



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO
DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
LABORATORIO EN GENÉTICA Y ECOFISIOLOGÍA



CAPACIDAD DE RESISTENCIA A LA
Moniliophthora roreri Y RENDIMIENTO DE
GENOTIPOS DEL CACAO *Theobroma cacao* L.

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES

PRESENTA:

LIC. EN BIOL. GABRIELA ARIAS DE LOS SANTOS

DIRECTOR:

DR. LENIN ARIAS RODRIGUEZ (DACBIOL-UJAT)
DR. ALFONSO AZPEITIA MORALES (INIFAP-TABASCO)

VILLAHERMOSA, TABASCO, MÉXICO, ABRIL DE 2021

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco



UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
DIRECCIÓN



ABRIL 19 DE 2021

**C. GABRIELA ARIAS DE LOS SANTOS
PAS. DE LA MAESTRIA EN CIENCIAS AMBIENTALES
P R E S E N T E**

En virtud de haber cumplido con lo establecido en los Arts. 80 al 85 del Cap. III del Reglamento de titulación de esta Universidad, tengo a bien comunicarle que se le autoriza la impresión de su Trabajo Recepcional, en la Modalidad de Tesis de Maestría en Ciencias Ambientales titulado: **"CAPACIDAD DE RESISTENCIA A LA *Moniliophthora roreri* Y RENDIMIENTO DE GENOTIPOS DEL CACAO *Theobroma cacao* L."**, asesorado por el Dr. Lenin Arias Rodríguez y Dr. Alfonso Azpeitia Morales sobre el cual sustentará su Examen de Grado, cuyo jurado integrado por el M. en C. Gabriel Márquez Couturier, Dr. Alfonso Azpeitia Morales, Dr. Lenin Arias Rodríguez, M. en C. Felipe Mirafuentes Hernández y Dr. Magdiel Torres de la Cruz.

Por lo cual puede proceder a concluir con los trámites finales para fijar la fecha de examen.

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
ESTUDIO EN LA DUDA, ACCIÓN EN LA FE


**DR. ARTURO GARRIDO MORA
DIRECTOR**

U.J.A.T.
DIVISIÓN ACADÉMICA
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

DIRECCIÓN

C.c.p.- Expediente del Alumno.
C.c.p.- Archivo



KM. 0.5 CARR. VILLAHERMOSA-CÁRDENAS ENTRONQUE A BOSQUES DE SALOYA
Tel. (993) 358-1500 Ext. 6400 y 6401, 337-9611, 337-9706, Fax (993) 354-4308 y 358-1579

Usar papel reciclado economiza energía, evita contaminación y despilfarro de agua y ayuda a conservar los bosques

www.ujat.mx

CARTA AUTORIZACIÓN

El que suscribe, autoriza por medio del presente escrito a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco para que utilice tanto física como digitalmente el Trabajo Recepcional en la modalidad de Tesis de Maestría denominado: "CAPACIDAD DE RESISTENCIA A LA *Monilophthora rozeri* Y RENDIMIENTO DE GENOTIPOS DEL CACAO *Theobroma cacao* L.", de la cual soy autor y titular de los Derechos de Autor.

La finalidad del uso por parte de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco el Trabajo Recepcional antes mencionada, será única y exclusivamente para difusión, educación y sin fines de lucro; autorización que se hace de manera enunciativa más no limitativa para subirla a la Red Abierta de Bibliotecas Digitales (RABID) y a cualquier otra red académica con las que la Universidad tenga relación institucional.

Por lo antes manifestado, libero a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco de cualquier reclamación legal que pudiera ejercer respecto al uso y manipulación de la tesis mencionada y para los fines estipulados en éste documento.

Se firma la presente autorización en la ciudad de Villahermosa, Tabasco el día 19 de Abril del dos mil veintiuno.

AUTORIZO



GABRIELA ARIAS DE LOS SANTOS

Por sobre todas las cosas...

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.



AGRADECIMIENTOS

A mis Directores de Tesis: Dr. Lenin Arias Rodriguez y Dr. Alfonso Azpeitia Morales. Por su confianza, paciencia, sobre todo por su amistad y su apoyo. Por guiar, moldear y perfeccionar este trabajo, MUCHAS GRACIAS.

A mis Revisores de Tesis: MC. Salomón Páramo Delgadillo, MC. Felipe Mirafuentes Hernández y MC. Gabriel Márquez Couturier. Gracias por sus correcciones, aportaciones y mejoras a este trabajo.

A todos mis compañeros y del Laboratorio de Genética y Ecosifología UJAT-DACBIol, por su amistad y su compañerismo. A mis compañeros de Laboratorio de Biología Molecular INIFAP-Huimanguillo, gracias por las aportaciones y apoyo durante el proceso de mi trabajo de investigación.

A mis amigos. Gracias por su valiosa amistad y ánimos durante este trabajo.

A la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco y el Laboratorio en Genética y Ecofisiología de la División Académica de Ciencias Biológicas, por el apoyo brindado para el uso de las instalaciones que ayudaron en la realización de los experimentos.

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) por el apoyo para el uso de sus instalaciones y al proyecto de investigación “Biofabrica para la Producción Clonal de Cacao” Proyecto 1513 del CONACYT, del cual fue parte el presente trabajo de investigación.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por impulsar mi formación profesional a través del Programa de Becas para Estudios de Posgrado.

A todas las personas que de alguna u otra manera intervinieron en este viaje, GRACIAS.

CONTENIDO GENERAL

CAPITULO I	1
1.1	INTRODUCCIÓN..... 1
1.2.	ANTECEDENTES..... 3
1.2.1	El Cacao <i>Theobroma cacao</i> 3
1.2.1.1	Morfología General del Árbol, Fruto, Hoja, Flor y Raíz de Cacao <i>T. cacao</i> 3
1.2.1.2	Origen e Importancia de <i>T. cacao</i> 5
1.2.1.3	Situación del Cacao en México..... 6
1.2.2	La Moniliasis en el Cultivo del Cacao..... 7
1.2.2.1	Estudios sobre la Resistencia de <i>T. cacao</i> a Moniliasis..... 8
1.2.3	El Mejoramiento Genético del <i>T. cacao</i> 8
1.3	JUSTIFICACIÓN..... 10
1.4	OBJETIVOS..... 11
1.4.1	Objetivo General..... 11
1.4.2	Objetivo Especificos..... 11
1.5	REFERENCIAS..... 12
CAPITULO II. MATERIALES Y MÉTODOS	15
2.1	Localización Geográfica y Descripción de las Plantaciones de Cacao..... 15
2.2	Aislamiento y Cultivo “ <i>In vitro</i> ” de <i>M. royeri</i> 15
2.2.1	Medios de Soporte para el Cultivo del Hongo <i>M. royeri</i> 19
2.2.2	Evaluación de los genotipos de Cacao por Inoculación “ <i>In vitro</i> ” en MTC..... 20
2.2.3	Evaluación de los Genotipos de Cacao por Inoculación de Frutos “ <i>In vivo</i> ”..... 20
2.2.4	Evaluación de los Genotipos de Cacao por Inoculación Natural o silvestre..... 21
2.3	Floración y Fructificación..... 22
2.3.1	Parámetros Estimados..... 22
2.3.1.1	Determinación del Índice de Floración..... 22
2.3.1.2	Determinación del Índice de Flores Prendidas de Flor..... 22
2.3.1.3	Determinación del Índice de Frutos Cosechado..... 23
2.4	Caracterización Fenotípica de Frutos y Semillas..... 23
2.4.1	Caracterización Fenotípica del Fruto..... 25
2.4.2	Caracterización Fenotípica de Semillas..... 25
2.5	Determinación de los Índices de Rendimiento (Semilla y Fruto)..... 25
2.5.1	Determinación del Índice de Semilla..... 26
2.5.2	Determinación del Índice de Fruto..... 26
2.6	Análisis Estadísticos..... 26
2.7	Referencias..... 28

CAPITULO III. TÉCNICAS PARA EVALUAR LA CAPACIDAD DE RESISTENCIA DE <i>Theobroma cacao</i> A LA MONILIASIS	29
3.1 RESUMEN.....	29
3.2 INTRODUCCIÓN.....	30
3.3 RESULTADOS.....	32
3.3.1. Medios de Soporte para el Crecimiento del Hongo <i>M. royeri</i>	32
3.3.2. Evaluación de los Genotipos de Cacao por Inoculación “ <i>In vitro</i> ” en MTC.....	32
3.3.3. Evaluación de los Genotipos de Cacao por Inoculación de Frutos “ <i>In vivo</i> ”.....	35
3.3.4. Evaluación de los Genotipos de Cacao por Inoculación Natural o Silvestre.....	37
3.4 DISCUSIÓN.....	39
3.5 CONCLUSIONES.....	41
3.6 REFERENCIAS.....	42
CAPITULO IV FENOLOGÍA PRODUCTIVA Y CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE DIEZ GENOTIPOS DE <i>Theobroma cacao</i> L.	45
4.1 INTRODUCCIÓN.....	45
4.2 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	47
4.2.1 Floración y Fructificación.....	47
4.2.2 Caracterización Fenotípica de Frutos y Semillas.....	52
4.2.3 Determinación de los Índices de Rendimiento (Frutos y Semillas).....	55
4.3 CONCLUSIONES.....	57
4.5 REFERENCIAS.....	58
ANEXO.....	60
Anexo 1 Fenología mensual promedio \pm desviación estándar de la floración total, flores prendidas, Flores caídas e índices.....	60
Anexo 2 Producción mensual promedio \pm desviación estándar de frutos prendidos, frutos caídos y frutos cosechados e índices.....	62

INDICE DE FIGURAS

Figura 1	Morfología general del árbol del cacao (A), raíz de la planta (B), hoja madura de cacao (C), flor donde se pueden apreciar sus cinco pétalos (D), fruto de cacao prendido al árbol (E) y semillas de cacao fermentadas y secas (F).....	4
Figura 2	Imagen satelital de alta resolución, que muestra la localización de las instalaciones del INIFAP-Campo experimental Huimanguillo y de las plantaciones de cacao (Fuente: Google Maps, 2020).....	16
Figura 3	Crecimiento en porcentajes de ocurrencia del hongo <i>M. royeri</i> durante 14 días de incubación, en los medios de soporte a base de cascara de cacao criollo Carmelo: medio control (MC), medio de infusión de cascara de cacao (MIC) y medio de triturado de cascara de cacao (MTC). Letras iguales entre medios de soporte no son significativas $P<0.05$, y en caso contrario las diferencias existen.....	33
Figura 4	Crecimiento de diez días en porcentaje de ocurrencia de <i>M. royeri</i> en diez líneas genéticas del cacao (criollo Carmelo, Mestizo, PA169, ICS95, UF273, Caehui, Chibolón, Supremo, K'in y Chontal) con el medio de triturado de cascara (MTC). Letras iguales entre medios de soporte por genotipo no son significativos $P<0.05$, y en caso contrario las diferencias existen.....	34
Figura 5	A) Crecimiento radial diario por diez días de incubación del hongo <i>M. royeri</i> y B) crecimiento total en diez días de incubación de genotipos de cacao (criollo Carmelo, Mestizo, PA169, ICS95, UF273, Caehui, Chibolón, Supremo, K'in y Chontal) en medio de triturado de cascara (MTC). Letras iguales entre genotipos no son significativas $P<0.05$, y en caso contrario las diferencias existen.....	36
Figura 6	Porcentajes de ocurrencia causada por <i>M. royeri</i> en diez genotipos de cacao (criollo Carmelo, Mestizo, PA169, ICS95, UF273, Caehui, Chibolón, Supremo, K'in y Chontal) y resistencia fenotípica en porcentaje ($\%$), por inoculación " <i>in vitro</i> ", " <i>in vivo</i> " y natural. Letras iguales entre inoculación no son significativas $P<0.05$, y en caso contrario las diferencias iguales existen.....	38
Figura 7	Floración y Fructificación de un año de muestreo por genotipo estudiado. N = número total de flores, flores prendidas y frutos cosechados por genotipo, (O) = media del total de flores, flores prendidas y frutos cosechados por genotipo... ..	48
Figura 8	Fenología mensual promedio de la floración total, flores prendidas (fertilizadas) y frutos cosechados en un m ² de cobertura foliar.....	51
Figura 9	Comportamiento del índice de semilla en genotipos de cacao. Letras desiguales significan diferencias estadísticamente significativas (Tukey $p<0.05$).....	56
Figura 10	Comportamiento del índice de fruto en genotipos de cacao. Letras desiguales significan diferencias estadísticamente significativas (Tukey $p<0.05$).....	56

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1	Descripción de los genotipos de cacao evaluados en el presente estudio, el origen y resistencia a patógenos.....	17
Cuadro 2	Descriptores fenotípicos de frutos y semillas.....	24
Cuadro 3	Productividad promedio observada en diez genotipos de cacao (<i>T. cacao</i>) de acuerdo con el total de floración*, los índices de flores prendidas (IFP) y de fructificación (IFC).....	49
Cuadro 4	Caracterización fenotípica promedio (\pm desviación estándar) del color, forma, ápice, base, superficie del mesocarpio, longitud, diámetro y peso del fruto maduro; así también del peso y número de semillas del fruto de diez genotipos de <i>T. cacao</i> , cultivas en condiciones experimentales en Huimanguillo, Tabasco, México.....	53
Cuadro 5	Caracterización fenotípica promedio (\pm desviación estándar) del color, forma, longitud, diámetro, espesor y corte transversal de la semilla; así también del peso con mucilago y sin mucilago de semillas de diez genotipos de cacao (<i>T. cacao</i>), cultivas en condiciones experimentales en Huimanguillo, Tabasco, México.....	54

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

CAPITULO I

1.1 INTRODUCCIÓN

El cacao es una planta que pertenece a la familia *Malvaceae* y es originaria de América tropical, está se encuentra distribuida desde el sur de México hasta la región del Amazonas (López-Báez *et al.*, 2015). Es un cultivo de gran importancia comercial, social, cultural y ecológica, por ser una de las principales fuentes económicas en diferentes países de África Occidental, Centro y Sur América y Asia, lo que genera a la sociedad miles de empleos (Avalos *et al.*, 2012). Para la industria chocolatera, el cacao es la principal materia prima, donde la calidad de las semillas es indispensable. Ecológicamente una plantación de cacao, al ser un sistema agroforestal es útil para la conservación de la biodiversidad, además de disminuir el deterioro ambiental, esto mediante la captura de carbono (Guiracocha *et al.*, 2001; Barrón-García *et al.*, 2014).

A nivel mundial, el continente que produce la mayor cantidad de cacao es África, con el aproximado de 76.6% (3679 mil toneladas) de la producción total mundial (ICCO, 2019). Mientras que en México el cacao, se considera uno de los cultivos nativos, solo existen plantadas en la actualidad 59,555 hectáreas de las cuales se obtiene una producción de 26,910 toneladas, las cuales en el estado de Tabasco se cosechan 40,857 ha (17,822 toneladas); mientras que el resto se reparten entre el estado de Chiapas y Guerrero (SIAP, 2019). El estado de Tabasco, representa al mayor productor de cacao en el país.

Theobroma es una planta que podemos encontrar en una gran variedad de ambientes, los cuales han propiciado la diversidad de materiales genéticos que existen actualmente (López-Báez *et al.*, 2015). Las variedades de cacao se pueden distinguir por el tamaño de la planta, forma, color del fruto, semilla y sus cualidades nutritivas (Avendaño-Arrazate *et al.*, 2011). Sin embargo, las plantaciones de cacao en nuestro país han sido afectadas por varios factores que han limitado la producción del cultivo; entre ellas se encuentran como la falta de apoyo a los cacaoteros, plantaciones viejas, la falta de variedades resistente a enfermedades del cacao, donde la moniliasis (*Moniliophthora roreri*) es la que afecta en mayor medida la producción (Phillips-Mora y Castillo, 1999; De La Cruz-Landero *et al.*, 2015). Por ello, los efectos devastadores de este patógeno han sido dramáticos y bien documentados en diferentes épocas y países; afectado a

miles de productores en América latina lo que ha llevado al derribo y el abandono de plantaciones, ocasionando la disminución de las zonas cultivadas. En el estado, la moniliasis afecto la producción desde 30% a 100% las plantaciones (Azpeitia-Morales *et al.*, 2008). Sin embargo, existen programas de mejoramiento genético, que tienen por objetivo el obtener y producir genotipos capaces de soportar la enfermedad de moniliasis. Actualmente, en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), campus Huimanguillo, Tabasco, han diseñado variedades de cacao para producción y resistencia a *M. roreri*, que requieren su validación y caracterización en campo y condiciones de laboratorio, siendo ello el objetivo principal de este trabajo de tesis de maestría.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

1.2 ANTECEDENTES

1.2.1 El Cacao *Theobroma cacao*

El cacao es una planta diploide ($2n=20$), se encuentra distribuida de modo natural en los trópicos del Sur y América Central, con ciclo vegetativo perenne (Motamayor *et al.*, 2008; Avendaño-Arrazate *et al.*, 2011). Uno de los primeros en clasificar al cacao como criollo, forastero y trinitario fue Cheesman (1944) citado por Avendaño-Arrazate *et al.*, (2010), probablemente la hibridación de estos provoco la diversidad de formas que se conoce actualmente. Motamayor *et al.*, (2008) mediante análisis moleculares clasifico el germoplasma de cacao en diez grupos principales Amelonado, Contamana, Criollo, Curaray, Guiana, Iquitos, Maraón, Nanay, Nacional y Purús, los cuales tienen diferentes características en tamaño, número de semillas, color y sabor y las cualidades nutritivas del grano, que le dan un valor agregado. Su clasificación taxonómica es la siguiente:

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Malvales

Familia: Malvaceae

Género: *Theobroma*

Especie: cacao

1.2.1.1 Morfología General del Árbol, Fruto, Hoja, Flor y Raíz de Cacao *T. cacao*

El árbol de cacao descrito por Enríquez (1996) es de altura mediana y crece bajo sombra, el cual presenta tronco recto que puede desarrollarse de formas muy variadas, es altamente heterocigoto y de polinización cruzada (**Figura 1A**). Este presenta, raíz pivotante principal que crece en forma recta, con longitud que dependerá de las características del suelo, la cual desarrolla grandes cantidades de raíces; en el caso de árboles provenientes de clones no forman raíz pivotante principal, pero forman raíces laterales que penetran al suelo a profundidad cercana

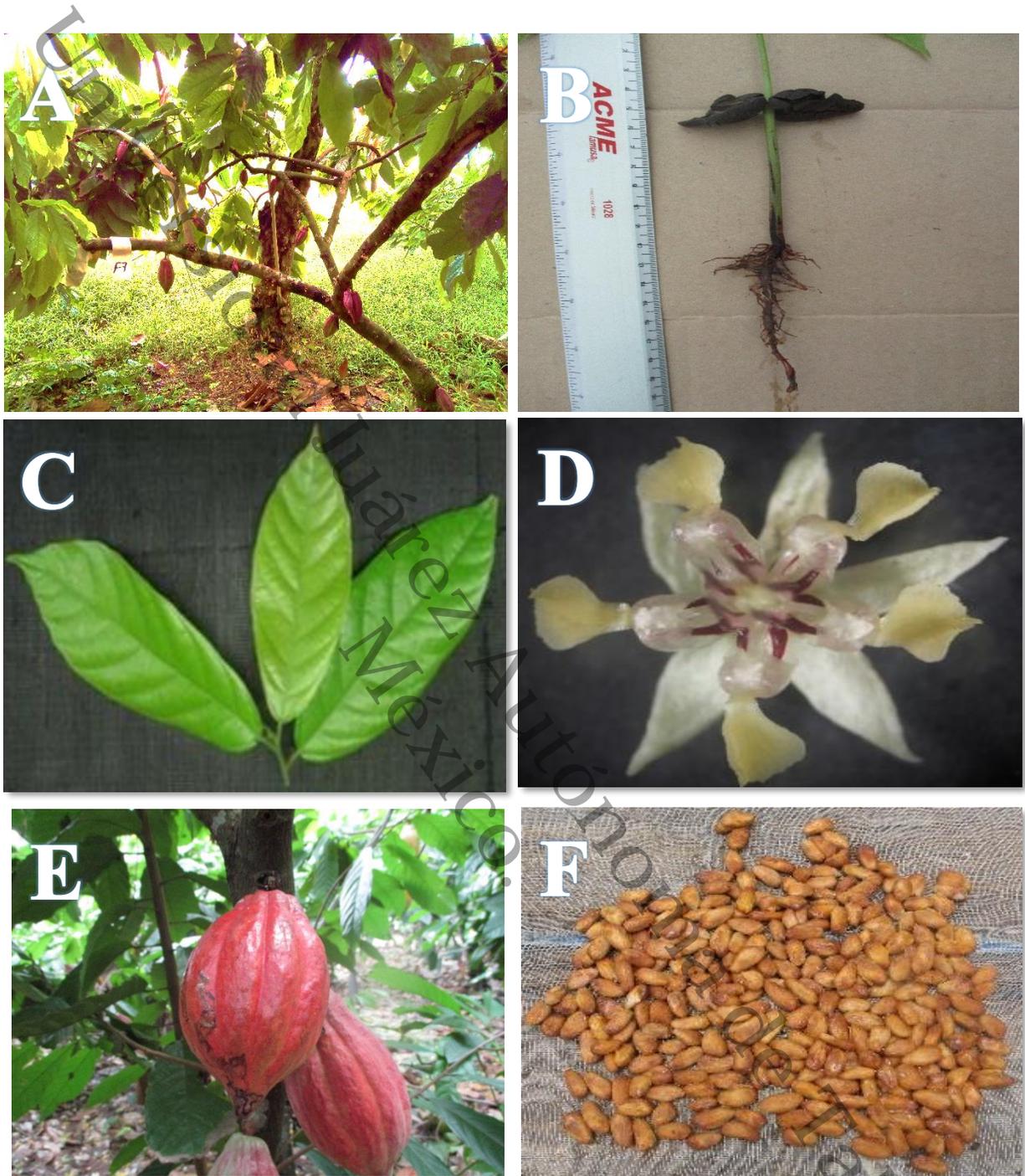


Figura 1. Morfología general de un árbol maduro de cacao (A), raíz de la planta (B), hoja madura de cacao (C), flor donde se pueden apreciar sus cinco pétalos (D), fruto de cacao prendido al árbol (E) y semillas de cacao fermentadas y secas (F).

a la superficie (**Figura 1B**). Las hojas tienen características propias, dependiendo del tipo de tallo del cual se originan, en general son hojas simples, enteras y de colores variables que van desde morado hasta verde pálido y con peciolo corto (**Figura 1C**). Las flores del árbol de cacao, son pequeñas, hermafroditas y pentámeras con cinco lóculos donde hay de 6 a 12 óvulos; estas producen racimos pequeños, sobre el tejido maduro del tronco y las ramas que con el paso del tiempo ocasiona engrosamiento secundario que recibe el nombre de cojinete floral (**Figura 1D**) (Ogata, 2007; Avendaño-Arrazate *et al.*, 2011).

El fruto es el producto de la maduración del ovario, estos pueden ser de superficie lisa o rugosa y de forma variable, el color va a depender del genotipo y varía con la edad del fruto (**Figura 1E**) y el número de semillas es un carácter muy variable y al parecer está muy influenciado por el ambiente. El color y el tamaño de las semillas o almendras, es variable, así como el sabor, textura y aromas (**Figura 1F**) (Avendaño-Arrazate *et al.*, 2011).

1.2.1.2 Origen e Importancia de *T. cacao*

El cacao es una planta que ha sido conocida por ser un símbolo emblemático de nuestros antepasados, la cual es considerada como un regalo de Quetzalcóatl (*dios que simboliza la vida, la luz, la sabiduría, la fertilidad, el conocimiento y considerado patrón de los vientos y del día*), que regaló el árbol del cacao a los hombres como recompensa al amor y la fidelidad de su esposa (Salas-Tornés y Hernández-Sánchez, 2015). El cacao proviene de Sudamérica, extendiéndose hasta el sur de México en donde se domesticó hace aproximadamente 2,000 años. El pueblo de los mayas, creía que el árbol de cacao era de origen divino y que la bebida hecha con sus semillas confería sabiduría. Su historia se remonta a tiempos anteriores al descubrimiento de América, donde era cultivado en lo que hoy comprende el Sur de México y Centroamérica (Motamayor *et al.*, 2002). Los mayas le dieron a conocer a los aztecas el cacao, los cuales se convirtieron en promotores de esta planta, ellos lo consumían en forma de bebida a la cual la llamaban “xocolatl” que en náhuatl significaba “agua espumosa” (Avendaño-Arrazate *et al.*, 2011). Esta planta es nativa del bosque tropical húmedo de América, que pertenece al género *Theobroma* vocablo griego que significa “alimento de los dioses”. De este se han mencionado dos posibles centros de origen de la especie; la primera señala a México y Centroamérica, la segunda a la Cuenca del Amazonas (De la Cruz *et al.*, 1995). Algunos estudios han confirmado que la región alta del Amazonas, es un área que comprende zonas de Perú, Colombia y Ecuador, donde se encuentra la

mayor diversidad genética del cacao, por ello se le considera como su centro de origen y dispersión (Lanaud *et al.*, 1999; Butler y Umaharan, 2004; Montamayor *et al.*, 2008).

El cacao se cultivó exclusivamente en el continente americano hasta 1890, cuando comenzó a plantarse en África (Ogata, 2007). En la actualidad, los países africanos obtienen los mayores volúmenes de producción de grano de cacao (Cueto *et al.*, 2007), el cual es el principal protagonista de las industrias chocolateras, y que mayor provecho le han sacado al cultivo.

En Mesoamérica, el cultivo prosperó y formó la base de la industria moderna del chocolate. Este logro su expansión en el mundo después de que fue aceptado por los europeos como alimento, estos comenzaron a llevar semillas de su área natural hacia otros países. El cultivo de cacao tradicional, brinda beneficios sostenibles a los campesinos y al ambiente, aunque estos beneficios están amenazados por la creciente aparición de enfermedades que han logrado coevolucionar con el cultivo (Evans, 2002). Otras explotaciones que se le ha dado al cacao son en la industria de los cosmético y farmacéutica.

1.2.1.3 Situación del Cacao en México

El cacao es uno de los cultivos más importantes del trópico mexicano, anualmente se producen 28 473 toneladas de granos seco, con rendimiento de 0.486 ton/ha de grano (SIAP, 2019). Esto hace que el país ocupe el doceavo lugar como productor de cacao a nivel mundial, aportando el 1.6% de la producción total (Avendaño-Arrazate *et al.*, 2011). El estado de Tabasco, ocupa el primer lugar nacional como productor principal de cacao, representando 67.3% de la superficie dedicada a dicho cultivo y aportando el 80% de la producción; los municipios que destacan por su superficie cultivada son Cárdenas, Comalcalco, Cunduacán y Huimanguillo (Córdova-Ávalos *et al.*, 2001). Mientras tanto en Chiapas, los municipios que producen cacao son Tuxtla Gutiérrez, Pichucalco, Palenque, Tapachula y Selva (García, 1994).

Del cultivo de cacao dependen más de 45,000 familias, permitiendo 4.98 millones de jornales al año, lo que genera 984.5 millones de pesos. Sin embargo, este cultivo presenta bajos rendimientos unitarios, con alrededor de 400 kg de cacao seco ha⁻¹ (Solís-Bonilla *et al.*, 2015). Los factores que pueden estar contribuyendo a la baja producción del cultivo son diversas; la edad avanzada de las plantaciones, la falta de variedades mejoradas, la presencia de enfermedades, disminución de los apoyos gubernamentales. Todo esto ocasiona pérdidas para los operarios (Solís-Bonilla *et al.*, 2009).

En Tabasco, el cacao es catalogado como un cultivo tradicional y de subsistencia familiar, que, a lo largo de la historia en la entidad, ha permanecido como base de la económica regional y ha mantenido su importancia; aun cuando se han introducido otros cultivos rentables (plátano, caña de azúcar, maíz). Por lo cual, existe necesidad latente de incrementar el número de plantaciones de cacao mejoradas genéticamente, principalmente por presión de las enfermedades (Ramírez-González, 2008).

1.2.2 La Moniliasis en el Cultivo del Cacao

El hongo *M. rozeri*, es una enfermedad destructiva en los cultivos de cacao en América Latina; este patógeno tiene efectos muy alarmantes; ya que en los países donde se ha propagado, las plantaciones de cacao han desaparecido como es caso de Costa Rica (Phillips-Mora *et al.*, 2005; Solís-Bonilla *et al.*, 2015). Al citado hongo, se le conoce de diferentes formas como “*moniliasis*”, “*monilia*” o “*monilla*”, “*helada*” por la aparición de síntomas y signos externos apreciada en ciertas épocas, o “*ceniza*” por la masa blanquecina de micelio y esporas que la caracteriza (Suarez y Delgado, 1993).

La moniliasis es un hongo basidiomiceto del orden moniliales que en algún tiempo se creyó que había tenido su origen en Ecuador, pero el trabajo realizado por Phillips-Mora (2006) señala que hay cinco variedades del hongo, todos con origen colombiano y con el movimiento del material de siembra, se fueron transportando a otros países. Arguello (2000) señala que *M. rozeri*, se mantiene en los frutos infectados que se encuentran adheridos a las plantas, en estos frutos el hongo produce ciclos de esporulación, hasta por nueve meses. Por otro lado, Phillips-Mora (2009) menciona, que la duración del ciclo de vida depende de la variedad de cacao y sus condiciones ambientales, el ciclo es más corto en climas calientes y húmedos que en climas frescos. Estos ambientes, propician la infección y el desarrollo de la epidemia que tienen mayor ocurrencia en la época de lluvias (López-Báez *et al.*, 2006); pues las esporas para germinar requieren de humedad relativa cercana al 100% (González y Vidal-Vega, 1992).

Se tienen algunos registros de que la enfermedad llegó a México en el 2005, provocando pérdidas del 50% de producción y el derribo de plantaciones (Phillips-Mora *et al.*, 2006; Ramírez-González, 2008). En la actualidad, la moniliasis es amenaza para la producción mundial; si llegará a África sería un desastre, pues aproximadamente el 70% de la producción mundial de cacao viene de esta región. En la década de 1950, Ecuador y Colombia iniciaron las primeras

investigaciones para el control de *M. royeri*, basadas en prácticas culturales como las podas y el manejo de la humedad relativa (Jaimes y Aranzazu, 2010). Por otra parte, está el manejo de las mazorcas enfermas y la plantación, para reducir la mortandad de las mazorcas.

Derivado de esto, diversas estrategias se han utilizado e implementado para el control del hongo. Sin embargo, se demanda estrategias contra la moniliasis, debido a la diversidad de cepas que actúan en vías diferentes sobre la plantación. En la actualidad existen guías, catálogos y manuales, para el tratamiento de la plantación de cacao, así como genotipos capaces de presentar mayor resistencia ante la moniliasis. Por ello, el interés de estudiar la relación entre este patógeno y el cacao.

1.2.2.1 Estudios sobre la Resistencia de *T. cacao* a Moniliasis

Después de la aparición de la moniliasis en diversos países, se empezó a buscar formas de proteger al cultivo de cacao, así como estrategias de mejoramiento y tolerancia al hongo. En ello, Phillips-Mora *et al.* (2005), evaluaron diferentes clones de cacao expuestos a cuatro cepas de moniliasis, ellos midieron los diferentes grados de incidencia, el tiempo de penetración del hongo y los daños externos e internos provocados en el fruto por el hongo moniliasis. Un trabajo similar fue el realizado por González y Vidal-Vega (1992) y Kieck *et al.*, (2016), quienes analizaron los diferentes síntomas y reacciones del patógeno en plantaciones de cacao. Para conocer al patógeno, es necesario el estudio del ciclo de vida (Cubillos, 2017), por el cual, se pueden aplicar estrategias para control.

Existen clones de cacao (ICS 95 de Trinidad y Tobago, PA 169 de Perú, UF 273 de Costa Rica, EET 233 y EET 183 ambos de Ecuador) que han sido estudiados, por dos décadas en el CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza), Costa Rica habiéndose encontrado variedades resistentes a la moniliasis (Phillips-Mora, 2009).

1.2.3 El Mejoramiento Genético del *T. cacao*

El mejoramiento genético, es una actividad que busca agregar valores a los cultivos y mejorar su rendimiento, en los programas de mejora “*se presta atención a la variabilidad genética de las especies a mejorar o de especies relacionadas con la misma*” (Martin-Martin y Álvarez-Cabello, 2003)

La diversidad de especies cultivadas, es el resultado de interacciones que se han dado a lo largo de generaciones, entre la población humana y estas especies de importancia para el hombre. Debido al ingreso de la moniliasis en México, se tuvieron que buscar alternativas para evitar el progreso y mayor daño a los cultivos. La implementación de químicos, fue de los primeros mecanismos que se usaron, pero este medio suele ser costoso para los productores (además de no ser amigable con el ambiente), los cuales al ver que no podían mediar el ataque del hongo, optaban por eliminar las plantas enfermas, llegando a eliminar toda la plantación y empezar con un nuevo tipo de cultivo.

Investigaciones nacionales y extranjeras, se desarrollan diversas maneras para combatir y mejorar el rendimiento de las variedades de cacao. Algunos de estos mecanismos fueron: el cultivo “*in vitro*” de variedades endémicas para su mantenimiento y futura resiembra, conservación de semillas de materiales criollos, la implementación de bancos de germoplasma para el mantenimiento de variedades de interés, y la hibridación de materiales mexicanos con extranjeros para fortalecer el cultivo. Este último es el que más ha proliferado en la región sur del país, debido a que es el que mejores resultados ha presentado. Al cruzar variedades de cacao, se logró obtener material resistente y tolerante, además de que las plantas resultantes se desarrollaban y producían en menor tiempo que las variedades criollas. El entrecruzamiento también ha permitido seleccionar variedades que presentan características únicas, tales como sabor agradable de la pulpa, mayor cantidad de jugo proveniente de la pulpa, mazorcas de gran tamaño con mayor número de semillas (se han reportado mazorcas con más de 60 semillas), y mayor cantidad de flores, lo cual ayuda a mayores tasas de polinización.

1.3 JUSTIFICACIÓN

El agrocultivo de cacao sustenta la industria chocolatera, farmacéutica y cosmética, ubicándolo como un cultivo con mayor importancia económica, social y ecológica. Sin embargo, la presencia de enfermedades fungosas como la moniliasis y la mancha negra, han disminuido la producción de cacao en los estados productores de México (Solís-Bonilla *et al.*, 2015). En el estado de Tabasco, la moniliasis ha limitado las cosechas, reduciendo el número de plantaciones. Por lo anterior, la demanda de material genético resistente y tolerante a fitopatógenos ha llevado a desarrollar estrategias y técnicas agronómicas, que permitan reducir los efectos nocivos de las enfermedades y promuevan la liberación de variedades genéticas que cumplan las necesidades de los productores y del mercado (Hernández-Gómez *et al.*, 2015).

Se busca incrementar el número de plantaciones de cacao, mediante la liberación de genotipos que brinden calidad a los productores. Esto depende de las características agronómicas de cada genotipo, entre las cuales destacan mayor índice de producción, tamaño de frutos atractivos para el mercado comercial y resistencia a distintos factores atípicos presentes en la sanidad del cultivo (Barrón-García *et al.*, 2018). Desde el punto de vista agronómico, para el establecimiento y manejo de plantaciones de cacao, es importante considerar los factores ambientales y su relación con el crecimiento, la floración, la fructificación y la aparición de algunas enfermedades que causan daño a la planta y a las cosechas (López-Báez *et al.*, 2012). Tales características, son de gran utilidad, para seleccionar genotipos a propagar, con el fin de garantizar más producción y menos pérdidas.

En las últimas décadas, el INIFAP ha desarrollado genotipos a base de cruzas mediante la selección de características agronómicas deseables. La generación de híbridos resistentes a las condiciones ambientales de la región, la selección de plantas que cuenten con capacidad de generar mayor número de mazorcas y que cuenten con calidad para aprovecharse a través de múltiples formas. Por lo anterior, el objetivo principal de esta investigación fue la de evaluar por técnica “*in vitro*” e “*in vivo*” la resistencia a la moniliasis de diez genotipos de cacao procedente del campo experimental del INIFAP, en Huimanguillo, Tabasco. Así mismo, la de caracterizar la morfofisiología y las cualidades de los índices de rendimiento.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

Evaluación de la capacidad de resistencia a la moniliasis *M. royeri* y el rendimiento de diez genotipos del cacao *T. cacao* L., establecidos en el Campo experimental del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Huimanguillo, Tabasco, México.

1.4.2 Objetivos Específicos

- 1) Evaluación de una alternativa para inoculación “*in vitro*” de *M. royeri* sobre sustratos de frutos de cacao.
- 2) Evaluación “*in vitro*”, “*in vivo*” y silvestre de la capacidad de resistencia a *M. royeri* en diez genotipos de cacao.
- 3) Determinar el índice de floración, frutos prendidos, frutos cosechados e índices de semilla y fruto en diez genotipos del cacao.
- 4) Caracterizar fenotípicamente los frutos y semillas en diez genotipos del cacao.

1.5 REFERENCIAS

- Arguello, C.O. (2000). Manejo integrado de la monilia en cacao (*Theobroma cacao* L.) en Santander. En Ramírez, N. y Mejía, L.A. (Eds.), Tecnología para el mejoramiento del sistema de producción de cacao. Colombia: CORPOICA: 74-84 pp.
- Avalos, A., Porres, M.A., Poll, E., Dardón, E., Arévalo, L.A. y Rosales, J.A. (2012). Caracterización agronómica, botánica y molecular de clones de cacao tipo criollo y mejorado de la zona sur de Guatemala. Revista de la Universidad del Valle de Guatemala, 24: 99-104.
- Avendaño-Arrazate, C.H., Ogata-Aguilar, N., Gallardo-Méndez, R.A., Mendoza-López, A., Aguirremolina, J.F. y Sandoval-Esquivel, A. (2010). Cacao Diversidad en México. Publicación especial N. 1. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Pacífico Sur. Campo Experimental Rosario Izapa. Tuxtla Chico, Chiapas, México, 86 p.
- Avendaño-Arrazate, C.H., Villarreal-Fuentes, J.M., Campos-Rojas, E., Gallardo-Méndez, R.A., Mendoza-López, A., Aguirre-Molina, J.F., Sandoval-Esquivel, A. y Espinosa-Zaragoza, S. (2011). Diagnóstico del cacao en México. Texcoco, Estado de México. Universidad Autónoma de Chapingo.
- Azpeitia-Morales, A., López A.P. y Mirafuentes H.F. (2008). Influencia del 2,4-D en la embriogénesis somática en dos híbridos promisorios de cacao (*Theobroma cacao* L.). En: Memorias de la XX Reunión Científica-Tecnológica Forestal y Agropecuaria Tabasco, Villahermosa, Tabasco, México. 383-390.
- Barrón-García, Y.P., Azpeitia-Morales, A., López-Andrade, P.A. y Mirafuentes-Hernández, F. (2014). Metodología adaptada para la formación de híbridos F1 de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Tabasco. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 5(5): 765-777.
- Butler, D. y Umaharan, P. (2004). Working with cocoa germplasm. Cocoa Futures: A Source Book of Some Important Issues Confronting the Cocoa Industry, 54-64.
- Córdova-Ávalos V., Sánchez-Hernández M., Estrella-Chulím N.G., Macías-Layalle A., Sandoval-Castro E., Martínez-Saldaña T. y Ortiz-García 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.
- Cubillos, G. (2017). Frosty Pod Rot, disease that affects the cocoa (*Theobroma cacao*) crops in Colombia. Crop protection, 96, 77-82.
- Cueto M.J., Aguirre M.J.F., Zamarrita C.A., Iracheta D.L. y Olivera de los Santos A. (2007). El Mejoramiento del Cultivo de Cacao (*Theobroma cacao* L.) en México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Rosario Izapa, Tuxtla Chico, Chiapas, México. 250 p.
- De la Cruz-Landero, E., Córdova-Avalos, V., García-López, E., Bucio-Galindo, A. y Jaramillo-Villanueva, J.L. (2015). Manejo Agronómico y Caracterización Socioeconómica del Cacao en Comalcalco, Tabasco. Forestal Veracruzana, 17(1). 33-40.

- De la Cruz M., Whitkus R., Gómez-Pompa A. y Mota-Bravo L. (1995). Origins of cacao cultivation. *Nature*, 375:542 – 543.
- Enriquez-C., G.A. (1996). Selección y estudio de los caracteres de la flor, la hoja y la mazorca, útiles para la identificación y descripción de cultivares de cacao. Tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA. Costa Rica.
- Evans H. C. (2002). Invasive neotropical pathogens of tree crops. *Tropical Mycology*. 2:(1) 83-112.
- García Y.M. (1994). El cacao: origen, cultivo e industrialización en Tabasco. Centro de Investigación de Ciencias Agropecuarias: 14-15.
- González, L.C. y Vidal-Vega, E. (1992). Evaluación de la reacción a moniliasis en clones e híbridos de cacao en Rio Frio, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 16(1): 13-22.
- Guiracocha, G., Harvey. C., Somarriba, E., Krauss, U. y Carrillo, E. (2001). Conservación de la biodiversidad en sistemas agroforestales con cacao y banano en Talamanca, Costa Rica. *Agroforesteria en las Américas*, 8(30). 7-11.
- ICCO Quarterly Bulletin of Cocoa Statistics. (2019, 11 de septiembre). *Vol. XLIV, No. 2, Cocoa year 2017/2018*. Recuperado de <https://www.icco.org/statistics/production-and-grindings/production.html>
- Jaimes, Y. y Aranzazu, F. (2010). Manejo de las enfermedades del cacao (*Theobroma cacao L.*) en Colombia con énfasis en monilia (*Moniliophthora roreri*). Colombia: CORPOICA.
- Kieck, J. S., Zug, K. L., Yupanqui, H. H., Aliaga, R. G., & Cierjacks, A. (2016). Plant diversity effects on crop yield, pathogen incidence, and secondary metabolism on cacao farms in Peruvian Amazonia. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 222, 223-234.
- Lanaud C., Risterucci A.M., Pieretti I., Falque M., Bouet A. y Lagoda P.J.L. (1999). Isolation and characterization of microsatellites in *Theobroma cacao L.* *Molecular Ecology*. 8: 2141–2152.
- López-Báez, O., González, O., Lee, V., Alvarado, A., Ramírez, S.I., Ramírez, M., Méndez, J.L. y Gehrke, M. (2006). Diagnóstico y Técnicas para el manejo de la moniliasis del cacao. México: Fundación PRODUCE Chiapas A. C., Universidad Autónoma de Chiapas y Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- López-Báez, O., Ramírez-González, S.I., Espinosa-Zaragoza, S., Moreno-Martínez, J.L., Ruiz-Bello, C., Villareal-Fuentes, J.M. y Rojas, J.L. (2015). Manejo Agroecológico de la nutrición en el Cultivo del Cacao. Tuxtla Gutiérrez, México. Universidad Autónoma de Chiapas.
- Martín, L. M. M., y Cabello, J. B. A. 2003. Técnicas en mejora genética forestal.
- Motamayor J.C., Risterucci A.M., López P.A., Ortiz C.F., Moreno A. y Lanaud C. (2002). Cacao domestication I: the origin of the cacao cultivated by the Mayas. *Heredity*, 89:380–386.
- Motamayor, J.C., Lachenaud, P., Wallace, J., Loor, G., Kunh, D.N., Brown, J.S. y Schnell, R.J. (2008). Geographic and genetic population differentiation of the Amazonian chocolate tree. *PLoS ONE* 3(10): e3311.
- Ogata, N. (2007). El cacao. *Biodiversitas* 72:1-5.

- SIAP. (2019, 11 de septiembre). *Servicio de información agroalimentaria y pesquera*. Recuperado de http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/AvanceNacionalSinPrograma.do
- Salas-Tornes, J. y Hernández-Sánchez, L. Y. (2015). Cacao, una aportación de México al mundo. *Revista Ciencia*. 66(3): 38-39.
- Solís-Bonilla, J.L., Ruíz, C.P.A. y Zamarripa, C.A. (2009). Mejoramiento genético para resistencia, rendimiento y calidad agroindustrial del cacao (*Theobroma cacao* L.) en México *In*: Memoria XLV Reunión Nacional de Investigación Agrícola y Forestal. Saltillo, Coahuila, México. 142 p.
- Solís-Bonilla, J.L., Zamarripa-Colmenero, A., Pecina-Quintero, V., Garrido-Ramírez, E., y Hernández-Gómez, E. (2015). Evaluación agronómica de híbridos de cacao (*Theobroma cacao* L.) para selección de alto rendimiento y resistencia en campo a moniliasis. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 6(1): 71-82.
- Suarez, C. y Delgado, J. C. (1993). Moniliasis del cacao. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Archivo historico.
- Phillips-Mora, W. y Castillo, J. (1999). Artificial inoculations in cacao with the fungi *Moniliphthora roreri* (Cif. Par) Evans et al. and *Phytophthora palmivora* (Butl) Butler. En: Semana científica “Logros de la investigación para el nuevo milenio”. Turrialba, Costa Rica. 32-35.
- Phillips-Mora, W., Castillo, J., Krauss, U., Rodríguez, E. y Wilkinson, M.J. (2005). Evaluation of cacao (*Theobroma cacao*) clones against seven Colombia isolotes of *Moniliophthora roreri* from four pathogen genetic groups. *Plant Pathology* 54: 483-490.
- Phillips-Mora, W., Coutiño, A., Ortiz, C.F., López, A.P., Hernández, J. y Aime, C. 2006. First report of *Moniliophthora roreri* causing frosty pod rot (moniliasis disease) of cocoa in México. *Plant Pathology* 55: 584.
- Phillips-Mora, W. (2009). Catálogo. Enfermedades del Cacao en Centroamérica. Serie Técnica. Costa Rica: CATIE.
- Ramírez-González, S.I. (2008). La moniliasis un desafío para lograr la sostenibilidad del sistema cacao en México. *Tecnología en Marcha* 21(1): 97-110.

Capítulo II

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Localización Geográfica y Descripción de las Plantaciones de Cacao

Los diez genotipos de *T. cacao*, que fueron evaluados, se encuentran establecidos en el Campo Experimental Huimanguillo del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en el Estado de Tabasco, México, en el km 1 de la carretera Huimanguillo-Cárdenas (17°51'04.52" N y 93°23'46.96" O, a 20 msnm) (**Figura 2**), a cargo del Dr. Alfonso Azpeitia Morales, investigador titular del citado centro. Los genotipos fueron plantados en dos hectáreas en el citado campo experimental, desde aproximadamente 20 años (**Cuadro 1**). La zona se caracteriza por el clima cálido húmedo, con suelos tipo gleysoles, acrisoles y fluvisoles (Barrón-García *et al.* 2014). La evaluación de los materiales se llevó a cabo en diferentes fases y acorde a lo que se menciona a continuación.

2.2 Aislamiento y Cultivo “*In Vitro*” de *M. roreri*

Se recolectaron frutos maduros de cacao infectado con el patógeno *M. roreri* y se colocaron en bolsas esterilizadas de plástico. La desinfección de los frutos de cacao, para el aislamiento del hongo, se realizó en base al protocolo descrito por Barros y Sánchez (1979). Los frutos se lavaron con agua corriente, seguido de alcohol al 60% por un minuto (min) y se enjugaron tres veces con H₂O destilada y estéril. Luego se lavaron con hipoclorito de sodio al 1% por un min y se volvieron a enjugar tres veces con H₂O destilada estéril; y se dejaron secar en la campana de flujo laminar; hasta que se abrieron longitudinalmente con un cuchillo esterilizado para extraer pequeños trozos del mesocarpio, los cuales fueron desinfectados con las mismas condiciones empleadas para el fruto. Los fragmentos de cascara infectada con moniliasis, fueron transferidos a la región central de cajas Petri preparadas con medio PDA, elaborado a base de infusión de papa 4.0 gramos/litro (gr/L).



Figura 2. Imagen satelital de alta resolución, que muestra la localización de las instalaciones del INIFAP-Campo experimental Huimanguillo y de las plantaciones de cacao (Fuente: Google Earth, 2020).

Cuadro 1. Descripción de los genotipos de cacao evaluados en el presente estudio, el origen y resistencia a patógenos.

Genotipo ♀ X ♂	Características	
	♀	♂
<p><i>UF613 X IMC67</i> Nombre de línea genética: Caehui Origen: Tabasco, México</p>	<p>Origen: Zona Atlántica, Costa Rica Resistencia a patógenos: moderadamente resistente a moniliasis Fuente: Enríquez y Soria, (1967); García-Carrión, (2010).</p>	<p>Origen: Iquitos, Perú Resistencia a patógenos: moderadamente susceptible a moniliasis Fuente: Enríquez y Soria, (1967).</p>
<p><i>UF613 X Pound7</i> Nombre de línea genética: Chibolón Origen: Tabasco, México</p>	<p>Origen: Zona Atlántica, Costa Rica Resistencia a patógenos: moderadamente resistente a moniliasis Fuente: Enríquez y Soria, (1967).</p>	<p>Origen: Nanay, Perú Resistencia a patógenos: susceptible a moniliasis Fuente: Enríquez y Soria, (1967).</p>
<p><i>CC266 X IMC67</i> Nombre de línea genética: K'in Origen: Tabasco, México</p>	<p>Origen: Resistencia a patógenos: moderadamente susceptible a moniliasis Fuente: Phillips-Mora, (1996).</p>	<p>Origen: Iquitos, Perú Resistencia a patógenos: moderadamente susceptible a moniliasis Fuente: Enríquez y Soria, (1967).</p>
<p><i>UF613 X IMC67</i> Nombre de línea genética: Supremo Origen: Tabasco, México</p>	<p>Origen: Zona Atlántica, Costa Rica Resistencia a patógenos: moderadamente resistente a moniliasis Fuente: Enríquez y Soria, (1967).</p>	<p>Origen: Iquitos, Perú Resistencia a patógenos: moderadamente susceptible a moniliasis Fuente: Enríquez y Soria, (1967).</p>
<p><i>UF29 X SPA9</i> Nombre de línea genética: Chontal Origen: Tabasco, México</p>	<p>Origen: Zona Atlántica, Costa Rica Resistencia a patógenos: susceptible a moniliasis Fuente: Enríquez y Soria, (1967).</p>	<p>Origen: Colombia Resistencia a patógenos: susceptible a moniliasis Fuente: Enríquez y Soria, (1967).</p>
<p><i>RIM76A X EET400</i> Nombre de línea genética: Mestizo Origen: Tabasco, México</p>	<p>Origen: México Resistencia a patógenos: sin información Fuente:</p>	<p>Origen: Pichilingue, Ecuador Resistencia a patógenos: susceptible a moniliasis Fuente: Enríquez y Soria, (1967).</p>

Genotipo	Características
<i>ICS95</i>	Origen: Trinidad y Tobago Resistencia a patógenos: resistente a moniliasis Fuente: Enríquez y Soria, (1967); Phillips-Mora <i>et al.</i> (2012).
<i>Criollo Carmelo</i>	Origen: México Resistencia a patógenos: baja resistencia a moniliasis Fuente: Córdova-Avalos <i>et al.</i> , 2016
<i>PA169</i>	Origen: Perú Resistencia a patógenos: resistencia a moniliasis Fuente: González y Vidal-Vega, (1992).
<i>UF273</i>	Origen: Costa Rica Resistencia a patógenos: resistencia a moniliasis Fuente: González y Vidal-Vega, (1992); Arciniegas, (2005)

♀=planta hembra ♂=planta macho; UF= United Fruit; IMC= Iquitos Mixed Calabacillo; Pound= Seleccionado por Pound; CC= Centro de Cacao, SPA= Selection Palmira, RIM= Rosario Izapa México; EET=Estación Expeimental Tropical; ICS= Imperial College Selection; PA= Parinari.

dextrosa 20.0 gr/L y agar 15.0 gr/L, con pH de 5.6 ± 0.2 , esterilizado a 121.0°C por 15 min. Las cajas Petri, se incubaron sin luz a $25.0 \pm 1.0^\circ\text{C}$ por 10 días; de las colonias maduras, que fueron cultivadas en PDA, se tomó un fragmento de 5 mm de diámetro; y se trasladaron a la región central de cajas Petri con el medio V8 clarificado (300 ml/L de jugo V8, 4.5 gr/L CaCO_3 y 7.5 gr/L gr de agar; esterilizado a 121.0°C por 15 min). Luego, se incubaron por 11 días a $25.0 \pm 1.0^\circ\text{C}$, con 12 h luz/oscuridad para favorecer la esporulación (Phillips, 1996).

2.2.1 Medios de Soporte para el Cultivo del Hongo *M. roleri*

Se evaluaron dos medios de soporte para cultivar y evaluar el crecimiento “*in vitro*” del hongo, conforme a un diseño experimental completamente al azar se realizaron los siguientes procedimientos experimentales:

1) El medio infusión de cascara de cacao (MIC): Se preparó a base de cascara de frutos de cacao criollo Carmelo (**Cuadro 1**) en estadio maduro; desinfectadas conforme al procedimiento señalado en el apartado anterior. Luego se utilizó 400 gr de cascara de cacao, que se colocó en un vaso de precipitado con un litro (L) de agua estéril y se calentó hasta el punto de ebullición por 20 min; inmediatamente se filtró en una tela (gasa medica) de algodón estéril tipo malla de 20x12 centímetro (cm); se dejó reposar y enfriar hasta los 30.0°C . Después, se agregó 7.5 gr/L de agar, aforándose a un L con H_2O estéril, la mezcla se esterilizó a 121.0°C por 15 min. Posteriormente, de la mezcla se vació 15 mililitros (ml) de MIC, bajo condiciones de esterilidad en 60 cajas Petri (de 9 cm) individuales, empleando una campana de flujo laminar, lugar donde se dejó gelificar el MIC a temperatura ambiente. Finalmente, fueron inoculadas 30 cajas Petri, colocando en la región central un fragmento de 5 mm de diámetro de la colonia madura del hongo. Mientras que el resto de 30 cajas Petri, no fueron inoculadas con el hongo y se emplearon como el medio control (MC). Todas las cajas Petri (60), fueron incubadas a $25.0 \pm 1.0^\circ\text{C}$ y se evaluó diariamente por 14 días, la ocurrencia (presencia o ausencia) del hongo en cada caja Petri en condiciones de esterilidad.

2) El medio triturado de cascara de cacao (MTC), se preparó con cascaras de cacao criollo Carmelo maduro, que se limpió y desinfecto como se ha señalado anteriormente. Se utilizaron 400 gr de cascara, que se trituraron en una licuadora convencional; previamente desinfectada con alcohol al 70% y esterilizada con luz ultravioleta por 30 min; el producto se aforo a 1.0 L con agua destilada estéril, después se incorporó 7.5 gr/L de agar. La mezcla se esterilizó a 121.0°C por 15 min y de la mezcla se vació 15 ml de MTC en 60 cajas Petri (9 cm) individuales, empleando una campana de flujo laminar; y el MTC se dejó gelificar bajo condiciones de esterilidad. Finalmente, fueron inoculadas 30 cajas Petri, colocando en la región central un fragmento de 5 mm de diámetro de la colonia madura del hongo. Mientras que el resto de cajas Petri (30), no fueron inoculadas y se emplearon como control (MC). Todas las cajas Petri (60), fueron incubadas a $25.0 \pm 1.0^{\circ}\text{C}$ por 14 días y se evaluó diariamente la ocurrencia (presencia o ausencia) del hongo.

2.2.2 Evaluación de los Genotipos de Cacao por Inoculación “*In vitro*” en MTC

El medio de triturado de cascara de cacao (MTC), fue seleccionado en base a los resultados del apartado anterior. Los experimentos consistieron en un diseño completamente al azar y para preparar el medio por línea genética, se colecto diez frutos maduros y sanos por genotipo (**Cuadro 1**), y por fruto se empleó 40 gr/L de cascara. El MTC, se preparó siguiendo el protocolo anterior, por genotipo se vació 15 ml de la mezcla de modo individual en 30 cajas Petri estériles (9 cm), se inocularon por transferencia de un fragmento de 5 mm de colonia madura del hongo en la región central de cada caja Petri, se incubaron a $25.0 \pm 1.0^{\circ}\text{C}$ por 10 días. A partir del día cero y cada 24 hr, se observó el crecimiento radial; para esto, sobre una hoja milimétrica con una regla graduada en milímetro se colocó individualmente las cajas Petri y con una cámara fotográfica (Canon® PowerShot ELPH180), se tomó una fotografía diariamente en cada caja Petri. Para calcular el área de crecimiento diario, de los diez genotipos evaluados, se importó cada imagen con formato JPG a través del programa ZEN/2011 (Carl Zeiss® Microscopy GmbH, 2011) y con las herramientas de medición se estimó el crecimiento radial por día de registro.

2.2.3 Evaluación de los Genotipos de Cacao por Inoculación de Frutos “*In Vivo*”

Los inóculos fueron preparados a partir de los aislados previos del hongo y en estadio maduro. La suspensión de zoosporas, se preparó por adición de 20 ml de H₂O estéril a cada aislado de *M. royeri*, siguiendo a Phillips-Mora *et al.* (2005). La concentración de esporas, se determinó por conteo en la cámara Neubauer y ajustando a 1.2X10⁴/ml (12,000/ml) con ello se inocularon por cada genotipo (**Cuadro 1**) 30 frutos saludables de color verde a rojizo, de dos meses de desarrollo con longitud de 90-120 mm (López *et al.*, 2018). Para la inoculación, se utilizó un atomizador previamente esterilizado y del mismo se aplicó 0.5 ml de la preparación inoculante sobre el fruto completo, luego se colocó una torunda de algodón hidratada con 50 ml de agua destilada estéril y durante dos días se cubrieron con una bolsa transparente estéril de plástico resistente a la intemperie, con el objeto de crear una cámara húmeda para el inóculo. La resistencia “*in vivo*”, se evaluó nueve semanas después de la infección por observación de las características externas e internas de los frutos infectados con moniliasis; y basado en la sintomatología propuesta por Evans *et al.* (2003). Las características consideradas fueron externas como son presencia de protuberancias o tumores en la cascara, puntos aceitosos café oscuro, que incrementan de tamaño con el avance de la enfermedad hasta producir micelio blanquecino con esporas maduras; internamente se identificó la presencia de semillas y mucilago en diferentes estadios de descomposición con olor a fermentos (Evans *et al.*, 2003).

2.2.4 Evaluación de los Genotipos de Cacao por Inoculación Natural o Silvestre

Los frutos de diez genotipos (**Cuadro 1**) de cacao que fueron infectados de moniliasis por inoculación natural o silvestre; fueron evaluados dos veces al año durante el 2016, 2017 y 2018. La identificación de los frutos enfermos con moniliasis siguió los criterios previamente descritos de Evans *et al.* (2003). La infección se estimó por cada genotipo de acuerdo a Solís *et al.* (2015), considerando el número de frutos cosechados y el número de frutos enfermos; mediante la aplicación de la siguiente fórmula, se obtuvo el porcentaje de incidencia:

$$\% \text{ de Incidencia} = \frac{\text{Total de frutos enfermos}}{\text{Total de frutos cosechados}} (100)$$

2.3 Floración y Fructificación

Se registraron las floraciones ocurridas en cinco arboles de cacao seleccionados al azar por genotipo de cacao y semanalmente durante un año se registraron el total de flores prendidas, flores caídas, chilillos prendidos y frutos cosechados. Para ello se seleccionaron por árbol tres partes, cada sección fue de 1 m y en los lugares seleccionados se colocaron mallas sombra de forma cuadrada con una medida de 1m² para la colecta de flores y chilillos abortados.

2.3.1 Parámetros Estimados

Con la información obtenida del apartado anterior se estimaron los siguientes índices.

2.3.1.1 Determinación del Índice de Floración

Se registró el número de flores prendidas al árbol y flores caídas semanalmente por un año calendario en cada árbol de muestreo por genotipo. Se obtuvo el total de flores (TF) por cada genotipo, esto mediante la siguiente ecuación:

$$IFT = \frac{fp + fc}{N} (100)$$

Donde:

IFT= Índice de floración total

fp= Total de flores prendidas por mes

fc= Total de flores caídas por mes

N= Total de flores durante un año de muestreo

100= conversión porcentual

2.3.1.2 Determinación del Índice de Flores prendidas

Se evaluó el número de flores prendidas por medio de chilillos encontrados en cada sección muestreada del árbol. Con la información obtenida se estimó el número de flores polinizadas.

$$IFP = \frac{Chp}{N} (100)$$

Donde:

IFP= Índice de Flores polinizadas (prendimiento de flor)

Chp= Chilillos prendidos por mes

N= Total de flores durante un año de muestreo

100= conversión porcentual

2.3.1.3 Determinación del Índice de Frutos Cosechado

Para conocer el número de frutos cosechados al término de su madurez fisiológica, se tomó en cuenta el número total de flores, chilillos prendidos y frutos cosechados.

$$IFC = \frac{Chp - Frc}{N} (100)$$

Donde:

IFC= Índice de frutos cosechados

Chp= Chilillos prendidos por mes

Frc= Frutos cosechados en un mes de muestreo

N= Total de flores durante un año de muestreo

100= conversión porcentual

2.4 Caracterización Fenotípica de Frutos y Semillas

Para la caracterización de los genotipos estudiados se utilizaron los descriptores (Cuadro 2) empleados por Phillips-Mora *et al.* (2012) y Avendaño-Arrazate *et al.* (2014).

Cuadro 2. Descriptores fenotípicos de frutos y semillas.

Descriptores	
Fruto	Color del fruto maduro
	Forma del fruto
	Forma del ápice
	Forma de la base
	Superficie del mesocarpo
	Longitud
	Diámetro
	Peso del fruto
	Peso de las semillas
	Numero de semillas
	Semilla
Forma	
Longitud	
Diámetro	
Espesor	
Peso con testa	
Peso sin testa	
Forma del corte transversal	

2.4.1 Caracterización Fenotípica del Fruto

Se recolectaron los frutos maduros con un mínimo de 50 frutos provenientes de cada variedad híbrida de cacao, cosechados por un periodo de 12 meses. Los instrumentos que se utilizaron como apoyo para la toma de los datos son un vernier, balanza de precisión y regla graduada. En el laboratorio de Biología Molecular se tomaron los datos descriptivos de los frutos (**Cuadro 2**):

2.4.2 Caracterización Fenotípica de Semillas

A los frutos que se evaluaron en el apartado anterior se les extrajo las semillas, y se tomaran al azar tres semillas, las semillas restantes son puestas a fermentar y secadas posteriormente. Para la medición de cada semilla se utilizó un vernier, balanza de precisión y un escalpelo. Se determino las siguientes características (**Cuadro 2**).

2.5 Determinación de los Índices de Rendimiento (Semilla y Fruto)

A los frutos maduros que se usaron para la caracterización fenotípica se les extrajo las semillas y se pesó con todo y mucílago (peso húmedo), se evitó incluir la placenta y cualquier otra materia extraña. Con esto se determinó los índices de fruto y semilla en cada variedad híbrida de cacao. Para esto se tuvo que seguir el siguiente procedimiento:

A) Fermentación de las Muestras: Cada muestra por variedad se colocó en bolsas de plástico dentro de las cuales se introdujo una etiqueta plástica la cual estuvo marcada con lápiz de grafito indicando los siguientes datos: fecha, variedad y cantidad de frutos por muestra, se cerró haciéndole un nudo a la misma bolsa. Se utilizó el método de caja, que consistió en fermentar la masa dentro de una caja de unicel. En todos los casos el proceso de fermentación duro 8 días.

B) Secado de las Muestras: Concluida la fermentación, se extrajeron de las bolsas las semillas y se colocaron en forma separada a secar a la intemperie. El propósito del

secado es que los granos alcancen una humedad del 7.5%. Durante todo este proceso las semillas se removieron hasta su secado final. Posteriormente se colocaron en bolsas plásticas adecuadamente rotuladas.

2.5.1 Determinación del Índice de Semilla

Para determinar el índice de semilla, se seleccionaron al azar 100 semillas secas por variedad de cacao o línea genética. El índice de semilla comprende el peso promedio de las semillas.

2.5.2 Determinación del Índice de Fruto

Mientras que el índice de fruto, indica el número de frutos necesarios para obtener un kilo de cacao seco, esta se determinó a partir del peso total de las semillas secas obtenidas de los frutos colectados por genotipo; para ello se utilizó la siguiente formula:

$$IF = \frac{NF}{Ptss(g)}$$

Donde:

IF= índice de fruto

NF= Número de fruto recolectados

Ptss= Peso total de semillas secas

2.6 Análisis Estadísticos

Los datos generados de todas las variables indicadas en el estudio, se promediaron y también se les calculó la desviación estándar con las herramientas del programa Microsoft Excel 2011©. En algunos casos los valores se expresaron en índices o porcentajes. Posteriormente, los datos correspondientes a cada variable, se arreglaron en una base de datos para ser explorados mediante las pruebas de homogeneidad y homocedasticidad.

Posteriormente, se decidió sobre el empleo de estadísticos paramétricos o no paramétricos; mediante la prueba de Kruskal-Wallis o por el análisis de varianza (ANVA) de una vía y al haber diferencias significativas, se empleó la comparación múltiple de Tukey o Dunn's con $P \leq 0.05$ de confianza, esto según correspondió a cada dato. Así mismo, todos los análisis se realizaron con el programa Statgraphics Plus 5.0 (Statistical Graphics Corp. 1994-2000©) y Sigma Plot 12.3.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

2.7 REFERENCIAS

- Arciniegas Leal, A. M. (2005). Caracterización de árboles superiores de cacao (*Theobroma cacao* L.) seleccionados por el programa de mejoramiento genético del CATIE.
- Avendaño A. C. H., J. Cueto M., A. Mendoza L., P. A. López A., A. Sandoval E., y J. F. Aguirre M. 2014. Manual gráfico de descriptores varietales de cacao (*Theobroma cacao* L.). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Rosario Izapa. México. 72 p.
- Barrón-García, Y. P., Azpeitia-Morales, A., López-Andrade, P.A. y Mirafuentes-Hernández, F. (2014). Metodología adaptada para la formación de híbridos F1 de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Tabasco. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 5(5), 765-777.
- Barros O. y Sánchez J. (1979). Un método de aislamiento del hongo *Moniliophthora roreri*, Cif y Par. Cacaotero Colombiano. Información técnica No. 11. Colombia. 40p.
- Córdova A. V., Guerrero P. A., Bucio G. A., Córdova A. A., Hinojosa C. J. A., Izquierdo R. F. y Hernández E. C. (2016). Escuela de producción orgánica de cacao criollo (*Theobroma cacao* L. var. Carmelo) en Tabasco, México. Agroproductividad 9(12): 63-67.
- Enríquez G. A y Soria J. 1967. Study of certain leaf characteristics of cacao (*Theobroma cacao* L.). Tropical Agriculture (Trinidad) 42 (2): 117-123.
- Evans H. C., Holmes K. A. y Reid A. P. (2003). Phylogeny of the frosty pod rot pathogen of cocoa. Plant Pathology 52(4): 476-485.
- García-Carrión, L. F. (2010). Catálogo de cultivares de cacao del Perú. Ministerio de Agricultura, Comisión Nacional para el desarrollo y Vida sin Drogas.
- González L. C. y Vega E. V. (1992). Evaluación de la reacción a moniliasis en clones e híbridos de cacao en Rio Frio. Costa Rica. Agronomía Costarricense 16(1): 13-22.
- López HJG, López HLE, Avendaño ACH, Aguirre MJF, Espinosa ZS, Moreno MJL, Mendoza LA and Suárez VGM. 2018. Biología floral del cacao (*Theobroma cacao* L.); criollo, trinitario y forastero en México. Agroproductividad 11(9): 129-135.
- Phillips-Mora W. (1996). Studies at CATIE on moniliasis resistance (*Moniliophthora roreri* (Cif. & Par.) Evans *et al.*). In: international workshop on the contribution of disease resistance to cocoa variety improvement, 1999. Bahía, Brazil: Ingenic. 111-117 pp
- Phillips-Mora, W., Castillo, J., Krauss, U., Rodríguez, E. y Wilkinson, M.J. (2005). Evaluation of cacao (*Theobroma cacao*) clones against seven Colombia isolates of *Moniliophthora roreri* from four pathogen genetic groups. Plant Pathology 54, 483-490.
- Phillips-Mora, W. Arciniegas-Leal, y Mata-Quirós A. 2012. Catálogo de clones de cacao seleccionados por el CATIE para siembras comerciales. Costa Rica: CATIE. 70 p.

Capítulo III

TECHNIQUES TO EVALUATED RESISTANCE CAPACITY FROM *Theobroma cacao* L. TO MONILIASIS

TÉCNICAS PARA EVALUAR LA CAPACIDAD DE RESISTENCIA DE *Theobroma cacao* L. A LA MONILIASIS

3.1 RESUMEN

La moniliasis es una enfermedad provocada por el hongo *Moniliophthora roreri* que afecta el fruto de cacao, causando pérdidas a la producción de este cultivo. Actualmente, la generación de nuevos genotipos es opción para controlar la enfermedad. El objetivo de este estudio fue identificar los genotipos con resistencia y comparar métodos de inoculación “*In vitro*”, “*In vivo*” y silvestre. El hongo se aisló de frutos enfermos cultivados en medios papa dextrosa agar y V8 para utilizarlo en las inoculaciones “*in vitro*” e “*in vivo*”. En la inoculación “*in vitro*” se evaluaron por 14 días medios de soporte para el cultivo del hongo elaborados con cascara de cacao: medio triturado de cacao (MTC), medio infusión de cacao (MIC) y medio control (MC); donde se seleccionó a MTC como medio óptimo. En la inoculación “*in vivo*” se infectaron frutos de dos meses de edad y se registró su ocurrencia nueve semanas después y la inoculación silvestre se hizo mediante el registro de frutos infectados naturalmente entre los años 2016-2018. Se evaluaron diez genotipos de cacao y los resultados mostraron diferencias en ocurrencia y resistencia expresada, obteniendo que, los genotipos con menores porcentajes de ocurrencia fueron Chontal, K'in, Caehui, UF273 y PA169.

Palabras clave adicionales: “*in vitro*”, “*in vivo*”, cacao, evaluación, hongo, genotipos.

3.2. INTRODUCCIÓN

El hongo *Moniliophthora roreri*, es una enfermedad que ha venido destruyendo los cultivos de cacao en América Latina; este patógeno tiene efectos alarmantes, porque en los países en que se ha propagado; las plantaciones sufren daño; afectando la economía de los agricultores (Hernández *et al.*, 2015; Solís *et al.*, 2015). El citado patógeno, tiene amplio rango de distribución en el trópico, debido a las características que presenta el ciclo de vida, favorecido por la humedad y el exceso de sombra (Sánchez y Garcés, 2012; Bailey *et al.*, 2018).

En México, la moniliasis ha afectado también las plantaciones de cacao desde el 2005, provocando pérdidas de 30-100%, lo que ha conducido al derribo y abandono de las plantaciones (Phillips *et al.*, 2006; Barrón *et al.*, 2014). Para el control, se han aplicado podas continuas y vigilancia de la humedad en los cultivos, sin resultados favorables (Correa *et al.*, 2014); por ello, hay demanda del desarrollo de técnicas de control eficaces contra la moniliasis; por ejemplo, el control químico (Torres *et al.* 2013), biológico (Bailey *et al.*, 2008; Lozada *et al.*, 2012; Tamayo *et al.*, 2016) y genético (Barrón *et al.* 2014; Azpeitia *et al.* 2017). Este último, es ecológico y económico (Guiracocha *et al.*, 2001), por ello existen programas de mejoramiento genético que buscan identificar y propagar genotipos capaces de tolerar la enfermedad.

Los nuevos genotipos de cacao, son valorados en base a la capacidad de resistencia, ante la moniliasis; en ello la inoculación de mazorcas “*in vivo*” en los cacaotales, mediante dispersión de conidios de *M. roreri*, es un método que se ha utilizado para evaluar la reacción de variedades susceptibles al hongo (Phillips *et al.*, 2005). Por otro lado, se ha propuesto la extracción de savia del floema y fluido embrionario, de frutos jóvenes de cacao, para conocer la capacidad de germinación de basidiosporas de la moniliasis; asociándolo a la resistencia o tolerancia al patógeno (Arévalo *et al.* 2005); de modo similar se ha propuesto el empleo de semillas y plántulas pregerminadas (Evans, 1981). Los métodos anteriores, han tenido diferentes oportunidades de empleo en la valoración de resistencia de las plantaciones de cacao; sin que se haya demostrado amplia utilidad durante su empleo, por ello, es necesario el desarrollo de métodos novedosa que permitan la fácil evaluación, reducción de costos y que den resultados confiables para el agricultor.

En la región sureste de México, el cacao es cultivado desde tiempos ancestrales y en las últimas décadas, la producción ha decaído por efectos de las enfermedades como es el caso específico de la moniliasis (Motamayor *et al.*, 2002; Ogata, 2007). Recientemente el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), campo experimental Huimanguillo, en Tabasco, México; se han venido desarrollando genotipos especiales de *T. cacao*; que teóricamente deben mostrar resistencia a la moniliasis; por ello es necesaria la evaluación, con el fin de identificar, seleccionar y propagar los de mayor resistencia; con el fin de apoyar programas de repoblación que incentiven su cultivo para elevar la producción regional del cultivo. Por lo anterior, el objetivo del presente estudio, fue desarrollar una alternativa novedosa de inoculación “*in vitro*” sobre sustratos del propio fruto para evaluar la resistencia de genotipos de cacao en relación con las técnicas de inoculación “*in vivo*” y silvestre, que se usan actualmente para conocer la resistencia del cacao ante el hongo de la moniliasis.

3.3 RESULTADOS

3.3.1 Medios de Soporte para el Crecimiento del Hongo *M. roreri*

La capacidad de crecimiento del hongo moniliasis sobre los soportes a base de cascara de cacao, se compararon y evaluó el crecimiento en porcentajes de ocurrencia; en ello se observó que el medio preparado a base de triturado de cascara de cacao (MTC), durante el primer día de evaluación mostró ocurrencia del 56.7% del hongo (**Figura 3**). Mientras que en el medio a base de infusión de cascara de cacao (MIC) y el medio control (MC) no hubo presencia de *M. roreri*, mostrando diferencias significativas en los tratamientos ($P=<0.001$) (**Figura 3**). En el tratamiento MTC, se observó crecimiento sostenido y exponencial del hongo hasta el día 14; mientras en el MIC, hubo ocurrencia del hongo hasta el día 12 de incubación con 53.3% de ocurrencia. En el MC, no hubo presencia de *M. roreri* u otro hongo o agente extraño a lo largo de los 14 días de incubación, lo que corrobora la esterilidad de los medios de soporte empleados.

En el día 14 los tratamientos MTC y MIC no presentaron diferencias significativas mostrando 100.0% de ocurrencia en las cajas Petri observadas; en MC en comparación con los tratamientos MIC y MTC mostraron diferencias significativas ($P=<0.001$). La relación del hongo y el tiempo de incubación entre los tratamientos empleados fue altamente significativa en MTC ($R^2=1.0$) y MIC ($R^2=0.9$), indicando que a mayores días de incubación mayor crecimiento del hongo (**Figura 3**). Por lo tanto, de acuerdo con el porcentaje de ocurrencia en los días de evaluación y el tiempo de incubación, el medio que se utilizó para evaluar los diez diferentes genotipos estudiados fue MTC.

3.3.2 Evaluación de los Genotipos de Cacao por Inoculación “*In Vitro*” en MTC

La ocurrencia del hongo moniliasis en las variedades de cacao (**Cuadro 1**), mostraron diferencias estadísticamente significativas ($P=<0.001$) (**Figura 4**). Donde el genotipo Criollo Carmelo presentó ocurrencia desde el primer día de evaluación del 60.0% y hasta el día diez del 100.0%. Posteriormente, se identificó que las variedades UF273, PA169, Supremo, Caehui, Chibolón, ICS 95 y Mestizo, tuvieron igual ocurrencia del hongo a partir

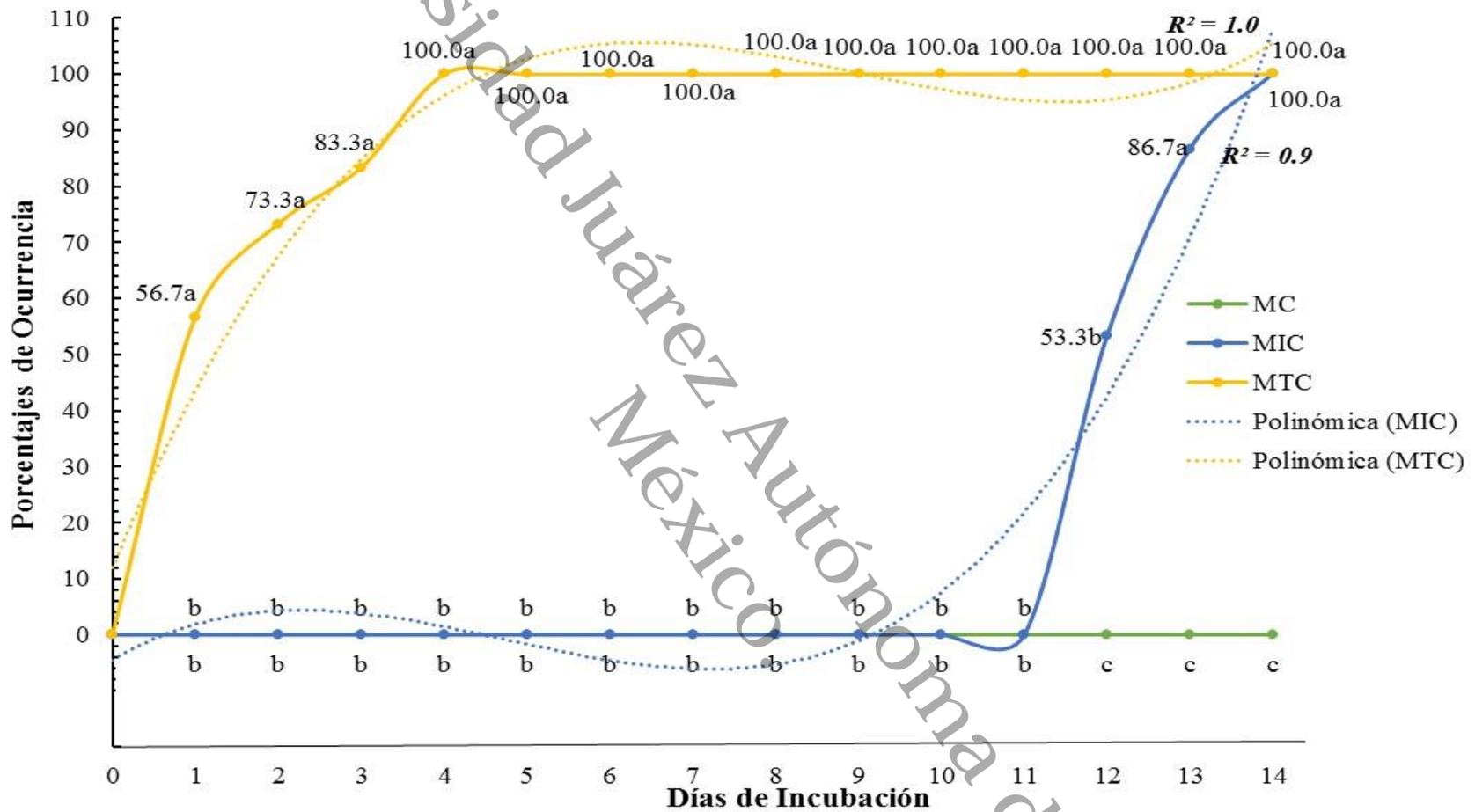


Figura 3. Crecimiento en porcentajes de ocurrencia del hongo *M. royeri* durante 14 días de incubación, en los medios de soporte a base de cascara de cacao criollo Carmelo: medio control (MC), medio de infusión de cascara de cacao (MIC) y medio de triturado de cascara de cacao (MTC). Letras iguales entre medios de soporte no son significativas $P < 0.05$, y en caso contrario las diferencias existen.

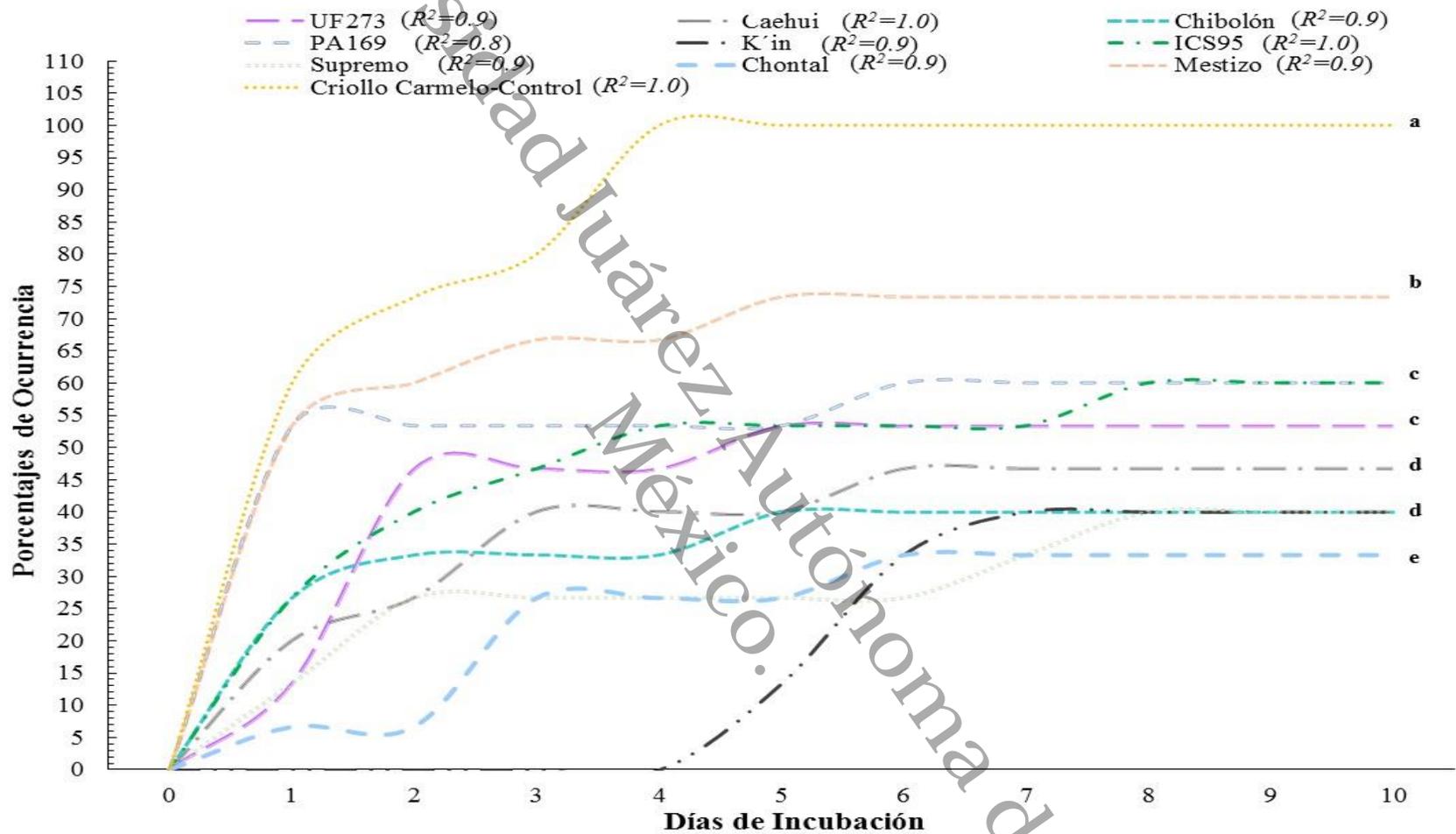


Figura 4. Crecimiento de diez días en porcentaje de ocurrencia de *M. royeri* en diez líneas genéticas del cacao (criollo Carmelo, Mestizo, PA169, ICS95, UF273, Caehui, Chibolón, Supremo, K'in y Chontal) con el medio de triturado de cascara (MTC). Letras iguales entre medios de soporte por genotipo no son significativos $P < 0.05$, y en caso contrario las diferencias existen.

del día primero de evaluación y hasta el día decimo, presentando diferentes porcentajes de ocurrencia. El genotipo K'in mostro ocurrencia del hongo a partir del quinto día del experimento, con el 13.3% de ocurrencia y hasta el día diez del 40.0%. Mientras que Chontal fue el genotipo con el menor porcentaje de ocurrencia del 33.3%. En los genotipos se encontró que la relación del hongo y el tiempo de incubación fue altamente significativa, donde el coeficiente de determinación para PA169 fue del $R^2= 0.8$, mientras que en UF273, Supremo, K'in, Chontal, Chibolón y Mestizo fue del $R^2= 0.9$, y Criollo Carmelo, Caehui e ICS95 con $R^2= 1.0$.

El porcentaje de crecimiento radial diario entre las variedades de cacao, señalan que el genotipo Criollo Carmelo mostro un crecimiento paulatino desde el primer día hasta el séptimo del 13.1-19.1%, donde incremento exponencialmente su crecimiento radial hasta el décimo día del 48.8%; contrario a este genotipo; la variedad K'in comenzó su crecimiento a partir del quinto día de evaluación del 2.7%, con crecimiento radial gradual hasta el décimo día del 1.2% (**Figura 5A**). Los genotipos restantes mostraron crecimiento radial diferente por cada día de evaluación, desde el primer a décimo día del experimento, presentando Chontal un porcentaje del 7.8-1.5%, Supremo del 7.6-2.3%, Chibolón del 10.8-33.0%, Caehui del 8.1-2.4%, UF273 del 12.3-4.4%, ICS95 del 19.7-2.3%, PA169 del 8.5-1.9% y Mestizo del 12.0-2.2%. El total de crecimiento radial por cada genotipo fue menor en K'in (1.5%) y Chontal (2.6%) y mayor en Criollo Carmelo (35.1%) y Chibolón (35.8%) (**Figura 5B**).

3.3.3 Evaluación de los Genotipos de Cacao por Inoculación de Frutos “*In Vivo*”

La ocurrencia de *M. royeri* en los diferentes genotipos mostro diferencias estadísticamente significativas ($P=<0.001$), donde el genotipo que presento la mayor presencia del hongo fue Criollo Carmelo con 48.8% y la resistencia expresada para este genotipo fue del 52.0%, contrario a este resultado la variedad Chontal presento 4.2% de ocurrencia, expresando una resistencia del 95.8% (**Figura 6**). Los genotipos restantes presentaron diferentes ocurrencias, Mestizo fue del 28.6%, PA169 del 33.3%, ICS95 del 26.7%, UF273 del 16.7%, Caehui del 28.6%, Chibolón del 25.0%, Supremo del 26.9% y

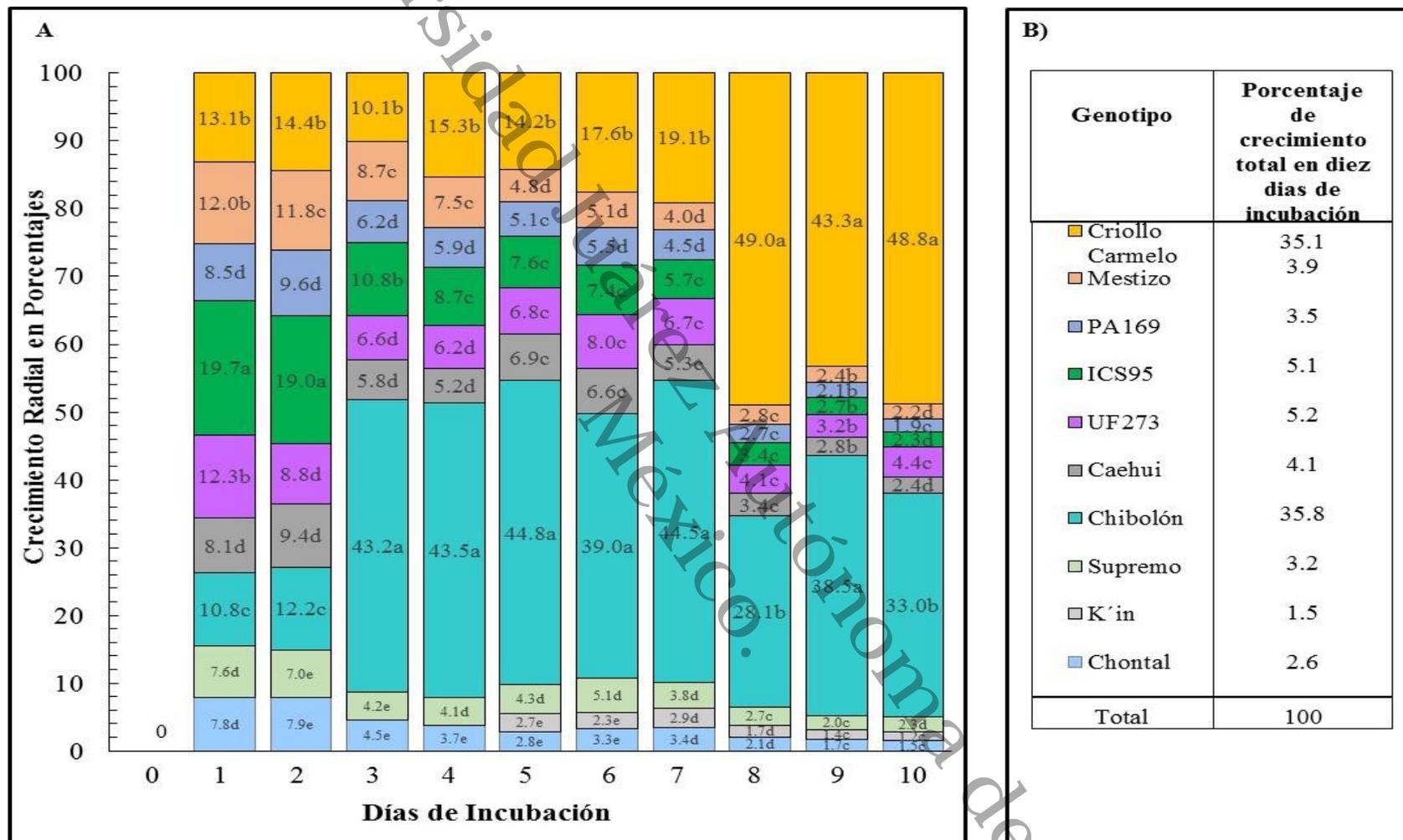


Figura 5. A) Crecimiento radial diario por diez días de incubación del hongo *M. royeri* y **B)** crecimiento total en diez días de incubación de genotipos de cacao (criollo Carmelo, Mestizo, PA169, ICS95, UF273, Caehui, Chibolón, Supremo, K'in y Chontal) en medio de triturado de cascara (MTC). Letras iguales entre genotipos no son significativas $P < 0.05$, y en caso contrario las diferencias existen.

K'in del 14.0%. El genotipo Mestizo presento resistencia fenotípica del 71.4%, mientras que PA169 del 66.7%, ICS95 del 73.3%, UF273 del 83.3%, Caehui del 71.4%, Chibolón del 74.5%, Supremo del 73.1% y K'in del 86.0%.

3.3.4 Evaluación de los Genotipos de Cacao por Inoculación Natural o Silvestre

En los genotipos evaluados se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($P=<0.001$) en las ocurrencias. Se observo que el genotipo Criollo Carmelo presento ocurrencia del 7.2%, mientras que en Mestizo fue del 7.1%, PA169 del 3.6%, ICS95 13.2%, UF273 del 0.3%, Caehui del 4.6%, Chibolón del 8.1%, Supremo del 14.6%, K'in del 5.1% y Chontal del 4.7% (**Figura 6**). El genotipo que presento la mayor resistencia fue UF273 del 99.7%, PA169 del 96.4%, Caehui del 95.4%, Chontal de 95.3% y K'in del 94.9%.

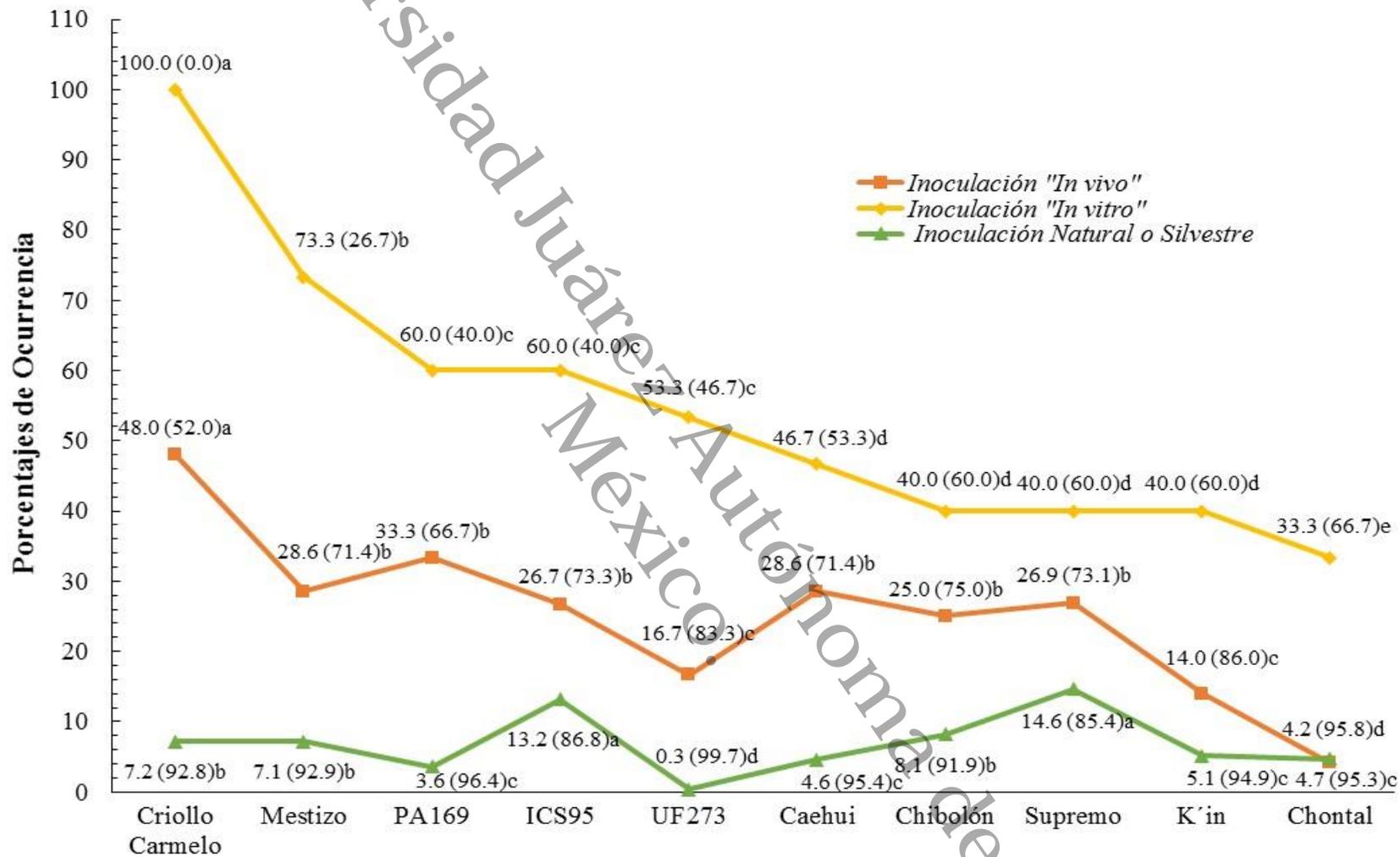


Figura 6. Porcentajes de ocurrencia causada por *M. royeri* en diez genotipos de cacao (criollo Carmelo, Mestizo, PA169, ICS95, UF273, Caehui, Chibolón, Supremo, K'in y Chontal) y resistencia fenotípica en porcentaje (), por inoculación "in vitro", "in vivo" y natural. Letras iguales entre inoculación no son significativas $P < 0.05$, y en caso contrario las diferencias iguales existen.

3.4 DISCUSIÓN

La cascara de cacao es la primera barrera que tiene el fruto como protección ante la penetración del hongo moniliasis. Como lo mencionan Bailey *et al.* (2018) la infección ocurre directamente a través de la epidermis, creciendo intercelularmente e invadiendo las células perenquimales. La implementación de la cascara de cacao, como un medio de soporte en el cultivo “*in vitro*” permiten el óptimo desarrollo del hongo, debido a que esta contiene los carbohidratos, fibras, proteínas y pectinas necesarias para el crecimiento del hongo (Hii *et al.*, 2009; Daud *et al.*, 2013; Oracz *et al.*, 2015; Chafla *et al.*, 2016); además de utilizarlo en la evaluación de resistencia de genotipos de cacao por tener propiedades en la acción contra enfermedades y microorganismos, ya que contiene compuestos bioactivos, como los polifenoles y carotenoides, fenólicos que tienen propiedades antioxidantes (Ooshima *et al.* 2000; Hii *et al.*, 2009; Cádiz *et al.*, 2017).

En las pruebas para encontrar el medio de soporte óptimo para el crecimiento de *M. rozeri*, MTC presento el 100% de ocurrencia utilizando como base la cascara de cacao de la variedad Criollo Carmelo; por ello, se utilizó el mencionado medio para evaluar los genotipos de cacao. Encontrando que las variedades responden de manera diferente ante la infección del hongo, esto concuerda con lo encontrado por Ali *et al.* (2014) y Bailey *et al.* (2014), quienes mencionan que dependiendo del genotipo de cacao la interacción con *M. rozeri* presenta diferentes grados de infección, esto debido a los genes que actúan en la defensa del fruto de cacao ante la presencia del hongo. Esta característica se apreció en los distintos porcentajes de ocurrencia que presentaron los genotipos evaluados (**Figura 6**).

El genotipo Chontal fue el que presento mayor porcentaje de resistencia en las inoculaciones “*in vitro*”, “*in vivo*” y silvestre esto se asoció con las características que presentan sus progenitores UF29 y SPA9, los cuales por González y Vidal (1992), son mencionados junto con otros genotipos como resistentes, entre los que destacan los clones CC266, PA169, EET400 y IMC67; este último genotipo sobresale por ser susceptible a moniliasis solo en un 4%. Rodríguez y Medina (2005) mencionan de IMC67 la capacidad de expresar los síntomas de la enfermedad de forma tardía. Característica observada en el genotipo K'in, el cual presento ocurrencia y crecimiento de *M. rozeri* hasta el quinto día de

inoculación, llegando a tener un porcentaje de resistencia del 94% en la inoculación silvestre.

El genotipo Caehui destacó con resistencia del 95% en la inoculación silvestre al estar conformado por UF613 y IMC67 reportados como clones resistentes (Arguello, 1997; Rodríguez y Medina 2005). En los otros métodos su resistencia fue menor; posiblemente a que en la inoculación “*in vivo*”, se aplica de forma directa al fruto (Phillips, 1996). Lo mismo sucede en la inoculación “*in vitro*” al estar directamente sobre el medio de soporte donde obtiene nutrientes necesarios para desarrollarse. Sin embargo, este último método puede representar una alternativa más rápida y eficiente, pues se encontraron diferencias entre los genotipos. Lo que sugiere que cada variedad contiene actividades biológicas en la acción contra la moniliasis (Hii *et al.*, 2009; Cádiz *et al.*, 2017).

Los clones ICS95, PA169 y UF273 se han reportado como resistentes a la moniliasis (González y Vidal, 1992; Phillips *et al.*, 2005; Azpeitia *et al.*, 2017). Mientras, en el presente estudio se encontró que en la inoculación silvestre los genotipos presentan del 86-99% de resistencia, esto concuerda con otros trabajos, donde se recomiendan como clones eficientes para soportar la enfermedad (Phillips *et al.*, 2005). Sin embargo, al ser utilizados en mejoramientos genéticos, ya sea como uno de los progenitores, se pueden tener incongruencias en los porcentajes de resistencia, Solís *et al.* (2015), mencionan que familias híbridas conformadas por PA169 y UF273 muestran diferencias en la capacidad de resistencia al ser individuos diferentes entre sí; por ello, se seleccionan de una familia los más resistentes o con las mejores características de producción. Otro factor que influye en la incidencia del hongo es el año de cosecha y condiciones climáticas, estas pueden disminuir o aumentar la capacidad de resistencia (Bailey *et al.*, 2018).

3.5 CONCLUSIONES

El método de evaluación “*in vitro*” se presenta como una alternativa para medir la capacidad de resistencia que se presenta en genotipos de cacao ante *M. royeri*, mostrando resultados óptimos sobre la interacción del tiempo de infección, la ocurrencia y crecimiento del hongo. Mientras que en la evaluación de las variedades de cacao por las tres técnicas utilizadas se encontraron a las líneas genéticas K'in y Chontal como los genotipos con los porcentajes más altos de resistencia entre las técnicas, destacándolos como genotipos prominentes.

3.6 REFERENCIAS

- Ali SS, Melnick RL, Crozier J, Phillips MW, Strem MD, Shao J, Zhang D, Sicher R, Meinhardt L and Bailey BA. 2014. Successful pod infections by *Moniliophthora roreri* result in differential *Theobroma cacao* gene expression depending on the clones level of tolerance. *Molecular plant pathology* 15(7): 698-710. DOI: 10.1111/mpp.12126
- Arévalo G, Ortiz B, Zúñiga C and Gonzales V. 2005. Selección de plantas de cacao resistentes a la moniliasis usando savia del floema y fluidos embriónicos de frutos jóvenes. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (Costa Rica)* 76: 86-88. <https://www.researchgate.net/publication/236635011>
- Arguello CO. 1997. Evaluación de materiales de cacao por resistencia a *Moniliophthora roreri* en Santander. *In: Tercer Seminario Técnico de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. CORPOICA sede Colombia.* 70 p.
- Azpeitia MA, Gasca GHA and Villordo PE. 2017. Relaciones de parentesco en híbridos F1 de cacao (*Theobroma cacao* L.) por marcadores moleculares. *Acta Universitaria* 27(6): 66-77. DOI: 10.15174/au.2017.1552
- Bailey BA, Bae H, Strem MD, Crozier J, Thomas SE, Samuels GJ, Vinyard BT and Holmes KA. 2008. Antibiosis, mycoparasitism, and colonization success for endophytic *Trichoderma* isolates with biological control potential in *Theobroma cacao*. *Biological control* 46(1): 24-35. DOI:10.1016/j.biocontrol.2008.01.003
- Bailey BA, Melnick RL, Strem MD, Crozier J, Shao J, Sicher R, Phillips MW, Ali SS, Zhang D and Meinhardt L. 2014. Differential gene expression by *Moniliophthora roreri* while overcoming cacao tolerance in the field. *Molecular plant pathology* 15(7): 711-729. DOI: 10.1111/mpp.12134
- Bailey BA, Evans HC, Phillips MW, Ali SS and Meinhardt LW. 2018. *Moniliophthora roreri*, causal agent of cacao frosty pod rot. *Molecular plant pathology* 19(7): 1580-1594. DOI: 10.1111/mpp.12648
- Barrón GYP, Azpeitia MA, Andrade L, Alejandro P and Mirafuentes HF. 2014. Metodología adaptada para la formación de híbridos F1 de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Tabasco. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5(5): 765-777. <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v5n5/v5n5a4.pdf>
- Cádiz GM, Borrás LI, Lozano SJ, Joven J, Fernández AS and Segura CA. 2017. Cocoa and grape seed by products as a source of antioxidant and anti-inflammatory proanthocyanidins. *International Journal of Molecular Sciences* 18(2): 376. DOI:10.1007/s11130-018-0694-x
- Chafra AL, Rodríguez Z, Boucourt R and Torres V. 2016. Bromatological characterization of cocoa shell (*Theobroma cacao*), from seven cantons of the Amazonia, Ecuador.

- Revista Cubana de Ciencia Agrícola 50(2): 245-252.
<https://www.redalyc.org/pdf/1930/193048877008.pdf>
- Correa AJ, Castro MS and Coy J. 2014. Estado de la moniliasis del cacao causada por *Moniliophthora roreri* en Colombia. Acta Agronómica 63(4): 388-399.
<https://www.redalyc.org/pdf/1699/169932435011.pdf>
- Evans HC. 1981. Pod rot of cacao caused by *Moniliophthora* (Monilia) *roreri*. Phytopathological papers (24):1-44.
- González LC and Vega EV. 1992. Evaluación de la reacción a moniliasis en clones e híbridos de cacao en Rio Frio. Costa Rica. Agronomía Costarricense 16(1): 13-22.
http://www.mag.go.cr/rev_agr/v16n01_013.pdf
- Guiracocha G, Harvey C, Somarriba E, Krauss U y Carrillo E. 2001. Conservación de la biodiversidad en sistemas agroforestales con cacao y banano en Talamanca, Costa Rica. Agroforestería en las Américas 8(30): 7-11. http://cadenacacaoca.info/CDOC-Deployment/documentos/Conservacion_de_la_biodiversidad_en_sistemas_agroforestales.pdf
- Daud Z, Mohd AS, Mohd A., Awang H and Mohd MZ. 2013. Chemical composition and morphological of cocoa pod husk and cassava peels for pulp and paper production. Australian Journal of Basic and Applied Sciences 7(9): 406-411. http://eprints.uthm.edu.my/id/eprint/8105/1/dr_halizah_%28fptv%29.pdf
- Hernández GE, Hernández MJ, Avendaño ACH, López GG, Garrido RER, Romero NJ and Nava DC. 2015. Factores socioeconómicos y parasitológicos que limitan la producción del cacao en Chiapas, México. Revista Mexicana de Fitopatología 33: 232-246. <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmfi/v33n2/2007-8080-rmfi-33-02-00232-en.pdf>
- Hii C, Law C, Suzannah S and CM. 2009. Polyphenols in cocoa (*Theobroma cacao* L.), Asian J. Food Agro Ind. 2: 702-722.
<https://www.researchgate.net/publication/284800915>
- Motamayor JC, Risterucci AM, López PA, Ortiz CF, Moreno A and Lanaud C. 2002. Cacao domestication I: the origin of the cacao cultivated by the Mayas. Heredity 89(5): 380. DOI:10.1038/sj.hdy.6800156
- Ogata N. 2007. El cacao. Biodiversitas 72(3): 2-5.
<https://www.biodiversidad.gob.mx/Biodiversitas/Articulos/biodiv72art1.pdf>
- Ooshima T, Osaka Y, Sasaki H, Osawa K, Yasuda H, Matsumura M, Sobue S and Matsumoto M. 2000. Caries inhibitory activity of cacao bean husk extract in in-vitro and animal experiments. Archives of oral biology 45(8): 639-645. DOI:10.1016/S0003-9969(00)00042-X
- Oracz J, Zyzelewicz D and Nebesny E. 2015. The content of polyphenolic compounds in cocoa beans (*Theobroma cacao* L.), depending on variety, growing region, and processing operations: a review. Critical reviews in food science and nutrition 55(9): 1176-1192. doi.org/10.1080/10408398.2012.686934

- Phillips MW. 1996. Studies at CATIE on moniliasis resistance (*Moniliophthora roreri* (Cif.&Par.) Evans *et al.*). In: international workshop on the contribution of disease resistance to cocoa variety improvement, 1999. Bahía, Brazil: Ingenic. 111-117 pp
- Phillips MW, Castillo J, Krauss U, Rodríguez E and Wilkinson MJ. 2005. Evaluation of cacao (*Theobroma cacao*) clones against seven Colombia isolotes of *Moniliophthora roreri* from four pathogen genetic groups. Plant Pathology 54: 483-490. Doi: 10.1111/j.1365-3059.2005.01210.x
- Phillips MW, Coutiño A, Ortiz CF, López AP, Hernández J and Aime, MC. 2006. First report of *Moniliophthora roreri* causing frosty pod rot (moniliasis disease) of cocoa in México. Plant Pathology 55: 584. Doi: 10.1111/j.1365-3059.2006.01418.x
- Rodríguez E and Medina J. 2005. Caracterización de clones de cacao por respuesta a Monilia, *Moniliophthora roreri* (Cif), en Santander. Fitopatología Colombiana 28(2).
- Sánchez MFD and Garcés FFR. 2012. *Moniliothora roreri* (Cif y Par) Evans *et al.* en el cultivo de cacao. Scientia Agropecuaria 3(3): 249-258. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=357633703006>
- Solís B JL, Zamarripa CA, Pecina QV, Garrido RE and Hernández GE. 2015. Evaluación agronómica de híbridos de cacao (*Theobroma cacao* L.) para selección de alto rendimiento y resistencia en campo a moniliasis. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 6(1): 71-82. <http://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/editorial/index.php/agricolas/article/view/740>
- Torres DM, Ortiz GCF, Téliz OD, Mora AA and Nava DC. 2013. Efecto del azoxystrobin sobre *Moniliphthora roreri*, agente causal de la moniliasis del cacao (*Theobroma cacao*). Revista Mexicana de Fitopatología 31(1): 65-69. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S018533092013000100007&script=sci_arttext
- Tamayo ELE, Ramírez GSI, López BO, Quiroga MRR and Espinosa ZS. 2016. Extractos por destilación de *Origanum vulgare*, *Tradescantia spathacea* y *Zingiber officinale* para el manejo de *Moniliophthora roreri* de *Theobroma cacao*. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 7(5): 1065-1076. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S200709342016000501065

CAPITULO IV

FENOLOGÍA PRODUCTIVA Y CARACTERIZACION MORFOLOGICA DE DIEZ GENOTIPOS DE *Theobroma cacao* L.

4.1 INTRODUCCIÓN

El cacao es una especie que pertenece a la familia Malvaceae y se distribuye en climas cálidos (García 2010). Tiene su origen geográfico en América del Sur en donde se diversificó a diferentes sitios, lo que generó muchas variantes morfológicas de este cultivo y con problemas de fertilidad, por ello, algunas variedades de cacao presentan incompatibilidad gametofítica propiciando a los materiales silvestres una polinización cruzada, aunque materiales cultivados son autocompatibles (Motamayor *et al.*, 2002, Motamayor *et al.*, 2008; Zhang *et al.*, 2009).

La fenología floral de cualquier especie es fundamental para conocer su desarrollo y en el cacao se ha estudiado para conocer si existe una relación entre su patrón floral, su reproducción y productividad (Adjalo *et al.* 2012). Se conoce que la floración del cacao se modifica dependiendo del manejo y genotipo; en general se presenta de dos a tres brotaciones abundantes en el año y mismo número de brotaciones con floración baja (Valle *et al.*, 1990; Tovar *et al.*, 1991). Sin embargo, la falta de conocimiento en la fenología floral del cacao hace que su productividad no sea manejada adecuadamente (Gil-Restrepo *et al.* 2017).

Estudios mencionan que el porcentaje de flores que producen un fruto de cacao es muy bajo, de aproximadamente 0.5-5%, esta característica está fuertemente influenciada por factores exógenos y endógenos; que hacen que varíen para diferentes genotipos y épocas del año (Aneja *et al.*, 1999; Almeida y Valle 2007). En árboles autocompatibles la autopolinización es baja, mientras que en genotipos que son autocompatibles puede alcanzarse una polinización del 43% (Yamada y Guries 1998). Desde hace algunas décadas la fenología floral en los árboles de cacao se utiliza para estimar el rendimiento del cultivo. Sena-Gomes y Kozlowski. (1986) mencionan que la producción de flores en algunos híbridos puede empezar a los 18 meses de plantados y en otras líneas genéticas de tres a

cinco años. Esta es una de la característica que los productores de cacao demandan en la actualidad, además de la resistencia de las plantas a enfermedades y la productividad, esto mediante un mayor rendimiento de cacao en cada cosecha, asociado a esto la calidad en su grano (Tovar *et al.*, 1991).

Para la selección, propagación y conservación de variedades de cacao, la descripción de las características de la semilla y el fruto de cacao son de importancia. agronómica, las cuales tienen influencias ambientales en su rendimiento y calidad (Engels *et al.*, 1980; Phillips-Mora *et al.* 2012). El rendimiento puede ser aumentado, esto mediante la mejora de materiales genéticos y mejores prácticas agronómicas, además de que los esfuerzos en mejoramiento genético se centren en la búsqueda de mayores incrementos en el rendimiento a través de una mayor eficiencia en las semillas de cacao (Mustiga *et al.*, 2018).

Así con base en lo anterior el objetivo del presente trabajo fue la de caracterizar de forma morfológica y conocer la fenología de diferentes genotipos de cacao, para la conservación de materiales genéticos prominentes.

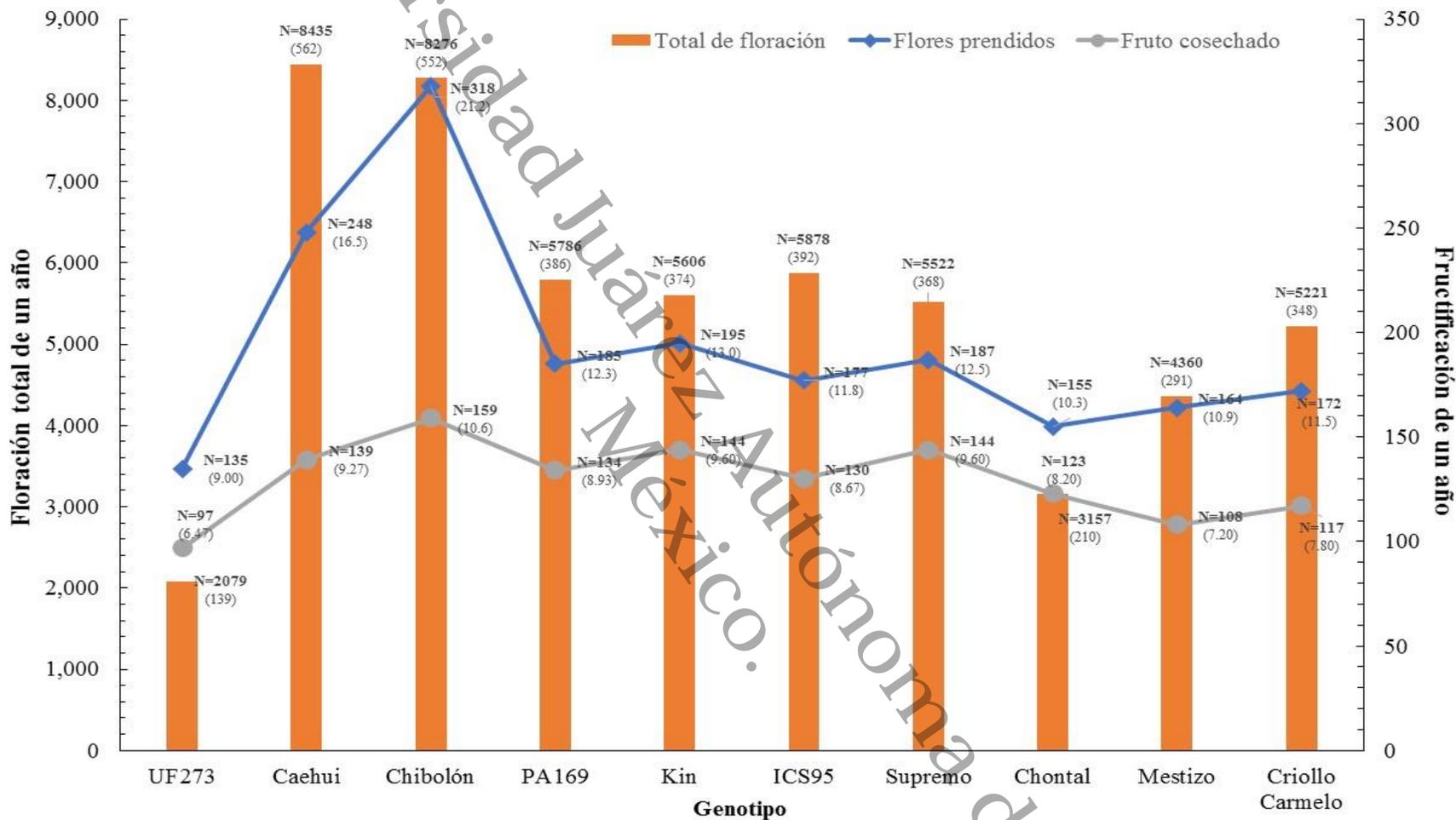
4.2 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.2.1 Floración y Fructificación

La floración total, flores prendidas y frutos cosechados por genotipo en un año de muestreo, existen diferencias estadísticamente significativas ($P = <0.001$), en donde la mayor floración se da en los genotipos Caheui (*UF613 X IMC67*) y Chibolon (*UF613 X Pound7*) con una media de 562 y 552 respectivamente, contrario a lo que mostraron las variedades Chontal (*UF 29 X SPA 9*) y UF273, donde su media fue de 210 y 139 respectivamente (**Figura 7**). La producción de flores, presenta un aumento cuando se empezaron a registrar las mayores precipitaciones de lluvia, esto comenzó a partir del mes de marzo y abril, bajando la floración en el mes de mayo y recuperándose levemente en el mes de junio. En los meses donde no hubo lluvias (enero, agosto, septiembre, noviembre y diciembre) la producción de flores se mostró relativamente baja, en contraste con los meses donde la afluencia de agua por lluvia estuvo presente (febrero, marzo, abril, mayo, junio, julio y octubre) (**Figura 8 y Anexo 1**).

La productividad promedio de las flores prendidas o se tomaban en cuenta si daban origen a un chilillo, el cual se contaba si tenía un tamaño aproximado 5-10 milímetro. En los genotipos de cacao se pudo apreciar que el mayor índice de flores prendidas se dio en UF273 con un IFP= 6.49 y un promedio de 9.00 en un m² de cobertura foliar. Mientras que el menor fue en Chibolón (*UF613 X Pound7*), con un IFP= 3.84 y un promedio de 21.2. Se debe tener en cuenta la relación que existe entre el número total de flores que puede producir un árbol y la polinización de esta, para obtener un fruto maduro fisiológicamente, apto para ser cosechado (**Cuadro 3 y Figura 7**).

El fruto cosechado es la principal materia prima que se busca sea abundante en una variedad; sin embargo, existen factores genéticos que pueden limitar esta producción. Uno de los genotipos que más flores presentó a lo largo de un año fue Caehui, pero la relación que existe entre este y el número de frutos cosechados puede no ser positivo. Este genotipo presentó un IFC= 1.65 con un promedio de 10.6 frutos cosechados por m² de cobertura foliar; caso contrario que se aprecia en el genotipo UF273 en donde el promedio total de Flores en un m² de cobertura foliar es de 139, con un IFC= 4.67 (**Cuadro 3**). Los factores



N= número total de flores, frutos prendidos y frutos cosechados por genotipo, ()= media del total de flores, frutos prendidos y frutos cosechados por genotipo.

Figura 7. Floración y Fructificación de un año de muestreo por genotipo estudiado. N= número total de flores, flores prendidas y frutos cosechados por genotipo, ()= media del total de flores, flores prendidas y frutos cosechados por genotipo.

Cuadro 3. Productividad promedio observada en diez genotipos de cacao (*T. cacao*) de acuerdo con el total de floración*, los índices de flores prendidas (IFP) y de fructificación (IFC).

Genotipos	Floración	Índice de Flores Prendidos (N)	Índice de Frutos Cosechados (n)
UF273	139 ^d	6.49 (9.00) ^d	4.67 (6.47) ^c
Caehui	562 ^a	2.94 (16.5) ^b	1.65 (9.27) ^a
Chibolón	552 ^a	3.84 (21.2) ^a	1.92 (10.6) ^a
PA169	386 ^b	3.20 (12.3) ^c	2.32 (8.93) ^a
K'in	374 ^b	3.48 (13.0) ^b	2.57 (9.60) ^a
ICS95	392 ^b	3.01 (11.8) ^c	2.21 (8.67) ^b
Supremo	368 ^b	3.39 (12.5) ^c	2.61 (9.60) ^a
Chontal	210 ^c	4.91 (10.3) ^d	3.90 (8.20) ^b
Mestizo	291 ^c	3.76 (10.9) ^c	2.48 (7.20) ^b
Criollo Carmelo	348 ^b	3.29 (11.5) ^c	2.24 (7.80) ^b

*El total de floración es igual al número de flores registrado a partir de la evaluación de 15 redes de 1 m² que fueron distribuidas en cinco arboles de cada variedad, en cada árbol se colocó tres mallas distribuidas al azar en un gradiente de vertical. N= número promedio de flores prendidas que dio origen a un chilillo (5-10 mm) a los 8 días de polinización, n= número promedio de frutos cosechados maduros a los cuatro meses de polinización. Los valores con la misma letra son iguales estadísticamente (Tukey p<0.05).

abióticos influyen en la producción de flores, su polinización y frutos cosechados (**Anexo 1 y 2**); en ocasiones dependiendo del año de cosecha estas pueden ser positivas o negativas para el cultivo, pues el nivel de fructificación depende en muchas ocasiones del año anterior. Esto se puede apreciar en el estudio que se realizó en Ghana en donde en el 2006, un 40% de sus árboles presentaron mayor fructificación, mientras al año siguiente fue menor, además de relacionar la temporada de lluvias con una mayor productividad (Abjaloo *et al.* 2012).

Se encontró que hubo muchas fluctuaciones en la abundancia floral y en la producción de chilillos, producto de las flores prendidas, esto en los meses de lluvia, distribuyéndose de manera regular en la mayoría de los meses muestreados. La floración presentó una disminución en los meses de diciembre y enero, esto posiblemente por la falta de precipitación y temperatura, siendo esta de 29.7°C y 25.9°C en los meses de diciembre y enero respectivamente (**Figura 8 y Anexo 1**).

Las fluctuaciones de factores externos determinan de manera significativa los periodos de actividad del cacao; sin embargo, su productividad dependerá de igual manera de la respuesta de la planta, hacia estos factores (Boyer 1974). Tovar *et al.* (1991) mencionan que en la época en que las brotaciones florales son más intensas, hay menor probabilidad de pérdidas y una mayor tasa de fertilización de frutos. Esta característica que se pudo apreciar en algunos genotipos de cacao como en el UF273, Caehui, ICS95 y Criollo Carmelo (**Figura 8 y Anexo 1 y 2**).

Gil-Restrepo *et al.* (20017) mencionan que el clon ICS95 presenta una correlación positiva entre las flores abiertas y la precipitación; esto no se apreció de manera significativa en el presente estudio, sin embargo, las condiciones de precipitaciones fueron totalmente diferentes en ambos trabajos.

Pocos son los estudios que existen sobre genotipos específicos y su fenología. López-Hernández *et al.* (2018) propone conocer más sobre la dinámica de la biología floral y el desarrollo del fruto y su relación con variables ambientales.

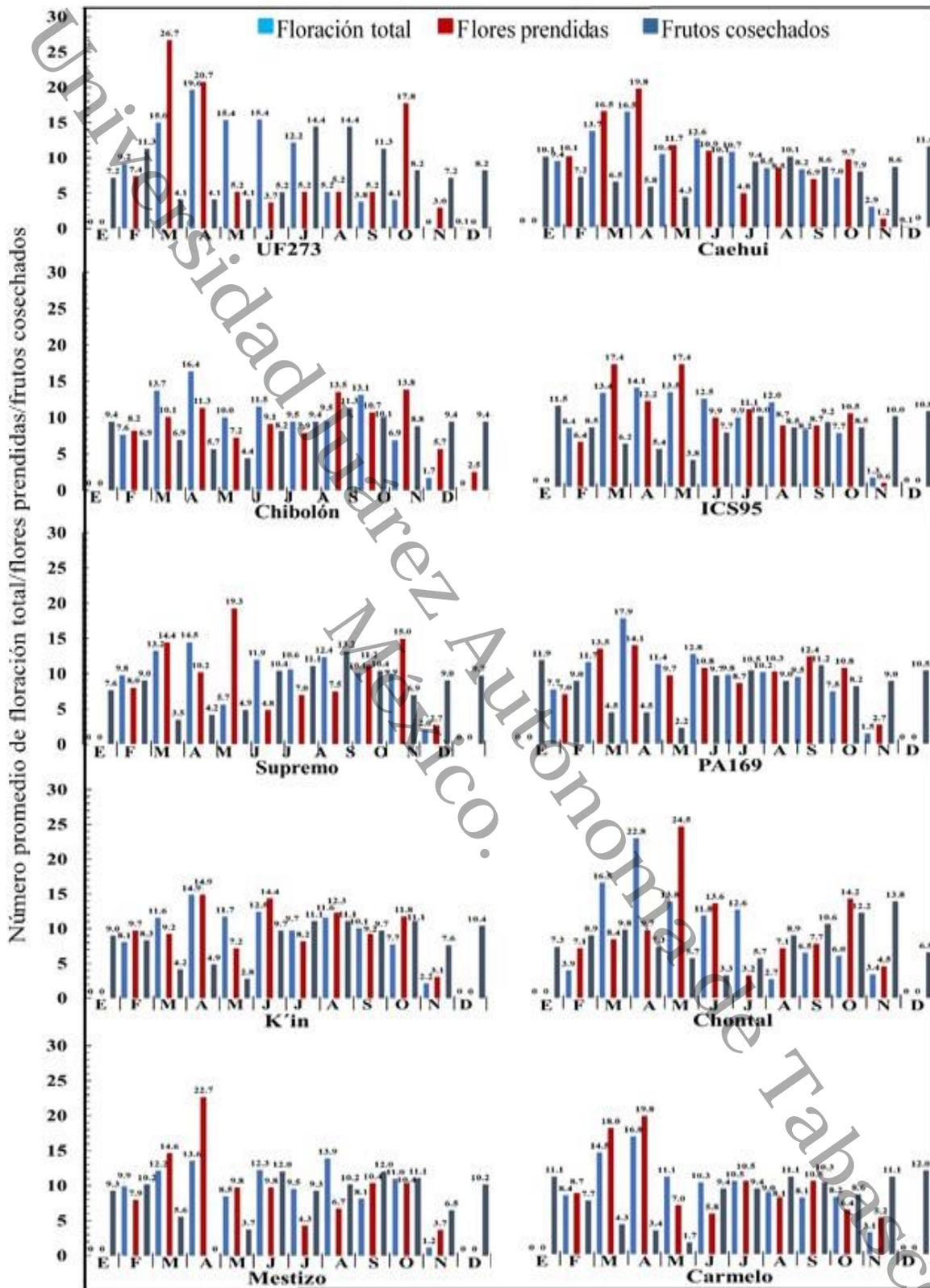


Figura 8. Fenología mensual promedio de la floración total, flores prendidas (fertilizadas) y frutos cosechados en un m² de cobertura foliar.

4.2.2 Caracterización Fenotípica de Frutos y Semillas

En el **Cuadro 4**, se muestra las variables de la caracterización morfológica de las diez variedades estudiadas, las cuales mediante el análisis de varianza mostraron diferencias altamente significativas ($P=<0.001$), en la variable número de semillas, los resultados obtenidos proyectaron rangos de 35 a 45 semillas, siendo el genotipo K'in (*CC266 X IMC67*) quien obtuvo el valor más alto (45 semillas), seguido por las líneas genéticas Chibolón (*UF613 X Pound7*) y PA169, con 41 y 40 semillas respectivamente. El promedio de peso fresco de semillas fue de 114 a 63.6 g, siendo el genotipo K'in el que presentó el promedio más alto (114 g), y UF273 quien mostrara el promedio más bajo en el peso fresco de sus semillas (63.6 g).

El análisis de varianza realizado a la caracterización fenotípica en sus diversos aspectos diferencias estadísticamente significativas ($P=<0.001$) para cada una de las variables tomadas en cuenta. Se muestra en el **Cuadro 5** cada una de estas variables, tomando con mayor importancia el peso con testa y sin testa. Donde la primera presenta un rango promedio de 3.27-1.91 g, siendo la variedad K'in (*CC266 X IMC67*) quien presenta el mayor peso de la semilla con testa, al igual que el peso sin testa de la semilla. 3.27 y 1.83 g respectivamente para cada variable; seguido de Chontal (*UF29 X SPA9*) con un peso con testa de 2.96 g y 1.80 g el peso sin testa. Una característica particular que se pudo notar en una variedad de cacao fue la presencia de almendra blanca, característico del cacao Criollo Carmelo, la cual también presenta semillas de color morado.

La caracterización permitió observar la diversidad morfológica en los frutos y separarlos por estas mismas características. Dado que el cacao es un cultivo de alta variabilidad genética debido a su sistema de reproducción con polinización cruzada que aumenta el nivel de heterocigosis y segregación (Quiñones *et al.*, 2018). Los progenitores de los genotipos con el mayor promedio en algunas de sus características prominentes, se adaptan bien y tiene una descendencia con un alto número de rendimiento. Al menos, el clon CC266 esta reportado como por González-Vidal-Vega (1992) como un progenitor que presenta en su progenie características de buen rendimiento, al igual que IMC67 Y SPA9.

Cuadro 4. Caracterización fenotípica promedio (\pm desviación estándar) del color, forma, ápice, base, superficie del mesocarpio, longitud, diámetro y peso del fruto maduro; así también del peso y número de semillas del fruto de diez genotipos de *T. cacao*, cultivas en condiciones experimentales en Huimanguillo, Tabasco, México.

Genotipo	N	Color	Forma	Forma del ápice	Forma de la base	Superficie del mesocarpio	Longitud (cm)	Diámetro (cm)	Peso (g) promedio	Peso de semillas (g)	Semillas en un fruto
UF273	50	Naranja/ Amarillo	Cundeamor	Caudado	Fuerte	Suave	13.6 \pm 0.21 ^f	7.14 \pm 0.16 ^d	261 \pm 14.1 ^e	63.6 \pm 7.66 ^e	35 \pm 2.97 ^d
Caehui	50	Amarillo/ Naranja	Criollo	Caudado	Intermedio	Intermedio	18.4 \pm 0.31 ^c	6.75 \pm 0.27 ^e	465 \pm 38.8 ^a	97.2 \pm 20.7 ^b	38 \pm 2.12 ^c
Chibolón	50	Amarillo	Amelonada	Obtuso	Suave	Suave	19.6 \pm 0.74 ^b	8.85 \pm 0.25 ^a	417 \pm 47.0 ^b	100 \pm 12.5 ^b	41 \pm 2.61 ^b
PA169	50	Amarillo	Cundeamor	Caudado	Intermedio	Suave	16.2 \pm 0.56 ^d	7.65 \pm 0.26 ^c	397 \pm 41.9 ^b	89.2 \pm 10.8 ^c	40 \pm 2.73 ^c
K'in	50	Amarillo	Angoleta	Atenuado	Intermedio	Intermedio	20.8 \pm 0.52 ^a	9.10 \pm 0.30 ^a	454 \pm 35.6 ^a	114 \pm 13.8 ^a	45 \pm 3.07 ^a
ICS95	50	Naranja/ Amarillo	Criollo	Agudo	Suave	Fuerte	19.3 \pm 0.38 ^b	8.22 \pm 0.37 ^b	412 \pm 32.4 ^b	103 \pm 8.46 ^b	34 \pm 2.24 ^d
Supremo	50	Amarillo	Amelonado	Dentado	Suave	Suave	15.1 \pm 0.70 ^e	8.47 \pm 0.30 ^b	393 \pm 30.0 ^b	98.6 \pm 12.0 ^b	39 \pm 2.71 ^c
Chontal	50	Amarillo	Amelonado	Agudo	Suave	Intermedio	13.7 \pm 0.88 ^f	7.02 \pm 0.24 ^d	295 \pm 40.0 ^d	80.6 \pm 14.8 ^c	39 \pm 3.81 ^c
Mestizo	50	Amarillo	Amelonado	Mamilado	Suave	Intermedio	20.8 \pm 0.54 ^a	7.17 \pm 0.27 ^d	365 \pm 27.1 ^c	92.5 \pm 11.1 ^b	39 \pm 3.70 ^c
Criollo Carmelo	50	Amarillo	Criollo	Mamilado	Intermedio	Intermedio	16.9 \pm 0.28 ^d	6.30 \pm 0.16 ^f	356 \pm 46.1 ^c	75.6 \pm 14.1 ^d	35 \pm 3.28 ^d

Cuadro 5. Caracterización fenotípica promedio (\pm desviación estándar) del color, forma, longitud, diámetro, espesor y corte transversal de la semilla; así también del peso con mucilago y sin mucilago de semillas de diez genotipos de cacao (*T. cacao*), cultivas en condiciones experimentales en Huimanguillo, Tabasco, México.

Genotipo	N	Color	Forma semilla	Longitud (cm)	Diámetro (cm)	Espesor (mm)	Peso con testa (g)	Peso sin testa (g)	Corte transversal
UF273	150	Morado	Ovalada	2.00 \pm 0.11 ^b	1.14 \pm 0.05 ^a	0.80 \pm 0.12 ^b	1.91 \pm 0.29 ^c	0.99 \pm 0.19 ^d	Redonda
Caehui	150	Morado	Ovalada	1.63 \pm 0.14 ^c	0.67 \pm 0.07 ^c	0.35 \pm 0.06 ^d	1.84 \pm 0.17 ^c	1.27 \pm 0.16 ^c	Aplanada
Chibolón	150	Morado	Ovalada	1.75 \pm 0.25 ^c	0.62 \pm 0.08 ^c	0.31 \pm 0.03 ^d	2.07 \pm 0.29 ^c	1.16 \pm 0.26 ^c	Aplanada
PA169	150	Morado	Ovalada	1.71 \pm 0.09 ^c	0.60 \pm 0.08 ^c	0.45 \pm 0.05 ^c	2.24 \pm 0.16 ^b	1.76 \pm 0.22 ^a	Intermedia
K'in	150	Morado	Irregular	2.07 \pm 0.18 ^a	0.96 \pm 0.13 ^b	0.46 \pm 0.05 ^c	3.27 \pm 0.76 ^a	1.83 \pm 0.50 ^a	Redondo
ICS95	150	Morado	Irregular	2.19 \pm 0.13 ^a	0.91 \pm 0.06 ^b	1.22 \pm 0.11 ^a	2.34 \pm 0.15 ^b	1.76 \pm 0.12 ^a	Intermedio
Supremo	150	Morado	Irregular	1.74 \pm 0.09 ^c	0.71 \pm 0.17 ^c	0.48 \pm 0.07 ^c	2.46 \pm 0.17 ^b	1.60 \pm 0.18 ^b	Redondo
Chontal	150	Morado	Elíptica	1.71 \pm 0.12 ^c	0.65 \pm 0.10 ^c	0.42 \pm 0.09 ^c	2.96 \pm 0.46 ^a	1.80 \pm 0.25 ^a	Aplanada
Mestizo	150	Morado	Elíptica	2.22 \pm 0.16 ^a	0.96 \pm 0.13 ^b	0.80 \pm 0.12 ^b	2.07 \pm 0.29 ^c	1.16 \pm 0.26 ^c	Redonda
Criollo Carmelo	150	Crema	Ovalada	2.13 \pm 0.16 ^a	0.91 \pm 0.06 ^b	0.80 \pm 0.12 ^b	2.46 \pm 0.19 ^b	1.80 \pm 0.25 ^a	Intermedio

4.2.3 Determinación de los Índices de Rendimiento (Semilla y Fruto)

Se encontró para el índice de semilla diferencias altamente significativas ($P < 0.001$), en la cual, se puede apreciar la variable índice de semilla (IS), en la cual el rango para está vario de 0.73 a 1.23 gramos (**Figura 9**). El genotipo Chobolón (*UF613 X Pound7*) y Criollo Carmelo, presentaron el mayor IS con un peso promedio de 1.23 g respectivamente; UF273 fue otra de las variedades que presentó un alto IS= 1.05 g. Esta última línea genética destaca como un progenitor femenino ya que su hibridación permite alcanzar altos rendimientos de peso fresco, peso seco e índice de semilla (Solís-Bonilla *et al.*, 2015). En cuanto a su índice de fruto (IF), el clon UF273 necesita aproximadamente 33 frutos para obtener un kilogramo de cacao seco (**Figura 10**).

Perea *et al.* (2013) encontraron que el índice promedio para el clon ICS95 es 1.4 g, con un rango de 1.1 y 1.5 g; y necesitando entre 19 a 28 frutos de cacao para un kilogramo de cacao seco. En el presente trabajo se encontró en un índice promedio de 1.0, con un rango de 0.9 a 1.1 g y un total de entre 29 a 32 mazorcas para 1 kg de cacao seco.

La variabilidad regional que existe en los diferentes puntos donde se cultiva cacao, crea alrededor de las variedades de cacao un microclima de cada región, la cual influye en las características de peso de mazorca, semillas con peso fresco y seco; además de que depende del estado nutricional del árbol (López-Hernández, 2018).

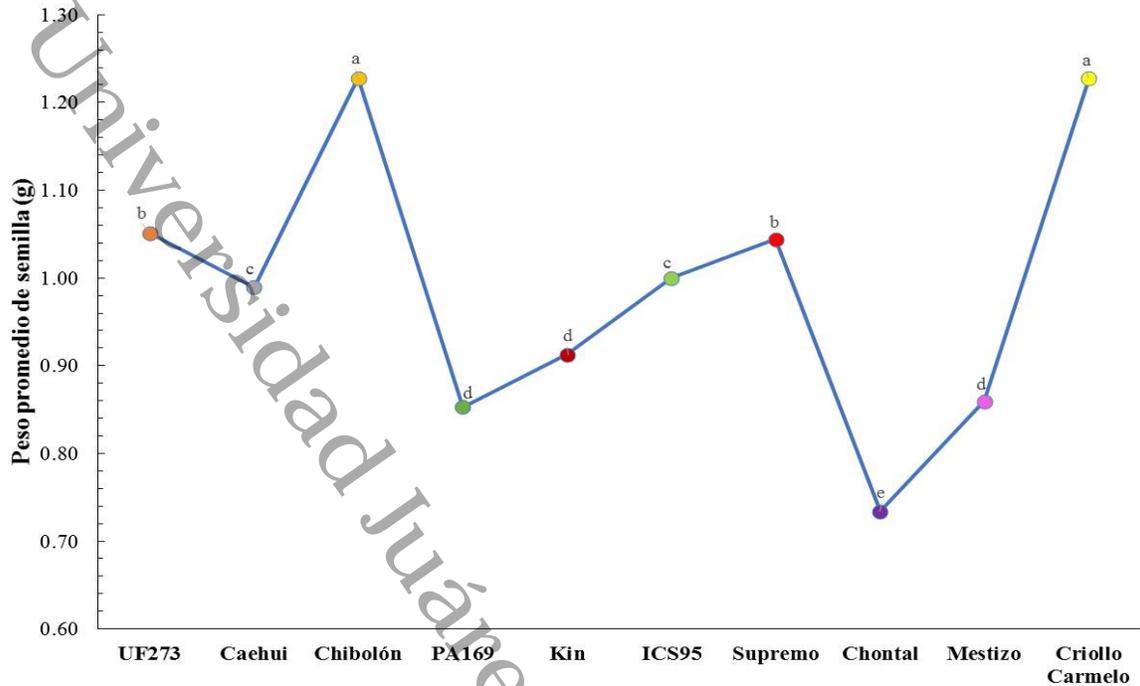


Figura 9. Comportamiento del índice de semilla en genotipos de cacao. Letras desiguales significan diferencias estadísticamente significativas (Tukey $p < 0.05$).

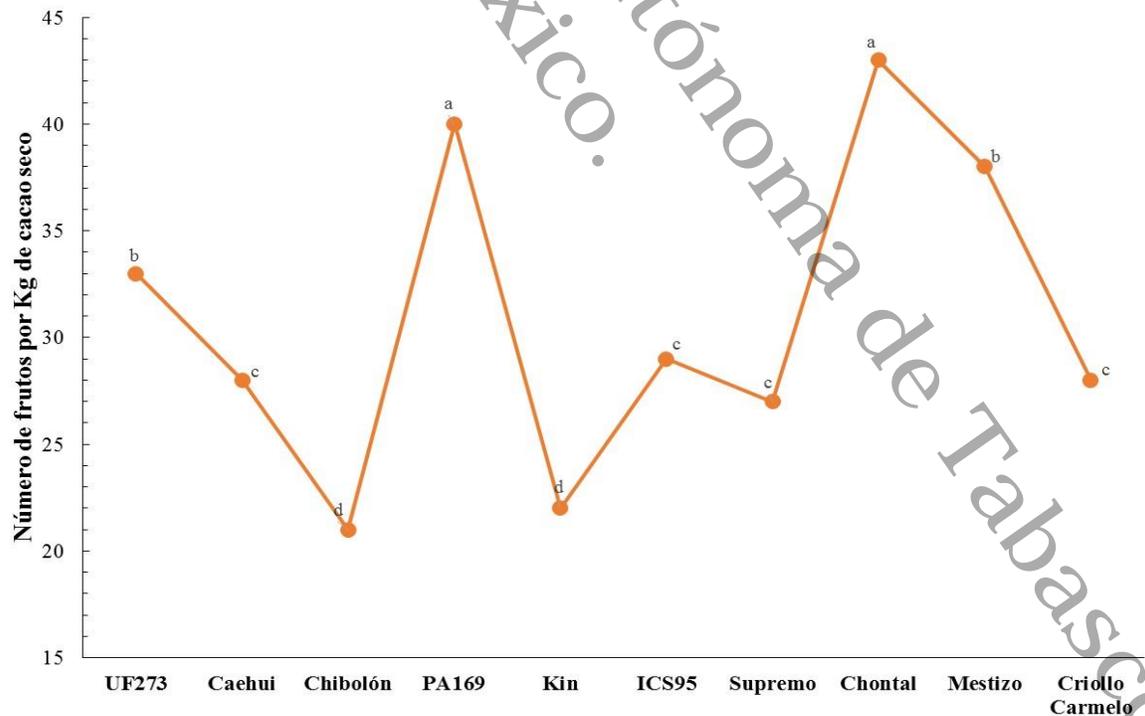


Figura 10. Comportamiento del índice de fruto en genotipos de cacao. Letras desiguales significan diferencias estadísticamente significativas (Tukey $p < 0.05$).

4.3 CONCLUSIONES

La polinización en el cacao juega un papel importante en la heterosis y segregación del cacao, afectando la producción de flores y su productividad. Por tal motivo, la mayor floración se dio en los genotipos Caehui y Chibolón, mientras que la mayor producción de frutos cosechados fue en Chibolón, K'in y Supremo. Mientras, el índice de flores prendidas mostro a UF273 y Chontal como los genotipos con mayor prendimiento del total de sus flores. Así mismo, los índices de semilla y frutos muestran al genotipo Chontal como la variedad con mejor rendimiento; y la caracterización permitió observar la diversidad morfológica entre las variedades de cacao. Encontrando a los genotipos más prominentes a Chibolón, K'in y PA169 por su peso de las semillas y el número de semillas en el fruto.

4.4 REFERENCIAS

- Adjaloo, M. K., Oduro, W., & Banful, B. K. (2012). Floral phenology of Upper Amazon cocoa trees: Implications for reproduction and productivity of cocoa. *ISRN Agronomy*, 2012.
- Almeida, A. A. F. D., y Valle, R. R. (2007). Ecophysiology of the cacao tree. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 19(4), 425-448.
- Aneja M. y Gianfagna T, Ng E (1999) The roles of abscisic acid and ethylene in the abscission and senescence of cocoa flowers. *Plant Growth Regul.* 27:149-155
- Boyer, J. (1974). Étude écophysiological du développement de cacaoyers cultivés au Cameroun. *Café, Cacao, Thé*, 18(1), 3-30.
- Engels, J. M., Bartley, B. G., & Enríquez, G. A. (1980). Cacao descriptors, their states and modus operandi.
- García, L. U. I. S. (2010). Catálogo de cultivares de cacao del Perú. *Ministerio de Agricultura-DEVIDA. Lima-Perú, 111*.
- Gil-Restrepo, J. P.; Leiva-Rojas, EI; Ramirez-Pisco, R. 2017. Phenology of cocoa tree in a tropical moist forest. *Científica Jaboticabal* 45(3):240-252. DOI: <https://doi.org/10.15361/1984-5529.2017v45n3p240-252>
- González, L. C. y Vega, E. V. (1992). Evaluación de la reacción a moniliasis en clones e híbridos de cacao en Rio Frio. Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 16(1), 13-22.
- López Hernández, M. D. P. 2018. Efecto del estado de madurez de materiales de cacao sobre la calidad final del grano en los valles interandinos secos (Doctoral dissertation. Universidad Nacional de Colombia–Sede Bogotá).
- López-Hernández, J. G., López-Hernández, L. E., Avendaño-Arrazate, C. H., Aguirre-Medina, J. F., Espinosa-Zagaroza, S., Moreno-Martínez, J. L., Mendoza-López, A. & Suárez-Venero, G. M. (2018). Biología floral de cacao (*Theobroma cacao* L.); criollo, trinitario y forastero en Mexico. *AGROProductividad*, 11(9), 129-136
- Motamayor J.C., Risterucci A.M., López P.A., Ortiz C.F., Moreno A. y Lanaud C. (2002). Cacao domestication I: the origin of the cacao cultivated by the Mayas. *Heredity*, 89:380–386.
- Motamayor J. C.; Lachenaud P, da Silva e Mota J. W.; Looor R, Kuhn D. N. (2008). Geographic and Genetic Population Differentiation of the Amazonian Chocolate Tree (*Theobroma cacao* L). *PLOS ONE* 3(10): e3311. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0003311>
- Mustiga, G. M., Gezan, S. A., Phillips, W., Arciniegas, A. M., Mata-Quirós, A., & Motamayor, J. C. (2018). Phenotypic description of *Theobroma cacao* L. for yield and vigor traits from 34 hybrid families in Costa Rica based on the genetic basis of the parental population. *Frontiers in plant science*, 9, 808.

- Perea, A.; Martínez, N.; Aránzazu, F. y Cadena, T. (2013). Característica de calidad del cacao en Colombia. Catálogo de 26 cultivares. (Primera edición ed.). Bucaramanga, Colombia; División de publicaciones UIS.
- Phillips-Mora, W. Arciniegas-Leal, y Mata-Quirós A. 2012. Catálogo de clones de cacao seleccionados por el CATIE para siembras comerciales. Costa Rica: CATIE. 70 p.
- Quiñones, M., Espinoza, E., Yovera, F., Cuchilla, Y., & Castro, D. (2018). Identificación, georreferenciación y caracterización morfológica de árboles superiores de *Theobroma cacao* l. 1753 cultivar cacao blanco de piura, Perú. *The Biologist*, 16(1).
- Sena Gomes AR, Kozłowski TT, Reich PB (1987) Some physiological responses of *Theobroma cacao* var. catongo seedlings to air humidity. *New Phytol.* 107:591-602.
- Solís B JL, Zamarripa CA, Pecina QV, Garrido RE and Hernández GE. 2015. Evaluación agronómica de híbridos de cacao (*Theobroma cacao* L.) para selección de alto rendimiento y resistencia en campo a moniliasis. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*
- Tovar, G. (1991). La escoba de bruja del cacao [*Crinipellis perniciosa* (Stahel) Singer]: descripción de síntomas de la enfermedad. *Agronomía colombiana*, 8(1), 227-239.
- Tovar, G., Ortiz, V., Rodríguez, J., & Ortiz, M. (1991). Estudio del comportamiento de la brotación foliar, la floración y la fructificación del cacao. *Agronomía Colombiana*, 8(1), 95-104.
- Valle, R. R.; De Almeida A. A. F. y De O. Leite R. M. (1990). Energy costs of flowering, fruiting, and cherelle wilt in cacao. *Tree Physiology*, 6. 329-336.
- Yamada M. M. y Guries, R. P. (1998). Mating system analysis in cacao (*Theobroma cacao* L.). *Agrotropica* 10:165-176.
- Zhang D, Mischke S, Johnson E. S., Phillips M. W. y Meinhardt M. (2009). Molecular characterization of an international cacao collection using microsatellite markers. *Tree Genet. Genom.* 5: 1-10. DOI 10.1007/s11295-008-0163-z

ANEXOS

Anexo 1. Fenología mensual promedio \pm desviación estándar de la floración total, flores prendidas, Flores caídas e índices.

Genotipo	TP (TR)	Promedio Mensual de Floración Total por m ² de Cobertura Foliar (Índice de Floración Total por m ² de Cobertura Foliar)											
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
UF273	139 (2079)	0.00 \pm 0.00 (0.00)	12.7 \pm 4.76 (9.19)	20.8 \pm 4.83 (15.0)	27.2 \pm 7.30 (19.6)	21.3 \pm 6.08 (15.4)	21.4 \pm 3.63 (15.4)	16.9 \pm 3.85 (12.2)	7.20 \pm 3.58 (5.19)	5.27 \pm 6.38 (3.80)	5.67 \pm 5.05 (4.09)	0.00 \pm 0.00 (0.00)	0.13 \pm 0.55 (0.10)
Caehui	562 (8435)	0.00 \pm 0.00 (0.00)	53.0 \pm 13.7 (9.43)	77.1 \pm 10.7 (13.7)	92.6 \pm 11.6 (16.5)	58.5 \pm 13.2 (10.4)	70.9 \pm 6.14 (12.6)	60.3 \pm 6.48 (10.7)	47.6 \pm 15.6 (8.46)	46.3 \pm 36.5 (8.24)	39.4 \pm 18.6 (7.00)	16.3 \pm 4.38 (2.89)	0.27 \pm 0.84 (0.05)
Chibolón	552 (8276)	0.00 \pm 0.00 (0.00)	42.1 \pm 6.91 (7.63)	75.5 \pm 16.7 (13.7)	90.3 \pm 13.74 (16.4)	55.4 \pm 17.1 (10.0)	63.5 \pm 8.71 (10.0)	52.2 \pm 10.76 (9.46)	52.6 \pm 12.8 (9.53)	72.5 \pm 30.0 (13.1)	38.1 \pm 9.13 (6.91)	9.47 \pm 5.22 (1.72)	0.07 \pm 0.45 (0.01)
PA169	386 (5786)	0.00 \pm 0.00 (0.00)	29.8 \pm 9.66 (7.73)	45.1 \pm 9.47 (11.7)	69.0 \pm 25.2 (17.9)	43.9 \pm 21.9 (11.4)	49.3 \pm 31.0 (12.8)	37.9 \pm 8.26 (9.82)	39.5 \pm 11.4 (10.2)	36.7 \pm 9.10 (9.52)	28.9 \pm 7.57 (7.48)	5.67 \pm 1.00 (1.47)	0.00 \pm 0.00 (0.00)
K'in	374 (5606)	0.00 \pm 0.00 (0.00)	30.1 \pm 10.5 (8.05)	43.3 \pm 5.59 (11.6)	55.6 \pm 6.72 (14.9)	43.9 \pm 2.61 (11.7)	46.5 \pm 12.4 (12.5)	36.3 \pm 9.51 (9.72)	43.3 \pm 13.6 (11.6)	37.7 \pm 6.75 (10.1)	28.9 \pm 6.50 (7.74)	8.07 \pm 6.45 (2.16)	0.07 \pm 0.45 (0.02)
ICS95	392 (5878)	0.00 \pm 0.00 (0.00)	32.8 \pm 10.4 (8.37)	52.4 \pm 6.26 (13.4)	55.3 \pm 12.6 (14.1)	52.8 \pm 7.16 (13.5)	49.1 \pm 8.62 (12.5)	34.8 \pm 6.38 (9.90)	47.2 \pm 7.20 (12.0)	32.1 \pm 12.2 (8.20)	30.0 \pm 8.86 (7.66)	5.20 \pm 4.88 (1.33)	0.07 \pm 0.45 (0.02)
Supremo	368 (5522)	0.00 \pm 0.00 (0.00)	36.0 \pm 21.7 (9.78)	48.6 \pm 7.79 (13.2)	53.2 \pm 6.10 (14.5)	20.8 \pm 4.83 (5.65)	43.9 \pm 8.64 (11.9)	39.0 \pm 16.7 (10.6)	45.5 \pm 14.0 (12.4)	37.3 \pm 13.5 (10.1)	36.3 \pm 9.27 (9.87)	7.40 \pm 5.93 (2.01)	0.00 \pm 0.00 (0.00)
Chontal	210 (3157)	0.00 \pm 0.00 (0.00)	8.27 \pm 14.4 (3.93)	37.7 \pm 13.8 (16.5)	48.1 \pm 10.5 (22.8)	29.0 \pm 6.93 (13.8)	24.8 \pm 5.27 (11.8)	26.6 \pm 5.63 (12.6)	5.67 \pm 17.6 (2.69)	13.6 \pm 11.8 (6.46)	12.7 \pm 22.9 (6.02)	7.13 \pm 18.5 (3.39)	0.00 \pm 0.00 (0.00)
Mestizo	291 (4360)	0.00 \pm 0.00 (0.00)	28.7 \pm 20.1 (9.89)	35.3 \pm 16.7 (12.2)	39.4 \pm 17.0 (13.6)	24.7 \pm 23.6 (8.49)	35.6 \pm 26.7 (12.3)	27.7 \pm 3.08 (9.52)	40.4 \pm 31.8 (13.9)	23.7 \pm 25.3 (8.14)	31.9 \pm 21.7 (11.0)	3.33 \pm 1.87 (1.15)	0.00 \pm 0.00 (0.00)
Criollo Carmelo	348 (5221)	0.00 \pm 0.00 (0.00)	29.3 \pm 17.8 (8.41)	50.6 \pm 13.5 (14.5)	58.6 \pm 8.19 (16.8)	38.6 \pm 6.76 (11.1)	35.7 \pm 7.11 (10.25)	36.5 \pm 8.85 (10.48)	31.2 \pm 22.2 (8.96)	28.2 \pm 34.8 (8.10)	28.6 \pm 19.6 (8.22)	10.9 \pm 8.59 (3.12)	0.00 \pm 0.00 (0.00)
PROMEDIO MENSUAL DE FLORES ABIERTAS POR M ² DE COBERTURA FOLIAR (Índice de Flores Abiertas por m ² de Cobertura Foliar)													
UF273	98.5 (1478)	0.00 \pm 0.00 (0.00)	9.80 \pm 1.82 (9.95)	14.9 \pm 3.21 (15.1)	20.5 \pm 4.04 (20.8)	15.1 \pm 1.67 (15.4)	15.1 \pm 1.64 (15.3)	12.1 \pm 1.14 (12.3)	5.80 \pm 1.67 (5.89)	2.73 \pm 3.35 (2.77)	2.47 \pm 5.18 (2.50)	0.00 \pm 0.00 (0.00)	0.07 \pm 0.45 (0.07)
Caehui	227 (3403)	0.00 \pm 0.00 (0.00)	21.9 \pm 3.05 (9.64)	34.1 \pm 3.92 (15.0)	39.1 \pm 3.42 (17.2)	23.4 \pm 2.17 (10.3)	27.5 \pm 5.94 (12.1)	24.1 \pm 2.17 (10.6)	17.5 \pm 3.65 (7.70)	16.5 \pm 8.68 (7.26)	16.9 \pm 1.67 (7.43)	5.87 \pm 2.51 (2.59)	0.27 \pm 0.84 (0.12)
Chibolón	211 (3170)	0.00 \pm 0.00 (0.00)	17.9 \pm 3.13 (8.45)	31.3 \pm 8.51 (14.1)	36.1 \pm 5.37 (17.1)	20.1 \pm 7.99 (9.53)	25.5 \pm 4.39 (12.1)	32.4 \pm 3.90 (3.00)	18.8 \pm 2.97 (8.90)	21.1 \pm 4.51 (10.0)	14.9 \pm 5.03 (7.03)	4.07 \pm 3.27 (1.92)	0.00 \pm 0.00 (0.00)
PA169	160 (2406)	0.00 \pm 0.00 (0.00)	12.1 \pm 5.54 (7.52)	22.1 \pm 2.39 (13.8)	31.3 \pm 7.07 (19.5)	17.4 \pm 7.50 (10.9)	19.5 \pm 11.1 (12.2)	19.2 \pm 2.97 (11.9)	13.8 \pm 3.29 (8.60)	13.5 \pm 2.41 (8.4)	11.3 \pm 2.49 (7.02)	0.27 \pm 0.84 (0.17)	0.00 \pm 0.00 (0.00)
K'in	179 (2690)	0.00 \pm 0.00 (0.00)	12.9 \pm 5.63 (7.21)	23.9 \pm 4.28 (13.2)	30.5 \pm 4.16 (17.0)	20.3 \pm 2.55 (11.3)	22.1 \pm 6.65 (12.3)	19.7 \pm 6.46 (11.0)	16.5 \pm 3.78 (9.18)	18.3 \pm 7.05 (10.2)	11.2 \pm 6.15 (6.25)	3.87 \pm 5.64 (2.16)	0.07 \pm 0.48 (0.04)
ICS95	154 (2310)	0.00 \pm 0.00 (0.00)	11.9 \pm 1.48 (7.75)	21.4 \pm 4.21 (13.1)	27.0 \pm 9.59 (17.5)	19.7 \pm 4.27 (12.8)	22.1 \pm 9.83 (14.3)	19.0 \pm 5.05 (12.3)	12.5 \pm 8.15 (8.10)	8.33 \pm 2.91 (5.41)	10.5 \pm 4.83 (6.80)	1.53 \pm 2.97 (1.00)	0.07 \pm 0.48 (0.04)
Supremo	167	0.00 \pm 0.00	14.1 \pm 3.85	24.1 \pm 7.76	25.7 \pm 4.71	14.9 \pm 3.21	18.3 \pm 10.4	18.7 \pm 10.2	16.9 \pm 6.02	16.9 \pm 7.40	14.3 \pm 6.38	3.40 \pm 3.64	0.00 \pm 0.00

	(2510)	(0.00)	(8.45)	(14.9)	(15.4)	(8.88)	(10.9)	(11.2)	(10.1)	(10.1)	(8.53)	(2.03)	(0.00)
Chontal	101 (1512)	0.00±0.00 (0.00)	5.00±8.00 (4.96)	12.3±3.67 (12.2)	19.3±6.78 (19.9)	13.9±4.32 (13.8)	15.3±3.60 (15.2)	12.7±2.74 (12.7)	3.13±6.54 (3.11)	7.87±6.15 (7.80)	7.60±9.88 (7.54)	3.60±6.30 (3.57)	0.00±0.00 (0.00)
Mestizo	110 (1654)	0.00±0.00 (0.00)	9.27±5.45 (8.4)	14.9±3.35 (13.5)	17.3±4.76 (15.7)	8.07±5.40 (7.32)	13.8±4.67 (12.5)	15.2±3.65 (13.8)	12.7±3.96 (11.5)	8.07±5.40 (7.82)	10.5±5.55 (9.49)	0.47±1.14 (0.42)	0.00±0.00 (0.00)
Criollo Carmelo	155 (2322)	0.00±0.00 (0.00)	12.2±2.41 (7.88)	22.1±10.9 (14.3)	27.3±2.28 (17.6)	18.1±7.15 (11.7)	19.5±1.34 (12.6)	16.9±1.92 (10.9)	13.1±3.35 (8.44)	8.67±7.28 (5.60)	13.0±2.74 (8.40)	4.07±4.38 (2.63)	0.00±0.00 (0.00)
PROMEDIO MENSUAL DE FLORES CAÍDAS POR M² DE COBERTURA FOLIAR (Índice de Flores Caídas por m ² de Cobertura Foliar)													
UF273	40.1 (601)	0.00±0.00 (0.00)	2.93±3.70 (7.32)	5.93±2.17 (14.8)	6.73±4.82 (16.8)	6.20±5.90 (15.5)	6.33±3.08 (15.8)	4.73±3.03 (11.8)	1.40±2.68 (3.49)	2.53±3.20 (6.32)	3.20±3.43 (7.99)	0.00±0.00 (0.00)	0.07±0.45 (0.17)
Caehui	335 (5032)	0.00±0.00 (0.00)	31.1±13.3 (9.3)	43.0±11.9 (12.8)	53.5±9.55 (16.0)	35.1±13.7 (10.5)	43.5±8.44 (13.0)	36.3±7.19 (10.8)	30.1±13.9 (8.98)	29.9±29.6 (8.90)	22.5±18.1 (6.72)	10.4±2.77 (3.10)	0.00±0.00 (0.00)
Chibolón	340 (5106)	0.00±0.00 (0.00)	24.2±7.54 (7.11)	44.3±9.73 (13.0)	54.1±10.9 (15.9)	35.3±12.2 (10.4)	38.1±7.26 (11.2)	30.6±13.2 (8.99)	33.8±11.9 (9.93)	51.3±25.6 (15.1)	23.3±10.3 (6.84)	5.40±2.49 (1.59)	0.07±0.45 (0.02)
PA169	225 (3380)	0.00±0.00 (0.00)	17.7±8.58 (7.87)	23.0±9.14 (10.2)	37.7±19.5 (16.7)	26.5±17.3 (11.8)	29.8±21.9 (13.2)	18.7±9.63 (8.31)	25.7±9.11 (11.4)	23.2±7.67 (10.3)	17.6±6.91 (7.81)	5.40±0.84 (2.40)	0.00±0.00 (0.00)
K'in	194 (2916)	0.00±0.00 (0.00)	17.1±7.73 (8.81)	19.4±4.76 (9.98)	25.1±8.04 (12.9)	23.5±3.51 (12.1)	24.5±13.2 (12.6)	16.6±9.78 (8.54)	26.9±11.7 (13.8)	19.4±7.83 (9.98)	17.7±4.44 (9.12)	4.20±5.94 (2.16)	0.00±0.00 (0.00)
ICS95	238 (3568)	0.00±0.00 (0.00)	20.9±11.2 (8.77)	31.0±10.2 (13.0)	28.3±6.98 (11.9)	33.1±8.64 (13.9)	27.1±12.4 (11.4)	15.9±4.72 (6.67)	34.7±12.5 (14.6)	23.8±12.2 (10.0)	19.5±8.20 (8.21)	3.67±2.91 (1.54)	0.00±0.00 (0.00)
Supremo	201 (3012)	0.00±0.00 (0.00)	21.9±19.3 (10.9)	24.5±12.3 (12.2)	27.5±9.21 (13.7)	5.93±2.17 (2.95)	25.7±13.2 (12.8)	20.3±16.8 (10.1)	28.6±16.3 (14.2)	20.3±12.2 (10.1)	22.1±10.1 (11.0)	4.00±3.00 (1.99)	0.00±0.00 (0.00)
Chontal	110 (1645)	0.00±0.00 (0.00)	3.27±7.36 (2.98)	22.3±14.9 (20.4)	28.7±13.3 (26.2)	15.1±6.69 (13.7)	9.47±4.16 (8.63)	13.9±5.26 (12.7)	2.53±12.0 (2.31)	5.73±8.59 (5.23)	5.07±13.3 (4.62)	3.53±14.2 (3.22)	0.00±0.00 (0.00)
Mestizo	180 (2706)	0.00±0.00 (0.00)	19.5±15.3 (10.5)	20.4±14.8 (11.3)	22.1±14.3 (12.3)	16.6±20.6 (9.20)	21.8±22.3 (12.1)	12.5±1.52 (6.91)	27.7±28.6 (15.3)	15.6±22.0 (8.65)	21.4±16.4 (11.9)	2.87±1.14 (1.59)	0.00±0.00 (0.00)
Criollo Carmelo	193 (2899)	0.00±0.00 (0.00)	17.1±17.0 (8.83)	28.5±12.2 (14.8)	31.3±8.18 (16.2)	20.5±3.13 (10.6)	16.2±7.89 (8.38)	19.5±8.14 (10.1)	18.1±24.6 (9.38)	19.5±29.4 (10.1)	15.6±21.9 (8.07)	6.80±6.80 (3.52)	0.00±0.00 (0.00)
Temperatura °C	25.9	30.1	32.2	33.0	34.0	34.7	33.8	33.9	32.5	30.8	29.7	27.6	
Precipitación mm	0.00	0.40	0.30	2.40	3.90	6.80	0.30	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	

La floración es igual al número de flores registrado a partir de la evaluación de 15 redes de 1 m² que fueron distribuidas en cinco árboles de cada variedad, en cada árbol se colocó tres mallas distribuidas al azar en un gradiente de vertical. TP= total promedio, TR=Total real.

Anexo 2. Producción mensual promedio \pm desviación estándar de frutos prendidos, frutos caídos y frutos cosechados e índices.

Genotipo	TP (TR)	PROMEDIO MENSUAL DE FRUTOS PRENDIDOS POR M ² DE COBERTURA FOLIAR (Índice de Frutos Prendidos por m ² de Cobertura Foliar)											
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
UF273	9.00 (135)	0.00 \pm 0.00 (0.00)	0.67 \pm 1.22 (7.41)	2.40 \pm 2.59 (26.7)	1.87 \pm 1.34 (20.7)	0.47 \pm 1.51 (5.19)	0.33 \pm 1.00 (3.70)	0.47 \pm 1.34 (5.19)	0.47 \pm 1.34 (5.19)	0.47 \pm 1.34 (5.19)	1.60 \pm 1.48 (17.8)	0.27 \pm 0.44 (2.96)	0.00 \pm 0.00 (0.00)
Caehui	16.5 (248)	0.00 \pm 0.00 (0.00)	1.67 \pm 2.35 (10.1)	2.73 \pm 2.28 (16.5)	3.27 \pm 3.34 (19.8)	1.93 \pm 1.09 (11.7)	1.80 \pm 1.34 (10.9)	0.80 \pm 0.54 (4.84)	1.40 \pm 1.30 (8.47)	1.13 \pm 1.81 (6.86)	1.60 \pm 2.48 (9.68)	0.20 \pm 0.54 (1.21)	0.00 \pm 0.00 (0.00)
Chibolón	21.2 (318)	0.00 \pm 0.00 (0.00)	1.73 \pm 0.83 (8.18)	2.13 \pm 1.51 (10.1)	2.40 \pm 1.30 (11.3)	1.53 \pm 1.51 (7.23)	1.93 \pm 1.48 (9.12)	1.67 \pm 1.41 (7.86)	2.87 \pm 1.51 (13.5)	2.27 \pm 1.78 (10.7)	2.93 \pm 1.48 (13.8)	1.20 \pm 2.07 (5.66)	0.53 \pm 0.89 (2.52)
PA169	12.3 (185)	0.00 \pm 0.00 (0.00)	0.87 \pm 1.14 (7.03)	1.67 \pm 1.22 (13.5)	1.73 \pm 1.09 (14.1)	1.20 \pm 0.54 (9.73)	1.33 \pm 1.22 (10.8)	1.07 \pm 1.30 (8.65)	1.27 \pm 2.04 (10.3)	1.53 \pm 1.14 (12.4)	1.33 \pm 1.00 (10.8)	0.33 \pm 0.70 (2.70)	0.00 \pm 0.00 (0.00)
K'in	13.0 (195)	0.00 \pm 0.00 (0.00)	1.27 \pm 0.83 (9.74)	1.20 \pm 1.81 (9.23)	1.93 \pm 2.28 (14.9)	0.93 \pm 0.44 (7.18)	1.87 \pm 2.30 (14.4)	1.07 \pm 1.48 (8.21)	1.60 \pm 1.09 (12.3)	1.20 \pm 0.54 (9.23)	1.53 \pm 2.07 (11.8)	0.40 \pm 0.83 (3.08)	0.00 \pm 0.00 (0.00)
ICS95	11.5 (177)	0.00 \pm 0.00 (0.00)	0.73 \pm 1.30 (6.39)	2.00 \pm 1.87 (17.4)	1.40 \pm 1.09 (12.2)	2.00 \pm 1.22 (17.4)	1.13 \pm 2.30 (9.85)	1.27 \pm 0.44 (11.1)	1.00 \pm 1.58 (8.72)	1.00 \pm 0.70 (8.72)	1.20 \pm 1.94 (10.5)	0.07 \pm 0.44 (0.58)	0.00 \pm 0.00 (0.00)
Supremo	12.5 (187)	0.00 \pm 0.00 (0.00)	1.00 \pm 1.80 (8.02)	1.80 \pm 2.30 (14.4)	1.27 \pm 1.48 (10.2)	2.40 \pm 2.58 (19.2)	0.60 \pm 1.64 (4.81)	0.87 \pm 1.51 (6.95)	0.93 \pm 1.64 (7.48)	1.40 \pm 2.04 (11.2)	1.87 \pm 1.67 (15.0)	0.33 \pm 1.00 (2.67)	0.00 \pm 0.00 (0.00)
Chontal	10.3 (155)	0.00 \pm 0.00 (0.00)	0.73 \pm 0.83 (7.10)	0.87 \pm 1.51 (8.39)	1.00 \pm 1.87 (9.68)	2.53 \pm 2.40 (24.5)	1.40 \pm 1.64 (13.5)	0.33 \pm 1.22 (3.23)	0.73 \pm 1.30 (7.10)	0.80 \pm 1.51 (7.74)	1.47 \pm 1.14 (14.2)	0.47 \pm 0.89 (4.52)	0.00 \pm 0.00 (0.00)
Mestizo	10.9 (164)	0.00 \pm 0.00 (0.00)	0.87 \pm 1.14 (7.93)	1.60 \pm 2.16 (14.6)	2.47 \pm 2.10 (22.7)	1.07 \pm 1.30 (9.76)	1.07 \pm 1.64 (9.76)	0.47 \pm 1.14 (4.27)	0.73 \pm 1.09 (6.71)	1.13 \pm 1.51 (10.37)	1.13 \pm 1.67 (10.4)	0.40 \pm 0.83 (3.66)	0.00 \pm 0.00 (0.00)
Criollo Carmelo	11.5 (172)	0.00 \pm 0.00 (0.00)	1.00 \pm 0.70 (8.72)	2.07 \pm 2.28 (18.0)	2.27 \pm 1.30 (19.8)	0.80 \pm 1.14 (6.97)	0.67 \pm 1.22 (5.81)	1.20 \pm 0.54 (10.5)	0.93 \pm 0.83 (8.14)	1.20 \pm 1.14 (10.46)	0.73 \pm 1.78 (6.39)	0.60 \pm 1.78 (5.23)	0.00 \pm 0.00 (0.00)
PROMEDIO MENSUAL DE FRUTOS CAÍDOS POR M ² DE COBERTURA FOLIAR (Índice de Frutos Caídos por m ² de Cobertura Foliar)													
UF273	2.60 (39)	0.27 \pm 0.83 (10.1)	0.40 \pm 0.83 (15.40)	0.40 \pm 1.30 (15.4)	0.07 \pm 0.44 (2.56)	0.33 \pm 1.22 (12.8)	0.27 \pm 0.83 (10.3)	0.07 \pm 0.44 (2.56)	0.00 \pm 0.00 (0.00)	0.00 \pm 0.00 (0.00)	0.13 \pm 0.54 (5.13)	0.47 \pm 0.54 (19.9)	0.20 \pm 0.89 (7.69)
Caehui	4.07 (61)	0.47 \pm 0.54 (11.5)	0.07 \pm 0.44 (1.64)	0.40 \pm 1.30 (9.83)	0.47 \pm 1.67 (11.5)	0.20 \pm 0.54 (4.91)	0.47 \pm 1.67 (11.5)	0.00 \pm 0.00 (0.00)	0.00 \pm 0.00 (0.00)	0.07 \pm 0.44 (1.64)	0.13 \pm 0.54 (3.28)	1.53 \pm 2.19 (37.7)	0.27 \pm 0.83 (6.55)
Chibolón	3.53 (53)	0.20 \pm 0.54 (3.62)	0.00 \pm 0.00 (0.00)	0.07 \pm 0.44 (1.21)	0.07 \pm 0.44 (1.21)	0.27 \pm 1.09 (4.82)	0.20 \pm 0.89 (3.62)	0.00 \pm 0.00 (0.00)	0.00 \pm 0.00 (0.00)	0.20 \pm 0.54 (3.62)	0.47 \pm 1.14 (8.44)	1.20 \pm 1.81 (21.7)	0.87 \pm 1.34 (15.7)
PA169	2.80 (42)	0.40 \pm 0.83 (14.1)	0.07 \pm 0.44 (2.38)	0.07 \pm 0.44 (2.38)	0.20 \pm 1.34 (7.14)	0.13 \pm 0.54 (4.76)	0.20 \pm 0.54 (7.14)	0.00 \pm 0.00 (0.00)	0.07 \pm 0.44 (2.38)	0.13 \pm 0.54 (4.76)	0.67 \pm 1.22 (23.8)	0.87 \pm 1.14 (30.9)	0.00 \pm 0.00 (0.00)
K'in	1.33 (20)	0.47 \pm 1.14 (35.1)	0.00 \pm 0.00 (0.00)	0.00 \pm 0.00 (0.00)	0.00 \pm 0.00 (0.00)	0.07 \pm 0.44 (5.01)	0.00 \pm 0.00 (0.00)	0.00 \pm 0.00 (0.00)	0.00 \pm 0.00 (0.00)	0.00 \pm 0.00 (0.00)	0.20 \pm 0.89 (15.0)	0.60 \pm 1.09 (45.1)	0.00 \pm 0.00 (0.00)
ICS95	1.80 (27)	0.33 \pm 0.70 (18.5)	0.07 \pm 0.44 (3.70)	0.07 \pm 0.44 (3.70)	0.13 \pm 0.89 (7.41)	0.07 \pm 0.44 (3.70)	0.07 \pm 0.44 (3.70)	0.00 \pm 0.00 (0.00)	0.07 \pm 0.44 (3.70)	0.07 \pm 0.44 (3.70)	0.20 \pm 0.54 (11.2)	0.73 \pm 1.09 (40.7)	0.00 \pm 0.00 (0.00)

Supremo	2.20 (27)	0.60±1.30 (27.3)	0.00±0.00 (0.00)	0.00±0.00 (0.00)	0.00±0.00 (0.00)	0.44±1.30 (18.2)	0.00±0.00 (0.00)	0.00±0.00 (0.00)	0.00±0.00 (0.00)	0.13±0.54 (6.06)	0.40±1.30 (18.2)	0.67±1.22 (30.3)	0.00±0.00 (0.00)
Chontal	2.07 (33)	0.67±0.70 (32.2)	0.00±0.00 (0.00)	0.00±0.00 (0.00)	0.13±0.54 (6.44)	0.27±0.83 (12.9)	0.40±1.30 (19.0)	0.00±0.00 (0.00)	0.00±0.00 (0.00)	0.07±0.44 (3.22)	0.07±0.44 (3.22)	0.47±1.67 (22.5)	0.00±0.00 (0.00)
Mestizo	3.20 (48)	0.47±0.54 (14.6)	0.07±0.44 (2.08)	0.07±0.44 (2.08)	0.47±1.51 (14.6)	0.20±0.54 (6.25)	0.07±0.44 (2.08)	0.27±0.83 (8.33)	0.07±0.44 (2.08)	0.13±0.54 (4.17)	0.20±0.89 (6.25)	1.20±1.81 (37.5)	0.00±0.00 (0.00)
Criollo Carmelo	2.67 (40)	0.47±0.54 (17.5)	0.00±0.00 (0.00)	0.00±0.00 (0.00)	0.07±0.44 (2.50)	0.40±0.44 (15.0)	0.00±0.00 (0.00)	0.07±0.44 (2.50)	0.00±0.00 (0.00)	0.00±0.00 (0.00)	0.80±1.14 (29.96)	0.87±1.14 (32.5)	0.00±0.00 (0.00)
PROMEDIO MENSUAL DE FRUTOS COSECHADOS POR M² DE COBERTURA FOLIAR													
(Índice de Frutos Cosechados por m² de Cobertura Foliar)													
UF273	6.47 (97)	0.47±0.54 (7.21)	0.73±0.83 (11.33)	0.27±0.83 (4.12)	0.27±0.83 (4.12)	0.27±0.83 (4.12)	0.33±0.70 (5.15)	0.93±1.48 (14.4)	0.93±1.48 (14.4)	0.73±0.83 (11.3)	0.53±1.68 (8.24)	0.47±0.54 (7.21)	0.53±1.68 (8.24)
Caehui	9.27 (139)	0.93±1.48 (10.07)	0.67±1.22 (7.19)	0.60±1.78 (6.47)	0.53±1.68 (5.75)	0.40±1.30 (4.31)	0.93±0.63 (10.1)	0.87±1.14 (9.35)	0.93±1.48 (10.1)	0.80±1.14 (8.63)	0.73±0.83 (7.91)	0.80±1.14 (8.63)	1.07±1.54 (11.51)
Chibolón	10.6 (159)	1.00±0.70 (9.43)	0.73±0.83 (6.92)	0.73±0.83 (6.92)	0.60±1.78 (5.66)	0.47±0.54 (4.40)	0.87±1.14 (8.18)	1.00±0.70 (9.43)	1.20±0.73 (11.3)	1.07±1.64 (10.1)	0.93±1.64 (8.81)	1.00±0.70 (9.43)	1.00±0.70 (9.43)
PA169	8.93 (134)	1.07±1.64 (11.9)	0.80±1.14 (8.96)	0.40±1.30 (4.48)	0.40±1.30 (4.48)	0.20±0.54 (2.24)	0.87±1.14 (9.71)	0.93±1.48 (10.4)	0.80±1.14 (8.96)	1.00±0.70 (11.2)	0.73±0.83 (8.21)	0.80±1.14 (8.96)	0.93±1.48 (10.4)
K'in	9.60 (144)	0.87±1.14 (9.03)	0.80±1.14 (8.33)	0.40±1.30 (4.17)	0.47±0.54 (4.86)	0.27±0.83 (2.78)	0.93±0.82 (9.72)	1.07±1.64 (11.1)	1.07±1.64 (11.1)	0.93±1.48 (9.72)	1.07±1.64 (11.1)	0.73±0.83 (7.64)	1.00±0.70 (10.4)
ICS95	8.67 (130)	1.00±0.70 (11.5)	0.73±0.83 (8.46)	0.53±1.68 (6.15)	0.47±0.54 (5.38)	0.33±0.70 (3.84)	0.67±1.22 (7.69)	0.87±1.14 (10.0)	0.73±0.83 (8.46)	0.80±1.14 (9.23)	0.73±0.83 (8.46)	0.87±1.14 (10.0)	0.93±1.48 (10.8)
Supremo	9.60 (144)	0.73±0.83 (7.64)	0.87±1.14 (9.03)	0.33±0.70 (3.47)	0.40±1.30 (4.17)	0.47±0.54 (4.86)	1.00±0.70 (10.4)	1.07±1.64 (11.1)	1.27±0.83 (13.2)	1.00±0.70 (10.4)	0.67±1.22 (6.94)	0.87±1.14 (9.03)	0.93±1.48 (9.72)
Chontal	8.20 (123)	0.60±1.78 (7.32)	0.73±0.83 (8.94)	0.80±1.14 (9.76)	0.60±1.78 (7.32)	0.47±0.54 (5.69)	0.27±0.14 (3.25)	0.47±0.54 (5.69)	0.73±0.83 (8.94)	0.87±1.14 (10.6)	1.00±0.70 (12.2)	1.13±2.30 (13.8)	0.53±1.68 (6.50)
Mestizo	7.20 (108)	0.67±1.22 (9.26)	0.73±0.83 (10.2)	0.40±1.30 (5.56)	0.00±0.00 (0.00)	0.27±0.83 (3.70)	0.87±0.51 (12.04)	0.67±1.22 (9.26)	0.73±0.83 (10.2)	0.87±1.14 (12.0)	0.80±1.14 (11.1)	0.47±0.54 (6.48)	0.73±0.83 (10.2)
Criollo Carmelo	7.80 (117)	0.87±1.14 (11.1)	0.60±1.78 (7.69)	0.33±0.70 (4.27)	0.27±0.83 (3.42)	0.13±0.54 (1.71)	0.73±0.83 (9.40)	0.73±0.83 (9.40)	0.87±1.14 (11.1)	0.80±1.14 (10.3)	0.67±1.22 (8.55)	0.87±1.14 (11.1)	0.93±1.48 (12.0)
Temperatura °C		25.9	30.1	32.2	33.0	34.0	34.7	33.8	33.9	32.5	30.8	29.7	27.6
Precipitación mm		0.00	0.40	0.30	2.40	3.90	6.80	0.30	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00

La producción de frutos es igual al número de frutos registrado a partir de la evaluación de 15 redes de 1 m² que fueron distribuidas en cinco arboles de cada variedad, en cada árbol se colocó tres mallas distribuidas al azar en un gradiente de vertical. TP= total promedio, TR=Total real.