

VARIACIÓN MORFOLÓGICA DE FRUTOS Y SEMILLAS DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) DE PLANTACIONES EN TABASCO, MÉXICO

MORPHOLOGICAL VARIATION OF CACAO (*Theobroma cacao* L.) FRUITS AND SEEDS FROM PLANTATIONS IN TABASCO, MEXICO

Miguel Á. Ramírez-Guillermo¹, Luz C. Lagunes-Espinoza^{1*},
Carlos F. Ortiz-García¹, Osman A. Gutiérrez² y Roberto de la Rosa-Santamaría¹

¹Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. Periférico Carlos A. Molina s/n, 86500 H. Cárdenas, Tabasco, México. ²Área de Genética USDA/ARS Estación de Investigación en Horticultura Subtropical. 13601 Old Cutler Road, Miami, FL. 33158. USA

*Autor para correspondencia (lagunesc@colpos.mx)

RESUMEN

Conocer la diversidad morfológica y genética presente en plantaciones, especialmente en especies nativas, es importante para el manejo y utilización de los recursos vegetales disponibles. Los objetivos del estudio fueron determinar la variación morfológica del fruto y semillas de cacao existente en plantaciones comerciales (PL) establecidas por semilla en Tabasco, México, e identificar colectas en estas PL con características sobresalientes asociadas al rendimiento. La recolección de frutos se realizó en 33 PL de siete municipios de Tabasco y un municipio de Chiapas. En total 101 árboles fueron muestreados en PL; además, se incluyeron 69 accesiones de bancos de germoplasma CEHUI- INIFAP y Ex-Finca el Danubio como germoplasma de referencia. La caracterización incluyó 11 características cualitativas y 18 cuantitativas del fruto y de la semilla. Se calcularon estadísticos descriptivos básicos, así como los coeficientes de correlación de Pearson y se realizó un análisis de coordenadas principales para conocer los patrones de variación de las características evaluadas, su relación e identificar las variables que más discriminan entre colectas. En PL la forma dominante del fruto fue cundeamor (26.8 %) seguida del amelonado (22.1 %) y no se observaron frutos con forma criollo. La forma del fruto, junto con características como constricción basal y rugosidad escasa, reflejan la hibridación de cacao criollo × forastero del bajo Amazonas que se ha dado en estas plantaciones a través del tiempo. Otras características como peso, longitud y diámetro del fruto también presentaron intervalos de variación amplios en PL. La variación en peso del fruto, espesor del caballet, peso de semilla, proporción del mesocarpo, el número y peso total de semillas por fruto y pigmentación del mucílago definieron la distribución espacial entre las colectas de PL. Las colectas Tc29487, Tc29745, Tc29747, Tc29749 y Tc29775 presentaron una combinación sobresaliente de número y peso total de semillas por fruto, proporción de mesocarpo e índice de fruto.

Palabras clave: *Theobroma cacao*, diversidad morfológica, fruto de cacao, plantaciones, semilla.

SUMMARY

Knowing the morphological and genetic diversity present in plantations, especially in native species, is important for the management and use of available plant resources. The objectives of the study were to determine the morphological variation of fruits and seeds of cocoa existing in commercial plantations (PL) established by seed in Tabasco, Mexico and to identify collections in PL with outstanding characteristics associated with yield. The collection of fruits was performed in 33 PL of seven municipalities from

Tabasco and one municipality from Chiapas. In total, 101 trees were sampled in PL; in addition, 69 accessions from CEHUI- INIFAP and Ex-Finca el Danubio gene banks were included as reference germplasm. The characterization included 11 qualitative and 18 quantitative characteristics of the fruit and seed. Basic descriptive statistics were calculated, as well as the Pearson correlation coefficients, and a principal coordinate analysis were performed to assess the patterns of variation of the tested characteristics, to find their relationship and to identify the most discriminant traits between accessions. In PL, the dominant shape of the fruit was elongated-narrow bottom (26.8 %) followed by melon-shaped (22.1 %), and no fruits with the creole form were observed. The shape of the fruit, along with characteristics as basal constriction and scarce rugosity reflect the hybridization of cocoa between creole × foreigner from the lower Amazon that has occurred in these plantations over time. Other characteristics such as weight, length, and diameter of the fruit also presented wide ranges of variation in PL. The variation in fruit weight, ridge thickness, seed weight, mesocarp proportion, the number and total weight of seeds per fruit and mucilage pigmentation defined the spatial distribution between PL accessions. Accessions Tc29487, Tc29745, Tc29747, Tc29749 and Tc29775 presented an outstanding combination of number and total weight of seeds per fruit, proportion of mesocarp and fruit index.

Index words: *Theobroma cacao*, morphological diversity, cocoa fruits, plantations, seed.

INTRODUCCIÓN

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es una especie perenne de la familia Malvaceae (Alverson et al., 1999), que crece bajo sombra, cuyo cultivo sustenta a la industria chocolatera. Es uno de los legados agro-biológicos máspreciados heredado de la cultura Mesoamericana y un recurso genético importante que requiere ser conservado. En México, el estado de Tabasco concentra 68.3 % de la producción nacional de cacao (SIAP, 2016); sin embargo, en los últimos 10 años se ha observado reducción en su rendimiento, debido principalmente al hongo *Moniliophthora roreri*, que ha ocasionado pérdidas de producción de más del 75 % y el derribo de plantaciones (Ortiz-García et al., 2015), lo que pone en riesgo la diversidad genética del cacao en el estado.

La mayor diversidad genética del cacao se concentra en el Alto Amazonas (Motamayor *et al.*, 2008; Thomas *et al.*, 2012), pero fue en el sur de México donde los Mokayas y Olmecas domesticaron y consumieron cacao por primera vez hace más de 3800 años (1800 - 1000 a. C.) (Henderson *et al.*, 2007; Powis *et al.*, 2011). Las primeras plantaciones de cacao criollo fueron establecidas por los Mayas, bajo un sofisticado agroecosistema donde existía gran diversidad de árboles asociados al cacao (Gómez-Pompa *et al.*, 1990). En la región de la Chontalpa, Tabasco, el grupo indígena de los Putunes chontales cultivaron extensas áreas de cacao criollo bajo el esquema artificial de un bosque tropical (Bergmann, 1969; Díaz, 2006). En Chiapas y Tabasco las primeras introducciones de cacao tipo forastero, con forma de fruto amelonado conocido como "Ceylán" se realizaron alrededor de 1900 (Enríquez, 1985).

Para 1961, se menciona que las poblaciones de cacao criollo habían disminuido considerablemente, incrementándose las de tipo forastero, dando lugar a una gran variación morfológica por el cruzamiento natural entre las poblaciones (Soria, 1961 Com. Pers.¹); de hecho, es hasta la década de 1940 que el cacao forastero tuvo mayor aceptación en Tabasco. Para la década de 1980, 98 % de las plantaciones fueron establecidas a partir de semillas y el tipo de fruto predominante era amelonado (70 %), seguido del calabacillo (26 %) y sólo el 4 % era del tipo criollo (Alonso, 1984).

Las dos primeras formas de fruto pertenecen al cacao tipo forastero descritas por Soria (1961, Com. Pers.¹) y Braudeau (1970), con características del fruto similares a los forasteros del bajo Amazonas. Así, las pocas plantas establecidas años atrás, al cruzarse con las poblaciones criollas presentes, con el tiempo se recombinaron y generaron híbridos (cruzas entre criollo y forastero conocidas tradicionalmente como cacao tipo trinitario), lo que incrementó la diversidad genética en las nuevas plantaciones establecidas por semilla (Chessman, 1944; Thomas *et al.*, 2012). Actualmente, una gran parte de las nuevas plantaciones de cacao en Tabasco son establecidas a partir de plantas de cacao injertadas con yemas o esquejes de genotipos sobresalientes en características productivas y con tolerancia a enfermedades, llamadas plantaciones clonales, las cuales corresponden principalmente al tipo trinitario (López *et al.*, 2013). Lo anterior puede tener un efecto en la disminución de la variación morfológica del fruto a largo plazo y en la diversidad genética de cacao en las plantaciones del estado.

Una forma de caracterizar la diversidad de cacao es

¹Soria V. J. (1961) Anotaciones sobre un viaje a las zonas productoras de cacao en México. Informe No. 44-E. (Mimeografiado). Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Turrialba, Costa Rica. 18 p.

utilizar descriptores morfológicos del fruto y de la semilla. El número de descriptores morfológicos que se ha utilizado es variable, el Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos propuso 65 (IBPGR, 1980), el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) emplea 26 (Phillips y Enríquez, 1988), el Centro de Cooperación Internacional en Investigación Agronómica para el Desarrollo (CIRAD, por sus siglas en francés) 24 y el CRU (Cocoa Research Unit, Trinidad y Tobago) 23 descriptores (Bekele y Buttler, 2000). Estos descriptores se han utilizado para representar e identificar genotipos de alto valor agronómico (Phillips-Mora *et al.*, 2012), comparar morfológicamente materiales de interés (Johnson *et al.*, 2007), conocer la variabilidad morfológica en rasgos asociados al rendimiento, como número y peso de granos secos por fruto en diferentes regiones del mundo (Cilas *et al.*, 2010). Las características agromorfológicas también han permitido diferenciar entre los tipos criollos, forasteros y trinitarios (Bekele *et al.*, 2006; Marcano *et al.*, 2009; Santos *et al.*, 2012; ten Hoppen *et al.*, 2012), en los cuales tradicionalmente se ha clasificado al cacao (Chessman, 1944).

En Tabasco se han descrito morfológicamente accesiones con forma de fruto calabacillo, amelonado, angoleta y cundeamor por parte del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), que implican diferencias en calidad del grano entre las mismas (López *et al.*, 2013); sin embargo, no existen estudios de la diversidad presente en las plantaciones a nivel morfológico y molecular, que permitan conocer su variación y estructura. Dada la importancia del cultivo de cacao en el estado, es necesario conocer la amplitud de la variación morfológica del fruto en las plantaciones que fueron establecidas a partir de semilla y que aún prevalecen. La necesidad de este estudio se refuerza por la alta calidad de grano que presentan selecciones de cacao locales (Córdoba-Ávalos *et al.*, 2016) y por la reciente obtención de la denominación de origen 'Cacao del Grijalva' que involucra a las plantaciones de cacao de la región Grijalva de Tabasco (subregiones de la Chontalpa, Centro y Sierra) (IMPI, 2016). Los objetivos del estudio fueron: a) determinar la variación morfológica de frutos de cacao presente en plantaciones establecidas por semilla en Tabasco, México, e b) identificar genotipos con características sobresalientes asociadas al rendimiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio

El estudio se realizó en la zona cacaotera del estado de Tabasco, México, localizada en el sureste del país, entre 17° 15' y 18° 39' latitud N y 90° 59' y 94° 08' longitud O. En este estado, el cacao se cultiva en las áreas de la planicie

costera (PC), central (RN) y montañosas de la sierra (AMS), que comprenden las subregiones de la Chontalpa, Centro y Sierra, respectivamente. La temperatura media anual es de 24 a 28 °C. El clima es tropical cálido húmedo con precipitación anual de 1500 a 3000 mm, con marcados períodos de lluvia (junio a enero) y de sequía (marzo a mayo). En estas áreas, las plantaciones se encuentran principalmente bajo la sombra de *Erythrina fusca* (moté), *Diphysa robinoides* (chipilco), *Guazuma ulmifolia* (guásimo), *Gliricidia sepium* (cocohíte), *Musa* sp. (plátano), *Cocos nucifera* (cocotero) y *Cedrela odorata* (cedro rojo) (Ramírez-Meneses *et al.*, 2013). El rendimiento promedio es de 0.42 t ha⁻¹ (SIAP, 2016).

Selección y colecta de material vegetal

Las plantaciones comerciales fueron seleccionadas considerando su establecimiento a partir de semilla. Dentro de cada plantación, con la ayuda del productor, se identificaron los árboles que tenían diferentes formas de fruto. La colecta de frutos se realizó de octubre de 2013 a abril de 2014. En total se seleccionaron y muestrearon 101 árboles en 33 plantaciones de cacao. Noventa y cinco árboles se muestrearon en plantaciones distribuidas en 26 localidades que comprenden los principales municipios cacaoteros de Tabasco y seis árboles fueron muestreados en una localidad de Chiapas (Cuadro 1). Como material de referencia y para documentar la variación en características de los frutos y semillas de las accesiones de cacao tipo forastero del bajo y alto Amazonas, trinitario y criollo

(Braudeau, 1970) conservadas en bancos de germoplasma del estado, se incluyeron 69 accesiones (Cuadro 1). Los muestreos de estos frutos se realizaron de noviembre a diciembre de 2012 en la ex-finca El Danubio y de diciembre de 2013 a marzo de 2014 en las accesiones del Campo Experimental Huimanguillo del INIFAP.

Caracterización morfológica

Para la caracterización morfológica se utilizaron frutos maduros y sanos disponibles en el tallo del árbol seleccionado (de 10 hasta 20); además, se tomaron 30 semillas al azar del grupo de frutos colectados por árbol. La caracterización de frutos y de semillas se realizó con base en los descriptores de Engels *et al.* (1980) y Phillips-Mora *et al.* (2012), mediante 11 características cualitativas y 18 cuantitativas. Las características cualitativas evaluadas en el fruto fueron: forma (angoleta, amelonado, cundeamor, calabacillo, criollo, pentágona, oblongo, abovado, ovalo, elíptico, orbicular), color del fruto maduro (amarillo, rojo, amarillo/verde, naranja, rojo medio, rojo oscuro, púrpura, verde/amarillo, verde, amarillo/rojo, rojo/amarillo, amarillo/naranja), presencia de constrictión basal (ausente, escasa, intermedia, bien marcada, muy ancha), forma del ápice (puntiagudo, agudo, obtuso, redondeado, pezón, dentado, atenuado, caudado), rugosidad (lisa, leve, intermedia, levemente áspera, áspera), color del chilillo y color del fruto verde (verde, verde-rojo, rojo-verde, rojo intenso), color del mucílago (blanco, crema).

Cuadro 1. Sitios y número de colectas de cacao realizadas en plantaciones de Tabasco y Chiapas, México, usadas en el estudio.

| Estado Subregión | Municipio | No. de árboles muestreados en plantaciones | No. de accesiones en bancos de germoplasma [†] |
|---------------------------------|-----------------|---|--|
| Tabasco | | | |
| La Chontalpa (Noroeste) | Comalcalco | 29 | 18 |
| | Cunduacán | 6 | |
| | Huimanguillo | 27 | 51 |
| | Paraíso | 3 | |
| La Chontalpa (Planicie costera) | Jalpa de Méndez | 26 | |
| Centro | Nacajuca | 2 | |
| La Sierra | Tacotalpa | 1 | |
| | Teapa | 1 | |
| Chiapas | | | |
| Norte de Chiapas | Ixtacomitán | 6 | |

[†]Las accesiones muestreadas del banco de germoplasma del CEHUI-INIFAP en Huimanguillo fueron 51: Material internacional de referencia (27), híbridos (13), criollos (11); de la Ex-finca El Danubio, híbridos (18).

En la semilla, las características evaluadas fueron: la forma (oblonga, elíptica, ovada, irregular), el color de los cotiledones (blanco, crema, rosa, violeta, violeta claro, rojo oscuro, púrpura, café, moteado) y la forma en sección transversal (aplanada, intermedia, redonda). Las características cuantitativas evaluadas en fruto fueron: largo (cm), diámetro en la parte media (cm), relación largo/diámetro, espesor del caballete (mm), profundidad del surco (mm), peso del fruto (g), número de semillas por fruto, peso total de las semillas (g), proporción del mesocarpo, número de semillas vanas e índice de fruto. En las semillas se determinó el peso húmedo (g), largo (mm), diámetro (mm), espesor (mm), peso seco (g), relación largo/diámetro, relación peso húmedo/peso seco. En la Figura 1 se muestran algunas de las características medidas en los frutos y semillas de cacao. El peso seco de las semillas se tomó después del secado a 60 °C por 48 h a una humedad de 7 %.

Análisis estadístico

Estadísticas descriptivas básicas fueron estimadas para las características morfológicas registradas; además, se realizó un análisis de coordenadas principales mediante el software InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2016). Previo al análisis de coordenadas principales, para seleccionar la característica cualitativa que identificaba a los frutos y semillas de una colecta se utilizó la moda como medida de tendencia central. La base de datos mixta (características cualitativas y cuantitativas) se utilizó para el análisis de coordenadas principales, a partir de la matriz de distancias Euclidianas para determinar la asociación de cada individuo en las plantaciones y en los bancos de germoplasma basada en

la similitud de sus características morfológicas. Con los datos de cada coordenada (PCO) se elaboró la gráfica de representación espacial en Microsoft Excel®, donde se proyectaron e identificaron los individuos por cuadrante. Se calcularon los coeficientes de correlación de Pearson entre el peso del fruto, número y peso de semillas por fruto y la proporción del mesocarpo, mediante el paquete estadístico SAS versión 9.3 (SAS Institute, 2011).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características cualitativas del fruto

La caracterización permitió observar la diversidad morfológica en la forma de frutos existentes en las plantaciones estudiadas (Cuadro 2). De las seis formas de fruto observadas, cundeamor fue la predominante (26.8 %), seguida de la amelonada (22.1 %), angoleta y elíptica (20.1 %) y no se observó la forma criollo. Alonso (1984) indicó la disminución de árboles con frutos con forma criollo en el estado, contabilizando sólo el 4 % en plantaciones establecidas por semilla, principalmente en el área montañosa de la Sierra (López *et al.*, 1989). Posiblemente, una de las razones de la ausencia de frutos de forma criollo podría ser el avance de la hibridación entre los cacaos criollos presentes en la región con los forasteros introducidos, que han formado el complejo trinitario de México (Braudeau, 1970), dada la heterogeneidad actual observada en formas del fruto dentro de plantaciones, como sugería Soria (1961 Com. Pers.¹).

La preponderancia de la forma cundeamor y presencia

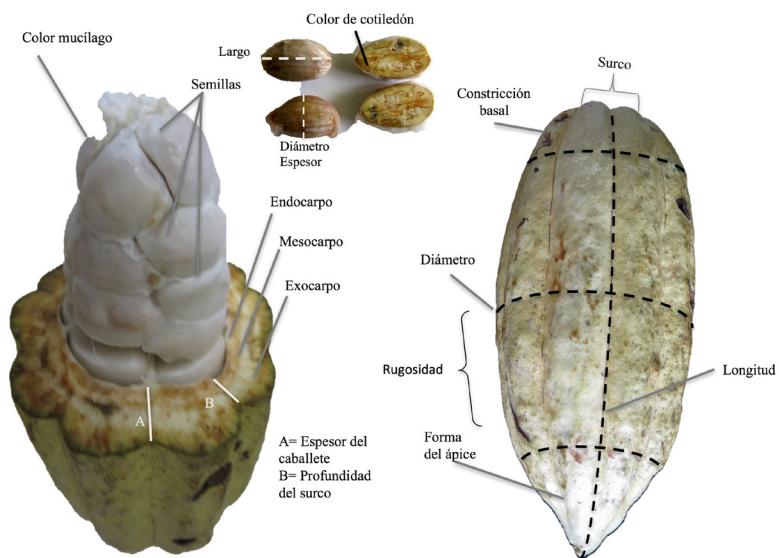


Figura 1. Esquema de fruto y semilla de cacao donde se indica la ubicación de los descriptores morfológicos.

de angoleta es una característica que permanece de los cacaos criollos de México señalados por Braudeau (1970). Otras características de los frutos que sugieren la presencia de hibridación es que el 34.7 % presentó constrictión basal escasa, el 36.9 % rugosidad escasa y en el 33.5 % el ápice fue obtuso. De acuerdo con la etapa de desarrollo del fruto, se observa que el 74.9 % presenta coloración verde en la etapa de chilillo, 77.3 % continúa siendo verde cuando el fruto alcanza su máximo tamaño, pero cuando el fruto llega a la madurez fisiológica el 83.9 % de ellos cambia a amarillo, características típicas de los cacaos forasteros del bajo Amazonas (Soria, 1961 Com. Pers.¹).

En el interior del fruto, el mucílago que cubre a las semillas es de color blanco en 96.2 % de ellas. El cotiledón es de color violeta en el 47.0 %, y sólo el 6.1 % de las colectas presentó semillas con cotiledones color blanco y crema, característica propia de cacaos criollos (Soria, 1961 Com. Pers.¹). Los árboles que presentan frutos con semillas de color blanco o de color crema son importantes debido a la preferencia del chocolate obtenido de cotiledones de estos

colores, que está asociada con la calidad. El color blanco de los cotiledones se observó en las colectas Tc29761, Tc29552, Tc29553 y Tc29554, aun cuando la forma del fruto no correspondió al tipo criollo (Braudeau, 1970). Entre las colectas que presentaron cotiledones moteados (color crema con violeta) destacan Tc29445 y Tc29352.

En los bancos de germoplasma de cacao también se observa variación para las características evaluadas, particularmente en la colección de híbridos, donde la forma predominante del fruto es la angoleta (67.7 %). En las semillas se observa variación en el color del cotiledón. En los materiales de referencia internacional, el 85.1 % de las semillas son de color púrpura, en los híbridos el 54.8 % presentan un cotiledón de color violeta y en los criollos el 81.8 % es de color crema (Cuadro 2).

Características cuantitativas

Entre las 101 muestras de las plantaciones evaluadas, los intervalos de variación son amplios, especialmente

Cuadro 2. Frecuencia (%) de características cualitativas de frutos y de semilla en colectas de plantaciones de cacao y accesiones de bancos de germoplasma de Tabasco y Chiapas, México.

| Característica | Categoría | De plantaciones | | De bancos de germoplasma | |
|------------------------------|--------------|-----------------|--------|--------------------------|--------|
| | | n = 101 | n = 27 | n = 31 | n = 11 |
| Forma del fruto | Angoleta | 20.14 | 44.44 | 67.74 | 36.36 |
| | Amelonada | 22.11 | 7.41 | 12.90 | 9.09 |
| | Cundeamor | 26.85 | 14.81 | | |
| | Elíptica | 20.14 | 29.63 | 16.13 | |
| | Criollo | | | 3.23 | 27.27 |
| | Pentágona | 1.05 | | | 18.18 |
| Forma del ápice del fruto | Agudo | 14.74 | 7.41 | 19.35 | |
| | Obtuso | 33.57 | 18.52 | 16.13 | 18.18 |
| | Dentado | 11.58 | 3.70 | 6.45 | |
| | Atenuado | 2.12 | 14.81 | 12.90 | 36.36 |
| | Caudado | 17.90 | 51.85 | 41.94 | 36.36 |
| Constricción basal del fruto | Ausente | 35.80 | 7.41 | 12.90 | 45.45 |
| | Escasa | 34.74 | 29.63 | 22.58 | 9.09 |
| | Intermedia | 15.67 | 37.04 | 16.13 | 9.09 |
| | Bien marcada | 17.90 | 25.93 | 45.16 | 36.26 |
| | Muy ancha | | | 3.27 | |
| Rugosidad del fruto | Liso | 3.16 | 3.70 | 12.90 | |
| | Leve | 36.93 | 81.48 | 48.39 | 45.45 |
| | Intermedia | 38.05 | | 20.03 | 9.09 |
| | Levemente | 13.68 | 11.11 | 9.68 | 27.27 |
| | Áspera | 13.42 | 3.70 | | 18.18 |

Cuadro 2. Continuación.

| Característica | Categoría | De plantaciones | | De bancos de germoplasma | |
|---|----------------|-----------------|--------|--------------------------|----------|
| | | n = 101 | n = 27 | MIR | Híbridos |
| Color del chilillo | Verde | 74.98 | 70.37 | 67.74 | 72.73 |
| | Verde-rojo | 17.90 | 11.11 | 25.81 | 18.18 |
| | Rojo intenso | 6.71 | 7.41 | | |
| Color del fruto fresco | Verde | 77.32 | 70.37 | 67.74 | 72.73 |
| | Verde-rojo | 16.78 | 11.11 | 25.81 | 18.18 |
| | Rojo intenso | 6.71 | 7.41 | | 4.09 |
| Color del fruto | Amarillo | 83.93 | 70.37 | 83.87 | 18.18 |
| | Rojo oscuro | | | | 9.09 |
| | Verde/amarillo | | 11.11 | | 36.36 |
| | Verde | 1.05 | | | 36.36 |
| Color del mucílago | Blanco | 96.24 | 29.63 | 51.61 | 27.27 |
| | Crema | 10.06 | 70.37 | 48.39 | 72.73 |
| Forma de la semilla | Oblonga | 29.46 | 21.41 | 17.36 | 23.75 |
| | Elíptica | 15.96 | 15.44 | 23.68 | 11.74 |
| | Ovalada | 33.80 | 42.37 | 24.51 | 29.50 |
| | Irregular | 20.75 | 20.77 | 34.43 | 34.98 |
| Forma sección transversal de la semilla | Aplanada | 74.29 | 66.05 | 63.39 | 69.32 |
| | Intermedia | 4.56 | 17.84 | 10.41 | 3.26 |
| | Redondeada | 21.13 | 16.10 | 26.18 | 27.41 |
| Color del cotiledón de la semilla | Blanco | 4.21 | | | |
| | Crema | 1.96 | | | 81.82 |
| | Violeta | 47.00 | 11.11 | 54.84 | |
| | Púrpura | 50.36 | 85.19 | 35.48 | |
| | Moteado | 2.24 | 3.70 | 6.45 | 18.18 |

MIR: material internacional de referencia.

para peso del fruto (243.4 a 1194.3 g) y peso total de semillas por fruto (27.3 a 178.3 g). La proporción de mesocarpo y el diámetro del fruto fueron los que mostraron menor variación (Cuadro 3). El mayor peso del fruto lo registró la colecta Tc29752 (1194.3 g). El mayor peso total de semillas por fruto lo presentó la colecta Tc29487 (178.3 g) y el mayor número de semillas (46) las colectas Tc29360 y Tc29561. Variación en peso de semilla ha sido observado también en plantaciones de Camerún (Efombagn *et al.*, 2009) y de Nigeria (Aikpokpodion, 2010), así como entre las accesiones del Banco Internacional de Germoplasma de Trinidad y Tobago (Bekele *et al.*, 2006). No se observa relación entre el peso del fruto y el número de semillas por fruto, aunque sí se observa que la variación en el peso de semillas por fruto tiende a incrementarse al aumentar el peso del fruto, y frutos con menor proporción del mesocarpo tienden a presentar mayor peso de semillas.

Los coeficientes de correlación de Pearson entre el peso del fruto y número y peso de semillas fueron altamente significativos ($P \leq 0.001$) pero relativamente bajos (0.33 y 0.53, respectivamente) y entre la proporción de mesocarpo y el número y peso de semillas fueron significativos ($P \leq 0.05$) y negativos (-0.42 y -0.54, respectivamente). Estos resultados muestran que en las plantaciones de cacao que fueron establecidas por semilla en Tabasco existe aún una amplia diversidad morfológica para características del fruto, que puede enriquecer la existente en los bancos de germoplasma y usarse en programas de mejoramiento genético. Estas selecciones con alto potencial de producción pueden ser evaluadas en ensayos regionales en las zonas PC, RN y AMS para así determinar su potencial productivo y luego su posterior liberación y distribución como nuevas variedades de uso común para los agricultores del estado de Tabasco.

Cuadro 3. Intervalos de variación de características cuantitativas del fruto y la semilla de colectas de plantaciones de cacao y accesiones de bancos de germoplasmas en Tabasco y Chiapas, México.

| Carácter | Plantaciones (n = 101) | | | Bancos de germoplasma (n = 69) | | | Media | DE |
|----------|------------------------|-------|-------|--------------------------------|-------------------|-------------------|-------|------|
| | Intervalo | Media | DE | MIR (n = 27) | Híbridos (n = 31) | Criollos (n = 11) | | |
| PF (g) | 243.4-1194.3 | 718.8 | 672.3 | 170.9-691.8 | 310.4-746.8 | 259.3-528.2 | 451.2 | 69.5 |
| LF (cm) | 8.8-23.7 | 16.2 | 10.5 | 10.8-22.9 | 13.3-20.6 | 12.7-21.7 | 17.0 | 0.1 |
| DF (cm) | 6.8-11.4 | 9.1 | 3.5 | 5.7-9.1 | 6.8-9.6 | 6.6-8.5 | 7.7 | 0.4 |
| ECF (mm) | 8.3-28.1 | 18.2 | 14.0 | 8.5-18.3 | 8.1-20.2 | 9.9-15.1 | 13.3 | 0.8 |
| PSF (mm) | 5.3-18.1 | 11.7 | 9.0 | 4.4-13.1 | 4.5-15.9 | 5.7-10.7 | 9.0 | 1.0 |
| RLDF | 1.1-2.7 | 1.9 | 1.1 | 1.5-3.0 | 1.5-2.7 | 1.6-3.0 | 2.2 | 0.1 |
| NSF | 17.0-46.0 | 31.5 | 20.5 | 24.0-46.5 | 21.0-51.8 | 29.8-38.8 | 35.3 | 1.0 |
| PTSF (g) | 27.3-178.3 | 102.8 | 106.7 | 37.7-186.3 | 69.9-196.0 | 52.9-140.7 | 113.9 | 18.1 |
| PMF | 0.6-0.9 | 0.7 | 0.2 | 0.6-0.8 | 0.5-0.8 | 0.7-0.8 | 0.7 | 0.1 |
| SEMVAN | 0.0-5.6 | 2.8 | 3.9 | 0.0-5.5 | 0.0-7.6 | 0.0-9.0 | 3.6 | 0.8 |
| PHS (g) | 0.9-3.6 | 2.2 | 1.9 | 0.8-3.8 | 1.1-3.4 | 1.1-2.2 | 2.0 | 0.3 |
| PSS (g) | 0.3-1.4 | 0.8 | 0.7 | 0.4-1.6 | 0.5-1.5 | 0.5-1.2 | 0.9 | 0.1 |
| RPHPSS | 1.3-4.5 | 2.9 | 2.2 | 1.4-3.8 | 1.5-2.9 | 1.6-2.1 | 2.2 | 0.3 |
| DS (mm) | 10.5-15.5 | 13.0 | 3.5 | 9.4-15.0 | 9.7-14.2 | 9.6-14.1 | 12.0 | 0.2 |
| LS (mm) | 18.8-26.9 | 22.8 | 5.7 | 19.0-27.6 | 21.8-26.6 | 18.6-25.4 | 23.1 | 1.1 |
| ES (mm) | 5.8-11.3 | 8.5 | 3.8 | 5.6-9.2 | 6.6-10.6 | 5.9-9.8 | 7.9 | 0.6 |
| RLDS | 1.5-2.1 | 1.9 | 0.6 | 1.7-2.3 | 1.7-2.3 | 1.6-2.0 | 1.9 | 0.1 |
| IM | 17.0-98.0 | 57.5 | 57.2 | - | 19.0-40.0 | 23.7-50.7 | 33.3 | 5.4 |

MIR: material internacional de referencia; DE: desviación estándar; PF: peso del fruto; LF: largo del fruto; DF: diámetro del fruto; ECF: espesor del caballete del fruto; PSF: profundidad del surco en el fruto; RLDF: relación largo/diámetro del fruto; NSF: número de semillas por fruto; PTSF: peso total de las semillas por fruto; PMF: proporción del mesocarpo en el fruto; SEMVAN: semillas vanas; PHS: peso húmedo de la semilla, PSS: peso seco de la semilla; RPHPSS: relación peso húmedo/peso seco de la semilla; DS diámetro de la semilla; LS: largo de la semilla; ES: espesor de la semilla; RLDS: relación largo diámetro de la semilla; IM: índice de fruto.

Los datos de productividad son fundamentales para la selección de genotipos productivos (Chacón de Ramírez *et al.*, 2011). Entre las colectas realizadas sobresale Tc29487 por el índice de fruto (IM), donde, con 17 frutos se puede obtener 1 kg de grano seco, compuesto de 687 semillas. Entre las colectas de alto potencial de producción está la Tc29745, con un peso seco de 4055.8 g de semillas por árbol (PSS/ARB), que contrasta con la Tc29476 que produce sólo 87.49 g de semilla seca. Esta diversidad para el IM entre las accesiones en estudio es importante pues es mayor que el observado en plantaciones de Camerún (21.8 a 38.0) constituidas de cacaos forasteros del bajo Amazonas, que muestran una variación baja debido al reducido número de individuos introducidos (Efombagn *et al.*, 2009). En el Criollo Porcelana de Venezuela el IM es de 32.34 (Chacón de Ramírez *et al.*, 2011), aunque este valor de IM es de esperarse en este tipo de cacao por la baja productividad asociada a los criollos (Braudeau, 1970).

Análisis de coordenadas principales

Las tres primeras coordenadas explicaron el 65 % de la variación morfológica observada entre las accesiones. La primera coordenada contribuyó con el 29 % de la variación total, la segunda representó el 21 % y la tercera el 15 %. La Figura 2 muestra la asociación relativa de las colectas de las plantaciones y accesiones de bancos de germoplasma en función de las coordenadas principales. Las colectas de las plantaciones con valores altos en la PCO1 tienden a presentar mayor peso del fruto, espesor del caballete, peso de una semilla y menor proporción del mesocarpo; presentan una coloración de mucílago blanco o crema. Entre estas colectas sobresalen Tc29487, Tc29392, Tc29745, Tc29775, Tc29758, Tc29749 que presentan también un mayor número y peso de semillas por fruto, características que tienen algunas accesiones del material de referencia internacional y nacional del Banco de germoplasma CEHUI-INIFAP. Lo anterior muestra que

en las plantaciones en estudio existen árboles que han logrado conjuntar características favorables del fruto a lo largo del tiempo, entre ellos el número y peso de semillas que se asocian directamente con el rendimiento en cacao (Cilas *et al.*, 2010).

No obstante la reducción en la superficie cultivada de cacao en Tabasco por el derribo *ex profeso* de plantaciones por el productor debido a daños severos causados por la moniliasis (*M. roreri*) que hace económicamente inviable al cultivo (Ortiz-García *et al.*, 2015), las plantaciones que permanecen muestran aún una amplia variación morfológica en características del fruto y de la semilla. Esta diversidad morfológica puede reducirse y con ello perder la oportunidad de ser conservada y usada en programas de mejoramiento genético, debido al reemplazo progresivo de estas plantaciones por otras nuevas que están siendo establecidas con injertos de genotipos de cacao tolerantes a la moniliasis. Desde el punto de vista de conservación y mejoramiento de recursos genéticos, esta variación morfológica debe de estudiarse a nivel molecular, para que en conjunto se conozca la estructura de esta variación en el

cacao de Tabasco y se emprendan acciones más fundamentadas para su conservación y aprovechamiento.

CONCLUSIONES

Las colectas de plantaciones comerciales establecidas por semilla de Tabasco y Chiapas presentan variación morfológica para todas las características del fruto y de la semilla evaluadas, especialmente para el espesor del caballlete, peso y largo del fruto, número y peso total de semillas por fruto e índice de fruto. La heterogeneidad observada de las características morfológicas en las plantaciones refleja la naturaleza híbrida del complejo trinitario de Tabasco (cruzas entre criollos de México con forasteros). Se identificaron colectas de plantaciones que destacan por un mayor peso de frutos por árbol, peso total de semillas por fruto e índice de fruto.

AGRADECIMIENTOS

A CONACYT por la beca otorgada al primer autor para la realización de sus estudios de maestría en ciencias, al

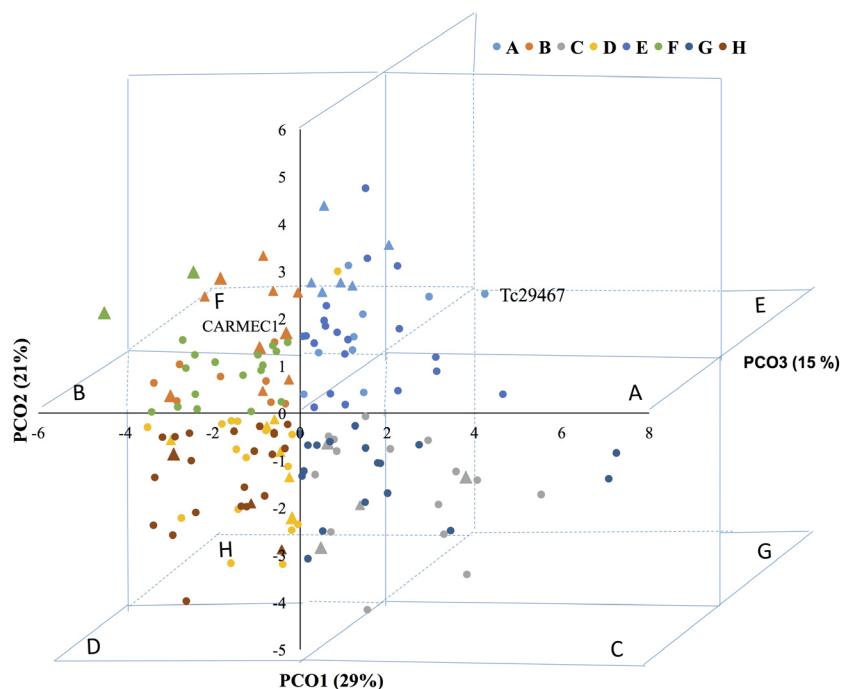


Figura 2. Dispersión de las colectas de cacao con base en las tres primeras coordenadas principales derivadas de características morfológicas del fruto y semillas en las plantaciones (•) y material de referencia, híbridos y criollos (Δ) en bancos de germoplasma del estado de Tabasco. PCO1 (asociada con mayor peso del fruto, espesor del caballlete, peso de una semilla y proporción del mesocarpo), PCO2 (asociada con mayor número y peso de semillas por fruto, color del mucílago y menor proporción del mesocarpo), PCO3 (asociada con mayor profundidad del surco, color de mucílago y menor largo de fruto y espesor de semilla). ABCDEFGH son las combinaciones de las variables asociadas a las coordenadas por individuo.

INIFAP y todos los productores de cacao que permitieron la evaluación de sus materiales.

BIBLIOGRAFÍA

- Aikpokpodion P. O. (2010)** Variation in agro-morphological characteristics of cacao, *Theobroma cacao* L., in farmers' fields in Nigeria. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* 38:157-170, <http://dx.doi.org/10.1080/0028825X.2010.488786>.
- Alonso V. R. (1984)** Marco de Referencia para la Planeación y Evaluación de la Investigación Agrícola en el Cultivo del Cacao en el Estado de Tabasco. SARH, INIA, CIAGOC, CAEHUI. Huimanguillo, Tabasco, México. 106 p.
- Alverson W. S., B. A. Whitlock, R. Nyfeller, C. Bayer and D. A. Baum (1999)** Phylogeny of the core Malvales: evidence from *ndhF* sequence data. *American Journal of Botany* 86:1474-1486, <http://dx.doi.org/10.2307/2656928>.
- Bekele F. and D. R. Butler (2000)** Proposed short list cocoa descriptors for characterization. In: Working Procedures for Cocoa Germplasm Evaluation and Selection. Proceedings CFC/ICCO/IPGRI Project Workshop. A. B. Eskes, J. M. M. Engels and R. A. Lass (eds.). IPGRI. Rome, Italy. pp:41-48.
- Bekele F. L., I. Bekele, D. R. Butler and G. G. Bidaisee (2006)** Patterns of morphological variation in a sample of cacao (*Theobroma cacao* L.) germplasm from the International Cocoa Genebank, Trinidad. *Genetic Resources and Crop Evolution* 53:933-948, <http://dx.doi.org/10.1007/s10722-004-6692-x>.
- Bergmann J. F. (1969)** The distribution of cacao cultivation in Pre-Columbian America. *Annals of the Association of American Geographers* 59:85-96, <http://dx.doi.org/10.1111/j.1467-8306.1969.tb00659.x>.
- Braudeau J. (1970)** El Cacao. Técnicas Agrícolas y Producciones. Ed. Blume. Barcelona. España. 297 p.
- Chacón de Ramírez I., C. Ramis y C. Gómez (2011)** Descripción morfológica de frutos y semillas del cacao Criollo Porcelana (*Theobroma cacao* L.) en el sur del Lago de Maracaibo. *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)* 28:1-13.
- Chessman E. (1944)** Notes on the nomenclature, classification and possible relationships of cacao populations. *Journal of Tropical Agriculture* 21:144-159.
- Cilas C., R. Machado and J. C. Motamayor (2010)** Relations between several traits linked to sexual plant reproduction in *Theobroma cacao* L.: number of ovules per ovary, number of seeds per pod, and seed weight. *Tree Genetics and Genomes* 6:219-226, <http://dx.doi.org/10.1007/s11295-009-0242-9>.
- Córdova-Ávalos V., A. Guerrero-Peña, A. Bucio-Galindo, A. Córdova-Avalos, J. A. Hinojosa-Cuéllar, F. Izquierdo-Reyes y C. Hernández-Echeverría (2016)** Escuela de producción orgánica de cacao criollo (*Theobroma cacao* L. var. Carmelo), en Tabasco, México. Agroproductividad 9:63-67.
- Díaz del C. B. (2006)** Historia Verdadera de la Conquista de la Nueva España. Colección Literaria Universal. Editores Mexicanos Unidos S. A. México, D. F. 773 p.
- Di Rienzo J. A., F. Casanoves, M. G. Balzarini, L. González, M. Tablada and C. W. Robledo (2016)** InfoStat versión 2016. Grupo InfoStat. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba. Argentina. <http://www.infostat.com.ar> (Abril 2018).
- Efombagn M. I. B., O. Sounigo, A. B. Eskes, J. C. Motamayor, M. J. Manzanares-Dauleux, R. Schnell and S. Nyassé (2009)** Parentage analysis and outcrossing patterns in cacao (*Theobroma cacao* L.) farms in Cameroon. *Heredity* 103:46-53, doi:10.1038/hdy.2009.30.
- Engels J. M. M., B. G. D. Bartley and G. A. Enríquez (1980)** Cacao descriptors, their states and *modus operandi*. *Turrialba* 30:209-218.
- Enríquez G. A. (1985)** Curso sobre el Cultivo de Cacao. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 239 p.
- Gómez-Pompa A., J. S. Flores and M. Aliphat F. (1990)** The sacred cacao groves of the Maya. *Latin American Antiquity* 1:247-257, <https://doi.org/10.2307/972163>.
- Henderson J. S., R. A. Joyce, G. R. Hall, W. J. Hurst and P. E. McGovern (2007)** Chemical and archaeological evidence for the earliest cacao beverages. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 104:18937-18940, <https://doi.org/10.1073/pnas.0708815104>.
- IBPGR, International Board for Plant Genetic Resources (1980)** IBPGR Working Group on Genetic Resources of Cocoa: Report. IBPGR Secretariat. Rome, Italy. 25 p.
- IMPI, Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (2016)** Declaración general de protección de la denominación de origen Cacao Grijalva. Diario Oficial de la Federación, publicado el 29 de agosto de 2016. Ciudad de México, México.
- Johnson E. S., A. Mora and R. J. Schnell (2007)** Field guide efficacy in the identification of reallocated clonally propagated accessions of cacao (*Theobroma cacao* L.). *Genetic Resources and Crop Evolution* 54:1301-1313, <http://dx.doi.org/10.1007/s10722-006-9111-7>.
- López A. P. A., C. Hernández H. y M. A. Ramírez G. (2013)** Caracterización de las Variedades de Cacao en Tabasco. INIFAP-SAGARPA. Villahermosa, Tabasco. 25 p.
- López O., J. Mulato y J. I. López A. (1989)** Recolección de germoplasma de cacao (*Theobroma cacao* L.) en México. *Plant Genetic Resources Newsletter* 80:23-24.
- Marcano M., S. Morales, M. T. Hoyer, B. Courtois, A. M. Risterucci, O. Fouet, T. Pugh, E. Cros, V. Gonzalez, M. Dagert and C. Lanaud (2009)** A genomewide admixture mapping study for yield factors and morphological traits in a cultivated cocoa (*Theobroma cacao* L.) population. *Tree Genetics and Genomes* 5:329-337, <http://dx.doi.org/10.1007/s11295-008-0185-6>.
- Motamayor J. C., P. Lachenaud, J. W. da Silva e Mota, R. Loor, D. N. Kuhn, J. S. Brown and R. J. Schnell (2008)** Geographic and genetic population differentiation of the Amazonian chocolate tree (*Theobroma cacao* L.). *PLoS ONE* 3(10):e3311. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0003311>.
- Ortiz-García C. F., M. Torres-de-la-Cruz y S. C. Hernández-Mateo (2015)** Comparación de dos sistemas de manejo del cultivo de cacao, en presencia de *Moniliophthora roreri*, en México. *Revista Fitotecnica Mexicana* 38:191-196.
- Phillips W. y G. A. Enríquez (1988)** Catálogo de Cultivares de Cacao. Boletín Técnico No. 18. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 12 p.
- Phillips-Mora W., A. Arciniegas-Leal, A. Mata-Quiros y J. C. Motamayor-Arias (2012)** Catálogo de Clones de Cacao Colecionados por el CATIE para Ciembras Comerciales. Manual Técnico 105. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 68 p.
- Powis T. G., A. Cyphers, N. W. Gaikwad, L. Grivetti and K. Cheong (2011)** Cacao use and the San Lorenzo Olmec. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 108:8595-8600, <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1100620108>.
- Ramírez-Meneses A., E. García-López, J. J. Obrador-Olán, O. Ruiz-Rosado y W. Camacho-Chiu (2013)** Diversidad florística en plantaciones agroforestales de cacao en Cárdenas, Tabasco, México. *Universidad y Ciencia. Trópico Húmedo* 29:215-230, <http://dx.doi.org/10.19136/era.a29n355>.
- Santos R. C., J. L. Pires and R. X. Correa (2012)** Morphological characterization of leaf, flower, fruit and seed traits among Brazilian *Theobroma* L. species. *Genetic Resources and Crop Evolution* 59:327-345, <http://dx.doi.org/10.1007/s10722-011-9685-6>.
- SAS, Statistical Analysis System (2011)** Base SAS® 9.3 Procedures Guide: Statistical Procedures. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA. 528 p.
- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2016)** Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SAGARPA. Cd. de México. http://nube.siap.gob.mx/cierre_agricola/. (Febrero 2018).
- Thomas E., M. van Zonneveld, J. Loo, T. Hodgkin, G. Galluzzi and J. van Etten (2012)** Present spatial diversity patterns of *Theobroma cacao* L. in the neotropics reflect genetic differentiation in pleistocene refugia followed by human-influenced dispersal. *PLoS ONE* 7(10):e47676, <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0047676>.
- ten Hoppen G. M., P. Deberdt, M. Mbenoun and C. Cilas (2012)** Modelling cacao pod growth: implications for disease control. *Annals of Applied Biology* 160:260-272, <http://dx.doi.org/10.1111/j.1744-7348.2012.00539.x>.