

Caracterización y análisis morfoagronómico de seis genotipos de *Theobroma cacao* Lin.¹

Pablo Clapé-Borges*, Miguel Menéndez-Grenot*, Yordis Toirac-Fiffe* y Miriam Rodríguez-Terrero*

Resumen

El presente trabajo se realizó en el Banco de Germoplasma de la Estación Experimental Agro-Forestal de Baracoa, entre marzo de 2014 y junio de 2016 con el objetivo de caracterizar morfoagronómicamente seis genotipos de *Theobroma cacao* Lin. Se evaluaron 29 descriptores morfoagronómicos: producción (3), semilla (6), fruto (9), flor (6), resistencia a enfermedades (1) y físico-químicos de calidad (4); se determinaron los que más aportaron a la variabilidad, en los cuantitativos mediante un análisis de componentes principales, y en los cualitativos mediante el índice de diversidad de Shannon-Weaver y un análisis de correspondencia múltiple. Con los descriptores seleccionados se elaboró un dendrograma. Como resultado se realizó la caracterización morfoagronómica de los clones UF-650, UF-654, UF-677, UF-613, UF-296 y UF-221 en las condiciones de Baracoa. Se identificaron 14 descriptores cuantitativos y cuatro cualitativos como los que más aportan a la variabilidad en los clones evaluados. El dendrograma obtenido muestra tres grupos, uno formado por un clon, otro por dos clones y un tercero por tres clones. En el segundo grupo se ubicaron los clones UF-654 y UF-677, los cuales presentaron las características morfoagronómicas más promisorias para su utilización en la producción, entre las que se encuentran mayor índice de semilla, peso húmedo y seco, espesor y ancho.

Palabras clave: dendrograma, descriptores, germoplasma, índice de diversidad, variabilidad.

Abstract

The present work was carried out in the Germplasm Bank of the Estación Experimental Agro-Forestal of Baracoa, between March, 2014 and June, 2016 with the objective of characterizing morphoagronomically six genotypes of *Theobroma cacao* Lin. 29 descriptors morphoagronomic were evaluated: production (3), seed (6), fruit (9), flower (6), resistance to diseases (1) and physical-chemical of quality (4); those were determined that more contributed to the variability, in the quantitative ones by means of an analysis of main components and in the qualitative ones by means of the diversity index of Shannon-Weaver and a multiple correspondence analysis. With the selected descriptors a dendrogram was elaborated. As a result was carried out the morphoagronomic characterization of the clones UF-650, UF-654, UF-677, UF-613, UF-296 and UF-221 under the Baracoa conditions. 14 quantitative descriptors and four were identified qualitative as those that more contributes to the variability in the evaluated clones. The dendrogram obtained sample three groups, one formed by a clone, another for two clones and a third for three clones. In the second group the clones UF-654 and UF-677 were located; they were those that presented the characteristic more promissory morphoagronomic for their use in the production, among those that are bigger seed index, humid and dry weight, thickness and wide.

Key words: dendrogram, descriptors, germplasm, diversity index, variability.

¹ Recibido: 10/8/2017

Aprobado: 15/12/2017

* Estación Experimental Agro-Forestal Baracoa, Guantánamo. eeafbaracoa@forestales-co.cu

Introducción

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es una planta nativa del centro y noroeste de América del Sur, se originó en la región alta amazónica, la de mayor altura de la cuenca del río cerca de Iquitos, Perú (Bhattacharjee y Kumar, 2007; Aikpokpodion, 2012 y Jumbo, 2017). En Cuba se consideran tres clasificaciones: tradicional, reproducido por semillas durante muchos años, cuyas plantaciones tienen 40 o más años; híbridos, introducidos al país de semilla (hijos de TSH) y producidos por semilla híbrida de padres conocidos y polinizados manualmente, y clones introducidos al país en su gran mayoría y reproducidos por injertos o estacas, predominando los UF (introducidos de Costa Rica en 1955), y de ellos los más propagados son los UF-650, UF-654 y UF-677 (Márquez y Aguirre, 2003).

Cerca de la mitad del incremento en la producción de los cultivos obtenido durante los últimos 50 años se debe al mejoramiento genético, siendo la otra mitad resultado del avance en las técnicas de cultivo (Suslow *et al.*, 2002). Por consiguiente, la caracterización de la biodiversidad de los recursos fitogenéticos está considerada entre las líneas de investigación estratégicas a nivel mundial. Estas investigaciones se perfilan como la estrategia fundamental para la solución de los problemas actuales de los cultivos a través del mejoramiento genético, la adaptación a los cambios climáticos y el desarrollo de nuevas alternativas de producción (Virk *et al.*, 1995). Para la caracterización de la biodiversidad es necesario la evaluación de los descriptores morfoagronómicos, los cuales son esenciales para la utilización efectiva del germoplasma de las plantas cultivadas (Maharaj *et al.*, 2011 y Santos *et al.*, 2012).

Un descriptor es un atributo cuya expresión es fácil de medir de la forma, estructura o comportamiento de una accesión. Sirve para discriminar entre fenotipos. Los descriptores son altamente heredables, pueden ser detectados a simple vista y se expresan de igual forma en todos los ambientes (Mora, 2009). El estudio de los descriptores morfoagronómicos es esencial para la utilización efectiva del germoplasma de las plantas cultivadas (Iwaro *et al.*, 2003; Maharaj *et al.*, 2011 y Santos *et al.*, 2012). Se utilizan en la descripción, identificación, caracterización y evaluación de las especies, las familias y los géneros de plantas debido a su variabilidad y facilidad de uso. Actualmente existe una cantidad considera-

ble de germoplasma seleccionado que incluye clones e híbridos con buena producción y resistencia a enfermedades, según resultados de programas de investigación desarrollados en diversas estaciones experimentales del mundo (Martínez y col., 2002); sin embargo, estos cultivares han sido obtenidos mediante trabajos de selección de tipo práctico, dándoseles poca atención a los mecanismos genéticos que se encuentran involucrados en la transformación de las características de producción y calidad de la semilla de los padres a sus descendencias (Menéndez y col., 2002), por lo que el objetivo de este trabajo es caracterizar morfoagronómicamente seis genotipos de *Theobroma cacao* Lin.

Materiales y métodos

Los estudios de campo se efectuaron en el Banco de Germoplasma de cacao de la UCTB Baracoa sobre un suelo Fluvisol (Hernández y col., 2015) durante el período comprendido entre marzo de 2014 y junio de 2016. Las labores culturales y fitosanitarias se realizaron según Instrucciones Técnicas para el Cultivo y Cosecha del Café y Cacao (Minag, 1987).

Durante el segundo semestre de 2014 se seleccionaron en campo seis accesiones de cacao de la colección cubana (Tabla 1). Las parcelas de campo la conformaron seis plantas del mismo genotipo por hilera a una distancia de 3 m x 3 m, bajo sombra de permanente de Júpiter (*Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp).

Tabla 1. Genotipos de cacao evaluados y caracterizados (Minag, 2017)

Genotipos	Procedencia	Clasificación
UF-221	Costa Rica	Mezcla con los selectos
UF-296	Costa Rica	Mezcla con los selectos
UF-613	Costa Rica	Mezcla con los selectos
UF-650	Costa Rica	Selectos
UF-654	Costa Rica	Selectos
UF-677	Costa Rica	Selectos

Se realizó un estudio observacional no experimental a cada una de las plantas de los seis genotipos, evaluando en cada accesión 29 descriptores morfoagronómicos agrupados en descriptores de producción (3), de la semilla (6),

del fruto (9), de la flor (6), resistencia a *Phytophthora palmivora* (1) y físico-químicos de la calidad (4). Se determinaron los que más aportaron a la variabilidad, en los descriptores cuantitativos mediante un análisis de componentes principales, y en los cualitativos mediante el índice de diversidad de Shannon-Weaver y un análisis de correspondencia múltiple.

La caracterización de la colección de trabajo se realizó sobre la base de los descriptores propuestos por Engels (1981), Menéndez (2003) citado por Clapé y col. (2012) y Avendaño (2014).

Las variables con sus respectivos valores de los descriptores se midieron según el Manual Gráfico de Descriptores Varietales de Cacao (Avendaño, 2014).

Descriptores de producción:

- Índice de mazorcas.
- Índice de semilla.
- Número máximo de semillas.

Descriptores de la semilla

-
- Número de semillas por mazorcas.
- Peso húmedo.
- Peso seco.
- Longitud de la semilla.
- Ancho de la semilla.
- Espesor de la semilla.

Descriptores del fruto

- Longitud del fruto.
- Ancho del fruto.
- Grosor por el lomo.
- Grosor por el surco.
- Separación entre lomos.
- Profundidad de los surcos primarios.
- Rugosidad de la superficie del fruto.
- Forma apical del fruto.
- Constricción basal.
- Forma del fruto.

Descriptores de la flor

- Longitud del estilo.
- Longitud del ovario.

- Anchura del ovario.
- Longitud del sépalo.
- Anchura del sépalo.
- Intensidad de la antocianina en la lígula.

Descriptores sobre la resistencia a *Phytophthora palmivora* (Butl.) Butl.

- Resistencia (Phillips y Galindo, 1989).
- Descriptores físico-químicos de la calidad.
- Rendimiento: Se determinó por la fórmula siguiente:

Después de realizada la prueba del cuarteo como norman las Instrucciones Técnicas para el Beneficio del Café y el Cacao (Minag, 1987), se procedió a realizar las siguientes evaluaciones:

- Peso de 100 semillas: Con una precisión de 0,01 g como norman las Instrucciones Técnicas para el Beneficio del Café y el Cacao (Minag, 1987).
- pH del cacao triturado (Barel, 1995).
- Porcentaje de grasa (ICCO, 2003).

Se calculó la media de los descriptores cuantitativos. A los descriptores cualitativos se les calculó índice de diversidad de Shannon-Weaver (Shannon y Weaver, 1949) de acuerdo con la fórmula:
donde:

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Peso de cacao comercial}}{\text{Peso de cacao fresco}} \times 100$$

K: Número de clases fenotípicas para el descriptor morfológico.

P_i: Proporción de accesiones con la i-ésima clase fenotípica.

A los descriptores cuantitativos se les calculó la media; posteriormente, para determinar los descriptores cuantitativos que más aportaron a la variabilidad, se realizó un análisis de componentes principales con el paquete FactoMineR versión 1.25 (Husson *et al.*, 2013) que pertenece al lenguaje de programación estadística R versión 3.3.1 (R CoreTeam, 2016).

Posteriormente, para determinar los descriptores cualitativos que más aportaron a la variabilidad se realizó

un análisis de correspondencia múltiple con el paquete FactoMineR versión 1.25 (Husson *et al.*, 2013) que pertenece al lenguaje de programación estadística R versión 3.3.1 (R CoreTeam, 2016).

Para determinar la relación entre los genotipos de cacao, con los descriptores que más aportan a la variabilidad se calculó una matriz basada en el coeficiente de similitud de Gower (Gower, 1971) con el paquete StatMatch versión 1.2.0 (D'Orazio, 2012). A partir de esta matriz se realizó un análisis de conglomerados por el método de agrupamiento de varianza mínima de Ward con el paquete bootfs versión 1.0.6 (Bender, 2013). El grado de correspondencia entre las distancias gráficas en el dendrograma y la matriz de distancias morfológicas original se calculó mediante el coeficiente de correlación coe-

nética. Valores superiores a 0,8 indican un buen ajuste (Sokal y Rohlf, 1962 y Benin *et al.*, 2012). Los paquetes que se utilizaron pertenecen al lenguaje de programación estadística R versión 3.3.1 (R CoreTeam, 2016).

Resultados y discusión

Los resultados obtenidos para los descriptores morfoagronómicos cuantitativos de producción se muestran en la tabla 2. Los mayores valores del índice de mazorca (0,069 y 0,068) y de semilla (2,10 y 2,05) y los menores valores del número máximo de semillas (41) se observaron en los clones UF-654 y UF-677, respectivamente. Los menores valores del índice de mazorca (0,054) y de semilla (1,16) y el mayor del número máximo de semillas (55) se observaron en el clon UF-296.

Tabla 2. Media de los descriptores morfoagronómicos cuantitativos de producción evaluados

Clones	Índice de mazorca	Índice de semilla	Número máximo de semillas
UF-221	0,057	1,630	41,000
UF-296	0,054	1,160	55,000
UF-613	0,062	1,300	52,000
UF-650	0,058	1,570	48,000
UF-654	0,069	2,100	41,000
UF-677	0,068	2,050	41,000

El número máximo de semillas obtenido es superior al descrito por Villegas y Astorga (2005) en Bolivia, Santos *et al.* (2012) en Brasil (32) y Guevara (2015) para UF-650 (28,7) y UF-221 (38) en Nicaragua. Son similares a los obtenidos por Marcano *et al.* (2009) en Venezuela (48) e inferiores a los obtenidos por Bekele *et al.* (2006) en el Banco de Germoplasma Internacional de Cacao de Trinidad (58) y Jumbo (2017) en Ecuador (55).

En el caso de los descriptores morfoagronómicos cuantitativos de la semilla (Tabla 3), el menor número de semillas por mazorca (33) y el mayor peso húmedo (5,38 g y 5,13 g) y seco (2,1 g y 2,05 g) se observaron en los clones UF-654 y UF-677, respectivamente. El mayor número de semillas por mazorca (46 y 48), los menores peso húmedo (3,01 g y 3,50 g) y seco (1,13 g y 1,30 g) se observaron en los clones UF-296 y UF-613, respectivamente.

Con respecto a las dimensiones de la semilla, la mayor longitud (28,50 mm y 28,90 mm) y espesor (11,40 mm y 11,50 mm) se observaron en los clones UF-654 y UF-677, respectivamente. El mayor ancho de la semilla (24,16 mm y 23,40 mm) se observó en los clones UF-221 y UF-296, respectivamente (Tabla 3).

El peso húmedo de las semillas fue superior al descrito por Guevara (2015) en Nicaragua con los clones UF-650 (3,1 g) y UF-221 (1,7 g), y por Jumbo (2017) en Ecuador (2,54 g). El peso seco también fue superior al obtenido por Villegas y Astorga (2005) en Bolivia (1,34), Bekele *et al.* (2006) en el Banco de Germoplasma Internacional de Cacao de Trinidad (1,02 g) y Guevara (2015) con UF-650 (2,1 g) y UF-221 (1,3).

Con respecto a la longitud de la semilla, se obtuvieron resultados superiores a los descritos por Quiroz (2002) en Ecuador (20,4 mm), Bekele *et al.* (2006) en el Banco de Germoplasma Internacional de Cacao de Trinidad

(22,1 mm), Martínez (2007) en Cacao Nacional Boliviano (21 mm) y Marcano *et al.* (2009) en Venezuela (22,8 mm). Fueron similares a los obtenidos por Santos *et al.* (2012) en Brasil (27,2 mm), Guevara (2015) en Nicaragua para UF-650 (27,4 mm) y UF-221 (25,7 mm) y Jumbo (2017) en Ecuador (28,7 mm).

Tabla 3. Media de los descriptores morfoagronómicos cuantitativos de la semilla evaluados en los seis clones de cacao

Clones	Semillas por mazorca	Peso húmedo (g)	Peso seco (g)	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)
UF-221	35,00	4,16	1,63	24,70	24,16	8,50
UF-296	46,00	3,01	1,16	25,00	23,40	8,60
UF-613	48,00	3,50	1,30	25,40	14,30	8,80
UF-650	37,00	3,97	1,57	23,20	12,90	9,80
UF-654	33,00	5,38	2,10	28,50	16,70	11,40
UF-677	33,00	5,13	2,05	28,90	15,80	11,50

El ancho de la semilla fue superior al descrito por Quiroz (2002) en Ecuador (11,7 mm) y Bekele *et al.* (2006) en el Banco de Germoplasma Internacional de Cacao de Trinidad (12,3 mm). Además, los menores valores en los seis clones evaluados fueron similares a los descritos por Chacón *et al.* (2011) en cacao criollo Porcelana de Venezuela (15,73 mm), Santos *et al.* (2012) en Brasil (14 mm), Guevara (2015) en Nicaragua con los clones UF-650 y UF-221 (15,3 mm en ambos) y Jumbo (2017) en Ecuador (15,8 mm).

El espesor de la semilla medido es similar al obtenido por Marcano *et al.* (2009) en Ecuador (9,7 mm), San-

tos *et al.* (2012) en Brasil (8,9 mm), Guevara (2015) en Nicaragua con los clones UF-650 (9,2 mm) y UF-221 (8,1 mm) y Jumbo (2017) en Ecuador (8,4).

Con respecto a los descriptores morfoagronómicos cuantitativos del fruto, los mayores valores de longitud (201,6mm), ancho(100,4mm), grosor por el lomo(19,4mm), grosor por el surco (15,1 mm) y separación entre lomos (29,8 mm) se observaron en el clon UF-677. Los mayores valores se observaron en el clon UF-221 (171,5 mm; 78,6 mm; 1,6 mm; 8,0 mm y 23,4 mm, respectivamente) (Tabla 4).

Tabla 4. Media de los descriptores morfoagronómicos cuantitativos del fruto evaluados en los seis clones de cacao

Clones	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Grosor por el lomo (mm)	Grosor por el surco (mm)	Separación entre lomos (mm)
UF-221	171,50	78,60	11,60	8,00	23,40
UF-296	172,00	88,00	13,40	12,20	23,60
UF-613	176,30	89,40	14,60	12,90	30,40
UF-650	204,10	85,50	16,30	12,50	22,40
UF-654	183,00	91,30	16,40	13,30	27,70
UF-677	201,60	100,40	19,40	15,10	29,80

La longitud de los frutos evaluados es superior a la observada por Bekele *et al.* (2006) en el Banco de Germoplasma Internacional de Cacao de Trinidad (159,8 mm), Martínez (2007) en Cacao Nacional Boliviano (135 mm)

y Chacón *et al.* (2011) en Cacao Porcelana Venezolano (154,8). Resultados similares fueron obtenidos por Guevara (2015) en Nicaragua para UF-650 (205 mm) y UF-221 (210 mm) y Jumbo (2017) en Ecuador (203,3 mm).

El ancho del fruto fue similar al descrito por Bekele *et al.* (2006) en el Banco de Germoplasma Internacional de Cacao de Trinidad (81,8 mm) y Chacón *et al.* (2011) en Cacao Porcelana Venezolano (82,4 mm) e inferior al descrito por Quiroz (2002) en Ecuador (147,5 mm).

En la tabla 5 se muestran los descriptores morfoagronómicos cuantitativos de la flor. La longitud del estilo varía

entre 2 mm (UF-296, UF-613, UF-654 y UF-677) y 3 mm (UF-221 y UF-650). En el ovario, su longitud varió entre 1,09 mm (UF-296 y UF-613) y 1,02 mm (UF-221), mientras que el ancho fue de 1 mm para todos los clones excepto el UF-221, donde fue ligeramente mayor (1,01 mm). En el sépalo la longitud varió entre 6,95 mm y 8,10 mm, mientras que el ancho varió entre 1,95 mm (UF-296 y UF-650) y 2,9 mm (UF-221).

Tabla 5. Media de los descriptores morfoagronómicos cuantitativos de la flor evaluados en los seis clones de cacao

Clones	Longitud del estilo (mm)	Longitud del ovario (mm)	Ancho del ovario (mm)	Longitud del sépalo (mm)	Ancho del sépalo (mm)
UF-221	3,00	1,02	1,01	7,20	2,90
UF-296	2,00	1,09	1,00	8,10	1,95
UF-613	2,00	1,09	1,00	7,60	2,00
UF-650	3,00	1,08	1,00	7,00	1,95
UF-654	2,00	1,08	1,00	7,60	2,00
UF-677	2,00	1,04	1,00	6,95	2,00

La longitud del estilo obtenida fue superior a la descrita por Quiroz (2002) en Ecuador (1,96 mm) y similar a la obtenida por Santos *et al.* (2012) en Brasil (2,57 mm). Con respecto al ovario, la longitud observada fue inferior a la obtenida por Quiroz (2002) en Ecuador (1,42 mm), Villegas y Astorga (2005) en Bolivia (2,13 mm) y Santos *et al.* (2012) en Brasil (1,44 mm), y el ancho fue inferior al descrito por Santos *et al.* (2012) en Brasil (1,21 mm).

Con respecto al sépalo, la longitud fue similar a la obtenida por Bekele *et al.* (2006) en el Banco de Germoplasma Internacional de Cacao de Trinidad (7,92 mm) y por Santos *et al.* (2012) en Brasil (7,37 mm). Sin embargo,

fue inferior a la longitud descrita por Villegas y Astorga (2005) en Bolivia (8,75 mm). El ancho del sépalo fue similar al descrito por Santos *et al.* (2012) en Brasil (2,66 mm) e inferior al descrito por Villegas y Astorga (2005) en Bolivia (3,12 mm).

Los resultados obtenidos con los descriptores físico-químicos de la calidad se muestran en la tabla 6. El rendimiento de cacao comercial varió entre 37,0 (UF-613) y 39,9 (UF-677). El peso de 100 semillas varió entre 100,7 g (UF-654) y 166,3 g (UF-221). El pH del cacao triturado fue 5,2 para todos los clones, excepto el UF-221 (5,13). El porcentaje de grasa varió entre el 50,3 % (UF-221 y UF-296) y 54,4 % (UF-677).

Tabla 6. Media de los descriptores físico-químicos de la calidad evaluados en los seis clones de cacao

Clones	Rendimiento de cacao comercial	Peso de 100 semillas (g)	pH del cacao triturado	Grasa (%)
UF-221	39,20	166,30	5,13	50,30
UF-296	38,70	103,00	5,20	50,30
UF-613	37,00	102,00	5,20	53,25
UF-650	39,60	111,30	5,20	54,20
UF-654	39,00	100,70	5,20	53,50
UF-677	39,90	116,30	5,20	54,40

El peso de 100 semillas obtenido fue superior al observado por Marcano *et al.* (2009) en Venezuela (91,9 g), pero inferior al descrito por Santos *et al.* (2012) en Brasil (208,2 g).

El porcentaje de grasa fue bajo (entre el 50 % y 54 %) en UF-221, UF-296, UF-613 y UF-654 y medio (entre el 54 % y 57 %) en UF-650 y UF-677.

Tomando en consideración los descriptores morfológicos cuantitativos, los mejores resultados se obtienen con los

clones UF-654 y UF-677 que presentaron el mayor índice de semilla, peso húmedo y seco de la semilla, longitud y espesor de la semilla, longitud, ancho, grosor por el lomo y por el surco del fruto y altos valores en el rendimiento, peso de 100 semillas y porcentaje de grasa. Esto indica que son clones con potencialidades para ser utilizados en la producción en Cuba y alcanzar altos rendimientos.

En la tabla 7 se muestran los resultados de la evaluación de los descriptores morfológicos cualitativos.

Tabla 7. Descriptores morfoagronómicos cualitativos evaluados en los seis clones de cacao

Genotipo	Profundidad del surco primario	Rugosidad del fruto	Forma apical del fruto	Constricción basal del fruto	Forma del fruto	Intensidad de la antocianina de la lígula	Resistencia a <i>Phytophthora palmivora</i>
UF-221	Superficial	Intenso	Puntiagudo	Intermedio	Calabacillo	Ausente	Moderadamente resistente
UF-296	Intermedio	Intenso	Obtuso	Fuerte	Pentágona	Ausente	Moderadamente resistente
UF-613	Profundo	Intenso	Obtuso	Ligero	Cundiamor	Intermedio	Resistente
UF-650	Superficial	Intenso	Ligeramente obtuso	Fuerte	Calabacillo	Ausente	Moderadamente susceptible
UF-654	Intermedio	Intenso	Puntiagudo	Intermedio	Pentágona	Ausente	Moderadamente resistente
UF-677	Intermedio	Intenso	Ligeramente obtuso	Fuerte	Calabacillo	Ausente	Susceptible

Entre los descriptores morfoagronómicos cualitativos el más importante desde el punto de vista de la producción es la resistencia a *Phytophthora palmivora* de los clones evaluados. Es de destacar que uno de los clones evaluados es resistente a este patógeno (UF-613) y tres moderadamente resistentes (UF-221, UF-296, UF-654). Los otros dos clones son moderadamente susceptibles (UF-650) y susceptible (UF-677).

Aunque el resto de los descriptores morfoagronómicos cualitativos no presentan una importancia directa para la producción, constituyen un indicador de la variabilidad genética de estos clones. Una mayor variabilidad genética contribuye a una mayor adaptabilidad a las condiciones edafoclimáticas, por lo que es más probable que resista las condiciones adversas que se presentan con más frecuencia debido al cambio climático. Además, una mayor variabilidad amplía las posibilidades de utilización de estos clones para el mejoramiento genético del cultivo y obtener variedades más adaptadas a las condiciones de Cuba.

En el cacao se han hecho recientemente pocos estudios de variabilidad morfológica, como los realizados por Chacón *et al.* (2011) en cacao Porcelana de Venezuela, por Santos *et al.* (2012) en Brasil, Jumbo (2017) en cacao ecuatoriano. Recientemente los estudios se han dirigido fundamentalmente a determinar la variabilidad genética y la estructura poblacional en el cacao (Ruiz *et al.*, 2014), disminuyendo los estudios de caracterización morfoagronómica. De ahí se destaca la importancia del presente estudio de clones de cacao en las condiciones de Cuba, para hacer un uso más racional de este recurso.

En cuanto a los descriptores morfoagronómicos que más aportan a la variabilidad, al ordenarse del mayor al menor aporte a la variabilidad obtenido mediante el análisis de componentes principales, los primeros 12 de los 23 descriptores morfológicos cuantitativos (52,17 %) permitieron explicar el 72,60 % de la variabilidad total en los dos primeros componentes principales en los seis cultivares de cacao evaluados (Tabla 8).

Tabla 8. Valores de los vectores propios, porcentaje de la varianza y porcentajes acumulativos en el análisis de componentes principales realizado con los 23 descriptores morfológicos cuantitativos evaluados en los seis clones de cacao

<i>Vectores propios</i>	<i>Componente Principal 1</i>	<i>Componente Principal 2</i>
Número máximo de semillas	1,63	10,46
Peso de 100 semillas	2,53	8,99
Semillas por mazorca	2,08	9,37
pH del cacao triturado	3,73	7,35
Ancho del ovario	3,73	7,35
Longitud del ovario	0,09	10,93
Ancho del sépalo	3,33	7,60
Índice de semilla	5,18	5,18
Peso seco de la semilla	5,18	5,18
Peso húmedo de la semilla	5,24	4,74
Grosor del fruto por el surco	6,95	2,85
Espesor de la semilla	8,35	0,75
Grosor del fruto por el lomo	8,55	0,02
Ancho del fruto	7,05	0,79
<i>Varianza (%)</i>	<i>31,82</i>	<i>40,78</i>
<i>Varianza acumulada (%)</i>	<i>31,82</i>	<i>72,60</i>

Al ordenarse del mayor al menor aporte a la variabilidad obtenido mediante el análisis de correspondencia múltiple, los primeros cuatro de los siete descriptores morfológicos

cualitativos (57,14 %) permitieron explicar el 80,53 % de la variabilidad total en los dos primeros componentes principales en los seis cultivares de cacao evaluados (Tabla 9).

Tabla 9. Valores de los vectores propios, porcentaje de la varianza y porcentajes acumulativos en el análisis de correspondencia múltiple realizado con los seis descriptores morfológicos cualitativos evaluados en los seis clones de cacao

<i>Vectores propios</i>	<i>Componente Principal 1</i>	<i>Componente Principal 2</i>
Resistencia a <i>Phytophthora palmivora</i>	21,71	31,58
Forma apical del fruto	10,68	31,43
Constricción basal del fruto	21,92	18,90
Profundidad del surco primario del fruto	21,68	3,16
<i>Varianza (%)</i>	<i>37,995</i>	<i>42,535</i>
<i>Varianza acumulada (%)</i>	<i>37,995</i>	<i>80,53</i>

La selección de los descriptores morfológicos cuantitativos y cualitativos que más aportaron a la variabilidad se basó en el criterio de seleccionar el número de componentes principales, a partir de los valores propios que

sean mayores que uno, y que extraigan más del 50 % de la variabilidad total (Martínez y col., 2007).

La media del índice de diversidad de Shannon-Weaver fue de 0,92. El mayor fue de 1,56 para la resistencia a

Phytophthora palmivora. Otros descriptores morfológicos con altos valores de este índice, superiores a la media, correspondieron al fruto: forma apical (1,10), constricción

basal y profundidad de los surcos primarios (1,01). El menor valor fue 0,45 para el descriptor morfológico intensidad de antocianina de la flor (Tabla 10).

Tabla 10. Índice de diversidad de Shannon-Weaver de los descriptores morfológicos cualitativos evaluados en los seis clones de cacao

Descriptores morfoagronómicos	Índice de diversidad de Shannon-Weaver
Profundidad de los surcos primarios del fruto	1,01
Rugosidad del fruto	0,69
Forma apical del fruto	1,10
Constricción basal del fruto	1,01
Forma del fruto	0,64
Intensidad de antocianina de la flor	0,45
Resistencia a <i>Phytophthora palmivora</i>	1,56
Media	0,92

Los resultados obtenidos con el índice de diversidad de Shannon-Weaver para los seis clones evaluados son inferiores a la descrita en los clones seleccionados para el proyecto CFC/ICCO/IPGRI sobre la utilización y conservación del germoplasma de cacao (Bekele *et al.*, 2006). Sin embargo, son superiores o similares a los obtenidos en accesiones del Banco de Germoplasma Internacional de Cacao, Trinidad (ICG, T, del inglés International Cocoa Gene Bank, Trinidad) (Bekele *et al.*, 2006) y en accesiones de fincas, Forastero Alto Amazónico y Trinitario del Banco de Germoplasma de Camerún (Efombag *et al.*, 2009).

Un índice de diversidad de Shannon-Weaver superior, en varios descriptores morfológicos, a los descritos por los autores mencionados indica una alta variabilidad morfológica en los clones evaluados. Este resultado indica las potencialidades de los clones evaluados para una mayor adaptabilidad a las condiciones edafoclimáticas, y además sus potencialidades para ser utilizados en la producción y el mejoramiento genético del cacao, con perspectivas de obtener nuevos cultivares más adaptados a las condiciones de Cuba.

De los descriptores cualitativos y cuantitativos evaluados, 13 de 16 del fruto y la semilla están entre los que más aportan a la variabilidad de los seis clones de cacao evaluados. Este resultado coincide con lo descrito por otros autores, donde los descriptores del fruto y la semilla están entre los de mayor variabilidad, por lo que se utilizan preferente-

mente en los estudios de variabilidad morfológica y en la identificación de cultivares (Engels, 1983; Bekele *et al.*, 1994 y Lachenaud *et al.*, 1999). Además, coinciden los descriptores morfológicos cualitativos con mayor índice de diversidad de Shannon-Weaver con los que más aportaron a la variabilidad según el análisis de correspondencia múltiple.

En el análisis de conglomerados se formaron tres grupos. El grupo 1 estuvo formado solamente por el cultivar UF-221. El grupo 2 lo formaron dos cultivares: UF-654 y UF-677. El grupo 3 lo constituyeron tres cultivares: UF-650, UF-296 y UF-613. El coeficiente de correlación cofenética fue 0,810, lo que indica un buen ajuste entre la matriz de distancia Ward original y las distancias gráficas en el dendograma (Fig. 1).

En el análisis de los descriptores morfoagronómicos cuantitativos (Tabla 11) se observa que el grupo 2 está constituido por los clones que presentan los mejores resultados conjuntos de los descriptores morfoagronómicos (UF-654 y UF-677). Estas plantas presentan semillas de mayor tamaño determinadas por un mayor índice de semilla (2,08), peso húmedo (5,25 g) y seco (2,08 g), espesor (11,45 mm) y ancho (95,85 mm). Este resultado está relacionado con que este grupo 2 presenta un menor número máximo de semillas y menos semillas por mazorca comparada con los otros grupos. Además, las plantas del grupo 2 presentan la mayor media del grosor por el lomo (17,9 mm) y por el surco (14,2 mm) del fruto.

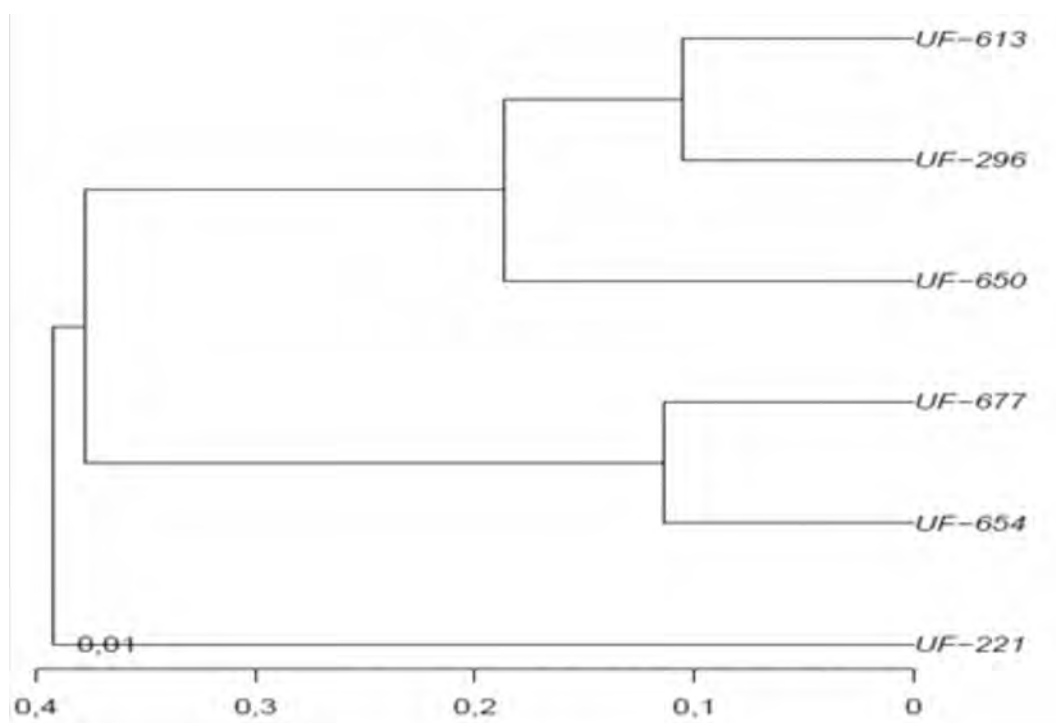


Fig. 1. Dendrograma obtenido con los datos de los 18 descriptores morfológicos cualitativos y cuantitativos seleccionados, basado en el coeficiente de similitud de Gower y el método de agrupamiento de varianza mínima de Ward.

Tabla 11. Media de los descriptores morfoagronómicos cuantitativo de los grupos obtenidos en el dendrograma

	Índice de semilla	Número máximo de semillas	Peso húmedo	Peso seco	Semillas por mazorca	Espesor (mm)	Ancho (mm)
Grupo 1	1,63	41,00	4,16	1,63	35	8,5	78,6
Grupo 2	2,08	41,00	5,25	2,08	33	11,45	95,85
Grupo 3	1,34	51,67	3,49	1,34	43,67	9,07	87,63
	Grosor por el lomo (mm)	Grosor por el surco (mm)	Longitud del ovario (mm)	Ancho del ovario (mm)	Ancho del sépalo (mm)	Peso de 100 semillas (g)	pH del cacao triturado
Grupo 1	11,6	8	1,02	1,01	2,9	166,3	5,13
Grupo 2	17,9	14,2	1,06	1	2	108,5	5,2
Grupo 3	14,77	12,53	1,09	1	1,97	105,43	5,2

Entre los descriptores morfoagronómicos cualitativos (Tabla 12) el más importante desde el punto de vista de la producción es la resistencia a *Phytophthora palmivora* de los clones evaluados; uno de ellos es re-

sistente a este patógeno (UF-613) y tres moderadamente resistentes (UF-221, UF-296, UF-654); los restantes son moderadamente susceptible (UF-650) y susceptible (UF-677).

Tabla 12. Número de plantas de cada grupo obtenidos en el dendrograma para cada clase fenotípica de los descriptores morfoagronómicos cualitativos seleccionados

	<i>Profundidad del surco primario</i>	<i>Forma apical</i>	<i>Constricción basal</i>	<i>Resistencia a Phytophthora palmivora</i>
Grupo 1	1 Superficial	1 Puntiajado	1 Intermedio	1 Moderadamente resistente
Grupo 2	2 Intermedio	1 Ligeramente agudo 1 Puntiajado	1 Intermedio 1 Fuerte	1 Moderadamente resistente 1 Susceptible
Grupo 3	1 Superficial 1 Intermedio 1 Profundo	2 Obtuso 1 Ligeramente agudo	1 Ligero 2 Fuerte	1 Moderadamente resistente 1 Resistente 1 Moderadamente susceptible

Conclusiones

- De los 29 descriptores morfoagronómicos evaluados, con 14 cuantitativos y cuatro cualitativos se explicó respectivamente el 72,60 % y el 80,53 % de la variabilidad en los clones de cacao evaluados, lo que indica su importancia para este tipo de estudio.
- Los clones UF-677 y UF-654 mostraron los mejores resultados en los descriptores morfoagronómicos evaluados y constituyeron el grupo 2 del dendrograma, lo que respalda su utilización en Cuba en las plantaciones comerciales.

Bibliografía

- Aikpokpodion, P. O.: *Defining genetic diversity in the chocolate tree, Theobroma cacao L. grown in West and Central Africa*. En: Aikpokpodion, P.O. M. Caliskan (ed). Genetic diversity in plants. In Tech. Croatia. pp. 185-212, 2012.
- Avendaño, A. C.; Cueto, M.; Mendoza, L.; López, A.; Sandoval, E. y M. Aguirre: *Manual Gráfico de Descriptores Varietales de cacao*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Pacífico Sur. Campo Experimental Rosario Izapa. México. Publicación Especial No. 5. ISBN: 978-607-37-0300-0. Primera Edición, 64 pp., 2014.
- Barel, M.: Traitment du cacau par fermenteur et sechoir intégrés. Plantations, recherche development. Sept.-Oct., pp. 35-40, 1995.
- Bekele, F. L.; Bekele, I.; Butler, D. R. and G. G. Bidaisee: 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, 2006.
- Bekele, F. L.; Kennedy, A. J.; Mc David, C.; Lauckner, F. B. and I. Bekele: Numerical taxonomic studies on cacao (*Theobroma cacao L.*) in Trinidad. *Euphytica*, 75: 231-240, 1994.
- Bender C., Bootfs: Use multiple feature selection algorithms to derive robust feature sets for two class classification problems. R. package. Versión 1.0.6. 2013.
- Benin, G.; Matei, G.; Costa, A.; Silva, G. O.; Hagemann, T. R.; Lemes, C.; Pagliosa, E. S. y E. Beche: Relationships between four measures of genetic distance and breeding behavior in spring wheat. *Genetic and Molecular Research*, 11 (3): 2390-2400, 2012.
- Bhattacharjee, R. y P. L. Kumar: *Cacao*. En: C. Kole (ed). *Genome mapping and molecular breeding in plants*. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg cacao (*Theobroma cacao L.*) germplasm at the International Cocoa, pp.127-142, 2007.
- Chacón, I.; Ramis, C. y C. Gómez: 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): 1-13, 2011.
- Clape, P., Lambertt, W. y M. Menéndez: Búsqueda, identificación y conservación de plantas de cacao criollo en plantaciones de Cuba. *Café Cacao*, 11 (2): 20-24, 2012.
- D'Orazio, M.: StatMatch: Statistical Matching. R. Package. Versión 1.1.0., 2012.
- Efombagn, M.; Nyassé, S.; Sounigo, O.; Kolesnikova, M. y A. Eskes: *Participatory cocoa Theobroma cacao L.*,

- selection in Cameroon: Phytophthora pod rot resistant accessions identified in farmers' fields*. In: Crop Protection. 26: 1467-1473, 2009.
- Engels, J. M. M.: A systematic description of cacao clones. III. Relationships between clones, between characteristics and some consequences for the cacao breeding. *Euphytica*, 32: 719-733, 1983.
- Engels, J. M. M.: *Genetic resources of cocoa*. Catalogue of CATIE Collection. Technical Bulletin No. 7. Turrialba, Costa Rica, CATIE. Plan Genetic Resources Unit, 198 pp., 1981.
- Gower, J. C.: A general coefficient of similarity and some of its properties. *Biometrics*, 27: 623-637, 1971.
- Guevara, M.: "Caracterización morfológica del fruto y la semilla de 9 clones de cacao (*Theobroma cacao* L.)" [Inédito], tesis de candidatura. Centro de Desarrollo Tecnológico del INTA, Nicaragua, 2015.
- Hernández, A.; Pérez, J. M.; Bosch, C. y N. Castro: *Clasificación de los suelos de Cuba*. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA). San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. 70 pp., 2015.
- Husson, F.; Josse, J.; Le, S. y M. Jeremy: FactoMineR: Multivariate exploratory data analysis and data mining with R. R package. Versión 1.25, 2013.
- ICCO. Internacional Cocoa Organization: *Boletín trimestral de estadísticas del cacao*. Vol. XXX. No. 1 y 2, 2003.
- Iworo, A. D.; Bekele, F. L. y D. R. Butler: Evaluation and utilization of cacao (*Theobroma cacao* L.) germplasm at the International Cocoa Genebank, Trinidad. *Euphytica*, 130: 207-221, 2003.
- Jumbo, A.: "Caracterización morfológica del cacao (*Theobroma cacao* L.) en la cuenca del río Nangaritza provincia de Zamora Chinchipe" [Inédito], tesis de candidatura. Ecuador, 2017.
- Lachenaud, P.; Bonnot, F. y G. Oliver: Use of floral descriptors to study variability in wild cocoa trees (*Theobroma cacao* L.) in French Guiana. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 46: 491-500, 1999.
- Maharaj, K.; Maharaj, P.; Bekele, F. L.; Ramnath, D.; Bidaisee, G. G.; Bekele, I.; Persad, C.; Jennings, K. y R. Sankar: Trinidad selected hybrids: An investigation of the phenotypic and agro-economic traits of 20 selected cacao cultivars. *Tropical Agriculture (Trinidad)*, 88 (4): 175-185, 2011.
- Marcano, M.; Morales, S.; Hoyer, M. T.; Courtois, B.; Risterucci, A. M.; Olivier, F.; Pugh, T.; Cros, E.; González, V.; Dagert, M. y C. Lanaud: A genome wide admixture mapping study for yield factors and morphological traits in a cultivated cocoa (*Theobroma cacao* L.) population. *Tree Genetics & Genomes*, 5: 329-337, 2009.
- Márquez, J. y María Beatriz Aguirre: Manual técnico de cosecha y beneficio del cacao. 1 ed. Ciudad de La Habana. P. 25-30. 2003.
- Martínez, F. S.; Gutiérrez, M.; Verdecia, M. y F. Sánchez: Comportamiento de mezcla clonal híbrida en plantaciones comerciales de cacao en la ladera nororiental de Farallón Colorado. *Café Cacao*, 3(1): 83-85. 2002.
- Martínez, W. J.: "Caracterización morfológica y molecular del Cacao Nacional Boliviano y de selecciones élites del Alto Beni, Bolivia" [Inédito], tesis de candidatura. Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Bolivia, 2007.
- Menéndez, M., Lambertt, W., Columbie, A., Matos, G., Olivero, A., Rodríguez, M. y E. Sánchez. Selección de clones de *Theobroma cacao* Lin con alto potencial productivo y de calidad industrial. *Café Cacao*, 3 (1): 64-66, 2002.
- Mora, V. H.: "Utilización de microsatélites en el estudio de la resistencia de árboles seleccionados de cacao (*Theobroma cacao* L.) a la enfermedad "Mancha de agua" (*Phytophthora megasperma*)" [Inédito], tesis de candidatura. Departamento de Biología. Universidad de Los Andes, Bolivia, 2009.
- MINAG. Ministerio de la Agricultura: *Instrucciones Técnicas para el cultivo del Café y el Cacao*. La Habana: Dirección Nacional de Café y Cacao, p. 206, 1987.
- MINAG. Ministerio de la Agricultura: Lista oficial de variedades comerciales. Dirección de semillas y recursos fitogenéticos. Registro de variedades comerciales. Pp. 42-43, 2017.
- Phillips, W. y J. Galindo: Método de inoculación y Evaluación de la resistencia a *Phytophthora palmivora* en frutos de cacao. *Theobroma*, 4(39), 488-496, 1989.
- Quiroz, J. G.: "Caracterización molecular y morfológica de genotipos superiores con características de cacao nacional (*Theobroma cacao* L.) de Ecuador" [Inédito], tesis de candidatura. Escuela de Postgrado, Programa de Educación para la Enseñanza y la Conservación. Centro Agronómico Tropical de investigación y Enseñanza, Ecuador, 2002.

- R CORE TEAM R: A language and environment for statistical computing. Version 3.3.1. R Foundation for Statistical Computing. 2016.
- Ruiz, M.; Rouard, M.; Raboin, L. M.; Lartaud, M.; Lagoda, P. y B. Courtois: TropGENE-DB, a multi-tropical crop information system. *Nucleic Acids Research*, 32: 364-367, 2014.
- Santos, R. C.; Pires, J. L. y R.X. Correa: Morphological characterization of leaf, flower, fruit and seed traits among Brazilian *Theobroma* L. species. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 59: 327-345, 2012.
- Shannon, C. E. y W. Weaver: *The mathematical theory of communication*. University of Illinois. Urbana Press. 117 pp., 1949.
- Sokal, R. R. y F. J. Rohlf: The comparison of dendrograms by objective methods *Taxon*, 11: 33-40, 1962.
- Suslow, T.; Thomas, B. y K. Braford: *Biotechnology Provides New Tools for Plant Breeding*. Seed Biotechnology Center, UC Davis/Biotechnology Workgroup of the UC Division of Agriculture and Natural Resources, University of California at Davis. Publicación 8043 de Agricultural Biotechnology California Series. Disponible en: <http://anrcatalog.ucdavis.edu>, 2002.
- Villegas, R. y C. Astorga: Caracterización morfológica del cacao nacional boliviano, Alto Beni, Bolivia. *Agroforestería en las Américas*, 43-44: 81-85, 2005.
- Virk, P.; Ford, B.; Jackson, M. y J. Newbury: Use of RAPD for the study of diversity within plant germplasm collections. *Heredity*, Wallingford. *CABI Publishing*, 74: 170-179, 1995.

