Figura 6. a) Cromatograma de la muestra de aguacate sin inocular a 21 días de almacenamiento. b) Cromatograma de la muestra de aguacate infectado con *G. cingulata* a 21 días de almacenamiento.

En el Cuadro 2 se muestran las diferencias de los compuestos volátiles en los aguacates sin infectar y los inoculados con el hongo *G.cingulata*. Se observa que cuando se encuentra presente la infección, los picos tienen un menor tiempo de retención y una mayor abundancia, presentando diferencias significativas en comparación con los aguacates sanos. Queda pendiente realizar una espectrofotometría de masas para conocer que compuestos químicos están presentes en los aguacates cuando estos se encuentran infectados con el hongo.

Cuadro 2.

Tiempos de retención. a) Aguacate sin infectar, b) Aguacate inóculado con *G. cingulata*

Pico No.	Tiempo de retención a)	Tiempo de retención b)
2	ND	2.54
5	6.75	6.47
11	18.11	16.05
12	18.95	17.00
14	22.24	20.02
15	23.58	21.98
16	27.88	24.92

ND=No detectado

Conclusiones

Utilizando la PCR como herramienta de diagnóstico con los iniciadores que amplifican el dominio HMG de los genes de apareamiento MAT 1-2, se puede realizar un diagnóstico temprano de la enfermedad de la antracnosis y así tomar las medidas de control necesarias para combatir la infección. Los aguacates infectados con *G. cingulata* sufrieron cambios sensoriales de textura y aroma los cuales afectan de manera desfavorable al fruto. Se incrementa su rugosidad y disminuye la viscosidad y la dureza, debido a estos cambios la pulpa de aguacate se vuelve pastosa. Su aroma disminuye en intensidad y se generan olores desagradables con notas a pescado podrido, cartón húmedo, tallo podrido, azufre y levadura. En el análisis de textura instrumental, los aditamentos que se recomiendan por simular las acciones típicas efectuadas por los consumidores y por detectar las diferencias significativas para aguacate con respecto a dureza y rugosidad fueron: Quijada Volodkevich y aguja (punción). Con respecto al análisis de compuestos volátiles por cromatografía

de gases-FID, se encontraron diferencias entre los tiempos de retención y la abundancia de los picos presentes en los aguacates infectados y no infectados. El análisis sensorial correlacionado con el análisis instrumental indica que el hongo *G. cingulata* provoca cambios en las características sensoriales del fruto del aguacate que son significativamente diferentes en comparación con aguacates que no han sido infectados.

Literatura citada

- Chen Y. C. y Séguin G. 2002. A rapid method for assesing the viability of fungal spores. *Can. J. Plant Pathol.* 24:230-232.
- Chimal Frías B. 2007. Desarrollo de un lexicon sensorial para aguacate Hass y criollo por descriptivo e instrumental. Tesis de Licenciatura. Instituto Tecnológico de Celaya.
- Du M., Schardl C., Nuckles E., Vaillancourt L. 2005. Using mating-type gene sequences for improved phylogenetic resolution of *Colletotrichum* species complexes. *Mycologia* 97(3):641-658.
- INEGI, 2003. Documento web. <http://www.inegi.gob.mx/inegi/default.asp>
- Joaquín Ramos A., 2005. Análisis de la expresión del ADN complementario R100 de *Capsicum chinense*, obtenido durante la Interacción con Virus Huasteco del Chile (PHV), bajo estrés biótico. Tesis de Licenciatura. Instituto Tecnológico de Celaya.
- Meilgaard D., Civille, G.V., Carr, B. T. 2006. Sensory evaluation techniques, CRC Press, Inc. Cap. 1. pp. 2-6.
- Morales Cerda L. 2007. Caracterización del perfil del aroma de aguacate Hass a diferentes estados de maduración empleando el método OSME. Tesis. Instituto Tecnológico de Celaya.
- Rodríguez R., Ramírez T., Cabral M., Lira Z., Guevara R., Simpson J. 2005. Heterothallic mating observed between Mexican isolates of *Glomerella lindemuthiana*. *Mycología* 97(4):793-803

La biomasa microbiana de los suelos y su relación con la fertilidad

The microbial biomass of soils and their relation to fertility

López Noverola Ulises*, Efraín de la Cruz Lázaro, Maximiano A. Estrada Botello,
Armando Gómez Vázquez, Juan de Dios Mendoza Palacios,
Nancy P. Brito Manzano y Rufo Sánchez Hernández.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. División Académica de Ciencias Agropecuarias. Km 25,
carretera Villahermosa-Teapa. Villahermosa, Tabasco. *Email: ulises.lopez@ujat.mx

Resumen. Se tomaron muestras de cuatro suelos altamente contrastantes en cuanto a la intensidad de uso agrícola y en carbono orgánico analizándose en total cinco muestras compuestas: Tepetate (0-20 cm), material volcánico endurecido altamente erosionado, solo se practica la agricultura en algunos suelos recuperados; Nativitas (0-20 y 20-40 cm), es una serie de suelo con textura franco a migajón arenoso de profundidad media, en que se siembra maíz y frijol de temporal; San Bartolo (0-20 cm), es un suelo de color oscuro profundo de textura arenosa a franca con sistema agrícola de riego, principalmente maíz forrajero y alfalfa; CIMMYT (0-20 cm) es un Vertisol de la estación experimental el Batán, se practica agricultura intensiva de cereales con leguminosas como abono verde altamente tecnificado. En general, tienen una precipitación media anual de 600 mm, con régimen de lluvias en verano y temperatura media anual de 15°C y una altitud de 2250 m. Se les determinó carbono orgánico (CO), carbono orgánico soluble (COS), pH, nitrógeno inorgánico (N), fósforo asimilable (P) y los parámetros microbiológicos de carbono (C-biomasa), nitrógeno (N-biomasa), fósforo (P-biomasa) y el índice de carbono orgánico soluble (COS-biomasa) utilizando los métodos tradicionales en ambos casos. Se realizaron los análisis estadísticos pertinentes. Los componentes de la biomasa microbiana de los suelos, presentaron alto grado de asociación con los parámetros químicos, por lo cual proporcionan una medición del estado nutrimental que tienen los suelos. La estimación de la biomasa microbiana puede ser utilizada para evaluar la fertilidad de un suelo, previa calibración de la misma.

Palabras clave: Biomasa microbiana, Fertilidad del suelo

Abstract. Samples were taken from highly contrasting four soils in terms of intensity of agricultural use and organic carbon, analyzing a total of five composite samples: Tepetate (0-20 cm), highly eroded volcanic material hardened, where agriculture is only practiced in certain soils recovered ; Nativitas (0-20 and 20-40 cm), is a kind of soil with sandy loam to loam of medium depth, in them are sowed corn and beans by dry farming; San Bartolo (0-20 cm), soil deep dark textured sandy frank with agricultural irrigation system, mainly corn silage and alfalfa; CIMMYT (0-20 cm) is a Vertisol of the experimental station Batan, in it is practiced intensive agriculture of cereals and legumes as green manure highly tech. They generally have an average annual rainfall of 600 mm, with rainfall in summer and annual average temperature of 15oC and an altitude of 2250 m. They were found organic carbon (OC), soluble organic carbon (SOC), pH, inorganic nitrogen (N), phosphorus (P) and microbiological parameters of carbon (C-biomass), nitrogen (N-biomass), phosphorus (P-biomass) and the rate of soluble organic carbon (SOC-biomass) using traditional methods in both cases. Statistical analyses were performed relevant. The components of the microbial biomass of soils showed the highest degree of association with the chemical, therefore a measure of nutritional status with the soil was provided. The estimation of microbial biomass can be used to evaluate soil fertility, after calibration itself.

Key words: Biomass microbial, soils fertility

Introducción

La biomasa microbiana del suelo está constituida por cinco grandes grupos de microorganismos: bacterias, actinomicetos, hongos, algas y protozoarios (Alexander, 1980) y son un componente esencial de los ecosistemas terrestres (Sugihara *et al.*, 2010). Además, son los principales responsables de la biodegradación de la materia orgánica (MO) que se incorpora al suelo en diferentes intervalos de tiempo, del reciclaje de nutrientes y del flujo de energía en el interior del suelo (Ndaw *et al.*, 2009). La biomasa microbiana, representa un importante "pool" (reservorio) de nutrientes fácilmente disponibles (Hall *et al.*, 2010). Las fluctuaciones del tamaño y actividad de la biomasa microbiana pueden influir significativamente en la productividad de los cultivos (Kaschuk *et al.*, 2010). La biomasa microbiana del suelo ha sido señalada, como un excelente parámetro indicador de la fertilidad de los suelos (Bending *et al.*, 2004; Gosai *et al.*, 2010; Vásquez-Murrieta *et al.*, 2007). No solamente en términos de los contenidos nutrimentales (Sonu *et al.*, 2007). Sino también, por su relación con algunas propiedades físicas del suelo, como son la

porosidad, la agregación y la estructura entre otras, que promueven a través de la producción de sustancias orgánicas que influyen en la estabilidad física y química deseables, principalmente en los suelos agrícolas; siendo la agregación una faceta de la estructura del suelo que provee resistencia a la erosión del viento y del agua, da protección física a la materia orgánica y a los micro sitios (hábitat) en que se da la actividad microbiana (Helgason *et al.*, 2010).

En los ecosistemas fértiles, la mayor parte de la MO producida por la vegetación es retornada al suelo y varía de 1 a 5 toneladas de carbono (2 a 15 toneladas de materia seca) por hectárea anualmente en la capa arable (Jenkinson *et al.*, 1992). En contraste en muchos suelos agrícolas, los residuos de cosecha son removidos para el consumo humano o animal. Este hecho reduce drásticamente los contenidos de MO, afecta negativamente a la biomasa microbiana del suelos y su fertilidad (Vásquez-Murrieta *et al.*, 2007), se alteran algunas propiedades del suelo, como es su estructura y su retención de humedad entre otras, incrementándose pérdidas de partículas finas a través de la erosión; está claro que el manejo de los suelos afecta su fertilidad (Kemmitt *et al.*, 2008). La sustentabilidad de los sistemas agrícolas requiere un mejor entendimiento de la microbiología del suelo así como un mayor uso de las fuentes naturales de nutrimentos, entre ellos los residuos orgánicos. El presente trabajo tiene como objetivo conocer algunas relaciones de la biomasa microbiana con parámetros utilizados para describir la fertilidad de los suelos.

Materiales y métodos

Se muestrearon cuatro suelos con diferentes niveles de fertilidad, dada en algunos casos por el manejo de los mismos. Estos suelos se localizan en el área de influencia de la Universidad Autónoma de Chapingo, México: 1) fue un sustrato endurecido (0-20 cm) con floración de rocas, llamado Tepetate con textura arcillo arenosa, crecen arbustos e hierbas, no incorporado formalmente a la agricultura; 2) fue un suelo poco profundo con agricultura de temporal, este suelo se muestreó a dos profundidades 0-20 y 20-40 cm (Nativ-20 y Nativ-40), textura migajón arenosa cultivado con maíz y frijol; 3) fue un suelo profundo con agricultura de riego (S/Bart), con textura migajón arenosa, cultivado con maíz forrajero y alfalfa entre otros; 4) fue un suelo profundo con textura arcillosa y con una agricultura altamente tecnificada (CIMMYT), donde se utilizan abonos orgánicos y entre ellos cultivos de coberturas, con un manejo integral de sistemas de labranza, de rotación de cultivos y retención de residuos de cosecha; actualmente con cultivos de trigo y maíz. Los

suelos muestreados se distribuyeron dentro de un mismo régimen climático con precipitaciones de 600 a 800 mm con lluvias en verano y temperatura media anual de 15°C y una altitud promedio de 2200 m.

A los suelos muestreados se les determinaron los principales parámetros que caracterizan su fertilidad: pH, materia orgánica (MO), nitrógeno total (N) y fósforo (P), por los métodos establecidos por la norma oficial Mexicana (NOM-021-SEMARNAT-2000). El carbono de la biomasa microbiana (C-biomasa) fue estimado por el método fumigación e incubación (MFI) de Jenkinson y Powlson (1976b), con las modificaciones propuestas por Jenkinson y Powlson (1980). Para la estimación del N de la biomasa microbiana (N-biomasa) se utilizó el método de fumigación e incubación de Jenkinson y Powlson (1976a), utilizando una solución extractante propuesta por Haider *et al.* (1991) y se calculó el N-biomasa de acuerdo a la relación propuesta por Shen *et al.* (1984). El P de la biomasa microbiana (P-biomasa) fue estimado por el método de fumigación y extracción (MFE) de Brookes *et al.* (1982) y el carbono orgánico soluble del suelo (COS) y de la biomasa microbiana (COS-biomasa) se estimaron utilizando el principio del método de Fox y Piekielek (1978). Los resultados fueron sometidos a un análisis de varianza y a una prueba de Tukey para estimar la significancia de las medias de los parámetros químicos y de biomasa microbiana de los suelos estudiados; llevando a cabo posteriormente algunas correlaciones entre los parámetros químicos y microbiológicos analizados.

Resultados y discusión

Parámetros químicos de los suelos. El pH de los suelos analizados fue bastante uniforme quedando dentro del intervalo de 6.1 y 7.3 unidades. Sin embargo, los porcentajes de MO (Cuadro 1) variaron desde 0.06% en el Tepetate hasta 2.33% en el suelo de CIMMYT, presentando diferencias significativas en este parámetro todos los suelos analizados. En relación al índice de carbono orgánico soluble de los suelos (COS) medido como absorbancia a 260 nm (intervalo ultravioleta); en el suelo CIMMYT se registró el mayor índice (0.217) y el menor en el Tepetate (0.011), en los que también hubo diferencias significativas.

Las concentraciones de N inorgánico [$N-(NO_3 + NH_4)$] variaron desde 14 a 75 ppm, correspondiendo nuevamente la menor concentración al suelo de Tepetate y la mayor en este caso al suelo S/Bart, presentándose diferencias significativas entre los suelos más pobres y los de mayor fertilidad (Cuadro 1). La concentración de P-Olsen en el Tepetate fue de 0.7 ppm, esta baja concentración es atribuida a la escasa presencia de minerales fosfatados primarios y no a la alta retención de este

elemento por el suelo (Etchevers *et al.* (1992); asimismo a los bajos contenidos de MO (0.06%) en dicho suelo. La mayor concentración de P-Olsen se registró en el suelo de CIMMYT, siendo de 31 ppm, que correspondió a contenidos altos según la clasificación de Etchevers (1988), debido principalmente a la incorporación de residuos de cosecha que se maneja en dicho suelo. La concentración de P-Olsen de los demás suelos no fue mayor de 9 ppm (Cuadro 1).

Cuadro 1.

Parámetros químicos de los suelos altamente contrastantes ubicados en el área de influencia de la Universidad Autónoma de Chapingo, México.

Sitios muestreados	pH	MO %	COS ¹ Abs	N ppm	P ppm
Tepetate	7.3	0.06e ^{&}	0.011e	14d	0.7c
Nativ- 40	6.6	0.46d	0.059d	16cd	2.0c
Nativ- 20	6.1	0.86b	0.139c	34bc	7.0b
S/Bart	6.5	1.78c	0.179b	75a	8.7b
CIMMYT	6.5	2.33a	0.217a	46b	30.7a

¹=índice de carbono orgánico soluble (expresado en absorbancia medida a 260 nm). &=medias con la misma letra no tienen diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey (P<0.05).

Los porcentajes de MO e índice de COS mostraron un alto grado de asociación (Figura 1). El modelo de regresión entre ambos fue $MO = 10.81 (COS) - 2.54$ con $R^2=0.94$, consecuentemente el índice COS puede usarse como un estimador de la MO. Al respecto, Bowman *et al.* (1991) reportaron una relación similar entre el Carbono orgánico (CO) determinado por combustión seca y la absorbancia medida a 260 nm en extractos obtenidos con una solución de EDTA-KOH a 85°C en 11 suelos de diferentes áreas geográficas correspondientes a cinco órdenes de suelo.

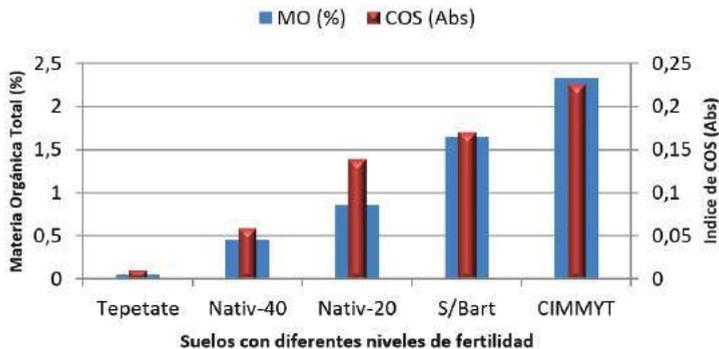


Figura 1. Relación de los porcentajes de materia orgánica (MO) e índice del carbono orgánico soluble (COS) en suelos altamente contrastantes.

Componentes de la biomasa microbiana. Las mayores concentraciones de C-biomasa (Cuadro 2) se cuantificaron en los suelos CIMMYT, Nativ-20 y S/Bart (169, 134, Y 133 ppm respectivamente), y las menores concentraciones se tuvieron en el Tepetate y Nativ-40 (8 y 49 ppm respectivamente). El N-biomasa presentó una tendencia similar a la del C-biomasa en los diferentes suelos (Cuadro 2). Siendo la mayor concentración de N-biomasa en el suelo CIMMYT (47 ppm) seguido por el suelo S/bart y Nativ-20 (36 y 28 ppm respectivamente) y las menores concentraciones se tuvieron en el tepetate y Nativ-40 (2 y 6 ppm de N-biomasa respectivamente). Esta similitud entre ambas variables, corrobora una relación proporcional entre los componentes microbianos del suelo, tal como lo afirman Alexander (1980); para el presente estudio fue de 4.8 C-biomasa:N-biomasa, en promedio. Concentraciones mayores de C-biomasa (336 a 513 ppm) y de N-biomasa (50 a 360 ppm) fueron encontradas por Ndaw *et al.* (2009), en un estudio realizado en cinco suelos con diferente manejo y cobertura vegetal, muestreados a la profundidad de 0-10 cm, por lo cual dichos resultados difieren totalmente con los presentados aquí, dado que a esa profundidad se concentra la mayor cantidad de biomasa microbiana y de la MO incorporada al suelo, la cual es su fuente de energía.

El suelo CIMMYT presentó el promedio más alto de P-biomasa (14.7 ppm) seguido por S/Bart (8 ppm). Estas fueron significativamente diferentes a los menores promedios registrados en Tepetate (0.3 ppm); Nativ 40 (1.7 ppm) y el suelo Nativ-20 que presentó 6.3 ppm (Cuadro 2). Con excepción del suelo CIMMYT, las concentraciones de P-biomasa obtenidas de los demás suelos, estuvieron cerca de la presentada por Butterly *et al.* (2009), quienes obtuvieron 3.9 ppm de P-biomasa para un suelo que contenía 32% de arcilla y 59% de arena y un pH de 5.6; el cual al ser modificado con diferentes fuentes de C y bajo proceso de secado y humedecimiento por intervalo de tiempo alcanzó hasta 24 ppm de P-biomasa en el mejor de los tratamientos. El índice de carbono de la biomasa microbiana (COS-biomasa) estimado como absorbancia a 260 nm fue mayor en los suelos CIMMYT, Nativ-20, y S/Bart (0.041, 0.040 y 0.036 respectivamente), entre los cuales no hubo diferencias significativas. Sin embargo, hubo diferencias significativas con los menores índices registrados en Tepetate y Nativ-40 que fue de tan solo 0.003 y 0.008 unidades de absorbancia respectivamente (Cuadro 2).

Cuadro 2.

Componente de la biomasa microbiana de los suelos altamente contrastantes, ubicados en el área de influencia de la Universidad Autónoma de Chapingo, México.

Sitios muestreados	C-biomasa	N-biomasa	P-biomasa	COS-biomasa ¹
	ppm			Abs
Tepetate	8b ^{&}	2b	0.3d	0.003b
Nativ-40	49b	6b	2cd	0.008b
Nativ-20	134a	28a	6bc	0.040a
S/Bart	133a	36a	8ab	0.036a
CIMMYT	169a	47a	14.7a	0.041a

¹=índice de carbono orgánico soluble de la biomasa microbiana (expresado en absorbancia medida a 260 nm). &=medias con la misma letra no tienen diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey (P<0.05).

Relación de la biomasa microbiana con algunos parámetros químicos del suelo.

El índice de COS de los suelos estuvo altamente correlacionado con los contenidos de C-biomasa (Figura 2a). Estos presentaron un coeficiente de asociación de $R^2 = 0.95$. El suelo CIMMYT tuvo los más altos índices de COS y de C-Biomasa, seguido por los suelos Nativ-20, S/Bartolo, Nativ-40 y por último el tepetate que tuvo los menores índices de COS y de C-Biomasa (Figura 2a). Los valores en estas variables, se explican en función de los contenidos de MO, de la cual son sustancialmente dependientes. El suelo S/Bartolo presentó la misma cantidad de C-Biomasa que el suelo Nativ-20, pero fue ligeramente mayor el índice de COS diferencia que fue significativa. Esta diferencia pudiera ser explicada por el mayor contenido de MO en el suelo S/Bartolo; mientras que la igualdad en la concentración de C-Biomasa puede deberse al tipo de manejo y a su historial de cultivos, dado que mientras que el suelo Nativ-20 es un suelo con agricultura de temporal (menos alterado), el suelo S/Bartolo es de agricultura tecnificada de riego (mayormente alterado) lo cual afecta en este último el desarrollo de la biomasa microbiana; lo cual ha sido corroborado por Helgason *et al.* (2010) quienes señalan que la biomasa microbiana es menor en suelos con labranza convencional que con labranza cero; debido a una alteración de los agregados del suelo, quedando éste expuesto a una mayor erosión eólica e hídrica que afecta significativamente la cantidad de biomasa microbiana total (Figura 2a).

Un nutrimento fundamental y muchas veces limitante en la producción agrícola y de mayor demanda por parte de los cultivos es el N. Este es un elemento altamente inmovilizable por la biomasa microbiana del suelo, requerido por ésta para la formación de su protoplasma. Para que exista un incremento en el C-biomasa es necesaria una inmovilización conjunta de N inorgánico. La función polinómica que relacionó a ambos parámetros fue $C\text{-biomasa} = -0.0954N^2 + 10.334N - 105.23$ con

un coeficiente de asociación de $R^2=0.96$ (Figura 2b). Se observó un ascenso en la formación de C-Biomasa a medida que se tuvo un incremento de N inorgánico en los suelos; a partir del suelo de Tepetate que presentó 14 ppm de N inorgánico y una formación de 8 ppm de C-Biomasa, posteriormente en ese mismo ascenso se tuvieron los suelos Nativ-40, Nativ-20, hasta CIMMYT que presentó en promedio 46 ppm de N inorgánico y la más alta formación de C-biomasa, siendo de 169 ppm en promedio. A partir de allí, se tuvo un descenso en la formación de C-Biomasa para el suelo de S/Bartolo el cual presentó el más alto contenido de N inorgánico siendo de 75 ppm en promedio (Figura 2b), con tan solo 133 ppm de C-biomasa; lo cual deja ver que el desarrollo de la biomasa microbiana (formación de C-biomasa) no está sujeta exclusivamente a la disponibilidad de nutrimentos en el suelo, sino también a las condiciones de manejo y del ambiente que prevalecen en los sistemas agrícolas; lo cual fue observado en un estudio realizado por Fall *et al.* (2011) en el cual encontraron altos contenidos de N inorgánico y bajas concentraciones de C-biomasa, y viceversa, tanto para época húmeda como seca, a la profundidad de 0-25 cm.

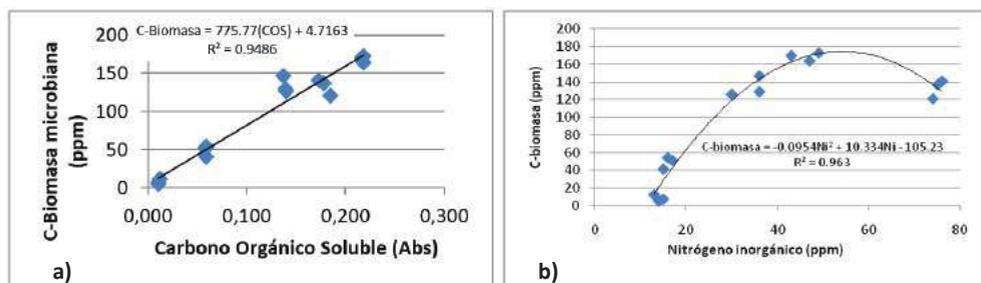


Figura 2. Relación entre el C-Biomasa con, a) el Carbono Orgánico Soluble (COS), b) el nitrógeno inorgánico; de suelos altamente contrastantes.

La relación entre el C-biomasa y el P-Olsen se expresó a través del modelo: $C\text{-biomasa} = -0.4784 (P\text{-Olsen})^2 + 20.077(P\text{-Olsen}) + 4.176$, con un coeficiente de asociación de $R^2 = 0.95$ (Figura 3a). Se observó que para bajos niveles de P-Olsen se tradujeron en grandes incrementos de C-biomasa; debido posiblemente a que la fracción de P en los microorganismos es de aproximadamente el 3% de su composición, mientras que la de C es de alrededor del 50%. Aunque la información es escasa al respecto y no se tuvieron valores intermedios (en la curva de tendencia) para establecer un límite de respuesta, aproximadamente sobre 20 ppm de P-Olsen se alcanzó el mayor incremento de C-biomasa (Figura 3a), a partir de allí se reduce al aumentar el P-Olsen. En el lado izquierdo de la curva se ubica el Tepetate y el Nativ-40, los

cuales tienen las menores concentraciones de P-Olsen y que se asocian con los bajos contenidos de C-biomasa en estos suelos. En la parte intermedia del ascenso de la curva, están los suelos Nativ-20 y S/Bartolo, que poseen cantidades similares de P-Olsen (7 y 8.7 ppm en promedio respectivamente) y prácticamente igual C-biomasa (134 y 133 ppm en el mismo orden); finalmente el suelo CIMMYT presentó la mayor concentración de P-Olsen (30.7 ppm en promedio) con una formación de C-biomasa de 169 ppm en promedio, ubicándose en la parte descendente de la curva de tendencia. Cabe señalar, que la relación entre el C-biomasa y el P-Olsen fue similar a la encontrada entre el C-biomasa y el N inorgánico lo cual contribuye a explicar los bajos o altos valores de dichas variables y confirmando que la relación lineal entre el C-biomasa con el N inorgánico o con el P-Olsen sólo será posible hasta cierto nivel de estos últimos como puede observarse en las Figura 2b y 3a. Para el caso del P-Olsen la mayor formación de C-biomasa estimada se tendrá alrededor de 20 ppm, según Figura 3a, de no existir otros factores limitantes en el desarrollo de dicha biomasa microbiana dada su alta sensibilidad que presenta a las condiciones físicas, químicas y ambientales.

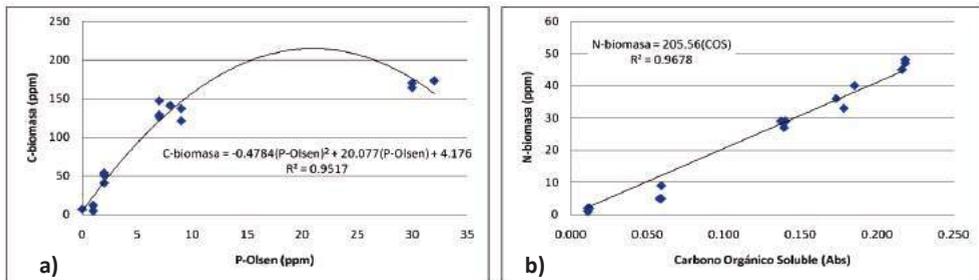


Figura 3. Relación entre: a) el C-biomasa con el P-Olsen, b) el N-biomasa con el carbono orgánico soluble (COS) de suelos altamente contrastantes.

Otra relación de importancia es la del N-biomasa con el índice COS del suelo, en el que se tuvo un coeficiente de correlación de $R^2 = 0.97$ (Figura 3b). Al igual que otras de las relaciones presentadas los bajos índices de COS se asociaron con los valores bajos de N-biomasa, correspondiendo éstos al suelo de Tepetate seguido por Nativ-40. En la parte intermedia de la línea de tendencia se ubicó el suelo Nativ-20 y en el extremo superior el suelo S/Bartolo y CIMMYT, los cuales se distribuyeron bastante uniformes sobre la línea de tendencia, con excepción del suelo Nativ-40 cuyos índices de COS correspondieron a valores bajos de N-biomasa quedando por debajo de la línea de tendencia (Figura 3b). A pesar de poseer el suelo Nativ-40 la fuente de energía (COS) necesaria para la formación de N-biomasa esta fue menor

a la esperada (según la tendencia de la línea) debido posiblemente entre otras variaciones, a las condiciones diferentes de aireación de la muestra de suelo con respecto a las demás (muestra tomada de 20-40 cm de profundidad). Al respecto en un estudio realizado durante dos años por Fall *et al.* (2011), encontraron una correlación negativa entre la biomasa microbiana del suelo con el contenido de N inorgánico con respecto a la profundidad en que se toman las muestras de suelos, lo cual fue atribuido a un menor contenido de nutrientes en las subcapas del suelo (Figura 3b). Al igual que otras relaciones, la del N-biomasa con el N inorgánico es de característica no lineal (Figura 4a). El coeficiente de ajuste del modelo empleado fue $R^2=0.95$. En General, bajos niveles de N inorgánico de los suelos Tepetates y Nativ-40 se asociaron con bajos niveles de N-biomasa. El suelo Nativ-20 tuvo valores intermedios de ambos parámetros. El suelo CIMMYT presentó los más altos valores de N-biomasa con un promedio de 47 ppm; mientras que el suelo S/Bartolo a pesar de presentar la más alta concentración de N inorgánico (75 ppm), presentó menor formación de N-biomasa siendo de solo 36 ppm (relación muy similar entre el C-biomasa y el N inorgánico). Ya que la biomasa microbiana puede variar en relación a los contenidos de N inorgánico de los suelos como ya ha sido corroborado por Fall *et al.* (2011) los cuales mencionan que encontraron una correlación negativa entre la biomasa microbiana total y el N inorgánico en la estación lluviosa; mientras la primera se incrementa, la segunda disminuye.

La relación entre el P-biomasa y el índice COS de los suelos fue lineal y similar a la de los otros componentes de la biomasa microbiana con este parámetro. El coeficiente de asociación fue de $R^2= 0.87$, siendo menor a los coeficientes señalados con anterioridad. Esto se debió a una mayor proporción de P-biomasa con respecto al índice COS del suelo CIMMYT, en relación a los demás suelos; dado que el índice de COS fue de 0.217 de absorbancia con una formación de 14.7 ppm de P-biomasa en promedio (Figura 4b). En la parte media superior de la línea de tendencia se ubicaron las muestras S/bart y Nativ-20 con estos mismos parámetros, quedando por debajo de la línea de tendencia; al igual que el suelo Nativ-40 que se ubicó cerca del extremo izquierdo de la línea y en el extremo se ubicó el suelo de Tepetate con los valores más bajos de ambas variables. En general se puede señalar que el suelo CIMMYT posee los más altos porcentajes de MO (2.33 %), dado principalmente por el manejo de cultivos de cobertura y de los residuos de cosecha que le son incorporados y que representan la fuente principal para el desarrollo de la biomasa microbiana (Butterly *et al.*, 2009) y que podría ser el factor limitante en los demás suelos analizados (Figura 4b).

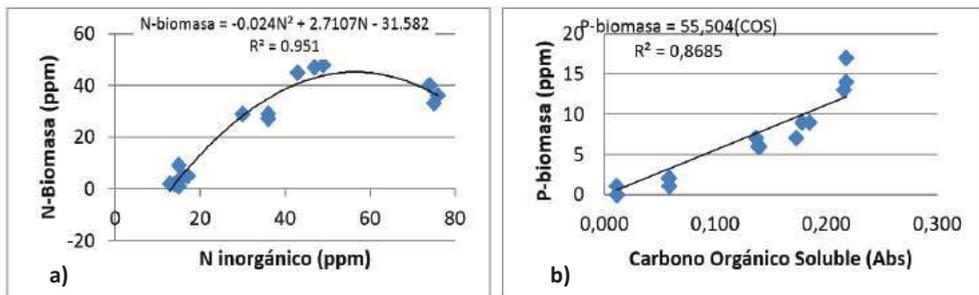


Figura 4. Relación entre a) el N-biomasa con N inorgánico; b) P-biomasa con el Carbono Orgánico Soluble (COS) de suelos altamente contrastantes.

Así también, el índice de carbono orgánico soluble de la biomasa microbiana (COS-biomasa) presentó una alta correlación ($R^2=0.95$) con el C-biomasa (Figura 5a). En consecuencia, el índice de COS-biomasa puede utilizarse para estimar el C-biomasa. En esta correlación lineal con intercepto a cero, los altos índices de COS-biomasa se asociaron con altos contenidos de C-biomasa y viceversa; aunque se observa en la parte superior de la línea de correlación (Figura 5a) diferentes concentraciones de C-biomasa para un mismo valor de COS-biomasa para los suelos Nativ-20 y CIMMYT; así como también se observa un mismo valor de C-biomasa para diferentes índices de COS-biomasa para los suelos de Nativ-20 y S/bart. Esto puede deberse al diferente manejo e intensidad de uso de cada uno de estos suelos que pueden afectar las propiedades físicas o químicas de dichos suelos, y como ha sido señalado por Helgason *et al.* (2010), esto afecta de manera sensible la actividad de la biomasa microbiana del suelo; aunque no se descarta que se deba a un error analítico en la estimación del COS-biomasa.

El N-biomasa, al igual que el C-biomasa se correlacionó significativamente con el índice de COS-biomasa, aunque su coeficiente de correlación fue menor ($R^2=0.88$). Tal hecho se debe a que se tuvieron índices de COS-biomasa muy similares para los suelos Nativ-20 y CIMMYT (0.040 y 0.041 unidades de absorbancia, respectivamente), pero con muy diferentes N-biomasa (28 y 47 ppm mismo orden), como puede observarse en la Figura 5b. Cabe señalar, que una situación similar se presentó en la correlación anterior, entre el C-biomasa y el índice COS-biomasa; por lo que puede deberse (como ya se mencionó) a un error analítico en la estimación de esta última variable.

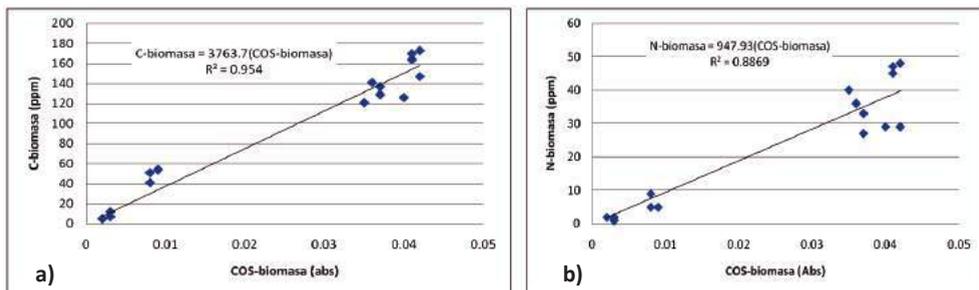


Figura 5. Relación entre el carbono orgánico soluble de la biomasa (COS-biomasa): a) con el C-biomasa, b) con el N-biomasa de suelos altamente contrastantes.

Conclusiones

Los componentes de la biomasa microbiana C, N, P y COS de los suelos analizados presentaron alto grado de asociación con parámetros químicos y dada la alta sensibilidad que la biomasa microbiana presenta a los cambios de uso y manejo de los suelos, pueden ser utilizados para evaluar la fertilidad de un suelo. La medición del Carbono Orgánico Soluble (COS) de los suelos en el extracto de NaHCO_3 0.5 M como absorbancia a 260 nm (intervalo ultravioleta), al igual que el COS-biomasa; pueden ser utilizados como métodos alternativos para la estimación de la MO y el C-biomasa de los suelos respectivamente, requiriéndose analizar una mayor cantidad de suelos con características físicas y químicas ampliamente heterogéneas que permita generar un modelo que estime de manera confiable ambos parámetros. Teniendo en consideración una menor contaminación de nuestro medio ambiente.

Literatura citada

- Alexander, M. 1980. Microbiología del suelo. Editorial AGT, México.
- Bending, G. D., Turner, M. K., Rayns, F., Marx, M. C. and Wood, M. 2004. Microbial and biochemical soil quality indicators and their potential for differentiating areas under contrasting agricultural management regimes. *Soil Biol. Biochem.* 36(11): 1785–1792.
- Bowman, R. A., W. D. Guenzi and D. J. Savory. 1991. Spectroscopic for estimation of soil organic carbon. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55: 563-566.

- Brookes, P. C., D. S. Powlson and D. S. Jenkinson. 1982. Measurement of microbial biomass phosphorus in soil. *Soil Biol. Biochem.* 14: 319-329-
- Butterly, C.R., Bünemann, E.K., McNeill, A.M., Baldock, J.A., Marschner, P. 2009. Carbon pulses but not phosphorus pulses are related to decreases in microbial biomass during repeated drying and rewetting of soils. *Soil Biol. & Biochem.* 41: 1406–1416
- Etchevers B, J. D., R. M. López. C. Zebrowski, D Peña H. 1992. Características químicas de te petates de referencia de los Estados de México y Tlaxcala, México. In: SMCS (Eds). Suelos volcánicos endurecidos. Primer Simposio Internacional, México 20-26 de Octubre 1991. *Terra.* 10: 171-177.
- Etchevers B., J. D. 1988. Análisis químicos de suelos y plantas. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- Fall, D., Diouf D., Zoubeirou, A. M., Bakhoun, N., Faye A., Sall, S. N. 2011. Effect of distance and depth on microbial biomass and mineral nitrogen content under *Acacia senegal* (L.) Willd. *Trees. J. of Environm. Managem.* XXX: 1-5,
- Fox, R. H., W. P. Piekielek. 1978. A rapid method for estimating the nitrogen-supplying capability of a soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42: 751-753.
- Kaschuk, G., Alberton, O., Hungria M. 2010. Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: Lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability. *Soil Biol. Biochem.* 42: 1–13.
- Gosai, K., Arunachalama, A., Dutta, B. K. 2010. Tillage effects on soil microbial biomass in a rainfed agricultural system of northeast India. *Soil & Till. Res.* 109: 68–74
- Haider, Jamil, Takuya Marumoto and A. K. Azad. 1991. Estimation of microbial biomass carbon and nitrogen in Bangladesh soils. *Soil Sci. Plant Nutr.* 37: 591-599.
- Hall H., Li Y., Comerford N., Arevalo G. E., Zuniga C. L., Baligar V., Popenoe H. 2010. Cover crops alter phosphorus soil fractions and organic matter accumulation in a Peruvian cacao agroforestry system. *Agroforest Syst.* 80:447–455
- Helgason, B.L., Walley, F.L., Germida, J.J. 2010. No-till soil management increases microbial biomass and alters community profiles in soil aggregates. *Applied Soil Ecol.* 46: 390–397
- Jenkinson, D. S, D. S. Powlson. 1976a. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil-I. Fumigation with chloroform. *Soil Biol. Biochem.* 8:167- 177.
- Jenkinson, D. S, and D. S. Powlson, 1976b. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil-V. A method for measuring soil biomass. *Soil Biol. Biochem.* 8: 209-213.

- Jenkinson, D. S., D. S. Powlson. 1980. Measurement of microbial biomass in intact soil cores and in sieved soil. *Soil Biol. Biochem.* 12: 579-581.
- Jenkinson, D. S., Harkness D. D., Vance E. D., Adams D. E., Harrison A. F. 1992. Calculating net primary production and annual input of organic matter to soil from the amount and radiocarbon content of soil organic matter. *Soil Biol. Biochem.* 24: 295 - 308.
- Ndaw, S.M., Gama-Rodrigues, A.C., E.F. Gama-Rodriguez, Sales, K.R.N., Rosado, A.S. 2009. Relationships between bacterial diversity, microbial biomass, and litter quality in soils under different plant covers in northern Rio de Janeiro State, Brazil. *Can. J. Microbiol.* 55: 1089–1095.
- NOM-021-SEMARNAT-2000. Norma oficial Mexicana, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. In *Diario oficial*. Martes 31 de diciembre de 2002. México.
- Shen, S. M.; G. Pruden and D. S. Jenkinson. 1984. Mineralization and immobilization of nitrogen in fumigated soil and the measurement of microbial biomass nitrogen. *Soil Biol. Biochem.* 16: 437-444.
- Sonu, S., Nandita, G., Singh, K.P. 2007. Variation in soil microbial biomass and crop roots due to differing resource quality inputs in a tropical dryland agroecosystem. *Soil Biol. Biochem.* 39: 76–86.
- Sugihara, S., Funakawa, S., Kilasara, M., Kosaki, T. 2010. Effect of land management and soil texture on seasonal variations in soil microbial biomass in dry tropical agroecosystems in Tanzania. *Applied Soil Ecol.* 44: 80–88.
- Vásquez-Murrieta, M.S., Govaerts, B., Dendooven, L. 2007. Microbial biomass C measurements in soil of the central highlands of Mexico. *Applied Soil Ecol.* 35: 432–440.
- Kemmitt, S.J., Lanyon, C.V., Waite, I.S., Wen, Q., Addiscott, T.M., Bird, N.R.A., Donnell, A.G. O', Brookes, P.C. 2008. Mineralization of native soil organic matter is not regulated by the size, activity or composition of the soil microbial biomass—a new perspective. *Soil Biol. Biochem.* 40: 61–73.

Aplicación de dolomita en suelos ácidos cultivados con piña MD-2 en Veracruz, México

Dolomite application on acid soils cultivated with MD-2 pineapple in Veracruz, Mexico

Zetina Lezama Rigoberto^{1*}, Andrés Vásquez Hernández¹, Yunci I. Cárdenas², Jorge Benavidez Ursúa¹ y Javier Román Reyes¹.

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Cotaxtla. Km 34.5 de la carretera federal Veracruz-Córdoba. Medellín de Bravo, Veracruz. ² Tesista de la Universidad Veracruzana. *E mail: zetina.rigoberto@inifap.gob.mx

Resumen. Más de 75% de los suelos cultivados con piña en Veracruz tienen pH menor a 4.50; esta condición genera una baja disponibilidad de bases cambiables, raíces disfuncionales, malformaciones de frutos y coronas múltiples. Para evaluar el efecto del encalado sobre el pH del suelo, la incidencia de plantas con pudrición de cogollo, la nutrición y el desarrollo vegetativo de piña MD-2, se estableció un experimento en un Cambisol dístrico y clima AWo. El diseño fue bloques al azar con cuatro repeticiones y cinco niveles de dolomita (0.0, 0.5, 1.0, 2.0 y 4.0 t ha⁻¹). A la inducción floral se midió: pH, peso seco de hoja "D" (PSHD), peso fresco de planta (PFP), contenido de Ca, Mg y K en tejido vegetal y número de plantas con pudrición del cogollo. Para las variables PFP y PSHD no hubo diferencia estadística entre tratamientos. Al inicio de lluvias el pH aumentó de 3.90 a 4.89 en el tratamiento 4 t ha⁻¹; en el testigo fue de 4.4. Diez meses después del encalado, el pH en el tratamiento 4.0 t ha⁻¹ fue estadísticamente superior al testigo. En todos los tratamientos el Ca en hojas fue superior al límite crítico (0.18%), mientras que para Mg y K fue menor al límite crítico (0.300% y 3.0%). La presencia de plantas con pudrición de cogollo fue baja en los 4 muestreos, en todos los tratamientos. No se encontró significancia significativa en variables vegetativas como respuesta al encalado.

Palabras clave: Dolomita, pH, Ananas, Calcio, *Phytophthora*

Abstrac. Over 75% of the soils cultivated with pineapple in Veracruz have pH less than 4.50, this condition generates a low availability of exchangeable bases, dysfunctional roots, fruit malformation and multiple crowns. To evaluate the effect of liming on

soil pH, the incidence of bud rot plants, nutrition and vegetative development of MD-2 pineapple, an experiment was established in a Cambisol distric and climate AWo. The design was randomized blocks with four replications and five levels of dolomite (0.0, 0.5, 1.0, 2.0 and 4.0 t ha⁻¹). A floral induction was measured: pH, dry weight of leaf "D" (PSHD), fresh weight of plant (PFP), content of Ca, Mg and K in plant tissue and number of plants with bud rot. For variables PSHD PFP and there was no statistical difference between treatments. At the beginning of rain the pH increased from 3.90 to 4.89 in treatment 4 t ha⁻¹ in the control was 4.4. Ten months after liming, the pH in the treatment 4.0 t ha⁻¹ was statistically superior to the control. In all treatments the Ca in leaves was higher than the critical limit (0.18%), while for Mg and K was below the critical limit (0.300% and 3.0%). The presence of bud rot plants was low in the 4 samples in all treatments. No significance was found significant vegetative variables in response to liming.

Key words: Dolomite, pH, Pineapple, Ananas, Calcium, *Phytophthora*

Introducción

Las propiedades químicas más afectadas de los suelos cultivados con piña en el sur de Veracruz, son el pH y el contenido de bases cambiables. Actualmente, más del 75% de estos suelos, registran valores de pH menores al rango optimo (4.5-5.5) de desarrollo del cultivo (Bartholomew *et al.*, 2003); en casos extremos se han observado valores de pH hasta de 2.9 (Zetina *et al.* 2005). Esta condición del suelo ocasiona problemas nutrimentales, fisiológicos y morfológicos que afectan el desarrollo de la planta y la calidad de la fruta. Entre los que se encuentran baja disponibilidad y aprovechamiento de bases cambiables, desarrollo pobre de raíces, malformaciones de frutos y presencia de corona múltiple (Malézieux y Bartholomew, 2003). El encalado tiene un efecto positivo sobre el comportamiento químico del suelo (Ordoñez *et al.* 2005), el desarrollo vegetativo (Pérez, 1986), la producción (Mite *et al.* 2010) y la calidad de las especies que se cultivan en las zonas tropicales del planeta. El uso adecuado del encalado en terrenos cultivados con piña mejora sus propiedades químicas, físicas y biológicas, la nutrición de la planta (Lugo 1957, Costa *et al.* 2001) y reduce las poblaciones de nematodos (Rohrbach y Apt 1986, Rebolledo *et al.* 2002). Heralth *et al.* (2000) indican que la aplicación de Ca al suelo incrementa los niveles de este nutriente en el fruto lo que permite alargar su vida de anaquel. No obstante, algunos trabajos concluyen que esta práctica no tiene un impacto significativo sobre esta variable (Magalhaes *et al.* 1978; Costa *et al.* 2001) debido al bajo requerimiento de calcio del cultivo (Malézieux y Bartholomew 2003).

Al respecto los productores de pina del estado de Veracruz no consideran a la acidez como un problema serio para su cultivo, y que, la aplicación de dolomita puede afectar el rendimiento y la calidad de sus cosechas. Al respecto, Malézieux *et al.* (2003) y Mite *et al.* (2010) indican que el pH y la incidencia de *Phytophthora* sp incrementan, mientras que la disponibilidad de algunos micronutrientes como Zn, Cu, B y Mn disminuyen y puede aumentar la pudrición de raíces y cogollo de las plantas en la época de lluvias. Por lo anterior el objetivo del presente trabajo fue conocer el efecto del encalado en el comportamiento químico de los suelos ácidos cultivados con piña; además de cuantificar su efecto sobre la incidencia de la pudrición de cogollo, la nutrición del cultivo y su desarrollo vegetativo.

Materiales y métodos

El experimento se estableció en condiciones de temporal en el Municipio Juan Rodríguez Clara, Veracruz, ubicado a 140 m de altura, clima Awo, precipitación y temperatura media anual de 1370 mm y 25.4 °C, respectivamente. El suelo es un Cambisol dístico de textura arenosa con contenido del 68.2% de arena; 1.57% de MO; pH de 3.98; Ca de 417 mg kg⁻¹, Mg de 65 mg kg⁻¹, K de 22 mg kg⁻¹; P extraíble de 36 mg kg⁻¹ y 1.22 cmol⁺ kg⁻¹ de Al intercambiable.

El diseño experimental utilizado fue bloques al azar, con cuatro repeticiones y cinco niveles de dolomita: 0.0, 0.5, 1.0, 2.0 y 4.0 t ha⁻¹. La unidad experimental constó de 200 plantas distribuidas en 10 surcos de 8.0 m de longitud. La dolomita se aplicó manualmente al voleo sobre la superficie del terreno, después del barbecho y el primer rastreo, y se incorporó con dos pasos de rastra. Las dosis utilizadas fueron estimadas con la ecuación $Y = 10.484 + 2.095 X$ (donde Y = Requerimiento de dolomita en t ha⁻¹ y x = pH inicial del suelo en agua relación 1:2 (Zetina *et al.* 2002), con la cual se espera obtener valores de pH iguales y mayores al rango óptimo de 4.5 a 5.0 establecido para pina (Bartholomew *et al.*, 2003). Las características físicas y químicas de la dolomita utilizada fueron: 12% de humedad; densidad de 3.10 g cm⁻³; 90% de pureza, tamaño de partícula en la cual el 100% pasó la malla 100, 22.41% de Ca y 19.86% de Mg.

La preparación del terreno y mantenimiento del cultivo se realizó de acuerdo con Rebolledo *et al.* (1998). La siembra se efectuó en enero de 2010 utilizando "clavo" de piña MD-2 de 800 g establecido a 0.80 m entre hileras anchas y 0.60 m entre hileras cortas, con una separación entre plantas de 0.40 m para obtener una densidad de 35,500 plantas ha⁻¹. No se utilizó ningún tipo de fungicida debido a que no se presentaron enfermedades. La nutrición del cultivo, hasta antes

de la inducción floral, consistió en dos aplicaciones sólidas realizadas a los 60 y 210 días después de la siembra, en las que se aplicaron 25 g por planta de la fórmula 12-8-12-4 (N-P₂O₅-K₂O-MgO); durante la época seca del año (marzo, abril y mayo) se efectuaron dos aplicaciones, de 50 ml por planta de una solución preparada con 3.0 kg de urea, 1.0 kg de 18-46-00 (fosfato diamónico), y 3.0 kg de cloruro de potasio disueltos en 100 L de agua. La solución se aplicó al sistema de raíces adventicias ubicado en las axilas de las hojas basales. Al momento de la inducción floral, en cada parcela útil, se colectaron 20 hojas "D" (la hoja más joven, fisiológicamente madura (Malézieux y Bartholomew, 2003)) para evaluar su peso fresco (PFHD) en una báscula electrónica OHAUS LS 2000 con precisión de 0.1 g. Para obtener el peso seco (PSHD) las muestras se colocaron en una estufa de aire forzado RIOSSA HCF-62 a temperatura de 75 °C, hasta alcanzar peso constante. Para evaluar el peso fresco de planta (PFP), en cada parcela se seleccionaron tres plantas representativas; los tallos, hojas y pedúnculos de las plantas que se pesaron. Los datos se transformaron a t ha⁻¹ considerando una densidad de población de 35 500 plantas ha⁻¹. El diámetro de tallo (DT) se midió en la parte central con un vernier graduado en cm; la longitud del tallo (LT) se midió con una regla metálica graduada en cm. El porcentaje de plantas enfermas por pudrición de cogollo (PPEPC) se midió en recorridos efectuados en los meses de junio, agosto y octubre en los que se cuantificó el número de plantas con pudrición de cogollo en cada parcela útil. Antes del encalado, se tomó una muestra de suelo, a profundidad de 0 a 30 cm, integrada por 15 submuestras ubicadas en toda la superficie del terreno. Después, a los 180, 240, 300 días, en cada una de las parcelas experimentales, se colectaron muestras compuestas de suelo a la misma profundidad. En todas las muestras se evaluó el pH y el contenido de Ca, Mg y K. Al momento de la inducción floral se colectaron 20 hojas "D" en cada parcela para medir la concentración de Ca, Mg y K. Los métodos utilizados para la extracción y cuantificación de los nutrientes fueron los recomendados por la Norma Oficial Mexicana NOM-021 (SEMARNAT 2002). Los resultados obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza, en casos donde se detectaron diferencias estadísticas, las medias de cada tratamiento fueron separadas con la prueba de Tukey a una probabilidad de 1 y 5 %. Los análisis fueron realizados con la ayuda del SAS (1999).

Resultados y discusión

En el caso de la variable PFP las medias de cada tratamiento variaron de 1609.5 a 1903.5 g por planta para las dosis de 4.0 y 0.0 t ha⁻¹ de dolomita (Cuadro 1). Por otra parte, los tallos menos pesados y gruesos se registraron en el tratamiento de

4.0 t ha⁻¹ con 548.5 g y 4.16 cm, respectivamente. Mientras que los más pesados se encontraron en el tratamiento de 1.0 t ha⁻¹ con 640.75 g y 5.20 cm, respectivamente. No obstante, el análisis de varianza no registró diferencia estadística en ninguna de las variables estudiadas. De acuerdo con los resultados obtenidos, bajo las condiciones en que se desarrolló el experimento, la aplicación de dolomita en dosis de hasta 4.0 t ha⁻¹, no afectó significativamente el desarrollo vegetativo de las plantas de piña MD-2. Lo anterior difiere de los argumentos de los productores quienes indican que el encalado afecta de forma negativa el desarrollo vegetativo del cultivo (Silva *et al.* 2009).

Cuadro 1.

Efecto de la dolomita sobre el peso fresco de la planta, hojas y tallo de la piña MD-2, al momento de la inducción floral, en un suelo ácido de Veracruz.

Tratamiento (t ha ⁻¹ de dolomita)	Peso fresco (g)			Tallo	
	Planta	Tallo	Hoja	Diámetro (cm)	Longitud (cm)
0.0	1903.50	593.00	1310.50	4.29	13.95
0.5	1779.00	617.25	1161.75	4.15	13.34
1.0	1823.17	640.75	1182.42	5.20	13.64
2.0	1901.67	637.50	1264.17	4.14	13.85
4.0	1609.50	548.50	1061.00	4.16	12.28
Probabilidad	NS	NS	NS	NS	NS
C.V. (%)	20.86	22.89	19.44	22.70	12.14

NS= No significativo (P<0.05); CV=Coefficiente de variación.

La falta de respuesta del cultivo al encalado pudo deberse a que el contenido inicial de Ca y Mg en el suelo (417 y 65 mg kg⁻¹, respectivamente) fue mayor que los límites críticos de Ca= y Mg (Malézieux y Bartholomew, 2003). Según estos autores, la piña tolera niveles más bajos de estos nutrientes en el suelo y solo muestra síntomas visuales de deficiencia cuando los valores son menores de 25 mg par calcio y 10 mg para magnesio. En general el peso seco de planta, tallos y hojas, tuvieron un comportamiento similar al observado en las variables en peso fresco (Cuadro 2). El análisis de varianza no registró diferencias significativas entre tratamientos para ninguna de las tres variables estudiadas en este trabajo.

Cuadro 2.

Efecto del encalado dolomítico sobre el peso seco de planta, hojas y tallo de piña MD-2, a la inducción floral en un suelos ácido del sur de Veracruz.

Tratamiento (t ha ⁻¹ de dolomita)	Peso seco (g)		
	Planta	Tallo	Hoja
0.0	176.25	37.47	138.78
0.5	158.30	36.26	122.04
1.0	168.28	45.22	123.06
2.0	167.15	37.22	129.93
4.0	167.98	37.87	130.11
Probabilidad	NS	NS	NS
C.V. (%)	23.06	27.16	2177

NS= No significativo (P<0.05); CV=Coefficiente de variación.

La razón agronómica que justifica la aplicación de dolomita, en los suelos ácidos cultivados con piña, no se fundamenta en el incremento del rendimiento del cultivo, sino en los beneficios que genera en el suelo. Al respecto, Zetina *et al.* (2005) señalan que la dolomita, además de incrementar el pH del suelo, aumenta la disponibilidad de bases cambiables y reduce el porcentaje de saturación de aluminio tal y como se aprecia en la Figura 1. Además, de mejorar la actividad microbiológica y la eficiencia relativa de los fertilizantes químicos y biológicos (Zetina *et al.* 2002).

En la Figura 2 se puede apreciar que la variable PSHD mostró un comportamiento similar al PFP. Para este caso, los valores más altos se obtuvieron con la dosis de 4.0 t ha⁻¹ y los más bajos en los tratamientos de 0.0 t ha⁻¹ y 0.5 t ha⁻¹. Estas diferencias fueron más notables en la variable PFHD (Figura 2 B) en donde a medida que se aumentó la dosis de dolomita también se incrementó en el peso de hoja "D"; sin embargo, la diferencia entre la hoja más pesada y la de menor peso solo fue de 4.1 g y podría estar relacionada con un diferente contenido de humedad en el suelo producto de la heterogeneidad del mismo. No obstante, los valores antes citados, el análisis de varianza no registró diferencias estadísticas entre tratamientos lo que confirma el comportamiento observado en las variables vegetativas, referente a que la aplicación de dolomita no afecta el desarrollo de la planta de piña. Los resultados contrastan con los informes de Mite *et al.* (2010) quienes encontraron diferencias significativas en peso seco de raíces, plantas y frutos de piña MD-2 al aplicar dolomita a razón de 1.5 t ha⁻¹, en suelos volcánicos del Ecuador. Estos mismos autores indican que los rendimientos de fruto empezaron a declinar con dosis mayores a 3.0 t ha⁻¹.

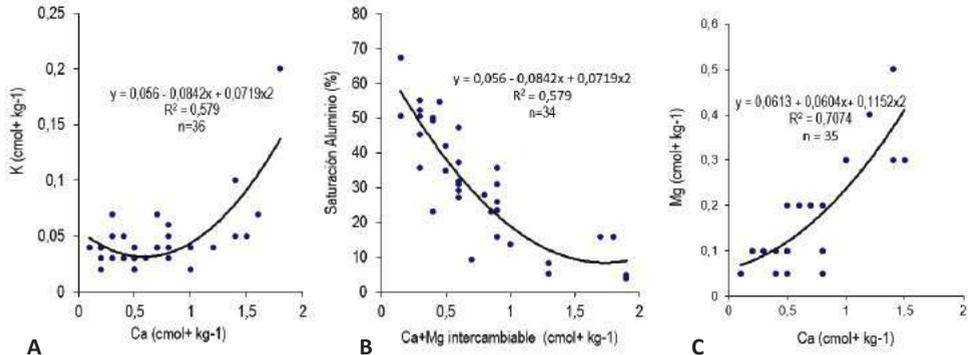


Figura 1. Efecto de la dolomita en el contenido de K (A), Mg intercambiable (B) y el porcentaje de saturación de Al (C) en suelos ácidos cultivados con piña en Veracruz.

En la Figura 3A se observa que el pH inicial del suelo fue de 4.0, valor que se mantuvo durante todo el año debido a que su contenido de humedad no fue suficiente para favorecer la reacción de la cal (Zetina *et al.* 2002) por lo que probablemente las primeras emisiones de raíces y hojas no recibieron ninguno de sus beneficios. Al inicio de las lluvias la cal reaccionó y el pH del suelo se incrementó hasta alcanzar un valor de 4.89 en el tratamiento encalado, mientras que en el testigo se observó un ligero ascenso estacional que permitió observar un valor de 4.40. Después de dos meses el pH disminuyó ligeramente por efecto de las lluvias intensas que se registraron y al finalizar la temporada de lluvias, el valor de pH entre los dos tratamientos registró su máxima diferencia (0.58).

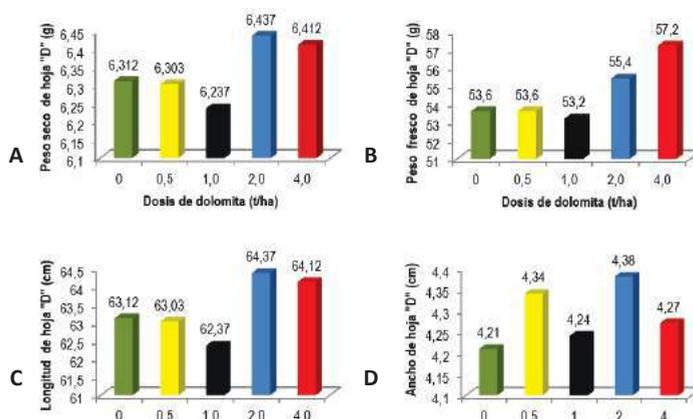


Figura 2. Efecto de la dolomita sobre el PSHD (A), PFHD (B), longitud (C) y ancho (D) de hoja "D" en piña MD-2 cultivada en un suelo ácido de Veracruz.

Con excepción del valor observado antes del encalado (3.98) los valores de pH en todos los tratamientos se ubicaron en el rango óptimo de 4.5 a 5.5 para el desarrollo de la piña (*Zetina et al.* 2002, *Bartholomew et al.* 2003). Aunque el análisis de varianza registró diferencias significativas ($F = 0.05$) entre el testigo y 4.0 t ha^{-1} de dolomita, esta variación no fue lo suficientemente fuerte para originar cambios en el desarrollo del cultivo. A esto debe sumarse la alta eficiencia del cultivo para extraer Ca en suelos pobres, su bajo requerimiento de Ca y su marcada habilidad para no mostrar síntomas visuales en condiciones de una mala nutrición cálcica (*Malézieux y Bartholomew*, 2003).

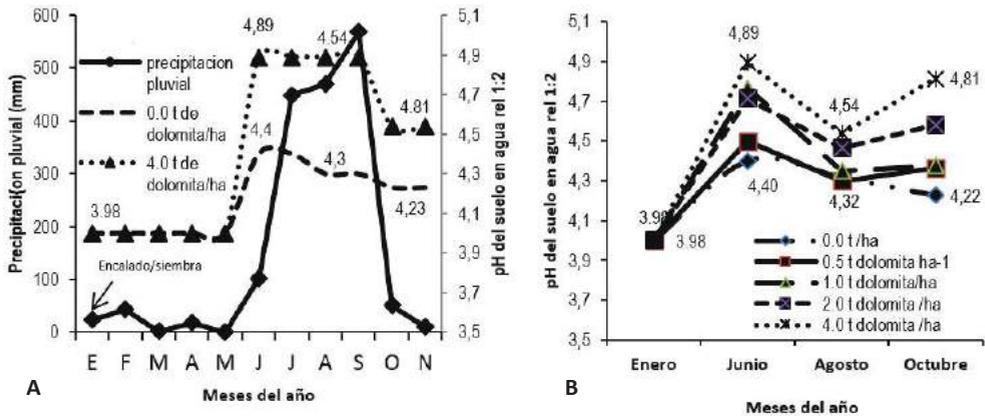


Figura 3. Relación del pH del suelo con la precipitación pluvial registrada en 2010 (A). Respuesta del pH de un suelo ácido de Veracruz a la aplicación de cuatro dosis de dolomita en cuatro épocas del año (B).

El contenido de Ca en la planta varió de 0.243 % a 2.75 % en los tratamientos de 0.5 y 4.0 t ha^{-1} de dolomita, respectivamente. En todos los tratamientos la concentración de Ca observada en la hoja "D" (base masa seca) fue superior al límite crítico (0.18%) establecido por Swete y Kelly (1993), por lo que se presume que la planta encontró en el suelo el Ca suficiente para su desarrollo. El contenido de Mg observado en la hoja "D" osciló de 0.152 a 0.180% en los tratamientos de 0.5 y 2.0 t ha^{-1} de dolomita, respectivamente. Para este caso se observó que los contenidos de Mg en todos los tratamientos fueron menores al límite crítico de 0.30%. Esto hace suponer que las dosis aplicadas de dolomita no fueron suficientes para aportar el Mg requerido por el cultivo.

Los suelos del sur de Veracruz son pobres en K (*Zetina et al.* 2005) y se ha comprobado que su disponibilidad se encuentra fuertemente asociado al pH del suelo y a la relación iónica que guarda con el Ca y el Mg (K/Ca, Ca+Mg/K, Mg/K y K/

Mg) presentes en el complejo de intercambio (Vázquez y Bautista, 1993). En muchos casos un exceso de Mg o Ca, provocado por un sobre encalado, puede limitar la disponibilidad de K en el suelo. El contenido de K en el tercio medio de la parte basal de la hoja “D” varió de 1.571 a 1.867% en los tratamientos que incluyeron la aplicación de 0.5 y 4.0 t ha⁻¹ de dolomita, respectivamente (Cuadro 3). De acuerdo con estos resultados, los valores de K obtenidos en el tejido vegetal al momento de la inducción floral se encuentran por debajo del rango óptimo (3.0-4.5%) señalado por Swete y Kelly (1993), y Glennie (1997).

Cuadro 3.

Concentración de Ca, Mg y K, en el tercio medio de la fracción etiolada de la hoja “D”, al momento de la inducción floral de piña MD-2.

Tratamiento (t ha ⁻¹ de dolomita)	Contenido (%)		
	Calcio	Magnesio	Potasio
0.0	0.243	0.163	1.672
0.5	0.256	0.152	1.867
1.0	0.224	0.159	1.769
2.0	0.255	0.159	1.688
4.0	0.275	0.180	1.571
Límite crítico ^{&}	0.180	0.300 ^{&&}	3.6

[&]= Base seca. Fuente: Swete y Kelly (1993). ^{&&}En suelos pobres en potasio.

Estos resultados coinciden con los obtenidos por Costa *et al.* (2001) quienes reportaron que una dosis de 1.0 t ha⁻¹ de dolomita aplicado a un Oxisol no incrementó el contenido de Mg y K en las hojas al momento de la inducción. A pesar de que todos los tratamientos se ubicaron por debajo del límite crítico, se encontró que la dosis de 0.5 t ha⁻¹ favoreció la absorción de K, no obstante, cuando se incrementó más la dosis la concentración de K en las hoja disminuyó drásticamente), debido probablemente a que la disponibilidad de este nutriente en el suelo fue afectada como una respuesta a una mayor abundancia de Ca y Mg, misma que pudo haber afectado los índices adecuados de la relación iónica recomendable entre el K, Ca y Mg. La presencia de la pudrición del cogollo, fue muy baja en todos los muestreos realizados, incluso para los tratamientos con una dosis alta de dolomita (Cuadro 4). Los resultados obtenidos en el muestreo realizado al inicio de la época de lluvias (junio) son congruentes con los datos reportados en la literatura (Rebolledo *et al.* 1998, Silva *et al.* 2009) y los reportes de los productores regionales, ya que las condiciones climáticas que prevalecen en la época seca del año no favorecen el desarrollo de esta enfermedad (Kenneth y Marshal, 2003). Sin embargo, los muestreos realizados en la época de lluvias difieren de los resultados de Silva, *et al.* (2009) y Mite *et al.* (2010) quienes señalan una mayor incidencia de

plantas enfermas a medida que se incrementa la dosis de cal. En octubre la planta sufrió los embates de vientos fuertes, los cuales, junto con el tránsito de personas dentro del piñal para realizar labores de mantenimiento, originaron macro y micro lesiones en el tejido vegetal. Este suceso y la presencia de fuertes precipitaciones, que saturaron el suelo por periodos cortos, construyeron el escenario ideal para la presencia de esta enfermedad; sin embargo, no sucedió así, aun cuando el genotipo MD-2 es un material altamente sensible a esta enfermedad (Rebolledo *et al.* 1998).

Cuadro 4.

Porcentaje de plantas enfermas con pudrición en diferentes épocas de desarrollo del cultivo de piña MD-2 establecido en un suelo ácido de Veracruz.

Tratamiento (t ha ⁻¹ de dolomita)	Plantas con pudrición de cogollo (%)		
	Junio	Agosto	Octubre
0.0	0	0	0
0.5	0	0	0
1.0	0	0	0
2.0	0	0	0
4.0	0	0	2

Al parecer, el incremento del pH en el suelo no fue un factor importante para la incidencia de plantas enfermas por pudrición. Según la Figura 3B, el valor máximo de pH que se registró en el mes de octubre (4.81) estuvo por debajo del rango crítico, que favorece el desarrollo de esta enfermedad (Malézieux *et al.* 2003, Mite *et al.* 2010). Por otra parte, aunque *Phytophthora* puede encontrarse prácticamente en todos los suelos agrícolas del trópico (Kenneth y Walter, 1986), existe la posibilidad de que el terreno donde se estableció el experimento no existan altas poblaciones de este hongo por lo que el nivel de infestación fue muy bajo. En este aspecto pudo tener relevancia el hecho de que la piña se sembrara en sucesión a un cultivo de frijol y que este tipo de rotación favoreciera la presencia un nivel bajo de *Phytophthora*. Aunque se tienen bien conocidos los mecanismos por medio de los cuales *Phytophthora* causa problemas en la planta de piña, es necesario identificar los factores bióticos y abióticos que favorecen su incidencia en los suelos ácidos del sur de Veracruz.

Conclusiones

El encalado no afectó significativamente el desarrollo vegetativo de la planta. El pH del suelo aumentó a medida que se incrementó la dosis de dolomita; diez meses después del encalado, el tratamiento de 4.0 t ha⁻¹ fue estadísticamente superior al

testigo. En todos los tratamientos, la concentración de Ca en el tejido vegetal se ubicó en el rango óptimo para la piña; no sucedió lo mismo con el Mg y el K que presentaron valores inferiores al límite crítico; por lo que se concluye que las dosis aplicadas no fueron suficientes para aportar todo el Mg que la planta necesitó para su desarrollo y que la presencia de Ca y Mg, en el complejo de intercambio, pudo afectar la disponibilidad de K. Bajo las condiciones en que se condujo el experimento no se presentaron plantas enfermas por pudrición del cogollo por lo que no fue posible establecer ningún tipo de relación entre el encalado y la presencia de esta enfermedad en el cultivo de la piña. Aunque no hubo diferencias estadísticas entre tratamientos, se observó una tendencia de mayor peso de planta y tallo (en fresco y seco) con la dosis de 1.0 t ha⁻¹ y de menor peso con 4 t ha⁻¹ de dolomita.

Literatura citada

- Bartholomew D.P., Malézieux E., Sanewski G. M., Sinclair E. 2003. Inflorescence and Fruit Development and Yield. *In*: D.P. Bartholomew, R.E.Paull and K.G. Rohrbach (Eds.) *The Pineapple: Botany, Production and Uses*. CAB International. pp: 167-202.
- Costa, V.C.A., A. H. Lopes O., E. J. Maklouf C., F. R. Sarmanho de S. 2001. Resposta do abacaxizeiro à adição de nitrogênio, potássio e calcário em latossolo amarelo do nordeste Paraense. *Rev. Bras. Frutic. Jaboticabal - SP*, 23 (2): 396-402.
- Glennie, J.D.1977. Pineapple Nutrition. Horticultural Branch Adv. Advisory Leaflet 34. Queensland Department of Primary Industries Nambour, Queensland, Australia.
- Herath, H.M.I., Bandara, D.C., Banda, G. A. 2000. Effect of pre-harvest calcium application level for the post-harvest keeping quality in Mauritius pineapple. *Tropical Agricultural Research* 12, 408-411.
- Kenneth, G.R., Marshal, W.J. 2003. Pest, Diseases and Weeds. *In*: Bartholomew, R.E., Paull, R.E. and Rohrbach, K.G. (Eds.) *The Pineapple: Botany, production and uses*. pp:203-252.
- Kenneth, G.R. and Walter, J.A. 1986. Nematode and Disease Problems of Pineapple. *Plant Disease* 70(1): 81-87.
- Lugo, L.M.A., E. Hernández M., y G. Acevedo. 1957. Response of some tropical soils and crops of Puerto Rico to applications of Lime. Technical Paper 28. Agricultural Experiment Station. University of Puerto Rico. Río Piedras, Puerto Rico. pp:1-18.

- Magalhaes, A.F., de Sousa, L.F. da S. y da Cunha, G.A.P. 1978. Efeitos de N, P, K, S, micronutrientes e calagem em abacaxi *Ananas comosus* (L.) Merr. *In: Anais Cruz da Almas* (Ed.) Congresso Brasileiro de Fruticultura. Soc. Bra. De Fruticultura. pp: 1-9-
- Malézieux, E., Bartholomew, P.D. 2003. Plant nutrition. *In: Bartholomew, R.E., Paull R.E. and Rohrbach* (Eds.). *The Pineapple: Botany, Production and Uses*. Pp: 143-165.
- Mite, F., J. Espinosa, L. Medina. 2010. Liming Effect on Pineapple yield and Soil Properties in Volcanic Soil. *Better Crops* 94(1):7-9.
- Ordoñez, R.D. Kheraiwish, M.J. Polo, J.V. Giráldez, P. González. 2005. Influencia del encalado sobre la movilidad de los metales en un suelo contaminado en el valle del río Guadimar (Sevilla). *Estudios de la zona no saturada del suelo*. 7:29-32.
- Pérez de R.R. 1986. Efecto del encalado en la neutralización del aluminio intercambiable y sobre el crecimiento del tomate (*Lycopersicon esculentum*). *Agronomía Tropical* 36(1-3):89-110.
- Rebolledo, M. A., D.E. Uriza A., L. Rebolledo M. 1998. Tecnología para la producción de piña en México. Folleto Técnico No. 20. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Papalopan. Ver., Méx. 159 p.
- Rebolledo M. L., D.E. Uriza A., J.G. Rodríguez E., A. Rebolledo M. 2002. Efecto del pH edáfico sobre poblaciones de nematodos en suelos acrisoles y cambisoles de la región piñera en la cuenca baja del Papalopan. *Memorias de la XV reunión científica tecnológica forestal y agropecuaria, Veracruz 2002, Veracruz, Veracruz.*[CD-ROM].
- Rohrbach, K.G., Apt, W. J. 1986. Nematode and Disease Problems of Pineapple. *Plant Disease*. 70(1):81.87.
- SAS (Statistical Analysis System) Institute Inc. User's guide. 1999. Statistics. Version 8. Sixth edition. SAS Inc. Cary, North Carolina, USA.
- SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales).2002. Norma Oficial Mexicana 021 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Méx. 75 pp.
- Silva, J.A., Hamasaki, R., Paull, R., Ogoshi, R., Bartolomew, D.P. Fukuda, S., Hue, N.V. Uehara, G., Tsuji, G.Y. 2009. Lime, Gypsum, and Basaltic Dust Effects on the calcium nutrition and fruit Quality of pineapple. *Dep. Of Tropical Plant and Soil Sciences, Univ. of Hawaii, Honolulu. U.S.A.* 10 p.

- Swete, K., Kelly, D.E. 1993. Nutritional disorders. In: Broadley R.H., Wassman R.C. and Sinclair E.R. (Eds.) Pineapple Pest and Disorders. Department of Primary Industries, Brisbane, Queensland. Pp. 33-42.
- Vázquez, A., A.N. Bautista. 1993. Guía para interpretar el análisis químico del suelo y agua. Universidad autónoma de Chapingo. Departamento de suelos. Chapingo, México. 19p.
- Zetina, L.R., A. Rebolledo M., D.E. Uriza A. 2005. Soil characterization of pineapple producing regions of Mexico. Acta Hort 666: 51-58.
- Zetina, L.R., L. Pastrana A., J. Romero M., J.A. Jiménez Ch. 2002. Manejo de suelos ácidos para la región tropical húmeda de México. INIFAP. Libro Técnico No. 10. Campo Experimental Papalopan. Veracruz, México. 169 p.

Efecto de la escarificación en la germinación de palmas en riesgo de Tabasco, México

Effect of the scarification on germination of palms at risk of Tabasco, Mexico

Mayo Mosqueda Alberto*, Dora Centurión-Hidalgo, Judith Espinosa Moreno y Jaime Gabriel Cázares Camero.

División Académica de Ciencias Agropecuarias, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
Km 25 Carretera Villahermosa-Teapa, Ra. La Huasteca 2ª Sección, Centro, Tabasco.

*E-mail: amayom13@hotmail.com

Resumen. Debido a la relevancia que tienen las palmas, es importante generar información sobre estrategias que contribuyan a mejorar el proceso de germinación, permitiendo un mejor manejo del recurso. Por esta razón se evaluó el efecto de la aplicación de nitrato de potasio KNO_3 con tres tiempos de remojo como estimulante de la germinación en semillas de las palmas *Cryosophila stauracantha*, *Chamaedorea alternans*, *Roystonea dunlapina*, *Reinhardtia gracillisy* *Geonoma interrupta* var. *interrupta*. La colecta de semillas se realizó en el Municipio de Tacotalpa, Tabasco. Los tratamientos aplicados a cada especie fueron: KNO_3 al 0.02% con inmersión de 10, 20 y 30 min y el testigo que consistió en remojo con agua por 30 min. *C. stauracantha* presentó el mayor porcentaje de germinación (56%) sin necesidad de la solución de nitrato y, al mismo tiempo se redujo en 10 días (d) el inicio de la emergencia. Mientras que para *C. alternans* este mismo tratamiento fue el menos efectivo (16%) y el máximo porcentaje de germinación fue con el tratamiento de solución de nitrato con 10 min de inmersión alcanzando 40%. *R. dunlapiana* fue la que presentó el menor porcentaje de germinación (8%) y en *R. gracillisse* obtuvo el 100% de germinación con el KNO_3 en 20 min de inmersión. Para cada especie el comportamiento fue particular en cuanto al inicio de la emergencia y el porcentaje de germinación fue diferente para cada especie.

Palabras clave: semilla, palmas, escarificación, germinación, emergencia.

Abstract. Due to the relevance palms have, it is important to generate information about strategies that contribute to germination process improvement, allowing a

better resource management. In this paper the potassium nitrate application was evaluated in three soaking times as germination stimulant in palm seeds of *Cryosophila stauracantha*, *Chamaedorea alternans*, *Roystonea dunlapina*, *Reinhardtia gracillis* and *Geonoma interrupta* var. *interrupta*. Seed collecting was carried out in Tacotalpa, Tabasco. Four treatments were applied in each species: 0.02% KNO₃ in 10, 20 and 30 min soaking and 30 min water soaking as control. *C. stauracantha* showed the highest germination percentage (56%) in water soaking and, at the same time the emergency initiation was reduced in 10 days, whereas this treatment was the least effective (16%) in *C. alternans* and the highest germination percentage (40%) was with 10 min nitrate soaking. The species that showed the lowest germination percentage (8%) was *R. dunlapiana* and in *R. gracillis* the 100% of germination was obtained with 20 min of KNO₃ soaking. Each behavior species was particular about emergency initiation and germination percentage was different for each one.

Key words: seed, palm, scarification, germination, emergency.

Introducción

Las palmas tropicales (*Arecaceae*) crecen de manera silvestre y se encuentran ampliamente distribuidas entre los Trópicos de Cáncer y de Capricornio. Sus categorías etnobotánicas de uso son alimentaria, construcción, artesanal y ornamental (Quero, 1992; Jones, 1999). La propagación de las palmas es principalmente mediante semillas, las cuales, por sus características y aspectos intrínsecos, difieren notoriamente entre especies (Broschat y Donselman, 1988).

La germinación en muchas especies es lenta, errática y con bajo porcentaje (Maciel, 2001). Aún cuando se reconoce que la germinación de las semillas y la supervivencia de las plántulas son una parte crucial del ciclo de vida y de su dinámica poblacional, el destino de las semillas en el suelo es un tema poco estudiado, especialmente en el caso de las palmas (Pérez *et al.*, 2005). En general, se menciona que el éxito en la germinación depende del uso de semillas maduras, frescas o almacenadas, bien procesadas y adecuadamente sembradas, pero estos aspectos difieren con la especie (Meerow, 1992).

La germinación se efectúa solamente cuando la cantidad de agua recibida por el suelo es suficiente para asegurar el establecimiento y la reproducción de la planta. La impermeabilidad puede ser causada por cualquiera de las varias membranas que cubren las semillas y que están formadas por macroesclereidas con alto contenido de sustancias lignificantes, suberina y cutina y que, en conjunto, integran la testa o pericarpio (Flores, 2004). Sin embargo, se han aplicado tratamientos

pregerminativos a la semilla que generalmente reducen el tiempo requerido para su germinación (Broschat y Donselman, 1988). En las pruebas de germinación se han usado tratamientos especiales (nitrato de potasio, ácido giberélico, entre otros), para interrumpir la latencia fisiológica, y para eliminar la dureza de la semilla (ácidos inorgánicos; ácido sulfúrico y ácido nítrico) y para remover sustancias inhibitorias inmersión en agua corriente con cambios frecuentes (Moreno, 1996).

El estado en que se encuentra una semilla viable sin que germine, aunque disponga de suficiente humedad para embeberse, es la dormición o dormancia (Camacho, 1994; Orozco-Segovia *et al.*, 2003). La dormancia puede perderse debido a fluctuaciones de temperatura y humedad en el suelo, abrasión, ataque microbiológico, congelamiento, el paso a través del tracto digestivo de algunos animales y por el calentamiento que sufren las semillas durante un incendio (Bradbeer, 1988; Broschat y Donselman, 1986). Entre los diferentes métodos usados para romper la dormancia se encuentran los físicos (Pérez *et al.*, 2005), químicos y mecánicos (Jiménez *et al.*, 1996). El criterio para definir el tiempo de germinación es expresado de diferentes formas; así, se conoce el tiempo de inicio de la germinación, tiempo de germinación total, tiempo del 50% de germinación e intervalo entre el inicio y el final de la germinación (Orozco-Segovia *et al.*, 2003). Debido a la importancia que tienen las especies vegetales para la humanidad, es primordial generar información sobre estrategias que contribuyan en la optimización del proceso de germinación, por lo que se considera que la investigación sobre formas de acelerar el proceso germinativo de algunas palmas contribuirá en gran medida a un mejor manejo y conservación de este recurso. Por tal motivo, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la escarificación mediante el tiempo de exposición con nitrato de potasio en la aceleración de la germinación de semillas de palmas silvestres.

Materiales y métodos

Las especies estudiadas son: escoba (*Cryosophila stauracantha*), palma real (*Roystonea dunlapiana*), guaya de cerro (*Chamaedorea alternans*), el coquito (*Reinhardtia gracillis*) y pojay (*Geonoma interrupta* var. *interrupta*). La colecta de semillas de estas palmas, se realizó en los relictos de selva alta perennifolia del municipio de Tacotalpa, Tabasco, como indicador de madurez de las semillas colectadas se utilizó el cambio de color de la semilla en las plantas. Los datos de colecta de las especies estudiadas fueron cotejados con las descripciones botánicas realizadas por Quero (1989) e Ibarra-Manríquez (1988) para registrar el nombre científico y se anotó el grado de riesgo en que se encuentran las especies evaluadas

(NOM-059-ECOL-2001).

Los tratamientos aplicados consistieron en sumergir las semillas en nitrato de potasio (KNO_3) al 0.02% (Moreno, 1996) con tres tiempos de inmersión: 10, 20 y 30 min y el testigo que consistió en remojo en agua por 30 min (Cuadro 1). Las semillas tratadas se sembraron en charolas de plástico de 15x40x30cm sin cavidades, rellenas a un 80% con sustrato Promix® (mezcla de sphagnum, vermiculita) y 20% de suelo a 0.5 cm de profundidad (Pérez *et al.*, 2005). Después de la siembra, las charolas fueron colocadas a la sombra, se les agregó agua cada tercer día para mantener húmedo el sustrato, realizando observaciones cada semana hasta la emergencia de la plúmula.

Cuadro 1.

Tratamientos aplicados a las semillas para la determinación del porcentaje de germinación.

Especie	Tratamiento	Solución de remojo	Tiempo de remojo (min)
<i>C. stauracantha</i>	T ₁	agua	30
	T ₂	KNO_3 0.2%	10
	T ₃	KNO_3 0.2%	20
	T ₄	KNO_3 0.2%	30
<i>R. dunlapiana</i>	T ₁	agua	30
	T ₂	KNO_3 0.2%	10
	T ₃	KNO_3 0.2%	20
	T ₄	KNO_3 0.2%	30
<i>C. alternans</i>	T ₁	agua	30
	T ₂	KNO_3 0.2%	10
	T ₃	KNO_3 0.2%	20
	T ₄	KNO_3 0.2%	30
<i>R. gracillis</i>	T ₁	agua	30
	T ₂	KNO_3 0.2%	10
	T ₃	KNO_3 0.2%	20
	T ₄	KNO_3 0.2%	30
<i>G. interrupta</i> var. <i>interrupta</i>	T ₁	agua	30
	T ₂	KNO_3 0.2%	10
	T ₃	KNO_3 0.2%	20
	T ₄	KNO_3 0.2%	30

Las observaciones realizadas en todos los tratamientos fueron la emergencia (E), considerada al aparecer la plúmula sobre el sustrato (Briceño y Maciel, 2004) e inicio de la emergencia (I) de acuerdo a Maciel (2001). Como las poblaciones de estas especies son escasas y por estar en la norma oficial NOM-059-ECOL-2001, se utilizó un diseño experimental completamente al azar con 25 semillas por tratamiento

con tres repetición es por lo que se considera este trabajo como exploratorio para observar la germinación de las palmas silvestres.

Resultados y discusión

Las semillas de cada una de las especies de palmas estudiadas presentaron diferente respuesta a los tratamientos evaluados (Cuadro 1) tanto en el inicio de la emergencia como en el porcentaje de germinación. Para el caso de *C. stauracantha*, el mejor tratamiento fue el de remojo en agua (T_1) con 56 % de germinación y 29 días (d) al inicio de la emergencia, mientras que el tratamiento de KNO_3 con 20 min de inmersión (T_3) fue de 52 % de germinación y 39 d al inicio de emergencia. A pesar de que los tratamientos de KNO_3 con 10 min de inmersión (T_2) y KNO_3 con 30 min (T_4) presentaron 38 y 39 d al inicio de la germinación, el porcentaje de germinación fue menor. Para *R. dunlapiana* el tiempo de inicio de la emergencia fue igual para el T_1 y T_4 en que el mayor porcentaje de germinación fue de 8 % para el tratamiento T_4 y de 4 % para el T_1 , siendo la especie con menor porcentaje de germinación.

En el caso de *C. alternans*, el mejor tratamiento fue el T_2 con 40% de germinación y el menor fue el tratamiento T_1 con 16%; en este caso, el efecto del nitrato de potasio con 10 min de inmersión fue positivo, mientras que se presentó una variación de cinco d entre los tratamientos T_3 y T_4 en cuanto al inicio del tiempo de emergencia.

La especie *R. gracillis*, fue la única que alcanzó el 100 % de germinación con el tratamiento T_3 y con un valor muy cercano (96%) con el tratamiento T_1 . Sin embargo, ambos tratamientos presentaron diferencias en cuanto a los d al inicio de la emergencia de 16 d con respecto al T_3 . No obstante, los tratamientos T_2 , T_3 y T_4 se comportaron igual entre sí (41 d) pero diferente al T_1 que presentó mayor tiempo de inicio de la germinación (54 d), es decir, no afectó el tiempo de inmersión sino la presencia del nitrato de potasio. En el caso de la especie *G. interrupta*, el mejor porcentaje de germinación fue para el tratamiento T_3 con 57 d al inicio de la emergencia. A pesar de que los tratamientos T_2 y T_4 presentaron el mismo tiempo al inicio de la emergencia, el porcentaje de germinación disminuyó, siendo el tratamiento T_1 el más bajo aumentando en tres días el inicio de la emergencia.

Al comparar los datos encontrados para las semillas de *R. dunlapiana* con los de Koebernik (1971) para las especies *R. princeps* y *R. regia*, se encontró que a los 34 y 119 d, respectivamente, dio inicio la emergencia al igual que los datos encontrados en este trabajo. Hernández (2006) determinó en *R. regia* 43 d al inicio de la germinación y 69% de germinación con el tratamiento de peróxido de hidrógeno. A pesar de que es mayor el tiempo de inicio de la emergencia que el

encontrado en el presente trabajo, el porcentaje de germinación fue mayor para esa especie. Jiménez (2004) encontró que la combinación de tratamientos físicos con químicos en *Phytelephas aecuatorialis* mejora la germinación, comparada con la utilización individual de cada tratamiento. Por lo anterior, podría considerarse, en trabajos futuros con *R. dunlapiana*, utilizar la combinación de tratamientos físicos con químicos para tratar de incrementar la respuesta de la germinación.

Para *C. alternans* se encontró el inicio de la emergencia entre 44 y 49 días, mientras que Hernández (2006) encontró en *C. tepejilote* de 38 a 57 del inicio de la emergencia y el porcentaje de germinación de 37 %, quedando entre los valores reportados los resultados encontrados en el presente estudio. Para las semillas de *R. gracilis*, Kobernik (1971) reportó 95 d para el inicio de la emergencia sin mencionar ningún tratamiento, en tanto, en este trabajo se encontraron 41 d con los tratamientos de KNO_3 , lo que indica que se presentó efecto del tratamiento al disminuir los d de inicio de la emergencia. Hernández (2006) reportó 42 d con el tratamiento de peróxido de hidrógeno, valor similar al encontrado aquí, y el porcentaje de germinación de 45 a 93%, siendo mayores a los obtenidos en este trabajo.

Cuadro 2.

Porcentaje de germinación e inicio de emergencia.

Especie	Tratamiento	Germinación (%)	Inicio de la emergencia (d)
<i>C. stauracantha</i>	T ₁	*56 ^a	29 ^a
	T ₂	44 ^a	39 ^b
	T ₃	52 ^a	39 ^b
	T ₄	40 ^a	38 ^b
<i>R. dunlapiana</i>	T ₁	4 ^a	34 ^a
	T ₂	0 ^a	0 ^a
	T ₃	0 ^a	0 ^a
	T ₄	8 ^a	34 ^a
<i>C. alternans</i>	T ₁	16 ^a	49 ^a
	T ₂	40 ^b	49 ^a
	T ₃	24 ^c	44 ^b
	T ₄	20 ^d	44 ^b
<i>R. gracilis</i>	T ₁	96 ^a	54 ^a
	T ₂	84 ^b	41 ^b
	T ₃	100 ^b	41 ^c
	T ₄	84 ^b	41 ^b
<i>G. interrupta</i>	T ₁	56 ^a	60 ^a
	T ₂	60 ^b	57 ^b
	T ₃	64 ^c	57 ^b
	T ₄	60 ^b	57 ^b

T₁ = H₂O con 30 min; T₂ = KNO₃ con 10 min; T₃ = KNO₃ con 20 min; T₄ = KNO₃ con 30 min *Todos los datos están expresados en base a la media (n=3). Letras diferentes, entre especie, indican diferencias estadísticamente significativas (Tukey, $\alpha=0.05$)

Por otro lado, Koebernik (1971) reportó, en otras especies de *Geonoma* tales como *G. baculifera* y *G. longisecta*, hasta 209 y 184 d, respectivamente, el inicio de la germinación y en este trabajo fue de 60 d para *G. interrupta*. En el caso de *C. stauracantha* no se encontraron reportes en la literatura consultada. No obstante, Pérez *et al.* (2005) han considerado en estudios previos para diversas especies de palma que son varios los factores que determinan en mayor medida la respuesta germinativa, entre emergencia de la plúmula estos mencionan la inmadurez, la cubierta de la semilla, las condiciones de luz así como el manejo al que se somete la semilla. Las especies de palmas evaluadas respondieron positivamente a los diferentes tratamientos, tanto en respuesta en el proceso de germinación como en el tiempo de inicio de la misma. Los diferentes tratamientos utilizados para acelerar la germinación de las semillas de palmas silvestres, representan una alternativa viable para ayudar a la conservación de germoplasma vegetal, sobre todo en aquellas especies de palmas amenazadas.

Conclusiones

El mejor tratamiento para *C. stauracantha* fue el remojo en agua con 56 % de germinación y 29 d al inicio de la emergencia. Para *C. alternans*, el mejor tratamiento, 40% de germinación, fue con remojo de 10 min en nitrato de potasio. La única especie que alcanzó el 100 % de germinación fue *R. gracillison* el tratamiento de remojo en nitrato de potasio por 20 minutos. Resulta indispensable evaluar la utilización de otras sustancias químicas, para tratar de incrementar los porcentajes de germinación, sobre todo en las especies *R. dunlapiana* y *C. alternans*, donde los resultados obtenidos son muy bajos.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo del Programa PFICA al proyecto de investigación titulado “Colecta y caracterización de especies vegetales nativas con potencial ornamental de la región Sierra de Tabasco” clave UJAT-2009-C05-36.

Literatura citada

- Bradbeer, J. W. 1988. Seed dormancy and germination. Blackie Academic & Professional, London. pp: 55-72.
- Briceño, A., Maciel, N. 2004. Efecto de la madurez de los frutos, escarificación de la semilla y temperatura en la emergencia de la palmera *Coccothrinax barbadensis* (Lodd. ex Mart.) Becc. *Bioagro* 16(2): 127-132.
- Broschat, T. K., Donselman, H. 1986. Factors affecting storage and germination of *Chrysalidocarpus lutescens* seeds. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 111: 872-877.
- Broschat, T. K. and Donselman, H. 1988. Palm seed storage and germination studies. *Principes* 32(1):3-12
- Camacho, M. F. 1994. Dormición de semillas. Editorial Trillas, México pp. 17-50
- Flores, H. A. 2004. Introducción a la tecnología de las semillas. Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Estado de México, México pp:61-78
- Hernández G. C. 2006. Germinación de siete especies de palmas con usos ornamental y comestible en Tabasco, México. Tesis de Licenciatura. Centro Regional Universitariodel Sureste (CRUSE), Universidad Autónoma Chapingo. 88p.
- Ibarra-Manriquez, G. 1988. The palms of a tropical rain forest in Veracruz, México. *Principes* 32(4):147-155
- Jiménez, P. J., L. H. Trejo, y C. J. M., Placido. 1996. Inducción a la germinación de *Chamaedorea radicalis* Mart. ("palmilla"), con tratamientos físicos y químicos *BIOTAM* 18(1): 1-4
- Jones, D. L. 1999. Palmeras del mundo. New Holland Publisher (U.K). Ediciones Omega S.A. España. 410p
- Koebornik, J. 1971. Germination of palm seed. *Principes* 15:134-137
- Maciel, N. 2001. Emergencias de la palma real venezolana (*Roystonea oleraceae* (Jacq.) O.F.Cook) en función de condiciones variables del fruto y la semilla. *Bioagro* 13(3): 105-110
- Meerow, A. W. 1992. Growing quality palms for indoors. In: Annual National Tropical Foliage Short Course. N. F.F. and IFAS. Fort Lauderdale. Fl. 8p.
- Moreno, M.E. 1996. Análisis físico y biológico de semillas agrícolas. Universidad Nacional Autónoma de México. pp:128-135
- NOM-059-ECOL-2001. Protección ambiental Especies nativas de flora y fauna silvestre. Categorías de riesgos y especificaciones para su inclusión o cambio. Listado de especies en riesgo. Norma Oficial Mexicana. Diario Oficial de la Federación. Marzo 6, 2002.

- Orozco-Segovia, A., I. A. Batis., M. Rojas-Aréchiga, A. Mendoza, 2003. Seed Biology of palms: A review. *Palms*. 47(2): 79-94
- Pérez, E., Ceballos-González, G. Calvo-Irabién, L. M. 2005. Germinación y supervivencia de semillas: *Thrinax radiata* (Arecaceae), una especie amenazada en la Península de Yucatán. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 77: 9-20
- Quero, R. J. H. 1989. Flora genérica de Arecaceae de México. Tesis de Doctorado en Ciencias, Biología. Universidad Nacional Autónoma de México pp: 6-18,
- Quero, J. H. 1992. Las palmas silvestres de la Península de Yucatán. *Publicaciones Especiales* 10. Universidad Nacional Autónoma de México, México. pp:41-42

Quitosano como alternativa para extender vida poscosecha en cebollín

Chitosan as an alternative to extend postharvest life in green onions

García López Alejandro Manelik¹, Leopoldo Partida Ruvalcaba^{2*}, Manuel Cruz Villegas,
Juan Francisco Ponce Medina¹, Teresa de Jesús Velázquez Alcaraz²,
Edwin Gilberto Caballero Montes¹ y Tomás Díaz Valdés².

¹Universidad Autónoma de Baja California-Instituto de Ciencias Agrícolas, Ejido Nuevo León, Mexicali, Baja California. ²Universidad Autónoma de Sinaloa-Facultad de Agronomía, km 17.5 de la Carretera Culiacán-Eldorado, Culiacán, Sinaloa, México, CP 80000. *Email: parpolo@yahoo.com.mx

Resumen. El estudio se realizó para conocer el efecto que produce el quitosano diluido en ácido acético como aditivo o cubierta comestible, en la calidad y prolongación de la vida poscosecha de cebollín variedad Baja Verde, bajo condiciones de almacenamiento a 0 °C por 21 días. Las variables estudiadas fueron apariencia visual, color, decoloración de hojas, flavonoides y tiosulfatos totales. Se utilizó el diseño experimental completamente al azar con cinco tratamientos y 36 repeticiones para las variables de calidad visual, color y decoloración de hojas, y 20 repeticiones para el resto de las variables; la unidad experimental fue un mazo. A los datos de las variables se les realizaron análisis de varianza y prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Los tratamientos con quitosano generaron mayor calidad visual, color y menor decoloración de los cebollines; el ácido acético causó quemadura en hojas afectando calidad visual, color y decoloración. La concentración de flavonoides totales se vio afectada por la utilización de quitosano. De manera general, la concentración de tiosulfatos totales se mantuvo con todos los tratamientos con excepción del ácido acético. El quitosano logró conservar la calidad de los cebollines y extender la vida útil de los mismos, por lo que se concluye que el quitosano es una alternativa para conservar la calidad y prolongar la vida poscosecha de cebollines.

Palabras clave: Allium cepa, color, decoloración, flavonoides, tiosulfatos.

Abstract. Chitosan diluted in acetic acid as edible coating was evaluated to study the effect in quality and shell life in Baja Verde green bunching onions under storage

conditions (0 °C,) for 21 days. Visual quality, color, leaf discoloration, total flavonoid and thiosulfinate concentrations were evaluated. The experiment was conducted as completely randomized design with 5 treatments and 36 replicates for visual quality, color and leaf discoloration; and 20 replicates for the rest of variables; experimental unit was a bunch. Data were analyzed by one-way analysis of variance with mean separation by Tukey test ($p \leq 0.05$). Chitosan coating treatments lead extend visual quality, maintain color and reduce leaf discoloration in green onions; burning leaf tips by acetic acid were observed affecting visual quality, color and discoloration. The use of chitosan coating had an effect in total flavonoid concentrations. In general, thiosulfinate concentrations did not vary much in treatments except acetic acid treatment. Chitosan coating preserved quality and extend shell life of green bunching onions, so the use of chitosan is an alternative to preserve quality and extend postharvest of green onions.

Key words: *Allium cepa*, color, discoloration, flavonoids, thiosulfinites.

Introducción

Los exoesqueletos de camarón contienen una alta concentración de quitina, de la cual es posible obtener quitosano a través de un proceso químico de N-desacetilación (Hernández *et al.*, 2009). La quitina y el quitosano, son dos biopolímeros de origen natural que se han convertido rápidamente en una alternativa prometedora para la agricultura (Lares, 2008). Chien y Chou (2006) indican que el quitosano tiene la potencialidad de estimular los mecanismos de defensa de las plantas. El cebollín (*Allium cepa* L.) es una de las especies hortícolas más cultivadas en Baja California y Sonora; durante el ciclo agrícola 2009-2010 ocupó 53.39% (5,500 ha) de toda la superficie cultivada con cebollas (SIAP, 2010). Es una hortaliza con una vida poscosecha de 8 a 10 días, en el que la mayoría de las pérdidas se producen durante su distribución y almacenamiento (Hong *et al.*, 2000). Actualmente los productores de cebollín del Valle de Mexicali lo están comercializando en el mercado americano, pero otros tienen la posibilidad de exportar a Europa e Inglaterra, utilizando el transporte aéreo en la ciudad Los Ángeles, California, Estados Unidos de America, donde la espera de vuelos rompe la cadena de frío ocasionando que el producto se comience a deteriorar, causando efectos indeseables en su calidad. En hortalizas como el cebollín, las características que describen la calidad son las siguientes:

1. Color y apariencia,
2. Flavor (sabor y aroma),

3. Textura y
4. Valor nutricional (Barrett *et al.*, 2010).

Block *et al.* (1992) reportaron que los tiosulfatos responsables de la pungencia del cebollín son el ácido 1-propanosulfonotioico S-(Z)-propenil ester, el 1-propanosulfonotioico S-1-propil ester y el ácido metanosulfonotioico S-(Z)-propenil ester. En cebollas y cebollines, los flavonoides predominantes de la parte comestible son la quercetina 3,4'-O-diglucósido y quercetina 4'-O-monoglucósido que son los responsables del color blanco (Price y Rhodes, 1996), siendo los flavonoides un grupo de metabolitos secundarios de las plantas que, desde el punto de vista biológico, tienen gran capacidad antioxidante (Jafari y Bourouni, 2009).

El uso de embalajes con hielo y filmes plásticos perforados mantienen la calidad de los cebollines, de tal forma que temperaturas mayores a 10 °C aceleran el amarillamiento y senescencia de las hojas (Kader, 2002). Los recubrimientos con filmes comestibles pueden proporcionar un efecto protector similar al conseguido mediante el almacenamiento en atmósferas modificadas (Park, 1999). Entre los hidrocoloides utilizados en la formulación de filmes comestibles se encuentran la metilcelulosa y el quitosano. Ambos polímeros forman eficientes filmes con propiedad barrera al oxígeno, aunque presentan alta permeabilidad al vapor de agua. Asimismo, el quitosano presenta cierta actividad antimicrobiana y antifúngica (Tharanathan y Kittur, 2003). Una adecuada selección de los filmes de embalaje, en conjunto con un manejo adecuado de la temperatura, pueden extender, en forma significativa, la calidad y vida de los cebollines cortados y atados o preparados en formato para uso a granel (Cantwell *et al.*, 2001).

Recientemente se han utilizado compuestos como la quitina, el quitosano y derivados en películas comestibles que tienen como objetivo principal proteger productos alimenticios perecederos, prolongando vida de anaquel y su calidad mediante retardo de la deshidratación, disminución de la respiración, mejoramiento de la textura, retención de compuestos volátiles y reducción del desarrollo bacteriano (Debeaufort *et al.*, 1998). Estos filmes crean una atmósfera modificada dentro de las frutas y hortalizas, debido al control del intercambio de los gases respiratorios (Tasdelen, 1998). El quitosano tiene propiedades filmogénicas, buena biocompatibilidad, biodegradabilidad, inocuidad y bajo costo (García *et al.*, 2004).

Múltiples estudios han corroborado que los alimentos de origen vegetal tratados con quitosano mejoran su calidad, retardan su maduración y tiempo de deterioro, prolongando su vida de anaquel. Además, la experiencia adquirida en todos los estudios realizados indica que para lograr mejores resultados, el recubrimiento debe realizarse antes del inicio de la maduración del fruto (Rodríguez

et al., 2000). Por lo anterior el objetivo de este trabajo fue determinar el efectos que ocasiona el quitosano, diluido en ácido acético, en la calidad poscosecha y vida de anaquel del cebollín bajo condiciones de almacenamiento por un periodo de 21 días, considerando que la calidad poscosecha y vida de anaquel del cebollín está en función de la dosis de quitosano.

Materiales y métodos

Para llevar a cabo este estudio, la empresa Agrícola Nueva Era, ubicada en el Valle de Mexicali, proporcionó el producto necesario. Se utilizaron mazos de cebollín variedad Baja Verde en madurez hortícola. Se tuvieron cinco tratamientos: a) testigo (0% de quitosano y ácido acético), b) quitosano 2% diluido en ácido acético 1%, c) quitosano 2% diluido en ácido acético 2%, d) quitosano al 1% diluido en ácido acético al 2% y e) ácido acético al 2%, los cuales se aplicaron con un atomizador manual hasta humedecer totalmente los mazos dentro de bolsas de plástico (ziploc), para ser almacenados a 0 °C (96% HR) por 21 días.

Las variables evaluadas fueron: apariencia visual en una escala de 9-1, donde 9 correspondió a excelente, 7 a bueno, 5 a razonable, 3 a malo y 1 a inutilizable. El límite de mercadeo fue 6, según Hong et al. (2000); color según la escala para cebollín recomendada por el Departamento de Agricultura de Los Estados Unidos (USDA), donde 3 fue color verde oscuro, 2 verde medio y 1 verde claro a medio (Kader y Cantwell, 2010); la decoloración de hojas se evaluó en la hoja más vieja mediante una escala del 1-5, donde 1 fue sin decoloración, 2 con decoloración leve, 3 con decoloración moderada, 4 moderadamente severa y 5 severa (Hong et al., 2000). Se determinaron flavonoides y tiosulfatos totales en 20 mazos por tratamiento, con las respectivas metodologías de Lombard et al. (2002) y Han et al. (1995).

El estudio se realizó bajo un diseño experimental completamente al azar con cinco tratamientos y con 36 repeticiones para las variables de calidad visual, color y decoloración de hojas, y 20 repeticiones para el resto de las variables; la unidad experimental fue un mazo. Se realizó análisis de varianza y prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) mediante el programa estadístico STATISTIX 8 (2004).

Resultados y discusión

Apariencia visual. Con el ácido acético al 2%, los cebollines llegaron a su límite de mercadeo antes de los 7 días de almacenamiento, mientras que con el quitosano al

1% en ácido acético al 2% lo hicieron aproximadamente a los 9 días. Con el resto de los tratamientos el límite comercial se prolongó hasta los 11 días de almacenamiento (Figura 1). Al final del estudio se observó que los tratamientos que ocasionaron mejor calidad visual fueron el quitosano al 2% en ácido acético al 1 y 2%, con un valor promedio de 2.7 de calidad visual (mala), mientras que el testigo y el ácido acético al 2% tuvieron una calidad inutilizable. Cabe aclarar que el ácido acético al 2% tuvo un efecto de quemadura en las hojas.

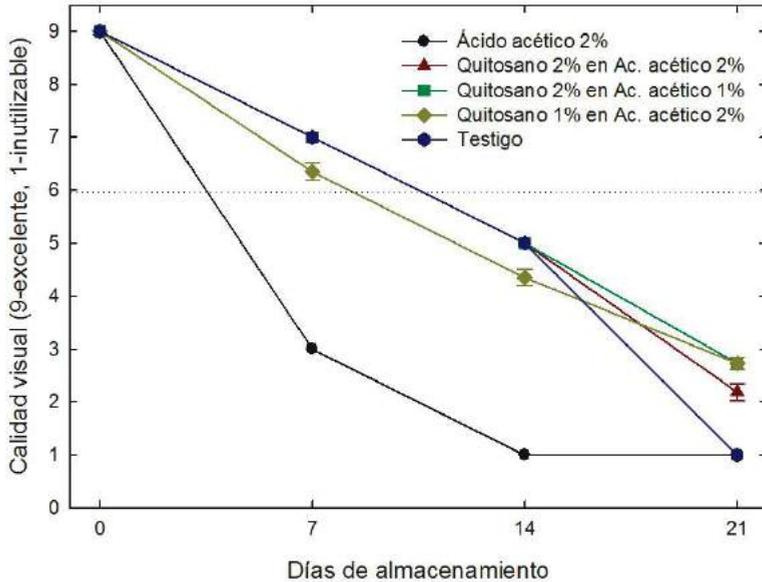


Figura 1. Calidad visual en cebollín tratado con quitosano y ácido acético bajo condiciones de almacenamiento a 0°C (la línea punteada indica el límite de mercadeo).

La extensión de calidad visual de los cebollines tratados con quitosano cumple con las expectativas comerciales, al igual que lo logrado por Hong et al. (2000), quienes utilizaron baja temperatura en cebollín y observaron que se extendió la calidad visual por más días de almacenamiento sin llegar al límite de mercadeo.

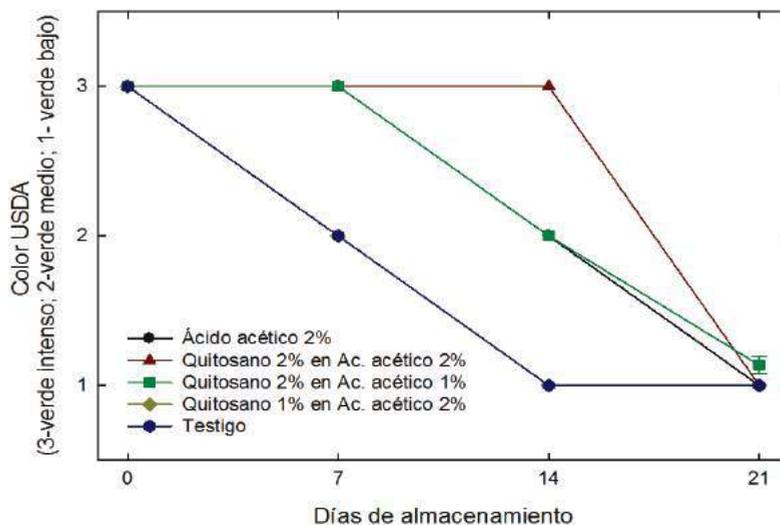


Figura 2. Cambio de color en hojas de cebollín tratado con quitosano y ácido acético bajo condiciones de almacenamiento a 0°C.

Color. En cuanto al color de las hojas en cebollín, se observó que el tratamiento con quitosano al 2% en ácido acético al 2% prolongó el color verde intenso hasta por 14 días, a diferencia del resto de los tratamientos. Por otra parte, las aplicaciones de quitosano y ácido acético mantuvieron por más tiempo el color verde de las hojas; los cebollines a los que no se administraron las sustancias referidas (testigo) presentaron color verde bajo a los 14 días de almacenamiento (Figura 2). Lo anterior tiene relación con lo publicado por Kader, (2000), quien descubrió que los productos hortícolas tienen coloración verde gracias a la clorofila que poseen sus células, pigmento que se va degradando conforme pasan los días, como consecuencia normal de la senescencia de las plantas. Además, la pérdida de color verde en cebollines está asociada a la pérdida de firmeza y textura, relacionada con el deterioro (Cantwell *et al.*, 2001).

Decoloración de hojas. Similar a lo observado en el atributo anterior, en la decoloración de hojas el mejor tratamiento fue el quitosano al 2% en ácido acético al 2%, ya que al final del estudio los cebollines sólo tuvieron una decoloración moderada, seguidos de los que fueron tratados con quitosano al 1%, que presentaron un valor ligeramente más alto. Los cebollines testigo presentaron, durante todo el estudio, los valores más altos, mostrando una decoloración severa. Las aplicaciones de quitosano al 2% en ácido acético al 1% y el ácido acético al 2% ocasionaron que

los cebollines presentaran un valor final de aproximadamente 4.2, lo cual indica decoloración moderadamente severa (Figura 3).

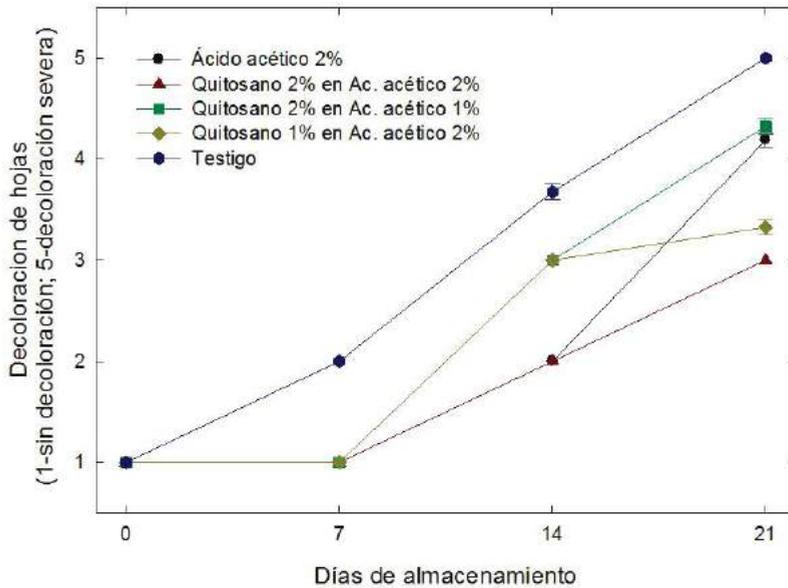


Figura 3. Decoloración de hojas de cebollines tratados con quitosano y ácido acético bajo condiciones de almacenamiento a 0°C.

La decoloración de hojas observada en esta investigación tiene relación con lo descubierto por Cantwell et al. (2001) en cebollín mínimamente procesado, donde se encontró que la decoloración apareció como un amarillamiento en las puntas y estuvo, en ocasiones, asociado con la pérdida de turgencia, y que la disminución en los valores de clorofila a y el incremento en los de clorofila b y cromaticidad conducen a la decoloración de las hojas.

Flavonoides y tiosulfinatos totales. El cambio en la concentración de flavonoides del shank, durante los días de almacenamiento, mostró un incremento con todos los tratamientos. Lo más interesante es que los cebollines tratados con quitosano tuvieron mayor concentración del pigmento que con el resto de los tratamientos; la aplicación de quitosano al 1% en ácido acético al 2% tuvo la más alta concentración durante todo el estudio (Cuadro 1). Lo anterior tiene gran importancia, ya que los flavonoides, como la quercetina 3,4'-O-diglucósido y quercetina 4'-O-monoglucósido, son los responsables del color blanco en cebollas y cebollines (Price y Rhodes, 1996), siendo además un

grupo de metabolitos secundarios de las plantas que, desde el punto de vista biológico, tiene una gran capacidad antioxidante (Jafari y Bourouni, 2009).

Cuadro 1.

Cambios de flavonoides y tiosulfatos en cebollín tratado con quitosano y ácido acético bajo condiciones de almacenamiento a 0°C.

Tratamiento	Flavonoides totales ($\mu\text{g g}^{-1}$ de peso fresco) [‡]			Tiosulfatos totales (mM kg^{-1} de peso fresco) [¶]		
	7 d	14 d	21 d	7 d	14 d	21 d
Testigo	14.34 b [‡]	17.76 b	24.13 b	1.42 b	1.40 b	1.37 c
Ácido acético 2%	15.94 b	19.94 b	22.78 b	1.38 c	1.34 c	1.29 d
Quitosano 2% en ácido acético 2%	16.00 b	18.68 b	21.75 b	1.45 a	1.47 a	1.43 a
Quitosano 2% en ácido acético 1%	20.50 [‡]	22.04 ab	25.17 b	1.45 a	1.46 ab	1.42 ab
Quitosano 1% en ácido acético 2%	23.00 ^a	26.38 a	28.71 a	1.44 ab	1.46 ab	1.41 bc
CV (%)	13.23	14.37	9.18	6.71	5.20	6.33

[‡] Valor promedio de concentración de flavonoides al día 0 = 12.96 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ de peso fresco. [¶] Valor promedio de concentración de tiosulfatos al día 0=1.42 mM· kg^{-1} de peso fresco. [‡] Diferencia de medias dentro de columnas con prueba de Tukey, $P\leq 0.05$.

La concentración de los tiosulfatos totales en cebollín tratado con quitosano tuvo un incremento hasta los 14 días de almacenamiento, lo que contrasta con lo descubierto por Hong *et al.* (2000), ya que ellos observaron que en cebollines almacenados a 5 °C durante 14 días no varía la concentración de tiosulfatos totales con respecto a la concentración de los mismos el día en que son cosechados; lo que podría estar relacionado con las diferentes temperaturas aplicadas en los experimentos. Sin embargo, en dicha investigación también se observó que después de los 14 días la concentración de dichos tiosulfatos disminuyó. Por otra parte, el testigo y la aplicación de ácido acético al 2% tuvieron un efecto que disminuyó la concentración de tiosulfatos durante todo el experimento. De manera general, se observó que la utilización de quitosano mantuvo la pungencia del cebollín, lo cual, según Block *et al.* (1992), se debe a la presencia de tiosulfatos como el ácido 1-propanosulfonótico S-(Z)-propenil ester, el ácido 1 propanosulfonotioico S-1 propil ester y el ácido metanosulfonotioico S-(Z)-propenil ester.

Conclusiones

El uso del quitosano permitió conservar la calidad visual y extender la vida útil de los cebollines, por lo que la aplicación de quitosano se perfila como una alternativa viable para prolongar la vida poscosecha del cebollín.

Literatura citada

- Barrett, D., J. Beaulieu, R. Shewfelt. 2010. Color, flavor, texture, and nutritional quality of fresh cut fruits and vegetables: desirable levels, instrumental and sensory measurement, and the effects of processing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 50:369-389.
- Block, E., S. Naganathan, D. Putnam, S. Zhao. 1992. Allium chemistry: HPLC analysis of thiosulfinates from onion, garlic, wild garlic (Ramsoms), leek, scallion, shallot, elephant (great-headed) garlic, chive, and Chinese chive. Uniquely high allyl to methyl ratios in some garlic samples. *J. Agric. Food Chem.* 40:2418-2430.
- Cantwell, M., G. Hong, T. Suslow. 2001. Heat treatments control extension growth and enhance microbial disinfection of minimally processed green onions. *HortScience* 36:732-737.
- Chien P., Chou C. 2006. Antifungal Activity of Chitosan and Its Application to Control Post-Harvest Quality and Fungal Rotting of Tankan Citrus Fruit (*Citrus tankan* Hayata). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 86:1964-1969.
- Debeaufort, F., J. Quezada G., A. Voilley. 1998. Edible films and coatings: tomorrow's packaging: a review. *Crit. Rev. Food Sci.* 38:299-313.
- García M. 2004. Barrier, mechanical and optical properties of plasticized yam starch films. *Carb. Pol.* 56:339-345.
- Han, J., L. Lawson, G. Han, P. Han. 1995. A spectrophotometric method for quantitative determination of allicin and total garlic thiosulfinates. *Analytical Biochem.* 225:157-160.
- Hernández C., H., Águila A. E., Flores A. O., Viveros N. E. L. Ramos C. E. 2009. Obtención y caracterización de quitosano a partir de exoesqueletos de camarón. *Superficies y Vacío* 22(3): 57-60.
- Hong, G., G. Peiser, M. Cantwell. 2000. Use of controlled atmospheres and heat treatment to maintain quality of intact and minimally processed green onions. *Postharvest Biology and Technology* 20:53-61.

- Jafari, M., A. Bourouni. 2009. Amelioration of some secondary metabolites in onions bulbs grown under sea water stress by using alpha-tocopherol. *Research Journal of Cell and Molecular Biology* 3:49-55.
- Kader, A. 2002. Postharvest technology of horticultural crops. University of California. Agricultural and Natural Resources Publication 3311. Davis, California, USA. pp. 535.
- Kader, A. M. Cantwell. 2010. Produce quality rating scales and color charts. Postharvest horticultural Series No. 23-CD. Second Edition. Davis, California, USA.
- Lares V., C. 2008. Algunas potencialidades de la quitina y el quitosano para usos relacionados con la agricultura en Latinoamérica. *Revista UDO Agrícola* 8 (1): 1-22.
- Lombard, K., E. Geoffriau, E. Peffley. 2002. Flavonoid quantification in onion by spectrophotometric and high performance liquid chromatography analysis. *HortScience* 37:682-685.
- Park, H. J. 1999. Development of advanced edible coatings for fruits. *Trends in Food Science and Technology* 10: 254-260.
- Price, K.R., M. Rhodes. 1996. Analysis of the major flavonol glycosides present in four varieties of onion (*Allium cepa*) and changes in composition resulting from autolysis. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 74:331-339.
- Rodríguez, M., V. Ramos, V. Stanic, A. Heras, E. Agulló. 2000. A new chitosan containing phosphonic group with chelating properties. *Advan. Chitin Sci.* 4:200-205.
- SIAP. 2010. Producción anual 2009. Página web consultada el 20 de octubre de 2010. http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=10&Itemid=15
- Tasdelen, B. O. 1998. Controlled atmosphere storage and edible coating effects on storage life and quality of tomatoes. *J. Food Proc. Pres.* 22:303-320.
- Tharanathan, R., Kittur, F 2003. Chitin-The undisputed biomolecule of great potencial. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 43: 61-87.

Control de la roya del cafeto *Hemileia vastatrix* Berk. et Br. con el hongo *Verticillium hemileiae* Bouriquet

Control of coffee rust *Hemileia vastatrix* Berk. et Br. with the fungus *Verticillium hemileiae* Bouriquet

Díaz Vicente Víctor Manuel*, José Nelson Pérez Quintanilla, Ricardo Magallanes Cedeño, Erika Patricia Pinson Rincón, Martha Elena de Coss Flores, Mario Ernesto Cabrera Alvarado y Humberto Esquinca Ruíz.

Universidad Autónoma de Chiapas. Facultad de Ciencias Agrícolas
*E-mail: vdiaz_vicente@hotmail.com

Resumen. El objetivo del presente trabajo fue determinar la dosis óptima del hongo *Verticillium hemileiae* Bouriquet para el control biológico de la roya del café *Hemileia vastatrix* Berk. et Br. en condiciones de campo. Esta investigación se realizó en la Finca Santa Fe Municipio de Motozintla. Chiapas. Se utilizó un diseño experimental con una distribución en bloques al azar con seis tratamientos y cuatro repeticiones, la concentración del hongo *V. hemileiae* fue de 2.3×10^8 conidios por gramo. Las variables medidas fueron: porcentaje de infección de la roya, número de pústulas y porcentaje de defoliación del cafeto. Posteriormente se realizó el análisis de varianza y la comparación de medias. La incidencia de roya fue de 8.7% a 24.3%, la infección más alta se observó en el tratamiento testigo sin aplicación y la infección más baja en el tratamiento de mayor dosis. El número de pústulas de roya por hoja en promedio de 8.0 para el tratamiento testigo sin aplicación, y de 2.7 para el tratamiento de mayor dosis. La defoliación del cafeto por efecto de la roya fue de 28.8% para el testigo sin aplicación y de 8.6% en el tratamiento de mayor dosis.
Palabras clave: cafeto, uredosporas, fase telial, conidios

Abstract. The objective of this study was to determine the optimal dose of the fungus *Verticillium hemileiae* Bouriquet for biological control of coffee rust *Hemileia vastatrix* Berk. et Br. under field conditions. This research was carried out in Santa Fe farm, Motozintla. Chiapas. An experimental design with a random blocks distribution with six treatments and four repetitions was used, the fungus concentration *V. hemileiae* was 2.3×10^8 conidia per gram. The variables measured were: percentage

of rust infection, number of pustules and percentage of defoliation of coffee trees. Subsequently, the analysis of variance and comparison of means was carried out. The incidence of rust was 8.7% to 24.3%, the highest infection was observed in the treatment without application and lower infection in the higher dose treatment. The number of rust pustules per leaf was on average of 8.0 for the treatment without application, and 2.7 for the higher dose treatment. The defoliation of coffee trees by the effect of rust was 28.8% for the control without application and 8.6% in the treatment of higher dose.

Key words: coffee tree, urediniospores, telial phase, conidia

Introducción

La roya anaranjada del cafeto causada por el hongo *Hemileia vastatrix* Berk. et Br., es la enfermedad mas importante del cafeto en América Latina (Wellman y Echandi, 1981). Ataca a las hojas, pero en ocasiones también a las ramitas y a los frutos. Las hojas severamente atacadas, se desprenden del árbol llegando a causar después de varias defoliaciones, la muerte del cafeto (Romero, 1988). Las uredosporas en el envés de las hojas forman manchas de color naranja brillante a amarillo pálido, con una zona decolorada alrededor, que después el tejido de las hojas se necrosa. Las uredosporas son pulvulentas y una de las características más importantes de esta especie es que no rompe la epidermis para formar sus uredias, sino que las hifas emergen a través de los estomas para luego formar racimos de uredosporas en el ápice. Las uredosporas en forma de media luna, lisa en la parte ventral y con verrugas en la parte dorsal, con coloración amarilla en el interior de 30 a 33 X 19 a 21 micras. No se observan poros germinativos. La fase telial es morfológicamente igual a la fase uredial y las teliosporas son distinguibles solamente en la germinación. En México, no se han reportado las teliosporas y aun en los reportes al respecto en otros países no han sido corroborada la existencia de esta fase (López y García, 2002). En estudios realizados en las regiones del Soconusco, Chiapas y Santiago Lachiguiri, Oaxaca, definen cuatro fases en el desarrollo de la enfermedad, un crecimiento lento en los meses de junio a agosto, acelerado de septiembre a diciembre, máxima infección en enero y febrero, y decadencia de marzo a mayo (Durán y Medel, 1985; y Villanueva y Regalado, 1989). Las hojas más viejas son más resistentes al patógeno, se han observado pocos apresorios y una baja cantidad de uredosporas en este tipo de hojas (Bock, 1962).

Taxonómicamente *Verticillium lecanii* (Zimmermann) Viegas ha recibido diferentes nombres, incluyendo: *Cephalosporium lecanii* Zimermann (1898)

Cephalosporium aphidicola Petch (1931), *Cephalosporium muscarium* Petch (1931) y *Verticillium hemileiae* Bouriquet (1939) (Brady, 1979). Es un hongo de amplia distribución que produce epizootias en afidos y escamas en regiones tropicales y subtropicales, pero no en zonas templadas. Los cadáveres de insectos atacados por este hongo, presentan un aspecto algodonoso de color blanco crema o amarillo. Al microscopio presentan fialides que tienen apariencia de ramas y son células conidiogenas o estructuras en donde forman los conidios. Estas fialides son largas y se estrechan desde la base, presentan verticilios de dos a seis, apareados o solitarios sobre hifas o apicalmente sobre ramas cortas. Los conidios son hialinos, septados y son producidos en los ápices de las fialides (Carballo, 1999). Los hongos inician su infección a través de esporas, conidios, zoosporas y planosporas, ascocarpos y blastosporas. La pérdida de color amarillento anaranjado típico de las uredosporas de la roya del cafeto *H. vastatrix* puede acelerarse con la presencia de un hongo blancuzco, parasítico, *Verticillium hemileiae* Bouriquet (Sobero, 2006).

En la familia Entomophthoraceae, las esporas de resistencia (cigosporas y acigosporas) y el conidio primario produce una sustancia adhesiva que les permite fijarse al hospedero, también los esclerocios de *Synematin jonesii* son reportadas como unidad infectiva (Alatorre, 2000). El objetivo de la presente investigación fue determinar la dosis óptima del hongo *Verticillium hemileiae* Bouriquet para el control biológico de la roya del café *Hemileia vastatrix* Berk. et Br. en condiciones de campo.

Materiales y métodos

El presente trabajo se realizó en la Finca Santa Fe Municipio de Motozintla, Chiapas, México. El municipio se ubica en la región económica "VII Sierra" que limita al norte con Siltepec, al oeste con Escuintla y Huixtla, al sur con Tapachula y Tuzantán, al este con la República de Guatemala, al noroeste con Mazapa de Madero y El Porvenir. Las coordenadas de la cabecera municipal son: 15° 21' 51" de latitud norte y 92° 14' 53" de longitud oeste y se ubica a una altitud de 700 metros sobre el nivel del mar: Presenta un clima ACm, corresponde al cálido subhúmedo con lluvias en verano (García, 1988; e INEGI, 1990). Se utilizó un diseño experimental con una distribución en bloques al azar con seis tratamientos y cuatro repeticiones. Los tratamientos evaluados se especifican en la Cuadro 1. La concentración del hongo *V. hemileiae* fue de 2.3×10^8 conidios/g.

Cuadro 1.

Tratamientos evaluados del hongo *Verticillium hemileiae* Bouriquet para el control de la roya del cafeto *Hemileia vastatrix* Berk. et Br. en condiciones de campo

Tratamientos	Descripción Dosis por hectárea
A	0.6 kg ha ⁻¹
B	1.2 kg ha ⁻¹
C	1.8 kg ha ⁻¹
D	2.4 kg ha ⁻¹
E	3.0 kg ha ⁻¹
F	Testigo sin aplicación

Se midieron tres variables: porcentaje de infección por roya, número de pústulas de roya por hoja y porcentaje de defoliación del cafeto. De los datos observados en campo antes de hacer el análisis de varianza se hizo la transformación angular a arc sen $\sqrt{\%}$ para aquellos datos en porcentaje como la infección y defoliación. Para la variable número de pústulas de roya por hoja, se realizó la transformación $(X+1)^{\frac{1}{2}}$. Una vez hecha la transformación de los datos se procedió a realizar el análisis de varianza, y en donde se observaron diferencias significativas se utilizó la prueba de rango múltiple de Tukey (α de 0.05 de probabilidad).

Resultados y discusión

Porcentaje de infección por roya. Los datos obtenidos en campo fueron transformados a arc sen $\sqrt{\%}$, de estos datos se realizó el análisis de varianza, en donde se observa una diferencia altamente significativa, las medias de los tratamientos fueron separadas por la prueba de rango múltiple de Tukey a un $\alpha = 0.05$ de probabilidad (Cuadro 2). La infección por roya *H. vastatrix* fue de 8.7% a 24.3% la infección más alta se observó en el Tratamiento Testigo y la infección más baja en el Tratamiento E de mayor dosis, como se puede notar en el Cuadro 2. En los tratamientos D y E, la incidencia de *H. vastatrix* fue menor de 10%, la cual estuvo por abajo del umbral para este fitopatógeno, por lo que el hongo *V. hemileiae* tiene efecto en el control de esta enfermedad, considerada como la enfermedad más importante del cultivo del cafeto, esto concuerda con lo reportado por Wellman y Echandi, 1981, quienes señalan la importancia que tiene esta enfermedad en los países productores de café y sobre todo en los países de América Latina en donde el café es una fuente de divisas por la exportación de éste aromático grano. La infección por roya está relacionada con la altitud y con la temperatura, lo que hace que esta enfermedad

tenga un crecimiento lento al inicio de la época de lluvias, esto coincide con lo reportado por Duran y Medel (1985) y Villanueva y Regalado (1989), quienes en estudios realizados en las regiones del Soconusco, Chiapas y Santiago Lachiguiri, Oaxaca, definen cuatro fases en el desarrollo de la enfermedad, un crecimiento lento en los meses de junio a agosto, acelerado de septiembre a diciembre, máxima infección en enero y febrero, y decadencia de marzo a mayo.

Cuadro 2.

Porcentaje de infección de la roya del cafeto *Hemileia vastatrix* Berk. et Br. con diferentes dosis del hongo *Verticillium hemileiae* Bouriquet en condiciones de campo.

Tratamientos	Porcentaje de campo	Porcentaje Transformado *
F Testigo sin aplicación	24.3	28.6 a
A 0.6 kg ha ⁻¹	19.5	26.1 ab
B 1.2 kg ha ⁻¹	16.4	23.8 bc
C 1.8 kg ha ⁻¹	13.6	21.5 cd
D 2.4 kg ha ⁻¹	9.8	18.2 de
E 3.0 kg ha ⁻¹	8.7	17.1 e

* Promedios de tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales según Prueba de Tukey a un α de 0.05 de probabilidad

Número de pústulas de roya por hoja. Los datos obtenidos en campo fueron transformados a $(X+1)^{1/2}$, de estos datos se realizó el análisis de varianza, se observó una diferencia altamente significativa, las medias de los tratamientos fueron separadas por la prueba de rango múltiple de Tukey a un $\alpha = 0.05$ de probabilidad (Cuadro 3). El número de pústulas de la roya fue en promedio de 8.0 pústulas por hoja para el Tratamiento Testigo y de 2.7 pústulas por hoja para el tratamiento de mayor dosis, como se puede observar en el Cuadro 3. El número de pústulas fue menor conforme la dosis del hongo *V. hemileiae* aumentó, esto está relacionado con la incidencia de la enfermedad, al contar con mayor cantidad de manchas o pústulas, la capacidad fotosintética de la planta disminuye. Esto concuerda con lo reportado por (Romero, 1988), quien observó que las uredosporas en el envés de las hojas forman manchas de color naranja brillante a amarillo pálido, con una zona decolorada alrededor, que después el tejido de las hojas se necrosa. Las uredosporas son pulverulentas y una de las características más importantes de esta especie es que no rompe la epidermis para formar sus uredias, sino que las hifas emergen a través de los estomas para luego formar racimos de uredosporas en el ápice. Las uredosporas en forma de media luna, lisa en la parte ventral y con verrugas en la parte dorsal, con coloración amarilla en el interior de 30 a 33 X 19 a 21 micras, no se observan poros germinativos. También concuerda con lo reportado por (López y García, 2002) quienes observaron que la fase telial es morfológicamente igual a la fase uredial y las teliosporas son distinguibles solamente

en la germinación. En México, no se han reportado las teliosporas y aun en los reportes al respecto en otros países no han sido corroborada la existencia de esta fase.

Porcentaje de defoliación del cafeto. Los datos obtenidos en campo fueron transformados a $\text{arc sen } \sqrt{\%}$, de estos datos se realizó el análisis de varianza, en donde se observó una diferencia altamente significativa, las medias de los tratamientos fueron separadas por la prueba de rango múltiple de Tukey a un $\alpha = 0.05$ de probabilidad (Cuadro 4). La defoliación del cafeto por efecto de la roya fue mayor en el Testigo con 28.8% y la defoliación más baja 8.6% se observó en el Tratamiento E, la defoliación disminuyó al aumentar la dosis del hongo *V. hemileiae* (Cuadro 4). El cafeto se caracteriza por emitir nuevas hojas de dominancia apical y las hojas de mayor edad son más resistentes a este hongo, esto concuerda con lo señalado por Brock (1962), quien señala que las hojas más viejas son relativamente más resistentes al patógeno, donde se observaban pocos apresorios y una baja cantidad de uredosporas en este tipo de hojas, y con lo reportado por (Romero, 1988) quien señala que *H. vastatrix* ataca a las hojas, pero en ocasiones también a brotes o ramas y frutos. Las hojas severamente atacadas, se desprenden del cafeto, llega a causar después de varias defoliaciones, la muerte del cafeto.

Cuadro 3.

Número de pústulas por hoja de la roya del cafeto *Hemileia vastatrix* Berk. et Br. con diferentes dosis del hongo *Verticillium hemileiae* Bouriquet en condiciones de campo.

Tratamientos	Porcentaje de campo	Porcentaje Transformado *
F Testigo sin aplicación	8.0	3.0 a
A 0.6 kg ha ⁻¹	5.9	2.6 ab
B 1.2 kg ha ⁻¹	5.1	2.4 bc
C 1.8 kg ha ⁻¹	4.3	2.3 cd
D 2.4 kg ha ⁻¹	2.9	2.1 de
E 3.0 kg ha ⁻¹	2.7	1.9 e

* Promedios de tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales según Prueba de Tukey a un α de 0.05 de probabilidad

Tabla 4.

Porcentaje de defoliación del cafeto por efecto de la roya *Hemileia vastatrix* Berk. et Br. con diferentes dosis del hongo *Verticillium hemileiae* Bouriquet en condiciones de campo.

Tratamientos	Porcentaje de campo	Porcentaje Transformado *
F Testigo sin aplicación	28.8	33.5 a
A 0.6 kg ha ⁻¹	22.4	28.2 b
B 1.2 kg ha ⁻¹	19.5	26.2 b
C 1.8 kg ha ⁻¹	13.1	23.8 c
D 2.4 kg ha ⁻¹	11.9	20.2 d
E 3.0 kg ha ⁻¹	8.6	19.1 e

* Promedios de tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales según Prueba de Tukey a un α de 0.05 de probabilidad

Conclusión

El menor porcentaje de infección de la roya del cafeto *Hemileia vastatrix* Berk. et Br. se observó en el tratamiento E donde se aplicó la dosis de 3.00 kg ha⁻¹ del hongo *Verticillium hemileiae* Bouriquet, y la mayor infección se presentó en el tratamiento testigo. El menor número de pústulas de la roya del cafeto *Hemileia vastatrix* Berk. et Br. se observó en el Tratamiento E donde se aplicó el hongo *Verticillium hemileiae* Bouriquet a la dosis de 3.00 kg ha⁻¹, y el mayor número de pústulas se presentó en el tratamiento testigo. El menor porcentaje de defoliación del cafeto por efecto de la roya *Hemileia vastatrix* Berk. et Br. se observó en el tratamiento E donde se aplicó el hongo *Verticillium hemileiae* Bouriquet a dosis de 3.00 kg ha⁻¹ y el porcentaje de defoliación del cafeto más alto se observó en el tratamiento testigo.

Literatura citada

- Alatorre, R. R.2000. Control microbiano alternativas para sistemas agrícolas sustentables. In. Lombricultura y agricultura sustentable. Compiladores Claudia Martines Cerdas y Leonel Ramírez Farias. pp: 201- 220.
- Bock, K.R. 1962. Seasonal periodicity of coffee leaf rust and factors affecting the severity of outbreaks in Kenya Colony. Trans. Brit. Mycol. Soc. 45:289-300.
- Brady, B.L. 1979. *Verticillium lecanii* (Zimm). Viegas. Description of pathogenic fungus and bacteria. Commonwealth Mycological Institute set 61 No. 610.
- Carballo, V.M. 1999. Utilización de *Verticillium* spp. Para el control de plagas, Proyecto PFNOS. CATIE. Turrialba, Costa Rica C.A.
- Durán, L.C. y A. Mendel L. 1985. Epidemiología de la roya del cafeto *Hemileia vastatrix* Berk. et. Br. En el istmo de Tehuantepec, Oaxaca. Instituto Mexicano del café. Xalapa, Veracruz, Mexico. pp: 1-13.
- García, E. 1988. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. 4ª. Edición Editorial Offset Larios, S.A. México, D.F. pp: 33, 48, 92.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 1990. Anuario Estadístico del Estado de Chiapas, México. INEGI pp: 7-10
- López, R.A y García A. 2002. Fungi: Uredinales *Hemileia vastatrix* III. *Hemileia vastatrix* Berk. et Br. sobre *Coffea arabica* L. (Rubiácea): Funga Veracruzana No. 59 1-2. Unidad Veracruzana.
- Romero, C.S. 1988. Hongos fotipatogenos. 1ra edición Editorial Universidad Autónoma de Chapingo, México. 347 p.

- Sobero, L. 2006. La roya del cafeto *Hemileia vastatrix* Berk. et Br. Distribución en Impacto en América Latina.
- Villanueva, M.A.E y A. Regalado O.1989. Epidemiología y control químico de la roya del cafeto *Hemileia vastatrix* Berk, et Br. En México. Instituto Mexicano del Café. Xalapa, Veracruz.
- Welman, F.L. and E. Echandi. 1981. The coffee rust situation en Latin América. *Phytopathology* 71(2): 968-974.

Sobre los autores

Juan de Dios Mendoza Palacios

Ingeniero Agrónomo en Irrigación por la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), Maestro en Ciencias con Especialidad en Hidrociencias y Doctor en Ciencias con Especialidad en Hidrociencias por el Colegio de Postgraduados (CP). Se ha desempeñado como Profesor Investigador en la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), impartiendo cursos relacionados con el Manejo Sustentable de los



Recursos Hídricos. Integrante del Cuerpo Académico Recursos Hídricos y Edáficos. Ha participado en la dirección de tesis de licenciatura y posgrado, siendo además, autor y coautor de diversas publicaciones nacionales e internacionales, incluidos capítulos de libros, artículos de divulgación y científicos. Miembro de la Red Académica Sobre Desastre en Tabasco (RASDET), investigador invitado por parte del Centro del Cambio Global y la Sustentabilidad en el Sureste, A. C. (CCGSS).

Rodolfo Osorio Osorio



Profesor Investigador Titular tiempo completo de base. División Académica de Ciencias Agropecuarias, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT).

Ingeniero Agrónomo Especialista en Parasitología Agrícola (1991) por la Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. Maestría (1994) y Doctorado (2003) en Ciencias en Entomología y Acarología por el Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México.

Cuadro de honor durante los estudios de Licenciatura en la Universidad Autónoma Chapingo (1989, 1990). Distinción anual como investigador del

Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México (1992, 1993). Reconocimiento al mérito académico por la UJAT (2000). Miembro del Sistema Estatal de Investigadores del estado de Tabasco (2001-). Perfil PROMEP por la SEP (2006-2015). Investigador Nacional Nivel I por el SNI del CONACYT (2010-2012). Miembro del registro CONACYT de Evaluadores Acreditados (Febrero 2010-). Reconocimiento por su destacada labor en el área de la Ingeniería 2008 por los Colegios y Asociaciones de Ingeniería del Estado de Tabasco. Miembro de la Sociedad Mexicana de Entomología (1991-) y de Ingenieros Agrónomos Parasitólogos de México (2004-).

Director o asesor de tesis de Licenciatura (7), tesis de Maestría (4) y Doctorado (1). Catedrático de los cursos de Entomología Económica, Manejo integrado de plagas, Métodos estadísticos, Diseños experimentales y Seminario de Investigación, entre otros. Publicación de 14 artículos en revistas indizadas, 7 libros editados, 8 capítulos de libros, 20 artículos en extenso, 36 resúmenes en memorias de congresos. Director de 4 proyectos de investigación con financiamiento externo en las líneas de investigación de “Uso de semioquímicos para el manejo de insectos plaga” y “Manejo Integrado de Plagas”.

Efraín de la Cruz Lázaro

Profesor Investigador de Tiempo Completo de la División Académica de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (2004 – a la fecha). Doctor en Ciencias en Fitomejoramiento por la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Estancia Posdoctoral en el Colegio de la Frontera Sur (2009-2010). Investigador Nacional nivel I (SNI-CONACYT) hasta el 2015, integrante del Cuerpo Académico Consolidado “Producción Agropecuaria en el Trópico Húmedo”.



Eusebio Martínez Moreno

Ingeniero Agrónomo especialista en Fitotecnia por la Universidad Autónoma Chapingo - Departamento de Fitotecnia, Maestro en Ciencias en la especialidad de Fruticultura por el Colegio de Postgraduados-Campus Tabasco y Doctor en Ciencias con especialidad en Horticultura, orientación en Fruticultura por la Universidad Autónoma Chapingo - Instituto de Horticultura. Chapingo estado de México.

Profesor con Perfil PROMEP, Miembro del Sistema Estatal de Investigadores.

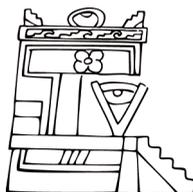
La línea de Investigación que desarrolla es sobre el estudio de recursos genéticos frutícolas tropicales en especial los subexplotados y Horticultura tropical.



Maximiano Antonio Estrada Botello



Ingeniero Agrónomo con especialidad en Irrigación. Maestría y Doctorado en Hidrociencias. Profesor Investigador de la División Académica de Ciencias Agropecuarias, de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Miembro del Sistema Estatal de Investigadores y del Sistema Nacional de Investigadores desde el 2004. Cuerpo Académico Recurso Hídricos y Edáficos, Línea de Investigación Interacción Agua-Suelo-Planta. Miembro del comité editorial de la Revista *Universidad y Ciencia*.



Difusión y Divulgación
Científica y Tecnológica

José Manuel Piña Gutiérrez
Rector

Wilfrido Miguel Contreras Sánchez
Secretario de Investigación, Posgrado y Vinculación

Fabián Chablé Falcón
Director de Difusión y Divulgación Científica y Tecnológica

Francisco Morales Hoil
Jefe del Departamento Editorial de Publicaciones No Periódicas

Esta obra se terminó de imprimir el 28 de mayo de 2013, con un tiraje de 500 ejemplares en los talleres de Ideo Gráficos, S. A. de C. V.; Calle Juan Álvarez 505; Colonia Centro; Villahermosa, Tabasco, México. El cuidado estuvo a cargo de los autores, el Departamento Editorial de Publicaciones No Periódicas de la Dirección de Difusión y Divulgación Científica y Tecnológica de la UJAT y del Consejo Editorial de la División Académica de Ciencias Agropecuarias.