

**MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
UNIVERSIDAD DE GUANTÁNAMO
FACULTAD AGROFORESTAL**

MAESTRÍA EN DESARROLLO AGRARIO Y SOSTENIBLE

Tesis presentada para optar por el título de Máster en Ciencias

Mención: Manejo Agroecológico de Ecosistemas Frágiles

Título: Potencialidades agroproductivas de clones de la lista oficial de variedades comerciales de *Theobroma cacao* L. de Cuba.

Autor: Ing. Pablo Clapé Borges.

Guantánamo

Año 62 de la Revolución

**MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
UNIVERSIDAD DE GUANTÁNAMO
FACULTAD AGROFORESTAL**

MAESTRÍA EN DESARROLLO AGRARIO Y SOSTENIBLE

Tesis presentada para optar por el título de Máster en Ciencias

Mención: Manejo Agroecológico de Ecosistemas Frágiles

Título: Potencialidades agroproductivas de clones de la lista oficial de variedades comerciales de *Theobroma cacao* L. de Cuba.

Autor: Pablo Clapé Borges.

Tutor: Dr. C. Igor Bidot Martínez
Dr. C. Yuris Rodríguez Matos.

Guantánamo

Año 62 de la Revolución

Pensamiento

Pensamiento

“El pueblo más feliz es el que tenga mejor educado a sus hijos, en la instrucción del pensamiento, y en la dirección de los sentimientos. Un pueblo instruido ama el trabajo y sabe sacar provecho de él. Un pueblo virtuoso vivirá más feliz y más rico que otro lleno de vicios, y se defenderá mejor de todo ataque. Un país agrícola necesita una educación agrícola. Un pueblo instruido será siempre fuerte y libre. Un hombre ignorante está en camino de ser bestia, y un hombre instruido en la ciencia y en la conciencia, ya está en camino de ser Dios.



José Martí

Agradecimientos

Agradecimientos

De manera especial a Dios, al colectivo de profesores que durante todo este período de estudio brindaron sus conocimientos en mi formación como Máster en Ciencias Agrícolas.

A mis compañeros de estudio por su amistad y el apoyo brindado durante todo el período y la hospitalidad brindada en mi estancia en la Universidad de Guantánamo.

A mis tutores el Dr. C Igor Bidot Martínez y al Dr. C Yuris Rodríguez Matos, a los cuales agradezco mi formación científico-técnica y apoyo en la realización de este trabajo.

Al Colectivo de trabajadores del Instituto de Investigaciones Agroforestales UCTB Baracoa, que de una forma u otra contribuyeron al desarrollo exitoso de este Trabajo. Al Dr. C. Carlos A. Bustamante González por su paciencia y dedicación en la revisión y sugerencias a este documento.

A la Revolución, el Partido, al pueblo cubano y a nuestro Comandante en Jefe Fidel Castro Ruz, protagonista de la colosal batalla de ideas que hoy se libra.

A todos

Muchas Gracias.

Dedicattoria

Dedicatoria

Dedico este trabajo a Dios, a mis padres. A mi esposa, hijas, hermanas y demás familiares y amistades, por su apoyo incondicional y la ayuda brindada durante todo el período lectivo, lo que hizo posible la culminación exitosa de esta Tesis.

A la Revolución Cubana que nos ha brindado la posibilidad de educarnos en la superación Científico – Técnica, basada en los principios que la misma establece, en aras de contribuir con nuestro desarrollo profesional al desarrollo económico, político y social, y a la memoria de nuestro Comandante en Jefe Fidel Castro.

RESUME

RESUMEN

El presente trabajo se realizó con el objetivo de Determinar los genotipos con mayores potencialidades para la producción de cacao mediante la caracterización morfoagronómica de clones incluidos en la lista oficial de variedades comerciales. Se ejecutó en el Banco de Germoplasma del Instituto de Investigaciones Agroforestales UCTB Baracoa, entre marzo de 2018 y junio de 2020. Se realizó un estudio observacional no experimental para evaluar 14 clones de cacao con 50 descriptores morfoagronómicos, y 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. Con los descriptores seleccionados se elaboró un dendrograma. Como resultado se realizó por primera vez la caracterización morfoagronómica de los clones EICB-120, GS-29, ICS-6, ICS-8, ICS-95, UF-221, UF-296, UF-613, UF-650, UF-654, UF-667, UF-668, UF-676 y UF-677 en las condiciones del municipio Baracoa. Además, se identificaron 32 descriptores morfológicos como los que más aportan a la variabilidad en los clones evaluados. El dendrograma obtenido muestra cuatro grupos, el Grupo 1 formado por ocho clones y los Grupos 2, 3 y 4 formado por dos clones cada uno. Los Grupos 1 y 4 se agruparon seis de los siete los clones que presentaron los mejores resultados para los descriptores morfológicos del fruto y la semilla.

Palabras claves: caracterización morfoagronómica, cultivares, genotipos, *Theobroma cacao* L.

ABSTRACT

ABSTRACT

The present work was carried out with the objective of Determining the genotypes with the greatest potentialities to produce cocoa by the morphoagronomic characterization of clones included in the official list of commercial varieties. It was executed at the Germplasm Bank of the UCTB Baracoa Agroforestry Research Institute, between March 2018 and June 2020. A non-experimental observational study was conducted to evaluate 14 clones of cocoa with 50 morphoagronomic descriptors, and the most contributed to the variability, in quantitative descriptors by means of a major component and qualitative analysis by means of the Shannon-Weaver diversity index. With the descriptors selected a dendrogram was produced. As a result, the morphoagronomic characterization of the clones EICB-120, GS-29, ICS-6, ICS-8, ICS-95, UF-221, UF-296, UF-613, UF-650, UF-654, UF-667, UF-668, UF-676 and UF-677 on the conditions of the municipality Baracoa. In addition, 32 morphological descriptors were identified as those that contribute most to the variability in the evaluated clones. The dendrogram obtained shows four groups, Group 1 formed by eight clones and Groups 2, 3 and 4 consisting of two clones each. Groups 1 and 4 were grouped six of the seven clones that presented the best results for the morphological descriptors of the fruit and seed.

Key word: cultivars, genotypes, morphoagronomical characterization, *Theobroma cacao* L.

ÍNDICE

ÍNDICE:

Contenido	Pág
I. Introducción_____	1
II. Revisión bibliográfica_____	6
2.1 Reseña histórica del cacao_____	6
2.1.1. Introducción y distribución del cacao en Cuba_____	6
2.2. Producción, consumo e importancia del cacao _____	11
2.3. Clasificación taxonómica y características generales del cacao _____	12
2.4. Grupos morfogeográficos del cacao_____	14
2.5. Descriptores morfoagronómicos_____	18
2.6. Antecedentes del mejoramiento en <i>Theobroma cacao</i> L._____	19
2.6.1. Mejoramiento del cacao en Cuba_____	22
III. MATERIALES Y MÉTODOS_____	24
3.1. Evaluación de los descriptores morfoagronómicos_____	24
3.2. Caracterización morfológica de los clones evaluados_____	24
3.3. Descriptores morfoagronómicos que más aportan a la variabilidad_____	35
3.4. Relación entre los genotipos de cacao evaluados _____	35
3.5 Valoración económica _____	35
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN_____	36
4.1. Evaluación de los descriptores morfológicos _____	36
4.2 Descriptores morfoagronómicos que más aportan a la variabilidad_____	53
4.3 Relación entre los genotipos de cacao evaluados_____	55
4.4 Valoración económica _____	60
V. CONCLUSIONES_____	62
VI. RECOMENDACIONES_____	63

INTRODUCCIÓN

I. INTRODUCCIÓN

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es una planta nativa del centro y noroeste de América del Sur (Bhattacharjee y Kumar, 2007; Aikpokpodion, 2012; Jumbo, 2017). Se originó, en la región alto amazónica, la de mayor altura de la cuenca del río cerca de Iquitos, Perú (Bartley, 2005; Jumbp, 2017).

La producción mundial de cacao en el año 2014 fue de 4 585 552,48 t, con 10 012 333, 21 ha cultivadas. África es la región de mayor producción (301 487,400 t; 629 317,00 ha) en especial Costa de Marfil (144 899,200 t; 250 000,00 ha) y Ghana (835 466,00 t; 160 030,00 ha). La segunda región en producción es Asia (800 755,00 t; 186 764,900 ha), concentrada en Indonesia (777 500,00 t; 177 450,00 ha). América ocupa la tercera posición en producción (721 527,48 t; 169 917,921 ha), donde se destacan Brasil (256 186,00 t; 68 927,600 ha) y Ecuador (128 446,00 t; 40 243,400 ha) (ICCO, 2014; FAO, 2015).

Desde el inicio de su cultivo, el hombre incrementó la producción del cacao. Cerca de la mitad de este incremento obtenido durante los últimos 50 años se debe al mejoramiento genético y la otra mitad es el resultado del avance en las técnicas de cultivo. Por consiguiente, la caracterización de la biodiversidad de los recursos fitogenéticos se considera 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 (Suslow *et al.*, 2002). Según Cilas y Bastide (2020) el cambio climático indujo el decrecimiento de las áreas bajo cacao en África occidental debido al incremento de la evapotranspiración y el incremento de la temperatura que no se compensa con la lluvia anual

El cacao fue uno de los primeros cultivos introducidos por los españoles en Cuba, donde ocupó un lugar primordial en la alimentación hasta el siglo XIX. Durante ese período compartió la preferencia con el café, hasta que fue desplazado en

preferencia por esta bebida. Es innegable su importancia en la historia y la cultura nacional. Se sembró por primera vez en la finca “Mi Cuba” en Cabaiguán, Sancti Spíritus. Posteriormente, entre 1791 y 1803, se introdujo desde Haití por Ti Arriba, Santiago de Cuba, lo que contribuyó a la expansión del cultivo por la región oriental (Núñez, 2010).

Las plantaciones de cacao están distribuidas fundamentalmente en la precordillera de los macizos montañosos Nipe-Sagua-Baracoa y Sierra Maestra. Las áreas cacaoteras ascienden a 2 434 ha, de ellas en producción 2240 ha, con una producción de 1011 t, para un rendimiento de 0,45 t/ha (ONEI, 2019).

En Cuba el cacao que se cultiva es del grupo morfogeográfico Trinitario, aunque se introdujeron clones Forasteros y existen algunos árboles de Criollo. De acuerdo con su origen y modo de reproducción el cacao en Cuba se clasifica en tres grupos. El cacao tradicional, reproducido por semillas durante muchos años, cuyas plantaciones tienen 40 o más años. El cacao híbrido, introducido al país mediante semillas de hijos de TSH (del inglés *Trinidad Selected Hybrid*) y producidos por semilla híbrida de padres conocidos y polinizados manualmente, entre los que se destacan los hijos de TSH. Los clones, introducidos al país y reproducidos por injertos o estacas, entre los que predominan los UF (introducidos de Costa Rica en 1955) y de ellos los más propagados son los UF-650, UF-654 y UF-677 (Powis *et al.*, 2011; Jumbo, 2017).

Para la caracterización de la biodiversidad es necesario evaluar los descriptores morfoagronómicos, los cuales son esenciales para la utilización efectiva del germoplasma de las plantas cultivadas (Maharaj *et al.*, 2011; Santos *et al.*, 2012). Rodríguez *et al* (2019) recomiendan la evaluación del rendimiento 3 años después de estabilizada la producción del cacao. La identificación y caracterización de los clones es indispensable para la conservación del germoplasma y el desarrollo de nuevas variedades (Arum and Susandarini, 2020).

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 detectarse a simple vista y se expresan de igual forma en todos los ambientes (Hidalgo 2003). 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; 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. Con este objetivo, en especial en las plantas cultivadas, se seleccionaron descriptores morfoagronómicos bien definidos y probados, que simplifican el registro, la actualización, la modificación, la recuperación, el intercambio y el análisis de los datos (González, 2003).

En el cacao la caracterización fenotípica incluye descriptores de las hojas, las flores, los frutos, las semillas, las evaluaciones agronómicas, la adaptabilidad medioambiental, la calidad, la resistencia a plagas y enfermedades (Bekele y Butler, 2000) y las etapas de crecimiento (Niemenak *et al.*, 2009). De estos, los descriptores morfoagronómicos del fruto se utilizan en los estudios de variabilidad y son fundamentales para la clasificación en los grupos morfogeográficos Criollo, Forastero y Trinitario (Lachenaud y Oliver, 2005; Swanson 2005; Bertolde *et al.*, 2009).

Actualmente existe una cantidad considerable 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 *et al.* 2002). Sin embargo, estos cultivares se obtuvieron mediante trabajo 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 descendientes (Menéndez *et al.*, 2002).

El Ministerio de la Agricultura publica periódicamente la lista oficial de variedades de Cuba. Esta lista incluye las variedades, híbridos, cultivares y clones de las especies vegetales que pueden cultivarse comercialmente. Se establece en el artículo 22 del Decreto 175 “Calidad de las Semillas y sus Contravenciones”, la prohibición de

utilizar variedades no incluidas en la lista de variedades comerciales de especies agrícolas no cañeras y forestales, en los planes de producción comercial de las empresas, unidades básicas de producción cooperativas y demás dependencias del Ministerio de la Agricultura, así como por el sector cooperativo y campesino que destinen su producción al acopio estatal.

La Emisión de la Lista de Variedades Comerciales es responsabilidad a partir de la presente edición de la Dirección de Semillas como parte de las acciones para cumplir la función estatal No. 11 del Ministerio de la Agricultura que plantea “Dirigir la implementación de la política de prospección, conservación, introducción, mantenimiento, documentación y utilización de los recursos fitogenéticos y de semillas del país.”

La última lista, publicada en 2019, tiene una vigencia de dos años, lo que indica que se requiere mantener las investigaciones para la selección de nuevas variedades, híbridos, cultivares y clones que puedan integrar esta lista por sus características agronómicas (MINAG, 2019). Esto es especialmente importante en el actual contexto con un cambio climático que provoca que sea necesario identificar las variedades que puedan adaptarse mejor a ese contexto y permitan mantener o incrementar las producciones agrícolas (Cilas *et al.*, 2020).

Según comunicación personal (Menéndez, 2020); plantea que los híbridos, cultivares y clones que se relacionan en el artículo 22 del Decreto 175 “Calidad de las Semillas y sus Contravenciones”, no fueron caracterizados morfoagronómicamente según los descriptores propuestos por Engels (1983), se les adicionaron cuatro descriptores relacionados con la evaluación de la calidad según Eskes *et al.* (2000).

Por lo antes expuesto es necesario caracterizar morfoagronómicamente los genotipos de *Theobroma cacao* L. para mejorar la estructura clonal del cultivo en Cuba.

Problema

¿Cuáles de los clones de cacao incluidos en la lista oficial de variedades comerciales tienen mayores potencialidades para la producción en Cuba?

Objeto

Los clones de *Theobroma cacao* L. incluidos en la lista oficial de variedades comerciales.

Campo de acción

Estudio de descriptores morfoagronómicos.

Hipótesis

La caracterización morfoagronómica de clones de cacao incluidos en la lista oficial de variedades comerciales permitirá determinar los genotipos con mayores potencialidades para la producción en Cuba.

Objetivo general

Determinar los genotipos con mayores potencialidades para la producción de cacao mediante la caracterización morfoagronómica de clones incluidos en la lista oficial de variedades comerciales.

Objetivos específicos

1. Caracterizar los clones de *Theobroma cacao* L. incluidos en la lista oficial de variedades comerciales mediante el estudio de descriptores morfoagronómicos.
2. Determinar los genotipos incluidos en la lista oficial de variedades comerciales con mayores potencialidades en la producción de cacao.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Reseña histórica del cacao

La palabra *Theobroma* significa alimento de los dioses, derivada del griego (*theo* = Dios y *broma* = alimento) (Pérez, 2009; Torres, 2012; Márquez, 2014). Cuando los primeros colonizadores llegaron a América, el cacao era cultivado por los indígenas, por los aztecas y mayas en Centroamérica principalmente. Este árbol, según los historiadores denominado por los indígenas *cacahuatl*, se consideraba sagrado (Jaimes y Aránzazu, 2010).

En México, los aztecas creían que el cacao era de origen divino, donde el profeta *Quatzalcault* fue quien enseñó a la gente a cultivarlo tanto como alimento como para embellecer los jardines de la ciudad de Talzitapec (Jaimes y Aránzazu, 2010). En el siglo XVI, en la era poscolombina, el cacao se dispersó a otros continentes, cuando Hernando Cortés reportó el hallazgo de una bebida amarga usada por los aztecas y envió las semillas y recetas a Europa (Bhattacharjee y Kumar, 2007).

Durante el siglo XIX, las recetas originales se refinaron, y se desarrollaron las tecnologías que facilitaron el tostado y molienda de los granos de cacao, con lo cual se originó el desarrollo de la industria del chocolate y se popularizó su consumo en el mundo (Jaimes y Aránzazu, 2010). El cultivo del cacao (*Theobroma cacao* L.) en otros continentes se inició durante la era colonial entre los siglos XVIII y XIX, y en 1900, el 80% de la producción se daba en el continente americano. Ya en el siglo XXI, América se convierte en el continente con la menor producción. En la actualidad, el cacao es cultivado en la franja geográfica tropical húmeda ubicada desde los 18° N hasta los 20° S de la línea ecuatorial (De Almeida y Valle, 2008)

2.1.1. Introducción y distribución del cacao en Cuba

Mucho se ha escrito en Cuba, y fuera, acerca de la caña de azúcar, del tabaco y hasta del café. Pocos, por el contrario, mencionan al cacao, sin embargo, este fue uno de los primeros cultivos introducidos por los españoles en la isla, en los tiempos

iniciales de la colonización; y algunos aseguran que se daba silvestre en nuestras fértiles tierras. Y aunque su importancia económica como cultivo comercial, comparado con la caña de azúcar o el tabaco fue menor, el cacao ocupó un lugar principal en la alimentación tradicional en Cuba hasta el siglo XIX durante el cual el chocolate compartió la preferencia con el café, hasta ser desplazado por este y es innegable su importancia en la historia y la cultura nacional. (Núñez y González, 2005).

Puede afirmarse que su introducción se produjo durante la primera mitad del siglo XVI, cuando la incipiente colonia experimentó un breve período de florecimiento que, además de la búsqueda de oro y la explotación ganadera intensiva, incluyó el desarrollo de una diversificada agricultura de subsistencia. Algunas hipótesis plantean que el cacao fue introducido por los españoles en 1540 desde México, y sembrado por primera vez en la finca “Mi Cuba “en Cabaiguán, en el centro del país (versión repetida por otros especialistas del cacao del Ministerio de la Agricultura); mientras otros apuntan a su introducción por los franceses en la zona de “Ti Arriba “en Oriente: De las primeras ha sido imposible encontrar evidencia documental. Y contra las segundas abundan las referencias en la literatura, como se verá más adelante (Núñez y González, 2005).

Después de 1959, con el triunfo de la Revolución Cubana, se dio un notable impulso a las exigencias de diversificación agrícola que venían planteándose de siglos anteriores; y el cacao se incluyó en los nuevos planes de desarrollo. Instituciones del gobierno revolucionario se dieron a la tarea de estimular el rescate de plantaciones cacaoteras en la región oriental, con la entrega de posturas, fertilizantes, productos para el tratamiento de enfermedades, etc. Además, teniendo en cuenta que hasta esa fecha el “desconocimiento de las más elementales prácticas de atención de la planta” y del procesamiento de los frutos había incidido en los bajos rendimientos, (Núñez y González, 2005); se planteó la superación de los trabajadores que enfrentarían los nuevos retos (Márquez y Aguirre, 2008).

Así como se publicaron diversas obras de corte técnico en función de cubrir la necesidad de preparar un personal capaz de llevar a cabo la transformación técnica y social del campo; entre las que se encuentran algunas destinadas a preparar técnicos medio y obreros calificados en el cultivo del cacao (Márquez y Aguirre, 2008).

También desde entonces se ha formado la experimentación, tanto en la obtención de variedades clonales más resistentes a enfermedades de mayor importancia económica que disminuyan las pérdidas de las cosechas y de mayor calidad, como es en la esfera del aprovechamiento de otros derivados del cacao (Márquez y Aguirre, 2008).

Las plantaciones de cacao se encuentran distribuidas fundamentalmente en la precordillera de los macizos montañosos Nipe-Sagua-Baracoa y Sierra Maestra, además del creciente desarrollo en la zona Central y Occidental de nuestro país. Siendo parte del sustento de más de 4000 familias dedicadas a este cultivo. (Márquez *et al.*, 2008) (Tabla 1).

Tabla 1: Distribución territorial del cacao en Cuba, Márquez *et al.*, (2008).

Provincias	Municipios	Zonas
Guantánamo	Baracoa	Jamal
		Mosquitero
		Sabanilla
		Cabacú
	Maisí	Mabujabo
		La Tinta
		Los Gallegos
	Imías	Vertiente
		El Jobo
		El Bagá
	San Antonio del Sur	Veguita
		Dos Brazos
		La Zona
Yateras	Puriales	
	El Chocolate	
	Los Negros	

Tabla 1 (Continuación): Distribución territorial del cacao en Cuba, Márquez *et al.*, (2008).

Provincias	Municipios	Zonas
Santiago de Cuba	Tercer Frente	La Jibarera
		La Mandarinina
		Brazo Escondido
		El Sur
		Los Lageales
	Guamá	La Zarza
		Guamá
	Santiago de Cuba	Malayeguas
		Hongolosongo
	Palma Soriano	Dos Palmas
Granma	Songo La Maya	La Cala
		Ti Arriba
	Contramaestre	disperso
	Guisa	disperso
		Arroyón
		Limonos
	Buey Arriba	Montero
		San Miguel
	Campechuela	Los Manantiales
		El Yarei
Rancho de Guá		
	Las Malangas	
Bartolomé Masó	disperso	
Holguín	Frank País	El Culero
	Sagua de Tánamo	Cañamaso
		Cupeyes
		Naranjo
	Moa	Farallones
Sancti Spíritus	Fomento	El Pedrero
Pinar del Río	Bahía Honda	Quiñones

Según Márquez, *et al.*, (2008) el porcentaje mayor de las plantaciones de cacao del país se concentra en la región oriental, fundamentalmente en la provincia Guantánamo. Baracoa posee el mayor porcentaje de las áreas, 52 % (4 425 ha) y el 75 % de la producción nacional. La polarización en la producción se debe a las

condiciones climáticas de Baracoa, con más de 2000 mm de precipitaciones anuales (Márquez y Aguirre, 2008). Además, existe una tradición con varias décadas de cultivo del cacao, transmisión de las técnicas, instalaciones para su desarrollo y el procesamiento del grano (Márquez y Aguirre, 2010).

En Cuba, el cacao se cultiva en un sistema intercalado, bajo diferentes especies de sombra como el júpiter (*Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp.), el búcare (*Erythrina umbrosa* Kunth) y el cedro (*Cedrela odorata* L.). También se incluyen árboles frutales como: el zapote (*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn), el mango (*Mangifera indica* L.), el naranjo (*Citrus x sinensis* Osbeck), el papayo (*Carica papaya* L.), el aguacatero (*Persea americana* Mill.), y el cocotero (*Cocos nucifera* L.) (Márquez y Aguirre, 2008; Núñez, 2010). De acuerdo a su origen y modo de reproducción existen cuatro tipos de cacao en Cuba: los cultivares clonales, los híbridos, los hijos de TSH (del inglés *Trinidad Selected Hybrid*) y el tradicional (Márquez y Aguirre, 2008; 2010). Los cultivares clonales son híbridos de la *United Fruit Company* (UF), introducidos desde Costa Rica en 1955 y distribuidos desde finales de la década del 70 hasta inicios de los años 90 del siglo XX (Márquez y Aguirre, 2008; 2010).

Se propagan por injertos y se plantan como una mezcla de clones. Se localizan en las mayores regiones productoras: Baracoa, Imías y Maisí, en Guantánamo, y representan el 53% del cacao en Cuba. El cacao híbrido se introdujo en Cuba en 1991. Se propaga por las semillas que se obtienen mediante la polinización manual de clones Trinitario y Forastero seleccionados. Se localizan en la mayoría de las áreas productoras de Cuba, en el oriente y el centro de la isla, y representa el 37% del cacao en Cuba. Los hijos de TSH se introdujeron en Cuba mediante semillas en la década del 70 del siglo XX. Se localizan en las provincias orientales productoras de cacao: Granma, Santiago de Cuba, Holguín y Guantánamo, y representan el 4% del cacao en Cuba (Núñez, 2010).

2.2. Producción, consumo e importancia del cacao

La producción mundial de cacao en el año 2014 fue de 4585552,48 t, con 10012333,21 ha cultivadas. África es la región de mayor producción (3014874,00 t; 6293170,00 ha) en especial Costa de Marfil (1448992,00 t; 2500000,00 ha) y Ghana (835466,00 t; 1600300,00 ha). La segunda región en producción es Asia (800755,00 t; 1867649,00 ha), que se concentra en Indonesia (777500,00 t; 1774500,00 ha). América es la tercera región en producción (721527,48 t; 1699179,21 ha), con Brasil (256186,00 t; 689276,00 ha) y Ecuador (128446,00 t; 402434,00 ha) como los mayores productores (ICCO, 2014; FAO, 2015).

Alrededor del 90% del cacao se produce en países en desarrollo, en fincas de dos a cinco hectáreas. Lo cultivan de cinco a seis millones de personas y entre 40 y 50 millones dependen del cacao para su sustento (ICCO, 2012). Los mercados más importantes son Estados Unidos y la Unión Europea (Serrano, 2006).

Otros países tienen pequeñas producciones de cacao fino o de aroma, reconocido por su sabor y color únicos (ONU, 2011). Estos países son: en el Caribe Cuba, República Dominicana, Granada, Jamaica y Trinidad y Tobago, en América Central y del Sur Venezuela y en otras regiones Java y Madagascar (Laliberté, 2012). Este cacao fino o de aroma representa alrededor del 5% de la producción mundial, pero se considera que representa el futuro de la industria del cacao. Existe la tendencia de producirlo en los lugares con cultivares tradicionales que permitan su producción y garanticen su calidad (Flores, 2005; de Almeida y Valle, 2007).

Para la producción del chocolate, se realizan la cosecha, la apertura del fruto, la fermentación (2-8 días), el secado (reduce la acidez y astringencia), el tostado (para producir las pirazinas y los aldehídos del sabor y el aroma) y en algunos casos la alcalinización. Luego se muelen y refinan los granos para obtener el licor de cacao (cacao finamente molido), el conchado (formación de una pasta espesa que se licúa con la adición de manteca de cacao y lecitina), el temperado (enfriamiento y recalentamiento controlado), el moldeado, el enfriamiento y finalmente el embalaje, el

almacenamiento y la distribución (González *et al.*, 2012; Voigt, 2013). Las semillas del cacao presentan un 50% de lípidos, fundamentalmente triglicéridos (Bertazzo *et al.*, 2013; Latif, 2013).

El chocolate oscuro contiene el ácido oleico (monoinsaturado) y los ácidos palmítico y esteárico (saturados). Presenta proteínas, fundamentalmente albúmina y fracciones de globulina, los alcaloides estimulantes del sistema nervioso central teobromina, cafeína y teofilina, y el reductor del estrés ácido valérico (Bertazzo *et al.*, 2013; Latif, 2013). Los monoterpenos, metilcetonas, alcoholes secundarios y sus respectivos ésteres aportan el aroma fino del cacao (Kadow *et al.*, 2013). El 12-18% de la masa de las semillas secas son polifenoles, fundamentalmente el flavonoide epicatequina (Rusconi y Conti, 2010; Colombo *et al.*, 2012). Estos compuestos reducen el riesgo y la mortalidad de enfermedades cardiovasculares al disminuir la presión arterial e incrementar la microcirculación y la vasodilatación (Schroeter *et al.*, 2006; Galleano *et al.*, 2009).

El efecto antioxidante del cacao inhibe la peroxidación de los lípidos, disminuye la presión arterial y el colesterol de baja densidad, incrementa el colesterol de alta densidad y la resistencia al estrés oxidativo (Andújar *et al.*, 2012). El chocolate tiene una capacidad antioxidante superior a la del vino rojo (1,8 veces), el té verde (2,5 veces) y el té negro (4,4 veces) (Lee *et al.*, 2003). Comparado con otras frutas, la capacidad antioxidante del cacao en polvo es similar al asaí (*Euterpe oleracea* Mart.) y superior a la mora (*Morus alba* L.), al arándano agrio (*Vaccinium oxycoccos* L.) y a la granada (*Punica granatum* L.). El contenido de polifenoles totales del cacao en polvo es similar y el de flavonoides es superior a los de las frutas mencionadas (Crozier *et al.*, 2011).

2.3. Clasificación taxonómica y características generales del cacao

La clasificación taxonómica del cacao es la siguiente:

- Reino: Plantae

- Subreino: Tracheobionta
- División: Magnoliophyta
- Clase: Magnoliopsida
- Subclase: Dilleniidae
- Orden: Malvales
- Familia: Malvaceae
- Subfamilia: Byttnerioideae
- Tribu: Theobromeae
- Género: *Theobroma*
- Especie: *Theobroma cacao* L. (APG IV, 2016).

En la familia *Malvaceae* el género *Theobroma* es el más importante (APG IV, 2016). El cacao (*Theobroma cacao* L.) es la única especie del género que se cultiva a gran escala en todo el mundo y la más importante económicamente (Parra, 2005; Zhang *et al.*, 2011a; Dostert *et al.*, 2012).

Es una planta diploide que presenta un genoma entre 326,9 Mpb y 445 Mpb, aproximadamente tres veces mayor que el de *Arabidopsis thaliana* L.; uno de los genomas de menor tamaño en las angiospermas, y 20 cromosomas (Guiltinan *et al.*, 2008; Motamayor *et al.*, 2013). Requiere precipitaciones anuales entre 1500 mm y 2500 mm, temperaturas entre 25 °C y 28 °C, suelos profundos, ricos en materia orgánica, franco arcillosos, con buen drenaje, y pH entre 5,0 y 7,5 (Dostert *et al.*, 2012). Su propagación es mediante injertos, estacas, y semillas (Castillo, 2002; Leal, 2005) y se hace un estudio de la multiplicación *in vitro* mediante brotes y embriogénesis somática (Teixeira *et al.*, 2002; da Silva *et al.*, 2008; Pasqual *et al.*, 2012).

Es un árbol perennifolio de 4 a 8 m de altura en cultivo y hasta 20 m en estado silvestre. Con un crecimiento dimórfico en el tallo, con brotes verticales ortotrópicos en la base que forman un verticilo con tres a cinco ramas plagiotrópicas decrecimiento horizontal o lateral a una altura de 1 a 1,5 m. Por debajo del primer verticilo puede crecer un nuevo brote que forma un segundo verticilo, proceso que puede repetirse (Mora, 2009; Niemenak *et al.*, 2009).

Los brotes de hojas jóvenes son de color verde claro a rojo intenso. Las hojas completamente desarrolladas miden de 15 a 50 cm de largo y de 4 a 15 cm de ancho, son de color verde intenso en el haz y verde claro en el envés. Su forma es elíptica, ligeramente gruesas, con ápice largo y borde liso. Entre los cuatro y cinco meses de edad adquieren un color amarillo y ocurre la abscisión (Bhattacharjee y Kumar, 2007; Mora, 2009; Niemenak *et al.*, 2009; Espinal, 2014).

Presenta una raíz principal pivotante que puede alcanzar más de dos metros de profundidad y un extenso sistema de raíces secundarias, la mayoría en los primeros 30 cm (Mora, 2009; Torres, 2012).

A los dos o tres años se forman las primeras flores. Miden de 2 a 2,5 cm de largo y de 0,5 a 1 cm de diámetro, poseen poco néctar u olor discernible y se agrupan en inflorescencias en los cojinetes florales del tallo y las ramas. Son hermafroditas, actinomorfas, pentámeras, con cinco sépalos, cinco pétalos, 10 estambres (cinco internos fértiles con dos anteras y cinco estaminoides externos infértiles) y un ovario súpero con cinco carpelos. Cada árbol produce de 5000 a 120 000 flores al año (Mora, 2009; Niemenak *et al.*, 2009; Torres, 2012). Los dípteros del género *Forcipomyia*, que transportan el polen hasta 60 m de distancia, las polinizan entre ocho y 10 horas después de abrir (O'Doherty y Zoll, 2012; Adjaloo y Oduro, 2013).

Entre el 0,5 y el 5% de las flores dan origen a frutos seis meses después de la polinización, las otras caen en las 24 a 48 horas siguientes (de Almeida y Valle, 2007). El número de frutos se incrementa hasta los 8 a 10 años (de Almeida y Valle, 2007). Son drupas indehiscentes, de hasta 32 cm de largo por 7 a 10 cm de ancho,

esféricas a cilíndricas, algunas puntiagudas. Contienen entre 20 y 60 semillas de 1 a 3 cm de largo recubiertas por una pulpa mucilaginosa de sabor ácido o dulce, con placentación axilar en cinco filas y dos cotiledones de color blanco a violeta intenso. Los frutos inmaduros son verdes (amarillo o anaranjado al madurar) o rojos (anaranjado o rojo al madurar) (Mora, 2009; Niemenak *et al.*, 2009; Espinal, 2014).

Las afectaciones principales al cultivo se deben a tres enfermedades fúngicas: la pudrición negra causada por *Phytophthora palmivora* (Butler y Umaharan, 2004) y otras especies del género, la escoba de bruja causada por *Moniliophthora perniciosa* (Mora 2009) y la moniliasis causada por *Moniliophthora roreri*. También lo afectan el mal de machete causada por *Ceratocystis cacao funesta*, la buba floral cuyo agente causal es desconocido e insectos que afectan las hojas (Evans, 2007; Meinhardt *et al.*, 2008). La planta de cacao vive más de 100 años, pero su vida económica alcanza los mayores rendimientos entre los 25 y los 40 años (Niemenak *et al.*, 2009).

2.4. Grupos morfogeográficos del cacao

Alrededor del mundo han sido descritos y cultivados tradicionalmente tres principales grupos morfogeográficos de cacao: Trinitario, Criollo y Forastero. El grupo de los Criollos representa el primer grupo de cacao domesticado del mundo, fue originalmente cultivado por los mayas en América Central. El grupo de los Forasteros incluye distintas poblaciones localizadas a lo largo de la Región Amazónica desde Colombia hasta Guyana. Las semillas de cacao de calidad provienen del grupo Criollo que, a diferencia del cultivar Forastero y del Trinitario (obtenido por la recombinación de los dos primeros), fue domesticado y empleado como materia prima en la alimentación de los pueblos precolombinos de Centroamérica hace unos 3 800 años (Powis *et al.*, 2011).

Trinitario

El grupo de los Trinitarios está constituido por poblaciones híbridas desarrolladas a partir de cruces naturales entre Criollo y Forastero (Powis *et al.*, 2011; Jumbo, 2017). Algunos son poblaciones segregantes que se originaron por hibridación natural entre

Forastero (amelonado) del Bajo Amazonas y Criollos. En el comercio es conocido como “Cacao fino de aroma” y su sabor puede deberse en parte a su herencia criolla; a este grupo pertenecen todos los materiales *Imperial College Selection* (ICS) que se conocen en el mundo (ICS 1, 6, 39, etc). Esta hibridación natural generó diferentes formas en los frutos conocidas actualmente como Amelonado, Cundeamor, Angoleta y Calabocillo (Aránzazu *et al.*, 2009).

Pese a que los individuos de cacao presentan un sistema de entrecruzamiento preferentemente alógamo, se ha documentado una clara distinción entre sistemas de autoincompatibilidad de los genotipos Forasteros y de autocompatibilidad de los Criollos. Sin embargo, existen reportes de segregación hacia los dos sistemas de polinización por parte de los dos genotipos (Vázquez *et al.*, 2012).

Hoy día y dada la fuerte recombinación de parentales por parte de algunos programas y cacaocultores, buscando aumentar el vigor híbrido (heterosis) como la principal responsable de mejoramiento, se pueden hallar plantaciones de cacao con individuos que responden a ambos sistemas de entrecruzamiento, así lo han demostrado Efombagn *et al* (2009) en la recombinación abierta de poblaciones cultivadas y de invernadero en Camerún donde han encontrado que hasta el 28,3% de descendencia proveniente de polinización no controlada. (Johnson *et al.*, 2009; Jumbo, 2017).

Los individuos que descienden de estos sistemas de entrecruzamiento son un importante reservorio de genes que potencialmente pueden exhibir las características de sus parentales, siendo la calidad sensorial una de las más importantes (aroma, sabor y textura principalmente), además, hay mejora de las características agronómicas de rendimiento y tolerancia a enfermedades, tal como ocurre en las variedades Trinitario (Johnson *et al.*, 2009; Jumbo, 2017).

Forastero

El grupo Forastero cuenta con dos subgrupos bien definidos: Forasteros del Alto Amazonas (provenientes de la parte alta de la cuenca Amazónica, ríos Caquetá,

Napo y Putumayo, con frutos de diversas formas y tamaños, y almendras de color violeta) y Forasteros del bajo Amazonas (frutos de forma amelonada, corta de color verde y amarillo cuando alcanzan su madurez, superficie lisa, de corteza gruesa y difícil de cortar) (Motamayor *et al.*, 2008; Jumbo, 2017).

Este tipo de cacao forma un grupo complejo tanto en sus formas silvestres como cultivadas. Dada su alta productividad domina la producción mundial, ocupan cerca del 95% del total cultivado, en países del Oeste de África, Brasil y Ecuador, y del cual se obtiene igual porcentaje del chocolate que se comercializa (Efombagn *et al.*, 2009; Jumbo, 2017). Del grupo genético Forastero, se obtiene el cacao a granel o “básico” y contribuyó como parental en la generación de los Trinitarios hace unos 250 años (Motamayor *et al.*, 2008; Jumbo, 2017).

Criollo

El grupo genético Criollo, clasificado como subespecie cacao, y del cual se obtiene el cacao “fino” contribuye a la producción mundial con el 5% (Afoakwa *et al.*, 2008, Jumbo, 2017); aunque su consumo aún está revalorándose, se encuentra en expansión y es mucho más exigente respecto a la calidad de la materia prima y de los productos derivados de ésta. Este mercado *gourmet* paga sobrepagos por almendras obtenidas del genotipo Criollo y destina el grano a la elaboración de chocolates “finos” altamente cotizados en Estados Unidos y Europa (Vázquez *et al.*, 2012).

Esta situación, sumada a otras características de mercadeo, que premia los productos con denominación de origen y simplifica los requerimientos de comercio, estimula la conservación, cultivo y comercialización de razas o genotipos de calidad “superior” (Vázquez *et al.*, 2012). Se ha reportado, que los individuos Criollos “nativos” o “antiguos” estarían asociados con menor rendimiento agronómico, al poseer frutos de menor tamaño y menos número de almendras por fruto, además de una marcada susceptibilidad a *Moniliophthora roreri* y *Phytophthora palmivora* (Motamayor *et al.*, 2002; Jumbo, 2017). La moniliasis, causada por *M. roreri*, ha

provocado el abandono del cultivo de cacao, o la reducción, tanto del área cultivada como de la producción de grano (cerca del 50% en los últimos seis años) (Motamayor *et al.*, 2002; Jumbo, 2017).

De no atenderse esta situación y establecer programas serios de rescate de genotipos de interés (pero no solo desde la perspectiva del rendimiento), se vislumbra un horizonte poco alentador, ya que los cacaos cultores optan por cambiar el sistema a otro que demande menores esfuerzos y mayores rendimientos, siendo muchas veces la elección poco acertada (Phillips *et al.*, 2006). Los cacaotales, además del beneficio social y económico que representan, contribuyen como la parte soporte de nichos ecológicos para una gran diversidad de especies vegetales y animales, encontrando desde especies maderables, florales y animales como mamíferos, aves y ardillas (Vázquez *et al.*, 2012).

2.5. Descriptores morfoagronómicos

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; Santos *et al.*, 2012). Los descriptores morfoagronómicos se utilizan en la descripción, identificación, caracterización y evaluación de las especies, las familias y los géneros de plantas debido a su variabilidad y estos deben ser confiables para permitir la diferenciación entre grupos (Ramos *et al.*, 2020). Con este objetivo, en especial en las plantas cultivadas, se seleccionaron descriptores morfoagronómicos bien definidos y probados, que simplifican el registro, la actualización, la modificación, la recuperación, el intercambio y el análisis de los datos (González, 2003).

En el cacao la caracterización fenotípica incluye descriptores de las hojas, las flores, los frutos, las semillas, las evaluaciones agronómicas, la adaptabilidad medioambiental, la calidad, la resistencia a plagas y enfermedades (Bekele y Butler, 2000) y las etapas de crecimiento (Niemenak *et al.*, 2009). De estos, los descriptores morfoagronómicos del fruto se utilizan en los estudios de variabilidad y son

fundamentales para la clasificación en los grupos morfogeográficos Criollo, Forastero y Trinitario (Lachenaud y Oliver, 2005; Swanson, 2005; Bertolde *et al.*, 2009).

En el caso de los descriptores morfoagronómicos cualitativos permiten la identificación de cultivares y tienen alta heredabilidad (Pérez, 2009). Sin embargo, los descriptores morfoagronómicos presentan insuficiente variación, subjetividad en el análisis, requieren de un conocimiento práctico de la especie, son influenciados por el ambiente y las prácticas de manejo, son limitados en número y distribución. Además, algunos descriptores morfoagronómicos solo se expresan en etapas del desarrollo o en órganos específicos y los genes con efecto epistático y pleiotrópico modifican su expresión (Sensen, 2005; Weising *et al.*, 2005).

A pesar de esas dificultades, la información que aportan los descriptores morfoagronómicos contribuye a la caracterización de los recursos fitogenéticos (Kumar *et al.*, 2009).

2.6. Antecedentes del mejoramiento en *Theobroma cacao* L.

En cacao como se ha podido se ha podido identificar a partir de las diversas expediciones de colecta, la variabilidad está dispersa en una amplia región de Latinoamérica y ocurre en poblaciones discretas, las mismas que constituyeron los primeros recursos para el cultivo, sin perder su condición de nativas; de tal manera que variedades distintas se asociaron con regiones particulares (Bartley, 2005). Según Paulin *et al.*, (2016) los programas de mejoramiento en cacao se basan a menudo en la creación de híbridos entre clones de origen geográfico diferentes, con la selección de las mejores combinaciones mediante el valor promedio de sus descendientes.

Sin embargo, este método que explora la variabilidad natural del cacao tiene sus límites: primero, no garantiza el avance genético continuo y segundo, no permite explorar a menudo la importante variabilidad intra híbrido, que se deriva de la alta concentración de heterocigosis de los padres (Agama, 2005). La selección a partir de descendencias híbridas según Lanaud *et al.* (1995) citados por Quiroz (2002), es

ampliamente utilizada. Se fundamenta en la creación de descendientes F 1 o híbridos de clones que son utilizados como progenitores de semillas híbridas permitiendo obtener una fuerte heterosis para el rendimiento, vigor y precocidad. El ciclo de selección toma algunos años e incluye la selección de diferentes individuos dentro de una colección con características deseables (producción, resistencia a plagas y enfermedades y calidad) (Agama, 2005).

Posteriormente, se realiza la evaluación de las mejores descendencias respecto a los padres que son multiplicados vegetativamente para establecerse en el campo de producción de semillas. Finalmente, por medio de la polinización natural o artificial se obtienen semillas con buen valor en sus descendencias y posteriormente se distribuyen híbridos seleccionados a los productores (Quiroz, 2002).

Sin embargo, el mejoramiento por selección genealógica presenta algunos problemas. Los descendientes son muy heterogéneos, probablemente debido al grado de heterocigosidad de los padres. Trabajos realizados por Lanaud *et al.* (1995) con ciertos híbridos provenientes de clones que se seleccionaron, indican que el 80% de la producción se basó en la colecta de solamente el 30% de los árboles. Esto posiblemente se debió al uso de progenitores maternos autoincompatibles, permitiendo mayor obtención de frutos producto de cruzamientos y no de autofecundación, pues los insectos generalmente mezclan el polen del mismo árbol, este inconveniente disminuye la ventaja que produce el aporte de la heterosis (Agama, 2005).

A comienzos de la década de los años 20's, se inició la investigación sistemática del cacao en Trinidad; siendo los ingleses quienes iniciaron los trabajos de selección de árboles, teniendo claro el tipo de planta deseado con características específicas que no siempre se las encontraba en un solo árbol. En 1932 Van Hall aplicó conceptos de selección individual en Java, para lo cual fue necesario sembrar los clones colectados en parcelas de observación y de evaluación (Rondón, 2000; Jumbo, 2017).

Posteriormente incluyó la evaluación de progenies por polinización de clones seleccionados en orden a determinar si sería preferible usar progenies por semilla o los mismos clones, cuestión que aun hoy está sin resolver pero que preocupa a investigadores especialmente por el costo (Rondón, 2000; Jumbo, 2017). La selección clonal fue practica de amplia utilización en los años 40 y 70 del siglo XX; y consistió en propagar vegetativamente individuos superiores seleccionados a partir de descendencias híbridas. Este método, permite aumentar los rendimientos y homogeneidad de las plantaciones; sin embargo, presenta algunas limitantes, dependiendo de la técnica de propagación utilizada: ya sea injertos o estacas (Toirac, 2017).

Cabe destacar que los programas de mejoramiento contaron desde un comienzo con recursos genéticos a partir de las poblaciones básicas del cacao. Estas poblaciones dieron origen a la población conocida como trinitario y cuyas características la ubican como intermedia a las dos anteriores; entre estas poblaciones se encuentran los diferentes grados de variabilidad que se presentan en materiales comerciales. La población criolla da origen a los cacaos finos con mayor contenido de grasa y más aromatizado que la población forastera, además el promedio de peso por semilla puede ser el doble de la semilla del forastero; estas características en general lo han ubicado al criollo como el material que, en condiciones de producción comercial, le ofrece las mejores condiciones de comercialización, recibiendo primas importantes por su "Calidad" (Rondón, 2000).

Con la ampliación de las áreas sembradas en Latinoamérica, se presentaron y dispersaron las enfermedades, lo que produjo un profundo efecto en el establecimiento de programas de mejoramiento por resistencia como otro objetivo, especialmente en Ecuador por Escoba de bruja. La atención puesta a la resistencia de enfermedades produjo algunos beneficios, especialmente respecto a la conciencia en la importancia del germoplasma de las especies y los avances considerables respecto a los materiales disponibles (Rondón, 2000; Jumbo, 2017).

Tiempo después de llegar la Escoba de bruja al país, se inició igualmente el programa de mejoramiento por resistencia, para lo cual se acogió la recomendación del programa de Trinidad, según el cual las nuevas poblaciones a establecer en zonas afectadas por la enfermedad, deberían contener hasta un 66% de la población de cruzamientos provenientes de SCA 6, SCA 12 e IMC 67 clones de la colección realizada por Pound al Perú e identificados en Trinidad como resistentes a la enfermedad (Rondón, 2000). Dichos híbridos, obtenidos con cruzamientos con materiales ICS, dieron como resultado poblaciones tolerantes hasta cierta edad, máximo tres años, para luego convertirse en materiales susceptibles con el agravante de producir un grano de muy mala calidad por su tamaño y rendimiento en grasa (Rondón, 2000).

Esta observación es un indicio que los programas de mejoramiento adolecieron de verdaderos elementos básicos de caracterización de los clones, del proceso de infección de la enfermedad y de la interacción patógeno hospedero, sin olvidar los componentes de calidad y rendimiento del grano. Pero, además, la experiencia ganada sobre el comportamiento del material híbrido basado en SCA al nivel de finca, mostró lo peligroso de cultivar un solo material, especialmente cuando la evaluación se ha inadecuado. Esto conduciría a adoptar una política en cuanto a eliminar la distribución de estos materiales en materiales de siembra comerciales ya distribuir mezclas de híbridos más adecuados (Rondón, 2000).

2.6.1. Mejoramiento del cacao en Cuba

En la actualidad se desarrolla un programa para incrementar el cultivo del cacao, con clones UF selectos (UF-650, UF-654, UF-667, UF-668, UF-676 y UF-677), otros UF en mezcla con los selectos (UF-613, UF-221 y UF-296), otros clones (GS-29, GS-36, ICS-6, ICS-8, ICS-95 y EICB-120) e híbridos con alto potencial productivo (UF-650 x Pound-12, UF-650 x Pound-7, UF-654 x Pound-7, UF-677 x IMC-67, UF-613 x IMC-67, UF-613 x Pound-12, UF-613 x UF-296 y CCN-51) (MINAG, 2015). Este programa está sustentado en el estudio de zonificación edafoclimática del cacao, que permitió identificar las zonas que responden a los requerimientos del cultivo en Cuba (Suárez,

2013). Para argumentar y ampliar lo antes mencionado es necesario caracterizar morfoagronómicamente genotipos de *Theobroma cacao* L para mejorar la estructura clonal del cultivo en Cuba.

MATERIALES Y MÉTODOS

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción del área de estudio

Los experimentos se realizaron en el banco de germoplasma del Instituto de Investigaciones Agroforestales UCTB Baracoa, situada en el km 8 de la carretera Baracoa-Guantánamo, a 28 msnm. Los estudios de campo se efectuaron sobre un suelo Fluvisol (Hernández *et al.*, 2015) entre marzo de 2018 y junio 2020. Las labores culturales y fitosanitarias se realizaron según Instrucciones Técnicas para el Cultivo y Cosecha del Café y Cacao (MINAG, 1987).

Se seleccionaron en campo 14 accesiones de cacao (*Theobroma cacao* L.) de la colección central cubana ubicada en el INAF UCTB Baracoa, según lo que establece en el artículo 22 del Decreto 175 “Calidad de las Semillas y sus Contravenciones”, del Ministerio de la Agricultura (MINAG, 2019): UF-221, UF-613, UF-650, UF-654, UF-667, UF-668, UF-676, UF-677, UF-296, GS-29, ICS-6, ICS-8, ICS-95, EICB-120. En cada hilera hay 6 réplicas del mismo genotipo sembradas a una distancia de 3 m por 3 m, bajo sombra de permanente de Júpiter (*Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp).

Se realizó un estudio observacional no experimental a cada una de las plantas de los seis genotipos a los cuales se le recolectaron muestras de flores, frutos y semillas para evaluar los descriptores morfológicos.

3.2. Caracterización morfológica de los clones evaluados

Los clones seleccionados se caracterizaron con 50 de los descriptores morfoagronómicos propuestos por Engels (1983) y modificados por Menéndez (2002), los cuales se agruparon en: descriptores del tronco, hojas, flor, fruto, semilla y productividad. Similares descriptores fueron utilizados por Gutiérrez (2020)

Descriptores del tronco

1. Arquitectura del tronco: se evaluó el ángulo vertical entre dos ramas principales opuestas:

1 Erecto: el ángulo es menor o igual a 90°

2 Intermedio: el ángulo es mayor de 90° y menor o igual que 135°

3 Colgante: el ángulo es mayor que 135°

Descriptores de las hojas

1. Forma de la base de la hoja: se determinó según el ángulo de los bordes con la vena central en punto de inserción:

1 Aguda: el ángulo es menor o igual a 90°

2 Obtusa: el ángulo es mayor que 90° y menor que 180°

3 Redonda: el ángulo es aproximadamente de 180°

4 Acorazonada: Con forma de corazón

2. Forma del ápice de la hoja: se midió el ángulo entre los bordes de la hoja

1 Obtuso

2 Apiculado

3 Agudo

3. Intensidad de rojo del brote de la hoja: se evaluó según la siguiente escala:

0 Ausente

1 Claro

2 Intermedio

3 Intenso

4. Intensidad de verde del brote de la hoja: se evaluó según la siguiente escala:

0 Ausente

1 Claro

2 Intermedio

3 Intenso

Descriptores de la flor

Se recolectaron flores que no estaban expuestas directamente al sol. Las mediciones de los órganos de la flor se realizaron con una regla, auxiliado con una lupa o estereoscopio.

1. Longitud del estilo: Se midió en 12 flores recolectadas de los seis árboles de cada clon (2 flores de cada uno), se calculó la media en milímetros.
2. Longitud del ovario: se midió la longitud máxima del ovario en 24 flores recolectadas de los seis árboles (4 flores de cada uno), se calculó la media en milímetros.
3. Ancho del ovario: se midió el ancho máximo del ovario en 24 flores recolectadas de los seis árboles (4 flores de cada uno), se calculó la media en milímetros.
4. Longitud del sépalo: Se midió la longitud máxima del sépalo en 12 flores recolectadas de los seis árboles de cada clon (2 flores de cada uno), se calculó la media en milímetros.

5. Anchura del sépalo: Se midió el ancho máximo del sépalo en 12 flores recolectadas de los seis árboles de cada clon (2 flores de cada uno), se calculó la media en milímetros.

6. Intensidad de la antocianina en la lígula: Se evaluó la intensidad de la pigmentación en la parte superior de la lígula en cinco árboles. Se clasificó de la siguiente manera:

0 Ausente

1 Presente

7. Color del sépalo: se evaluó según la siguiente escala:

1 Verde-Amarillento

2 Amarillo

3 Rojo-Amarillento

5 Rojo

6 Amarillo-Rojizo

8. Color del filamento: se evaluó según la siguiente escala:

0 Blanco

1 Amarillo

2 Violeta

9. Presencia de antocianinas en el estambre: se evaluó según la siguiente escala:

0 Ausente

1 Presente

10. Color del pedúnculo: se evaluó según la siguiente escala:

1 Verde

2 Amarillo

3 Rojo-Pálido

4 Rojo

11. Presencia de antocianinas en el ovario de la flor: se evaluó según la siguiente escala:

0 Ausente

1 Presente

12. Longitud de los estaminoides: Se separaron los estaminoides de las flores y se midió su longitud en 12 flores.

13. Longitud de los pétalos: Se separaron los pétalos de las flores y se midió su longitud en 12 flores.

14. Ancho de los pétalos: Se separaron los pétalos de las flores y se midió su ancho en 12 flores.

Descriptores del fruto

La evaluación de los descriptores del fruto se realizó en 35 frutos recolectados de las seis plantas de cada clon.

1. Longitud del fruto: Se midió con un pie de rey la longitud máxima de cada fruto y se calculó la media en milímetros.
2. Ancho del fruto: Se midió con un pie de rey el ancho máximo del cada fruto y se calculó la media en milímetros.

3. Grosor por el lomo: Los frutos se seccionaron transversalmente, se midió el grosor por el lomo de cada fruto con el pie de rey y se calculó la media en milímetros.
4. Grosor por el surco: Los frutos se seccionaron transversalmente, se midió el grosor por el surco de cada fruto con el pie de rey y se calculó la media en milímetros.
5. Separación entre lomos: Se midió con un pie de rey la distancia entre un par de lomos primarios consecutivos de cada fruto y se calculó la media en milímetros.
6. Rugosidad de la superficie del fruto: Se evaluó de acuerdo con la aparición de protuberancias sobre la superficie del fruto. Se clasificaron de la siguiente manera:

1 Liso

2 Moderadamente rugoso

3 Muy Rugoso

7. Forma apical del fruto: Los frutos se clasificaron de acuerdo con la figura 2.

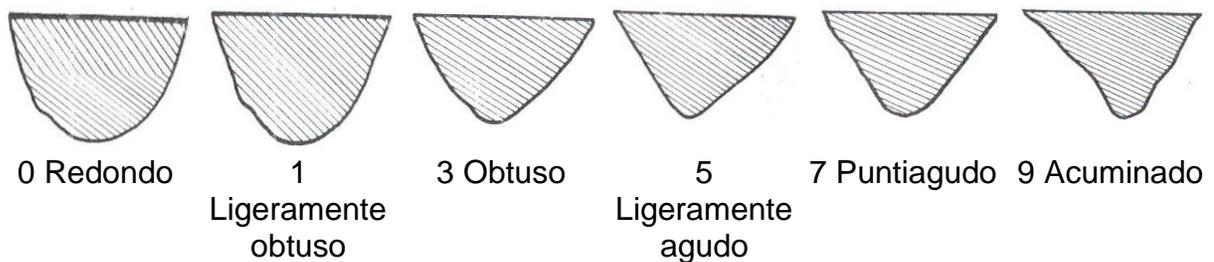


Figura 2. Clases fenotípicas del descriptor morfológico forma apical de los frutos de cacao.

8. Constricción basal: Los frutos se clasificaron de acuerdo con la figura 3.

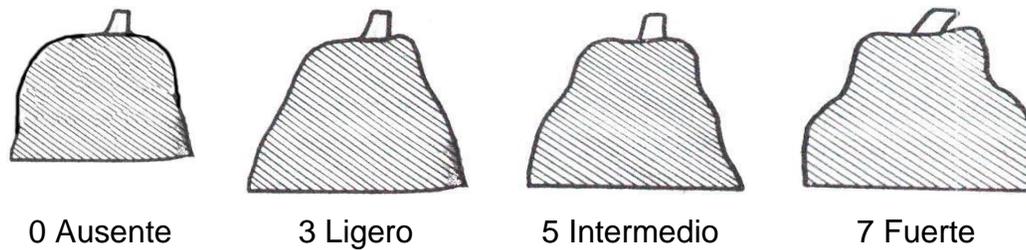


Figura 3. Clases fenotípicas del descriptor morfológico constricción basal de los frutos de cacao.

9. Forma del fruto: Los frutos se clasificaron de acuerdo con la figura 4.

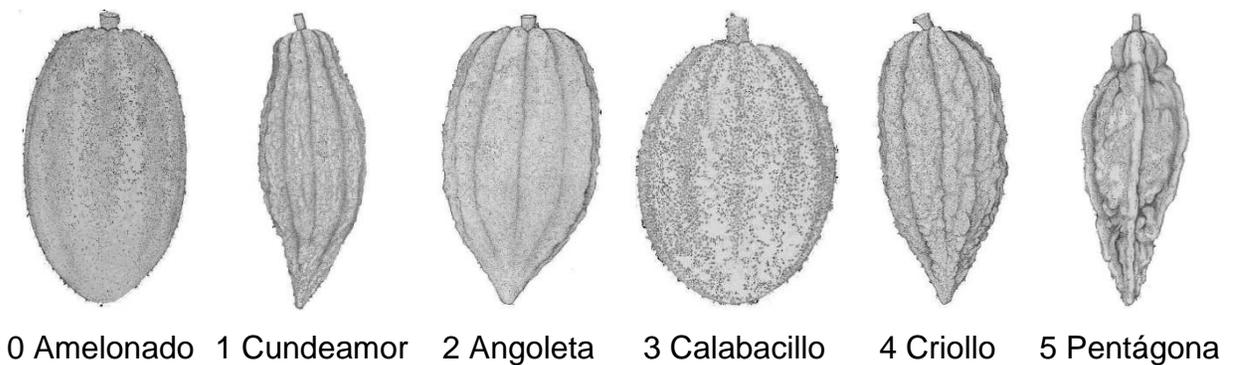


Figura 4. Clases fenotípicas del descriptor morfológico forma de los frutos de cacao.

10. Color del fruto maduro: se evaluó según la siguiente escala:

- 1 Verde
- 2 Rojo
- 3 Anaranjado

11. Presencia de antocianinas en el lomo del fruto verde: se evaluó según la siguiente escala:

- 0 Ausente
- 3 Ligera

5 Intermedia

7 Intensa

12. Presencia de antocianinas en el surco del fruto verde: se evaluó según la siguiente escala:

0 Ausente

3 Ligera

5 Intermedia

7 Intensa

13. Presencia de antocianinas en el lomo del fruto maduro: se evaluó según la siguiente escala:

0 Ausente

3 Ligera

5 Intermedia

7 Intensa

14. Presencia de antocianinas en el surco del fruto maduro: se evaluó según la siguiente escala:

0 Ausente

3 Ligera

5 Intermedia

7 Intensa

15. Dureza del mesocarpo: se evaluó según la siguiente escala:

1 Baja

2 Media

3 Alta

16. Relación ancho del fruto/longitud del fruto. Se calculó según la siguiente fórmula:

$$\text{Relación ancho del fruto/longitud del fruto} = \frac{\text{ancho del fruto}}{\text{longitud del fruto}}$$

17. Peso del fruto maduro. Se evaluó con el empleo de una balanza técnica.

Descriptorios de la semilla

Se evaluaron los siguientes descriptorios morfológicos de la semilla

1. Color del cotiledón: se evaluó según la siguiente escala:

1 Blanco

3 Violeta claro

5 Violeta

7 Violeta oscuro

2. Relación semillas por fruto/número máximo de semillas. Se calculó según la siguiente fórmula:

$$\text{Relación semillas por fruto/número máximo de semillas} = \frac{\text{Semillas por fruto}}{\text{Número máximo de semillas}}$$

3. Relación semillas por fruto/peso del fruto

4. Relación ancho de la semilla/longitud de la semilla

5. Número máximo de semillas: Es el mayor número de semillas por fruto observado en 40 frutos.
6. Número de semillas por frutos: Es la media del número de semillas de 40 frutos.
7. Peso húmedo: Es la media del peso fresco de 150 semillas, recolectadas de 10 frutos (15 semillas de cada una).
8. Longitud de la semilla: Se midió con un pie de rey la longitud máxima de 100 semillas, recolectadas de 20 frutos (5 semillas de cada uno) y se calculó la media en milímetros.
9. Ancho de la semilla: Se midió con un pie de rey el ancho máximo de 100 semillas, recolectadas de 20 frutos (5 semillas de cada uno) y se calculó la media en milímetros.
10. Espesor de la semilla: Se midió con un pie de rey el espesor máximo de 100 semillas, recolectadas de 20 frutos (5 semillas de cada uno). Se calculó la media en milímetros.

Descriptores de la productividad

- Productividad: Se valuó la producción de frutos y se clasificaron según la siguiente distribución:
 - 1 Muy bajo: 40 frutos en 3 años
 - 2 Bajo: 40 frutos en 2 años
 - 3 Intermedio: 40 frutos en 3 - 4 cosechas durante el año
 - 4 Alto: 40 frutos en 2 cosechas en el año
 - 5 Muy alto: 40 frutos cosechados de una sola vez

- Autocompatibilidad: Se evaluó la autocompatibilidad y se clasificó según la siguiente escala:

0 Autocompatible

1 Autoincompatible

Análisis estadístico

Para el análisis estadístico de los descriptores cualitativos, se determinó la frecuencia absoluta y relativa y el Índice de Diversidad de Shannon-Weaver (Shannon y Weaver, 1949) de acuerdo con la fórmula:

$$H' = - \sum_{i=1}^K P_i \cdot \ln P_i$$

Dónde: K es el número de clases fenotípicas para el descriptor morfológico.

P_i es la proporción de accesiones con la i-ésima clase fenotípica.

Para los descriptores cuantitativos, se determinó la media y la desviación estándar. Posteriormente se realizó el Análisis de Varianza. Primeramente, la prueba de normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilks y de homogeneidad de varianza mediante la prueba de Bartlett.

A los descriptores con normalidad y homogeneidad de varianza en los datos se le realizó el análisis de varianza para conocer si existían diferencias entre las medias y en ese caso se utilizó la prueba de Tukey para la comparación múltiple de medias.

Los descriptores morfológicos que no cumplieron con los supuestos del ANOVA (normalidad y homogeneidad de varianza), se les realizó la prueba de Kruskal Wallis. En caso de probarse diferencias entre los clones se realizó la prueba mínima diferencia de Fisher.

3.3. Descriptores morfoagronómicos que más aportan a la variabilidad

Para determinar los descriptores morfoagronómicos que más aportaron a la variabilidad se tuvo en cuenta si son descriptores cuantitativos o cualitativos.

En el caso de los descriptores cuantitativos se realizó un análisis de componentes principales. Las variables cualitativas se codificaron con los valores de las clases fenotípicas. Ambos análisis se realizaron con el paquete *FactoMineR* versión 1.25 (Husson *et al.*, 2013) del Lenguaje de programación estadística R versión 4.0.2 (R Core Team, 2020). Se seleccionaron los descriptores que aportaron como mínimo el 70 % de la variabilidad.

3.4. Relación entre los genotipos de cacao evaluados

Con los descriptores que más aportan a la variabilidad se calculó una matriz basada en la distancia euclidiana para realizar un análisis de conglomerados. Se utilizó el Lenguaje de programación estadística R versión 4.0.2. (R Core Team, 2016).

3.5 Valoración económica de los clones evaluados

Para valorar el posible efecto económico de la investigación se utilizó la base de datos de recursos fitogenéticos del cacao elaborada por la Instituto de Investigaciones Agroforestales UCTB Baracoa, la cual se encuentra protegida en la oficina cubana de propiedad intelectual (OCPI, 2020). De la misma se tomaron los valores del descriptor rendimiento ($t \text{ cacao seco ha}^{-1}$).

Se comparó el rendimiento promedio de los clones de los grupos seleccionados en el dendrograma con el rendimiento promedio del país y el de los grupos restantes.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

IV- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Caracterización morfológica de los clones evaluados

Con respecto a los descriptores morfológicos cualitativos se observó variabilidad en 24 de los 26 descriptores evaluados. Los dos descriptores morfológicos en los que no se observó variabilidad fueron la forma del tronco y la intensidad de verde del brote de la hoja, donde en todos los clones evaluados se observaron las categorías tallo erecto e intensidad de verde del brote de la hoja de intensidad media (Tabla 2).

Tabla 2. Frecuencias absolutas y relativas de los descriptores morfológicos cualitativos de los 14 clones evaluados.

Órgano	Descriptor	Categoría	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa
Tronco	Forma	1 Erecto	14	1,0000
Brote de la hoja	Tamaño	5 Mediano	2	0,1429
		7 Grande	12	0,8571
	Forma base	1 Aguda	7	0,5000
		2 Obtusa	7	0,5000
	Intensidad verde	2 Intermedio	14	1,0000
	Forma ápice	2 Apiculado	12	0,8571
		3 Agudo	2	0,1429
	Color	1 Claro	7	0,5000
		2 Intermedio	4	0,2857
		3 Intenso	3	0,2143
Flor	Color sépalo	1 Verde-Amarillento	1	0,0714
		2 Amarillo	6	0,4286
		3 Rojo-Amarillento	3	0,2143
		5 Rojo	2	0,1429
		6 Amarillo-Rojizo	2	0,1429
	Antocianina pétalo	0 Ausente	12	0,8571
		1 Presente	2	0,1429
	Color filamento	0 Blanco	1	0,0714
		1 Amarillo	13	0,9286
	Antocianina estambre	0 Ausente	11	0,7857
		1 Presente	3	0,2143
	Color pedúnculo	1 Verde	1	0,0714
		2 Amarillo	1	0,0714
		3 Rojo-Pálido	1	0,0714
		4 Rojo	11	0,7857
	Antocianina del ovario	0 Ausente	7	0,5000
		1 Presente	7	0,5000

Tabla 2. (Continuación). Frecuencias absolutas y relativas de los descriptores morfológicos cualitativos de los 14 clones evaluados.

Órgano	Descriptor	Categoría	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa
Fruto	Color	1 Verde	4	0,2857
		2 Rojo	10	0,7143
	Antocianinas lomo verde	0 Ausente	4	0,2857
		5 Intermedia	4	0,2857
		7 Intensa	6	0,4286
	Antocianinas lomo verde	0 Ausente	4	0,2857
		5 Intermedia	4	0,2857
		7 Intensa	6	0,4286
	Antocianinas surco verde	0 Ausente	4	0,2857
		3 Ligera	5	0,3571
		5 Intermedia	2	0,1429
		7 Intensa	3	0,2143
	Antocianinas lomo maduro	0 Ausente	4	0,2857
		3 Ligera	4	0,2857
		5 Intermedia	3	0,2143
		7 Intensa	3	0,2143
	Antocianinas surco maduro	0 Ausente	8	0,5714
		3 Ligera	3	0,2143
		5 Intermedia	2	0,1429
		7 Intensa	1	0,0714
	Rugosidad superficie	1 Liso	3	0,2143
		2 Moderadamente rugosa	7	0,5000
		3 Muy rugosa	4	0,2857
	Forma apical	3 Obtuso	3	0,2143
		5 Ligeramente Agudo	1	0,0714
		7 Puntiagudo	6	0,4286
		9 Acuminado	4	0,2857
	Constricción basal	3 Ligero	2	0,1429
		5 Intermedio	2	0,1429
		7 Fuerte	10	0,7143
Dureza mesocarpo	1 Baja	1	0,0714	
	2 Media	2	0,1429	
	3 Alta	11	0,7857	
Forma	1 Cundeamor	4	0,2857	
	2 Angoleta	9	0,6429	
	4 Criollo	1	0,0714	
Semilla	Cotiledones color	3 Violeta claro	1	0,0714
		5 Violeta	11	0,7857
		7 Violeta oscuro	2	0,1429
Productividad	Productividad	2 Bajo	1	0,0714
		3 Intermedio	6	0,4286
		4 Alto	2	0,1429
		5 Muy alto	5	0,3571
	Autocompatibilidad	0 Autocompatible	3	0,2143
		1 Autoincompatible	11	0,7857

En 13 de los descriptores morfológicos la frecuencia de una de las clases fenotípicas fue superior a 7 (50 % de los clones evaluados). Estas constituyeron las clases fenotípicas más frecuentes y representativas de los clones analizado, y fueron las siguientes:

En el brote de la hoja la mayor frecuencia se observó en las clases fenotípicas tamaño grande (0,8571) y la forma del ápice apiculado (0,8571).

En la flor la antocianina del pétalo ausente (0,8571), el color del filamento amarillo (0,9286), la antocianina del estambre ausente (0,7857) y el color del pedúnculo rojo (0,7857) fueron las clases fenotípicas con mayor frecuencia.

En el fruto las clases fenotípicas color rojo (0,7143), la antocianina del surco maduro ausente (0,5714), la constricción basal fuerte (0,7143), la dureza del mesocarpo alta (0,7857) y la forma del fruto angoleta (0,6429) se observaron las mayores frecuencias.

En la semilla los cotiledones de color violeta (0,7857) y en la producción las plantas autoincompatibles (0,7857) fueron las que tuvieron una mayor frecuencia.

Los resultados obtenidos en el color del fruto, donde predomina el color rojo (0,7143), difieren a los observados en parcelas de Bolivia (Manam, 2019) y plantaciones en Tabasco, México (Ramírez *et al.*, 2018) donde predominan los frutos con color verde en diversas tonalidades (65,52 %; 77,35 %; respectivamente).

También difieren los resultados obtenidos en cuanto a la constricción basal, que en el caso de los clones evaluados predominó el valor fuerte (71,43 %), sin embargo en las parcelas en Bolivia predominó la constricción basal suave (44,83 %) e intermedia (48,28 %) (Manam, 2019); en las accesiones de cacao silvestre del Alto Amazonas de Perú predominó la constricción basal leve (60,71 %) (Soto, 2019); y en las plantaciones de Tabasco en México predominó la constricción basal escasa (34,74 %) e intermedia (45,67 %) (Ramírez *et al.*, 2018).

En cuanto al color de la semilla en los clones evaluados predominó el color violeta (0,7857), similar a lo observado en parcelas de productores en Bolivia (Mamani, 2019), accesiones en parcelas de Bolivia (Soto, 2019), clones de la colección Mendis Paredes en Perú (Domínguez, 2019) y plantaciones en Tabasco, México (Ramírez *et al.*, 2018), lugares todos donde predominaron las semillas de color violeta.

Aunque varios de los descriptores morfológicos cualitativos evaluados no tienen 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 cada vez 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.

Con respecto al índice de Shannon-Weaver de los descriptores cualitativos evaluados la media fue de 0,7595. El menor valor fue cero para la forma del tronco y la intensidad del color verde del brote, debido a que solo se observaron las clases fenotípicas tronco erecto y el color verde de intensidad media. Excepto estos descriptores, los menores valores del índice de diversidad de Shannon-Weaver se observaron en el color del filamento de la flor (0,2573), además de las antocianinas en el pétalo de la flor, tamaño del brote y forma del ápice, descriptores morfológicos con un índice de Shannon-Weaver de 0,4101. En cinco de los seis descriptores morfológicos cualitativos de la flor y en cuatro de los cinco descriptores morfológicos cualitativos del brote de la hoja el índice de diversidad de Shannon-Weaver fue inferior a la media (Tabla 3).

Los bajos valores del índice de diversidad de Shannon-Weaver observados en estos descriptores morfológicos se deben a que una clase fenotípica tiene una frecuencia muy alta con respecto a las otras clases fenotípicas, característica que determina una baja variabilidad, expresada en el índice de Shannon-Weaver con un bajo valor.

Tabla 3 Índice de Diversidad de Shannon Weaver para los descriptores morfológicos cualitativos evaluados.

Órgano	Descriptor morfológico	Índice de Diversidad de Shannon-Weaver	
Tronco	Forma	0,0000	
Brote	Tamaño	0,4101	
	Forma base	0,6931	
	Intensidad verde	0,0000	
	Forma ápice	0,4101	
	Color	1,0346	
Flor	Color sépalo	1,4377	
	Antocianina pétalo	0,4101	
	Color filamento	0,2573	
	Antocianina estambre	0,5196	
	Color pedúnculo	0,7550	
	Antocianina del ovario	0,6931	
Fruto	Color	0,5983	
	Antocianinas lomo fruto verde	1,0790	
	Antocianinas surco fruto verde	1,3337	
	Antocianinas lomo fruto maduro	1,3761	
	Antocianinas surco fruto maduro	1,1164	
	Profundidad surco primario	0,6931	
	Rugosidad superficie	1,0346	
	Forma apical	1,2397	
	Constricción basal	0,7963	
	Dureza mesocarpo	0,6560	
	Forma	0,8305	
	Semilla	Color cotiledones	0,6560
	Producción	Productividad	1,1973
Autocompatibilidad		0,5196	
Media		0,7595	
Desviación estándar		0,3963	

Los mayores valores del índice de diversidad de Shannon-Weaver se observaron fundamentalmente en descriptores morfológicos cualitativos del fruto: antocianinas en el lomo del fruto verde (1,079), antocianinas en el surco del fruto verde (1,3373), antocianinas en el lomo del fruto maduro (1,3761), antocianinas en el surco del fruto maduro (1,1164), rugosidad de la superficie (1,0346) y forma apical (1,2397). En

ocho de los descriptores morfológicos cualitativos del fruto el índice de diversidad de Shannon-Weaver fue superior a la media (0,7595). Además, se observaron valores superiores a la media en el color del sépalo de la flor (1,4377), el color del brote de la hoja (1,0346) y en la productividad (1,1973).

Los altos valores del índice de diversidad de Shannon-Weaver se deben a que en las clases fenotípicas de estos descriptores morfológicos se observaron frecuencias similares, o que es una característica que determina una mayor variabilidad morfológica, cuantificada mediante un mayor valor de este índice.

Los menores valores del índice de diversidad de Shannon-Weaver se observaron fundamentalmente en descriptores morfológicos de la flor y el brote de la hoja: antocianinas en el pétalo de la flor (0,4101), el color del filamento de la flor (0,2573), tamaño del brote (0,4101) y forma del ápice (0,4101). En cuatro de los descriptores morfológicos de la flor y en cuatro de los descriptores morfológicos del brote de la hoja el índice de diversidad de Shannon-Weaver fue inferior a la media (0,7595).

Los valores del índice de diversidad de Shannon-Weaver de los clones evaluados fueron superiores en el color del sépalo (1,438) al valor observado en el cacao tradicional cubano (0,719) (Bidot *et al.* 2017) y el Banco Internacional de Cacao de Trinidad (ICG, T, del inglés *International Cocoa Genebank, Trinidad*) (0,5) (Eskes *et al.* 2006). Además, los valores de este índice fueron superiores en antocianinas en el pétalo (0,41), antocianinas en el estambre de la flor (0,52), antocianinas en el lomo (1,079) y el surco (1,334) del fruto verde y antocianinas en el lomo (1,376) y el surco (1,116) del fruto maduro a los valores observados en el cacao tradicional cubano (0,167; 0,67; 0,62; 0,515; 0,607 y 0,497; respectivamente) (Bidot *et al.* 2017).

El índice de diversidad de Shannon-Weaver también fue superior en la rugosidad de la superficie (1,035) al compararlo con el observado en fincas (0,65) y el Banco de Germoplasma de Camerún (0,58) (Efombagn *et al.* 2009) y accesiones del Banco Internacional de Cacao de Trinidad (0,45) (Bekele *et al.* 2006). Además, los resultados obtenidos en los clones evaluados fueron similares a los observados en el

cacao tradicional cubano (0,942) (Bidot *et al.* 2017) y el proyecto CFC/ICCO/IPGRI (0,99) (Bekele *et al.*, 2004).

En otros descriptores morfológicos del fruto como la rugosidad de la superficie (1,035), la forma apical (1,24), la constricción basal (0,796) y la forma del fruto (0,831), además del color de los cotiledones (0,656) se observaron valores del índice de diversidad de Shannon-Weaver superiores a los observados en fincas de Camerún (0,65; 0,89; 0,42; 0,69 y 0,59; respectivamente) y el Banco de Germoplasma de Camerún (0,58; 0,89; 0,56; 0,74 y 0,61; respectivamente) (Efombagn *et al.* 2009) y en el Banco Internacional de Germoplasma de Trinidad (0,44; 0,67; 0,51; 0,42 y 0,37) (Eskes *et al.*, 2006).

Al comparar los resultados obtenidos en los clones evaluados con el cacao tradicional cubano (0,942; 1,631; 1,321; 0,209; 1,197 y 0,86; respectivamente) (Bidot *et al.* 2017) y el proyecto CFC/ICCO/IPGRI (0,99; 1,46; 1,15; 0,58; 0,86 y 0,78; respectivamente) (Bekele *et al.*, 2004) los resultados son similares o superiores en la rugosidad de la superficie y la dureza del mesocarpo, pero inferiores en la forma apical, constricción basal del fruto, forma general del fruto y color de los cotiledones.

Los resultados obtenidos indican que varios de los descriptores morfológicos evaluados tienen un índice de diversidad de Shannon-Weaver superior o igual a otros estudios similares. Este resultado indica una alta diversidad morfológica de los clones evaluados, lo que constituye la base para el desarrollo del mejoramiento genético del cacao a partir del germoplasma con que se dispone en Cuba.

Con respecto a los descriptores morfológicos cuantitativos de la flor, excepto en el ancho del ovario, en todos los descriptores morfológicos cuantitativos de la flor se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los clones evaluados para el ANOVA y la prueba de Kruskal Wallis (Tabla 4).

Tabla 4. Media de los descriptores morfológicos cuantitativos de las flores de los 14 clones evaluados.

	Longitud del estilo (mm)	Longitud del ovario (mm)	Ancho del ovario (mm)	Longitud de los estaminoides (mm)	Longitud e los sépalos (mm)	Ancho de los sépalos (mm)	Longitud de los pétalos (mm)	Ancho de los pétalos Ancho (mm)
EICB-120	4,007 a	1,104 bc	1,024 a	6,949 b	6,600 gh	3,024 a	4,643 a	1,924 def
GS-29	1,974 e	0,996 g	0,997 a	5,987 c	7,472 bc	2,140 a	4,378 a	2,104 a
ICS-6	2,04 d	1,127 ab	0,988 a	6,060 c	7,011 de	1,981 b	2,975 b	1,886 f
ICS-8	3,032 bc	1,093 cd	0,991 a	5,040 de	6,889 ef	2,011 b	2,990 bc	1,999 bc
ICS-95	3,017 bc	1,160 a	1,008 a	5,978 c	6,874 ef	1,998 b	2,979 bc	1,950 cde
UF-221	2,963 c	1,018 fg	1,027 a	5,970 c	7,169 cd	2,938 a	2,953 bcd	1,879 f
UF-296	2,011 de	1,097 bc	1,003 a	4,906 e	8,022 a	1,979 b	2,876 bcd	1,959 cd
UF-613	1,979 e	1,098 bc	0,972 a	5,026 d	7,681 ab	2,009 b	3,002 bcd	2,038 ab
UF-650	3,028 bc	1,083 cd	1,006 a	4,973 de	6,840 ef	1,956 bc	2,952 bcde	1,996 bc
UF-654	2,016 de	1,069 de	1,009 a	8,048 a	7,392 bc	1,993 b	2,827 cdef	2,000 bcd
UF-667	1,995 de	1,093 cd	0,992 a	6,993 b	7,207 cd	2,021 b	2,995 def	2,026 ab
UF-668	3,069 b	1,040 f	1,015 a	6,961 b	6,399 h	2,009 b	2,906 ef	1,909 ef
UF-676	3,042 bc	0,984 g	0,992 a	5,983 c	6,691 fg	1,883 c	2,929 f	1,952 cde
UF-677	2,002 de	1,042 ef	1,005 a	5,012 de	6,877 ef	2,000 b	2,691 g	1,887 f
Media	2,584	1,072	1,002	5,992	7,080	2,139	3,150	1,965
Desviación estándar	0,655	0,050	0,015	0,965	0,443	0,361	0,585	0,066

Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas para la prueba de Fisher.

En los descriptores morfológicos de la flor los mayores valores se observaron fundamentalmente en el clon EICB-120. Este fue el caso de la longitud del estilo (4,01 mm), ancho de los sépalos (3,024 mm) y longitud de los pétalos (4,643 mm). Además, en el descriptor morfológico ancho del ovario el mayor valor se observó en el clon UF-221 (1,027 mm), sin diferencias estadísticas significativas con el clon EICB-120 (1,024 mm).

Los mayores valores de los otros descriptores morfológicos de la flor se observaron en los clones GS-29, ICS-95, UF-296, UF-613 y UF-654. En la longitud del ovario se observó en el clon ICS-95 (1,16 mm), en la longitud de los estaminoides se observó en el clon UF-654 (8,048 mm), en la longitud de los sépalos se observó en los clones

UF-296 (8,022 mm) y UF-613 (7,681 mm) y el mayor ancho de los pétalos se observó en los clones GS-29 (2,104 mm) y UF-613 (2,038 mm).

Los menores valores de los descriptores morfológicos de la flor se observaron en los clones EICB-120, GS-29, ICS-6, ICS-8, UF-221, UF-293, UF-296, UF-613, UF-650, UF-654, UF-667, UF-668, UF-676 y UF-677. Para la longitud del estilo el menor valor se observó en los clones GS-29 (1,97 mm), UF-613 (1,98 mm), UF-667 (2,00 mm), UF-677 (2,00 mm), UF-296 (2,01 mm) y UF-654 (2,02 mm). La menor longitud del ovario se observó en los clones UF-676 (0,984 mm), GS-29 (0,996 mm) y UF-221 (1,018 mm). La menor longitud de los estaminoides se observó en el clon UF-293 (4,906 mm), UF-650 (4,973 mm), UF-677 (5,012 mm) e ICS-8 (5,04 mm). En los sépalos la menor longitud se observó en los clones UF-668 (6,399 mm) y EICB-120 (6,600 mm), mientras que el menor ancho en los clones UF-676 (1,886 mm) y UF-650 (1,956 mm). En los pétalos la menor longitud se observó en el clon UF-677 (2,691 mm) y el menor ancho en los clones ICS-6 (1,886 mm), UF-677 (1,887 mm), UF-221 (1,879 mm) y UF-668 (1,909 mm).

Al comparar con otros estudios morfológicos de la flor se observó que los resultados obtenidos en la longitud (1,072 mm) y el ancho (1,002 mm) del ovario y la longitud (3,17 mm) y el ancho (1,965 mm) de los pétalos fue inferior a lo observado en 28 accesiones de cacao silvestre en el alto amazonas del Perú (1,46 mm; 1,14 mm; 4,09 mm; 2,08 mm; respectivamente) (Soto, 2019). El ancho de los pétalos (1,965 mm) también fue inferior al observado en parcelas de productores de Bolivia (2,64 mm) (Mamani, 2019).

La longitud del ovario de los clones evaluados también fue inferior a la observada por Quiroz (2002) (1,42 mm), Villegas *et al.* (2005) en Cacao Nacional Boliviano (2,13 mm) y Santos *et al.* (2012) en Brasil (1,44 mm) y por Santos *et al.* (2012) (1,21 mm).

La longitud de los estaminoides (5,992 mm), largo (7,08 mm) y ancho (2,139 mm) de los sépalos fue superior al observado en 28 accesiones de cacao silvestre en el alto amazonas del Perú (4,59 mm; 7,02 mm; 2,12 mm; respectivamente) (Soto, 2019)

pero inferior al observado en parcelas de productores de Bolivia (7,01 mm; 8,44 mm; 2,59 mm; respectivamente) (Mamani, 2019).

La longitud de los sépalos de los clones evaluados también fue inferior en la mayoría de los clones y su media a la observada por Bekele *et al.* (2006) en el Banco de Germoplasma Internacional de Cacao de Trinidad (7,92 mm), Santos *et al.* (2012) en Brasil (7,37 mm), Villegas *et al.* (2005) en Cacao Nacional Boliviano (8,75 mm).

Con respecto a la longitud del estilo (2,584 mm), fue superior al observado en 28 accesiones de cacao silvestre en el alto amazonas del Perú (2,17 mm) (Soto, 2019), en parcelas de productores de Bolivia (2,08 mm) (Mamani, 2019), en Cacao Nacional del Ecuador (1,96 mm) y similar a la observada por Santos *et al.* (2012) en Brasil (2,57 mm).

Aunque los descriptores de la flor en general no tienen una importancia directa en la producción, constituyen indicadores de la variabilidad genética del cacao. La variabilidad observada en los clones evaluados indica sus potencialidades para adaptarse a las condiciones del medio ambiente, en especial cuando existen variaciones en este, lo cual además contribuye a su utilización en el mejoramiento genético y la obtención de nuevas variedades de cacao.

En los descriptores morfológicos del fruto los mayores valores se observaron fundamentalmente en el clon UF-677. Este fue el caso de los descriptores ancho del fruto (101,488 mm) junto al clon GS-29 (96,055 mm), peso del fruto (903,22 g) junto al clon GS-29 (826,802 g), grosor del lomo (19,547 mm) junto al clon UF-668 (17,831 mm) y grosor del surco (14,851 mm) junto al clon UF-668 (13,914 mm). Además, en la relación ancho/longitud del fruto el mayor valor se observó en los clones UF-296 (0,503) UF-613 (0,503), UF-654 (0,500) UF-667 (0,493) y UF-677 (0,493). Similar resultado se observó en el descriptor morfológico separación de los lomos donde el mayor valor se observó en el clon UF-613 (30,33 mm), sin diferencias estadísticamente significativas con el clon UF-677 (30,207 mm). En el descriptor

morfológico longitud del fruto el mayor valor se observó en el clon GS-29 (227 mm) y EICB-120 (210,85 mm) (Tabla 5).

Tabla 5. Media de los descriptores morfológicos cuantitativos de los frutos de los 14 clones evaluados.

	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Relación Ancho/Longitud	Peso (g)	Grosor lomo (mm)	Grosor surco (mm)	Separación lomos (mm)
EICB-120	210,847 ab	79,798 f	0,377 e	544,864 k	13,993 e	10,870 f	15,088 I
GS-29	226,996 a	96,055 a	0,415 d	826,802 b	16,370 b	10,983 f	16,628 H
ICS-6	189,901 ef	90,477 bc	0,480 b	641,941 h	16,525 b	11,863 e	28,087 B
ICS-8	183,542 g	87,962 bcde	0,470 b	672,427 g	15,382 c	12,939 c	23,816 C
ICS-95	202,402 bc	78,866 f	0,401 de	568,557 j	16,286 b	12,469 d	19,596 F
UF-221	172,882 h	80,879 f	0,450 c	511,761 l	11,687 f	7,870 g	23,835 C
UF-296	171,510 h	88,085 bcd	0,503 a	605,639 i	13,563 e	12,265 d	23,384 C
UF-613	171,077 h	88,315 bcde	0,503 a	692,213 f	14,721 d	13,065 c	30,330 A
UF-650	203,447 bc	85,745 de	0,413 d	763,548 c	15,717 c	12,434 d	22,538 D
UF-654	183,435 fg	89,672 bc	0,500 a	680,248 fg	16,574 b	13,439 b	27,571 B
UF-667	185,923 fg	87,505 cde	0,494 a	760,926 c	13,857 e	10,835 f	20,885 E
UF-668	192,286 de	90,608 b	0,474 b	710,851 e	17,831 a	13,914 b	23,720 C
UF-676	185,810 fg	85,438 e	0,468 b	731,264 d	16,288 b	12,586 d	17,914 G
UF-677	199,188 cd	101,488 a	0,493 a	903,22 a	19,547 a	14,851 a	30,207 A
Media	191,375	87,921	0,460	686,733	15,596	12,170	23,114
Desviación estándar	15,964	6,050	0,042	108,848	1,957	1,688	4,801

Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas para la prueba de Fisher.

Los menores valores de los descriptores del fruto se observaron fundamentalmente en el clon UF-221. Este fue el caso de los descriptores longitud del fruto (172,88 mm) junto a los clones UF-296 (171,51 mm) y UF-613 (171,08 mm), ancho del fruto (80,879 mm) junto a los clones EICB-120 (79,798 mm) y ICS-95 (78,866 mm), peso del fruto (511,761 g), grosor del lomo (11,687 mm) y grosor del surco (7,87 mm).

Los menores valores de la relación ancho/longitud y separación de los lomos se observaron en el clon EICB-120 (0,377 y 15,088 mm respectivamente). En el caso de la relación ancho/longitud no se observaron diferencias estadísticamente significativas del clon EICB-120 (0,377) con el clon ICS-95 (0,401).

Los resultados obtenidos en el ancho del fruto (87,921 mm), grosor del lomo (15,596 mm), longitud del fruto (191,375 mm) y peso del fruto (686,733 g) fueron superiores a los observados en 13 clones élites en una finca experimental en Ecuador (81,0 mm; 13,1 mm; 9,6 mm; 176,3 mm; 446,03 mm; respectivamente) (Penanerrera, 2017). Además, la longitud del fruto (191,375 mm) fue superior al observado en plantaciones de cacao Tabasco, México (162 mm) (Ramírez *et al.* 2018) y el peso del fruto (686,733 g) fue superior al observado en 28 accesiones de cacao silvestre en el alto amazonas peruano (402,71 mm) (Soto, 2019).

La longitud de los frutos evaluados es superior en varios clones evaluados y su media 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 superiores a la mayoría de los clones y la media fueron observados por Guevara (2015) en la colección de germoplasma del Centro de Desarrollo Tecnológico en Nicaragua para UF-650 (205 mm) y UF-221 (210 mm) y Jumbo (2017) en la cuenca del río Nangaritza en Ecuador (203,3 mm).

El ancho del fruto (87,921 mm), grosor del lomo (15,596 mm), longitud del fruto (191,375 mm) y peso del fruto (686,733 g) fueron inferiores a los observados en plantas promisorias de parcelas de Bolivia (longitud del fruto 212,3 mm y peso del fruto 770 g) (Manam, 2019), 28 accesiones del Alto Amazonas peruano (ancho del fruto 84,2 mm; grosor del lomo 15,3 mm; longitud del fruto 194,5 mm y peso del fruto 402,71 mm) (Soto, 2019) y en plantaciones de Tabasco en México (grosor del lomo 18,2 mm y peso del fruto 718,8 mm) (Ramírez *et al.*, 2018).

El ancho del fruto fue superior en varios clones evaluados y en la media 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). Además, fue inferior al descrito por Quiroz (2002) en Cacao Nacional de Ecuador (147,5 mm).

El tamaño del fruto es una de las características que más contribuyen a la producción, al ser el órgano que contienen las semillas, la materia prima para producir el chocolate. Debido a esto, los programas de mejoramiento genético en muchas ocasiones tienen entre sus objetivos obtener plantas de cacao con frutos grandes, los cuales son muy apreciados por los productores al estar relacionados con una mayor producción y rendimiento. Los resultados obtenidos indican las potencialidades de varios de los clones evaluados para una alta producción y rendimiento por hectárea (Márquez y Aguirre, 2010), lo cual avala su utilización en las plantaciones de cacao.

Con respecto a los descriptores morfológicos del fruto que están más relacionados con la producción, los mejores resultados se observaron en los clones GS-29, UF-650, UF-667 y UF-677. En estos clones se observaron altos valores de la longitud, ancho y peso del fruto, que permiten indicar que producen frutos de un tamaño superior si se comparan con los otros clones analizados.

En el caso de los descriptores morfológicos cuantitativos de las semillas los mayores valores de las semillas por fruto (54,3), número máximo de semillas (58,4), relación semillas por fruto/número máximo de semillas (0,94) y la relación semillas por fruto/peso del fruto (0,11) se observaron en el clon EICB-120. En la relación semillas por fruto/número máximo de semillas el clon UF-613 (0,92) no se observaron diferencias estadísticamente significativas con el clon EICB-120 (0,94) (Tabla 6).

En el clon EICB-120 se observaron los menores valores del peso húmedo (2,306 g), longitud (22,562 mm) y espesor de la semilla (7,665 mm). En el caso de la relación ancho/longitud de la semilla se observó el mayor valor en el clon UF-677 (0,538),

pero sin diferencias estadísticamente significativas con el clon EICB-120 (0,536). Además, no se observaron diferencias estadísticamente significativas en la longitud de la semilla entre los clones EICB-120 (22,562 mm), ICS-95 (22,895 mm) y UF-650 (23,645 mm), ni en el ancho de la semilla entre los clones EICB-120 (11,910 mm) y UF-650 (12,680 mm).

Estos resultados indican que las semillas del clon EICB-120 son las de menor tamaño y peso de los clones evaluados.

Los menores valores de los descriptores semilla por frutos, número máximo de semillas, la relación semillas por fruto/número máximo de semillas y la relación semillas por fruto/peso del fruto se distribuyeron entre los clones ICS-6, ICS-8, ICS-95, UF-654, UF-668 y UF-677. Se observó el menor número de semillas por fruto en los clones UF-654 (32,6), ICS-8 (62,3) y UF-677 (32,9). El menor valor del número máximo de semillas se observó en los clones ICS-95 (39,2) e ICS-8 (40,3). Para la relación semillas por fruto/número máximo de semillas el menor valor se observó en los clones ICS-6 (0,699) y UF-668 (0,716) y la menor relación semillas por fruto/peso del fruto se observó en el clon UF-677 (0,037).

En el caso de los mayores valores de los descriptores morfológicos peso húmedo, longitud, ancho, relación ancha/longitud y espesor de la semilla también se distribuyeron entre clones UF: UF-296, UF-645, UF-654, UF-668 y UF-677. Las semillas con un mayor peso húmedo se observaron en los clones UF-668 (5,656 g) y UF-654 (5,429 g). Las mayores longitudes de la semilla se observaron en los clones UF-677 (29,02 mm) y UF-645 (28,575 mm). Las semillas de mayor ancho y relación ancho/longitud se observaron en el clon UF-296 (23,107 mm y 0,94, respectivamente). El mayor espesor de las semillas se observó en los clones UF-677 (11,769 mm) y UF-654 (11,374 mm).

Tabla 6. Media de los descriptores morfológicos cuantitativos de las semillas de los 14 clones evaluados.

	Semillas por frutos	Número máximo de semillas	Relación Semillas por fruto/Número máximo semillas	Relación Semillas por fruto/Peso fruto
EICB-120	54,300 a	58,400 a	0,939 a	0,106 a
GS-29	42,800 c	48,800 c	0,858 b	0,050 e
ICS-6	37,600 d	53,900 b	0,699 h	0,060 d
ICS-8	32,300 h	40,300 fg	0,800 def	0,046 g
ICS-95	34,100 fg	39,200 g	0,867 b	0,060 d
UF-221	34,600 f	41,700 de	0,847 bc	0,070 c
UF-296	45,000 bc	53,900 b	0,822 cd	0,079 b
UF-613	48,100 ab	53,500 b	0,922 a	0,071 c
UF-650	37,100 de	47,600 c	0,769 g	0,050 e
UF-654	32,600 h	41,100 def	0,798 fg	0,049 ef
UF-667	35,900 e	41,800 d	0,862 b	0,049 ef
UF-668	34,200 f	47,100 c	0,716 h	0,049 ef
UF-676	33,700 fg	42,000 d	0,803 ef	0,047 fg
UF-677	32,900 gh	40,600 ef	0,819 cde	0,037 h
Media	46,421	38,229	0,823	0,059
Desviación estándar	6,373	6,747	0,068	0,018

	Peso húmedo (g)	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Relación Ancho/Longitud (mm)	Espesor (mm)
EICB-120	2,306 I	22,562 g	11,910 j	0,536 h	7,665 G
GS-29	3,56 G	26,196 cde	15,239 f	0,581 de	9,819 C
ICS-6	4,657 D	25,221 de	14,815 g	0,578 def	10,004 Bc
ICS-8	5,230 B	27,336 bc	16,931 c	0,633 bc	10,572 B
ICS-95	3,062 H	22,895 g	13,236 i	0,576 def	10,116 Bc
UF-221	4,093 E	24,748 ef	13,641 i	0,563 fg	8,272 F
UF-296	3,005 H	25,192 de	23,107 a	0,940 a	8,692 Ef
UF-613	3,525 G	25,425 de	14,273 h	0,565 efg	8,904 E
UF-650	3,941 F	23,645 fg	12,680 j	0,551 gh	9,797 Cd
UF-654	5,429 A	28,575 ab	16,772 c	0,593 cd	11,374 A
UF-667	4,893 C	26,462 cd	15,631 de	0,575 def	8,899 E
UF-668	5,656 A	25,666 de	17,806 b	0,700 ab	11,254 A
UF-676	4,631 D	25,888 cde	15,262 ef	0,572 ef	9,241 De
UF-677	5,149 B	29,020 a	15,903 d	0,538 h	11,769 A
Media	4,224	25,631	15,515	0,607	9,741
Desviación estándar	1,027	1,885	2,753	0,104	1,215

Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas para la prueba Fisher (longitud y espesor de la semilla) o de Tukey (peso húmedo, ancho y relación ancho/longitud).

Los resultados obtenidos en varios descriptores de la semilla como ancho (15,515 mm), longitud (25,631 mm) y el número de semillas por fruto (46,421 mm) fue superior al observado en clones élitos en Ecuador (ancho 13,6 mm, longitud 24,3 mm y 39,29 semillas por fruto) (Pañaherrera, 2017), plantas promisorias de Bolivia (ancho 12,4 mm, longitud 24,8 mm y 35,99 semillas por fruto) (Mamani, 2019), accesiones del Alto Amazonas en Perú (36,89 semillas por fruto) (Amacifuen, 2019), clones de la colección Mendis Paredes en Perú (33,5 semillas por fruto) (Domínguez, 2019) y plantaciones de Tabasco en México (ancho 8,5 mm, longitud 22,8 mm y 31,5 semillas por fruto) (Ramírez *et al.*, 2018).

El número máximo de semillas observado en los clones evaluados es superior al observado por Santos *et al.*, (2012) en Brasil (32) y Guevara (2015) para UF-650 (28,7) y UF-221 (38) en la colección de germoplasma del Centro de Desarrollo Tecnológico en Nicaragua. La mayoría de ellos clones tienen un número máximo de semillas inferior a los observados por Marcano *et al.*, (2009) en plantaciones al sur del lago Maracaibo en Venezuela (48) y Bekele *et al.*, (2006) en el Banco de Germoplasma Internacional de Cacao de Trinidad (58), el cual es una de las mayores colecciones de germoplasma del mundo, y Jumbo (2017) en la cuenca del río Nangaritza en Ecuador (55).

El peso húmedo de las semillas de la mayoría de los clones evaluados y la media fue superior al descrito por Guevara (2015) en la colección de germoplasma del Centro de Desarrollo Tecnológico en Nicaragua con los clones UF-650 (3,1 g) y UF-221 (1,7 g) y por Jumbo (2017) en la cuenca del río Nangaritza en Ecuador (2,54 g).

Los resultados obtenidos en la longitud de la semilla para todos los clones evaluados fueron superiores a los descritos por Quiroz (2002) en Cacao Nacional de 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 (21,0 mm), Marcano *et al.*, (2009) en plantaciones al sur del lago Maracaibo en Venezuela (22,8 mm). A su vez, muchos fueron inferiores a los obtenidos por Santos *et al.*, (2002) en Brasil (27,2 mm), Guevara (2015) en la colección de germoplasma del

Centro de Desarrollo Tecnológico en Nicaragua para UF-650 (27,4 mm) y UF-221 (25,7 mm) y Jumbo (2017) en la cuenca del río Nangaritza en Ecuador (28,7 mm).

El ancho de la semilla fue superior al descrito por Quiroz (2002) en Cacao Nacional de 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 observados en los clones evaluados fueron similares a los descritos por Chacón *et al.*, (2011) en Cacao Porcelana Venezolano (15,73 mm), Santos *et al.*, (2012) en Brasil (14 mm), Guevara (2015) en la colección de germoplasma del Centro de Desarrollo Tecnológico en Nicaragua con los clones UF-650 y UF-221 (15,3 mm en ambos) y Jumbo (2017) en la cuenca del río Nangaritza en Ecuador (15,8 mm).

El espesor de la semilla en los clones evaluados fue superior en varios de los clones evaluados al observado por Marcano *et al.*, (2009) en plantaciones al sur del lago Maracaibo en Venezuela (9,7 mm), Santos *et al.*, (2012) en Brasil (8,9 mm), Guevara (2015) en la colección de germoplasma del Centro de Desarrollo Tecnológico en Nicaragua con los clones UF-650 (9,2 mm) y UF-221 (8,1 mm) y Jumbo (2017) en la cuenca del río Nangaritza en Ecuador (8,4 mm).

Con respecto a los descriptores morfológicos de la semilla los mejores resultados se observaron en los clones ICS-8, UF-654, UF-668 y UF-677. En estos clones se observaron un bajo número de semillas por fruto y del número máximo de semillas, combinado con altos valores de peso húmedo, longitud, ancho y espesor de la semilla. Estos resultados combinados indican que estos clones producen semillas de un tamaño superior al compararse con los otros clones analizados.

La semilla constituye la parte del fruto más importante para la producción del chocolate, al constituir la materia prima básica. Debido a esto, sus características son de especial interés para la producción. Se observó una estrecha relación entre los descriptores evaluados, que fue positiva entre el peso húmedo, la longitud, el ancho y el espesor de la semilla, tal como se esperaba. Sin embargo, la relación fue negativa entre estos descriptores mencionados y las semillas por fruto. Esto se debe

a que a mayor tamaño de las semillas es menor el número de estas, al comparar frutos de tamaño similar.

En el cacao se hicieron en años recientes pocos estudios de variabilidad morfológica, como los de Chacón *et al.*, (2011) en Cacao Porcelana de Venezuela, Santos *et al.*, (2012) en Brasil y Jumbo (2017) en cacao de la cuenca del río Nangaritza en Ecuador. Recientemente, los estudios se dirigieron fundamentalmente a determinar la variabilidad genética y la estructura poblacional en la especie (Ruiz, 2014). Esta polarización de las investigaciones provocó una disminución de los estudios de caracterización morfoagronómica, que son de gran importancia para la descripción y el conocimiento de los cultivares en las plantas. Esta reciente situación resalta la importancia del presente estudio de clones de cacao en las condiciones de Baracoa, que contribuyen a hacer un uso más racional de este recurso genético.

4.2. Descriptores morfoagronómicos que más aportan a la variabilidad

El resultado del análisis de componentes principales mostró que con 32 de los descriptores morfológicos se explica el 44,13 % de la varianza con dos componentes principales (Tabla 7).

Los 32 descriptores que más contribuyeron a la variabilidad de los clones de cacao evaluados fueron de todos los órganos de la planta (brote de la hoja, flor y fruto) además de la semilla. El mayor número de descriptores seleccionados que más aportan a la variabilidad fueron del fruto con 16, seguido por la flor con 10.

Del brote de la hoja solo un descriptor morfológico se encuentra entre los que más aportan a la variabilidad: el color.

Tabla 7. Autovalores, porcentaje de la varianza, porcentajes acumulativos y valores de los vectores propios en el análisis de componentes principales realizado con los descriptores morfológicos en los 14 clones evaluados.

	PC1	PC2
Desviación estándar	13,4054	7,6069
Proporción de la varianza	28,1517	15,9746
Proporción de la varianza acumulada	28,1517	44,1263
Vectores propios	PC1	PC2
Relación semillas por fruto/peso del fruto	5,5615	0,2843
Color del brote de las hojas	5,0282	1,2839
Semillas por fruto	4,9611	0,9707
Antocianinas en el lomo del fruto verde	4,6587	1,1490
Antocianinas en el surco del fruto verde	4,5344	2,3592
Antocianinas en el lomo del fruto maduro	4,3429	2,1262
Relación Semillas por fruto/Número máximo de semillas	4,1199	0,3242
Longitud de los pétalos de la flor	3,9345	0,0186
Color del fruto	3,6108	0,6658
Antocianinas en los estambres de la flor	3,4626	1,2948
Color del cotiledón de la semilla	3,3633	0,1338
Antocianinas en los pétalos de la flor	3,2246	0,0074
Ancho de los sépalos	3,2234	4,0557
Antocianinas en el surco del fruto maduro	3,0054	3,1450
Antocianinas en el ovario de la flor	2,5644	0,0250
Separación de los lomos	2,1275	1,0975
Grosor del surco de los frutos	2,2341	2,1060
Ancho de los frutos	2,4531	3,8829
Peso de los frutos	2,4579	2,7525
Constricción basal del fruto	2,5871	0,4994
Relación Longitud/Ancho de los frutos	2,6282	2,9657
Grosor del lomo del fruto	3,1481	0,2597
Color del filamento de la flor	3,3816	1,4893
Longitud de las semillas	3,4264	2,0020
Espesor de las semillas	4,3953	0,2691
Longitud de los sépalos de la flor	0,5199	7,3664
Ancho de los pétalos de la flor	0,4066	5,9731
Ancho de las semillas	0,5054	3,8347
Rugosidad de la superficie del fruto	0,0253	4,5309
Ancho del ovario de la flor	0,5147	5,2867
Longitud del estilo de la flor	1,0120	7,1124
Forma apical del fruto	0,2607	10,4691

CP: Componente principal

De la flor hay 10 descriptores seleccionados, por lo que es la segunda estructura morfológica con un mayor número de descriptores entre los que más aportan a la variabilidad: la longitud de los pétalos, la presencia de antocianinas en los estambres, la presencia de antocianinas en los pétalos, el ancho de los sépalos, la presencia de antocianinas en el ovario, el color del filamento, la longitud de los sépalos, el ancho de los pétalos, el ancho del ovario y la longitud del estilo.

El fruto es la estructura morfológica con mayor número de descriptores que más aportan a la variabilidad, 16 en total: la relación semillas por fruto/peso del fruto, las semillas por fruto, la presencia de antocianinas en el lomo del fruto verde, la presencia de antocianinas en el surco del fruto verde, la presencia de antocianinas en el lomo del fruto maduro, el color del fruto, la presencia de antocianinas en el surco del fruto maduro, la separación de los lomos, el grosor del surco, el ancho de los frutos, el peso de los frutos, la constricción basal del fruto, la relación longitud/ancho de los frutos, el grosor del lomo del fruto, la rugosidad de la superficie del fruto y la forma apical del fruto.

De la semilla se seleccionaron cinco descriptores: la relación semillas por fruto/número máximo de semillas, el color del cotiledón, la longitud de las semillas, el espesor de las semillas y el ancho de las semillas.

Los descriptores morfológicos seleccionados mediante el análisis de componentes principales constituyen los más representativos para la evaluación de la diversidad morfológica de los clones de cacao.

4.3. Relación entre los genotipos de cacao evaluados

Al realizar en análisis de conglomerados de los 14 clones evaluados con los descriptores morfológicos cualitativos y cuantitativos se obtuvo el dendrograma que se muestra en la figura 5.

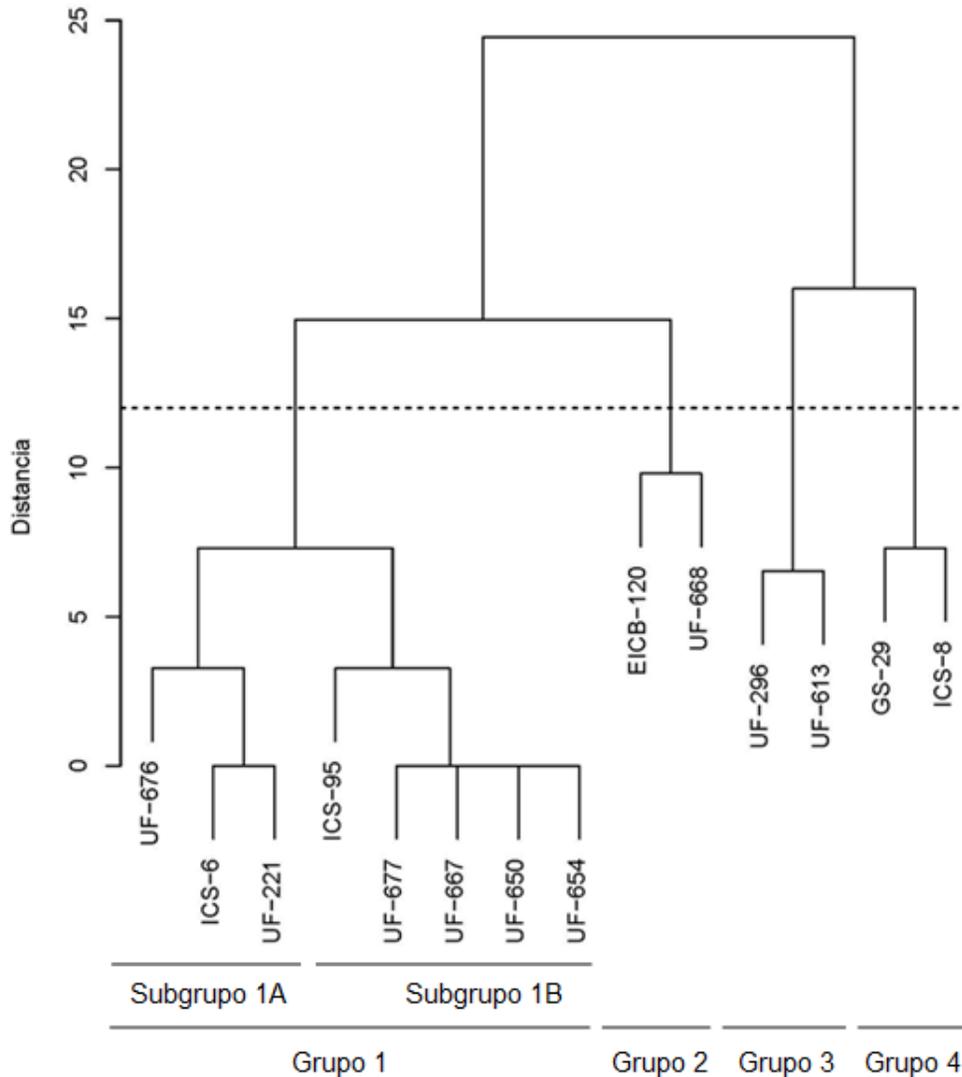


Figura 5 Dendrograma obtenido con los descriptores morfológicos, basado en la distancia euclidiana y el método de agrupamiento de Ward.

En el dendrograma se observaron cuatro grupos de clones.

En el Grupo 1 se ubicaron los clones UF-676, ICS-6, UF-221, ICS-95, UF-677, UF-667, UF-650 y UF-654. Este fue el grupo más complejo y con mayor número de clones. Se divide a su vez en dos subgrupos: Subgrupo 1A con los clones UF-676, ICS-6 y UF-221 y el subgrupo 1B con los clones ICS-95, UF-677, UF-667, UF-650 y UF-654.

Los tres grupos restantes fueron más sencillos, estuvieron formados por dos clones cada uno. En el Grupo 2 se ubicaron los clones EICB-120 y UF-668, en el Grupo 3 los clones UF-296 y UF-613 y en el Grupo 4 los clones GS-29 y ICS-8.

La media de los descriptores morfológicos cuantitativos de la flor se muestra en la tabla 8.

Tabla 8. Media de los descriptores morfológicos cuantitativos de la flor en los grupos obtenidos en el dendrograma.

	Longitud del estilo (mm)	Longitud del ovario (mm)	Ancho del ovario (mm)	Longitud de los estaminoides (mm)	Longitud de los sépalos (mm)	Ancho de los sépalos (mm)	Longitud de los pétalos (mm)	Ancho de los pétalos (mm)
Grupo 1	2,51	1,07	1,00	6,13	7,01	2,10	2,91	1,95
Grupo 2	3,54	1,07	1,02	6,96	6,50	2,52	3,77	1,92
Grupo 3	2,00	1,10	0,99	4,97	7,85	1,99	2,94	2,00
Grupo 4	2,50	1,04	0,99	5,51	7,18	2,08	3,68	2,05

Con respecto a los descriptores morfológicos cuantitativos de las flores las características más destacadas de cada grupo son las siguientes:

- El Grupo 1 se caracterizó por la menor media de la longitud de los pétalos (2,91 mm)
- El Grupo 2 se caracterizó por presentar la mayor media de la longitud del estilo (3,54 mm), ancho del ovario (1,02 mm), longitud de los estaminoides (6,96 mm), ancho de los sépalos (2,52 mm) y longitud de los pétalos (3,77 mm), así como la menor media del ancho de los pétalos (1,92 mm).
- El Grupo 3 se caracterizó por presentar la menor media de la longitud del estilo (2,00 mm), ancho del ovario (0,99 mm), longitud de los estaminoides (4,97 mm), ancho de los sépalos (1,99 mm) y longitud de los pétalos (2,00 mm).

mm), así como la mayor media de la longitud del ovario (1,10 mm) y de los sépalos (0,99 mm)

- El Grupo 4 se caracterizó por presentar la menor media de la longitud del ovario (1,04 mm) y la mayor media del ancho de los pétalos (2,05 mm).

La media de los descriptores morfológicos cuantitativos del fruto se muestra en la tabla 9.

Tabla 9. Media de los descriptores morfológicos cuantitativos del fruto en los grupos obtenidos en el dendrograma.

	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Relación Ancho/Longitud	Peso (g)	Grosor del lomo (mm)	Grosor del surco (mm)	Separación de los lomos (mm)
Grupo 1	190,37	87,51	0,46	695,18	15,81	12,04	23,83
Grupo 2	201,57	85,20	0,43	627,86	15,91	12,39	19,40
Grupo 3	171,29	88,20	0,50	648,93	14,14	12,67	26,86
Grupo 4	205,27	92,01	0,44	749,61	15,88	11,96	20,22

Con respecto a los descriptores morfológicos cuantitativos del fruto las características más destacadas de cada grupo son las siguientes:

- El Grupo 1 presentó valores intermedios en todos los descriptores morfológicos del fruto, con respecto a los otros tres grupos.
- El Grupo 2 presentó la menor media del ancho de los frutos (85,20 mm), de la relación ancho/longitud (0,43 mm), del peso del fruto (627,86 mm) y de la separación de los lomos (19,40 mm), así como la mayor media del grosor del lomo (15,91 mm).
- El Grupo 3 se caracterizó por tener la menor media de la longitud del fruto (171,29 mm) y del grosor del lomo (14,14 mm), así como la mayor relación

ancho/longitud (0,50), grosor del surco (12,67 mm) y separación de los lomos (26,86 mm).

- El Grupo 4 se caracterizó por tener la menor media del grosor del surco (11,96 mm) y la mayor media de la longitud del fruto (205,27 mm), ancho del fruto (92,01 mm) y peso del fruto (746,61 mm).

La media de los descriptores morfológicos cuantitativos de la semilla se muestra en la tabla 10.

Tabla 10. Media de los descriptores morfológicos cuantitativos de la semilla en los grupos obtenidos en el dendrograma.

	Peso húmedo (g)	Semillas por frutos	Semillas por fruto/ Número máximo semillas	Relación Semillas por fruto/Peso fruto	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Relación Ancho/ Longitud	Espesor (mm)
Grupo 1	4,48	34,81	0,81	0,05	25,81	14,74	0,57	9,93
Grupo 2	3,98	44,25	0,83	0,08	24,11	14,86	0,62	9,46
Grupo 3	3,27	46,55	0,87	0,08	25,31	18,69	0,75	8,80
Grupo 4	4,40	37,55	0,83	0,05	26,77	16,09	0,61	10,20

Con respecto a los descriptores morfológicos cuantitativos de la semilla las características más destacadas de cada grupo son las siguientes:

- El Grupo 1 presentó la menor media de semillas por fruto (34,81), de la relación semillas por fruto/número máximo de semillas (0,81), de la relación semillas por fruto/peso del fruto (0,05) junto al grupo 4, del ancho de la semilla (14,74 mm) y de la relación ancho/longitud (0,57). Además, presentó la mayor media del peso húmedo de la semilla (4,48 mm).
- El Grupo 2 presentó la menor media de la longitud de la semilla (24,11 mm) y la mayor media de la relación semillas por fruto/peso del fruto (0,08), junto con el Grupo 3.

- El Grupo 3 presentó la menor media del peso húmedo de la semilla (3,27 g) y del espesor de la semilla (8,80 mm), así como la mayor media de las semillas por fruto (46,55), de la relación semillas por fruto/número máximo de semillas (0,87), del ancho de la semilla (18,69 mm) y la relación semillas por fruto/peso del fruto (0,8), junto al Grupo 2.
- El Grupo 4 presentó la mayor media de la longitud de la semilla (26,77 mm) y espesor de la semilla (10,20 mm). Además, la menor media de la relación semillas por fruto/peso del fruto (0,05) junto al grupo 1.

Al analizar en conjunto las características de los grupos se observa que los mejores resultados se observaron fundamentalmente en los Grupos 1 y 4. Estos grupos presentan las mayores medias del peso húmedo de las semillas y la menor media del número de semillas por fruto. Estos resultados indican que son los grupos que presentan las semillas de mayor tamaño. Este resultado se confirma con las medias del peso del fruto, donde estos grupos son los que presentan los frutos más pesados.

Los descriptores relacionados con el tamaño de las semillas y del fruto están entre los más importantes para la producción de cacao. Los frutos de mayor tamaño tienden promediar mayores resultados, y a esto se une el tamaño de la semilla, que se consideran de mayor calidad las semillas de mayor tamaño. Estos resultados con los grupos obtenidos en el dendrograma coinciden en gran parte con lo obtenido al analizar los descriptores morfológicos del fruto y la semilla. Todos los clones seleccionados por presentar mayor tamaño del fruto y la semilla se encuentran ubicadas en los Grupos 1 y 4 del dendrograma, con la excepción del clon UF-668 que se ubicó en el Grupo 2.

4.4 Valoración económica.

El rendimiento promedio de los clones del grupo 1 fue de 2,20 t cacao seco ha⁻¹ mientras que el de los clones que conformaron el grupo 4 del dendrograma fue de 1,32 t cacao seco ha⁻¹. Al comparar estos valores con la media del rendimiento de los otros clones del dendrograma, se observa que el incremento productivo fue de 30

% para el grupo 1 (ICS-6, UF-221, UF-676, ICS-95, UF-650, UF-654, UF-667 y UF-677) y 0,78 % veces para el grupo 4 (GS-29 y ICS-8). Estos valores se incrementan a 5,4 y 3,2 % respectivamente al compararlos con el promedio nacional del rendimiento del cultivo ($0,41 \text{ t ha}^{-1}$).

Estos resultados validan la importancia de la selección de clones con características productivas ideales, reafirmando la importancia de los recursos fitogenéticos como base para la obtención de materiales productivos.

conclusiones

V. CONCLUSIONES

1. La caracterización morfológica cualitativa y cuantitativa de los clones de *Theobroma cacao* L. de la lista oficial de variedades ICS-6, UF-221, UF-676, ICS-95, UF-650, UF-654, UF-667, UF-677, EICB-120, UF-668, UF-296, UF-613, GS-29 e ICS-8 sienta las bases para su utilización eficiente en la producción y contribuye a su utilización en el mejoramiento genético del cultivo en Cuba.
2. De los 50 descriptores morfológicos evaluados, con 32 se explica el 44,13 % de la varianza, por lo que constituyen los más representativos para la evaluación de la diversidad morfológica del cacao.
3. Las clones con los mejores resultados en los descriptores morfológicos del fruto y la semilla se observaron en los grupos 1 y 4 del dendrograma, siendo estos los de mayor potencial productivo y morfoagronómico para las plantaciones comerciales que permitan un incremento de la producción y la calidad de la semilla de cacao.

RECOMENDACIONES

VI. RECOMENDACIONES

1. Realizar la caracterización morfoagronómica de otros clones en el Banco de germoplasma del Instituto de Investigaciones de Agroforestales UCTB Baracoa.
2. Realizar la evaluación del rendimiento de estos clones en condiciones de campo para su extensión a otras regiones de Cuba.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ADJALOO, M. K. Y ODURO, W. 2013. Insect assemblage and the pollination system of cocoa (*Theobroma cacao* L.). *Journal of Applied Biosciences* 62: Págs 4582-4594.
2. AFOAKWA, E.; PATERSON, A.; FOWLER, M. y RYAN, A. 2008. Flavor formation and character in cocoa and chocolate: a critical review. *Crit. Rev. Food Sci.* 48: Págs 840-857.
3. AGAMA, J. 2005. Selección de progenies y plantas elites de cacao *Theobroma cacao* L., mediante la evaluación de características agronómicas y de resistencia a enfermedades, Quevedo - Los ríos. Tesis en opción al título de Ingeniero agrónomo. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Central del Ecuador.
4. AIKPOKPODION, P. O. 2012. Defining genetic diversity in the chocolate tree, *Theobroma cacao* L. grown in West and Central Africa. En: M. Caliskan (ed). *Genetic diversity in plants*. In Tech. Croatia. Págs 185-212.
5. ANDÚJAR, I.; RECIO, M.C.; GINER, R.M. y RÍOS, J.L. 2012. Cocoa polyphenols and their potential benefits for human health. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*. Págs 1-23.
6. APG IV. 2016. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Botanical Journal of the Linnean Society* 181: Págs 1-20.
7. ARÁNZAZU, H. F. RINCÓN, G. D. PALENCIA, C. G. 2009. Manejo de recurso genético para incrementar la producción y productividad del sistema de Cacao en Colombia. *Unión temporal Cacao de Colombia Uno*. Fedecacao - Corpoica. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Colombia. 22 pp.

8. ARUM R, A. 2020. Morphological variability and taxonomic affinity of cocoa (*Theobroma cacao* L.) clones from Central Sulawesi, Indonesia. *Current Botany*. 11: Págs 60-64.
9. BARTLEY, B.G.D. 2005. The genetic diversity of cacao and its utilization. Wallingford. CABI Publishing. 341 pp.
10. BEKELE, F. L., G. BIDAISEE, AND N. PERSAD. 2004. "A comparison of the phenotypic diversity of two samples from the International Cocoa Genebank, Trinidad." In Annual Report 2003, edited by Cocoa Research Unit, St. Augustine, Trinidad and Tobago: Cocoa Research Unit, The University of the West Indies. Págs 27-35.
11. BEKELE, F. L.; BIDAISEE, G. y PERSAD, N. A. 2004. Comparison of the phenotypic diversity of two samples from the International Cocoa Genebank, Trinidad. En: Cocoa Research Unit (ed). Annual Report 2003. Cocoa Research Unit, the University of the West Indies. St. Augustine, Trinidad and Tobago. Págs 27-35.
12. BEKELE, F. y BUTLER, D.R. 2000. Proposed short list of cocoa descriptors for characterization. En: Bekele, F. y Butler, D.R. Proceedings of the CFC/ICCO/IPGRI Project Workshop. Montpellier, France. IPGRI. Págs 41-48.
13. BEKELE, F.L.; BEKELE, I.; BUTLER, D.R. y BIDAISEE, G.G. 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: Págs 933-948.
14. BERTAZZO, A.; COMAI, S.; MANGIARINI, F. y CHEN, S. 2013. Composition of cacao beans. En: R. R. Watson, V. R. Preedy and S. Zibadi (eds). *Chocolate in health and nutrition*. Springer Science+Business Media, LLC. Págs 105-117.
15. BERTOLDE, F.Z.; DE ALMEIDA, A.-A.F.; CORREA, R.X.; GOMES, F.P.; GAIOTTO, F.A.; BALIGAR, V.C. y LOPES, L. 2009. Molecular, physiological

and morphological analysis of waterlogging tolerance in clonal genotypes of *Theobroma cacao* L. *Tree Physiology* 30: Págs 56-67.

16. BHATTACHARJEE, R. y KUMAR, P.L. Cacao. En: Bhattacharjee, R. y Kumar, P.L. C. Kole (ed). 2007. *Genome mapping and molecular breeding in plants*. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg. Alemania. Págs 127-142.
17. Bidot, I.; Valdés, M.; Riera, M.; and Bertin, P. 2017. Morphological characterization of traditional cacao (*Theobroma cacao* L.) plants in Cuba. *Genetic Resources and Crop Evolution* 64 (1):73-99. doi: 10.1007/s10722-015-0333-4.
18. BUTLER, D. y UMAHARANP. 2004. Working with cocoa germplasm. En: J. Flood and R. Murphy (eds). *Cocoa future*. AB International. London.
19. CASTILLO, M. 2002. Influencia de diferentes dosis y momento de aplicación de Brasinoesteroides (BIOBRAS – 16) en el cultivo del *Theobroma cacao*, Lin; en condiciones de vivero. Tesis presentada en opción al título de Máster en Agricultura Sostenible. Centro de Estudio de Agricultura Sostenible. Universidad Agraria de La Habana. Cuba. 94 pp.
20. CHACÓN, I.; RAMIS, C. y GÓMEZ, C. 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): 1-13. 62 pp.
21. CHEESMAN, E. 1944. Notes on the nomenclature, classification and Possible relationships of cocoa populations. *Tropical Agriculture (Trinidad)* 21 (8): Págs 144-159.
22. CILAS C., BASTIDE P. 2020. Challenges to cocoa production in the face of climate change and the spread of pests and diseases. *Agronomy* 10: Págs 1 - 8.

23. COLOMBO, M.L.; PINORINI-GODLY, M.T. y CONTI, A. 2012. Botany and pharmacognosy of the cacao tree. En: R. Paoletti, A. Poli, A. Conti and F. Visioli (eds). *Chocolate and Health*. Springer. págs. 41-62.
24. CROZIER, S.J.; PRESTON, A.G.; HURST, J.W.; PAYNE, M.J.; MANN, J.; HAINLY, L. y MILLER, D.L. 2011. Cacao seeds are a "Super fruit": A comparative analysis of various fruit powders and products. *Chemistry Central Journal* 5: 5.
25. DA SILVA, T.É.R.; CARDOSO, L.; ALVIN, F.C.; de MATTOS, J.C. y CARDOSO, M.G. 2008. Somatic embryogenesis and plant regeneration in elite clones of *Theobroma cacao* L. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 43 (10): Págs 1433-1436.
26. DE ALMEIDA, A. y VALLE, R. 2008. Ecophysiology of the Cacao tree. *Brazilian In: Journal of Plant Physiology*. 19: Págs 425-448.
27. DE ALMEIDA, A.-A.F. y VALLE, R.R. 2007. Ecophysiology of the cacao tree. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 19 (4): Págs 425-448.
28. D'ORASIO, M. 2012. *Stat Match: Statistical Matching*. R package. Versión 1.1.0.
29. DOSTERT, N.; ROQUE, J.; CANO, A.; LA TORRE, M.I. y WEIGEND, M. 2012. *Hoja botánica: Cacao Theobroma cacao L.* 1ra Edición. Lima, Perú. Giacomotti. Comunicación Gráfica S.A.C. 19 pp.
30. Efombagn, M.I.B., O. Sounigo, S. Nyassé, M. Manzanares-Dauleux, and A.B. Eskes. 2009. "Phenotypic variation of cacao (*Theobroma cacao* L.) on farms and in the gene bank in Cameroon." *Journal of Plant Breeding and Crop Science* 1 (6): Págs 258-264.
31. EFOMBAGN, M.I.B.; SOUNIGO, O.; NYASSÉ, S.; MANZANARES-DAULEUX, M. y ESKES, A.B. 2009. Phenotypic variation of cacao (*Theobroma cacao* L.)

on farms and in the gene bank in Cameroon. *Journal of Plant Breeding and Crop Science* 1 (6): Págs 258-264.

32. ENGELS, J.M.M. 1983. A systematic description of cacao clones. III. Relationships between clones, between characteristics and some consequences for the cacao breeding. *Euphytica* 32: Págs 719-733.
33. Eskes, A.B., and Y. Efron, eds. 2006. Global approaches to cocoa germplasm utilization and conservation. Final report of the CFC/ICCO/IPGRI project on Cocoa germplasm utilization and conservation: a global approach (1998-2004). CFC, Amsterdam, The Netherlands/ICCO, London, UK/IPGRI, Rome, Italy.
34. ESKES, A.B.; Engels, J.M.M. y Lass, R.A. 2000. Working procedures for cocoa germplasm evaluation and selection. En: Proceedings of the CFC/ICCO/IPGRI Project Workshop. International Plant Genetic Resources Institute. Montpellier, France. 176 pp.
35. ESPINAL, J. E. 2014. Producción del clon de cacao (*Theobroma cacao* L.) EET 103 orgánico a tres distanciamientos de siembra en un sistema triangular de doble hilera. Tesis de Grado. Quevedo, Los Ríos, Ecuador.
36. EVANS, H.C. 2007. Cacao diseases—the trilogy revisited. *Phytopathology* 97 (12): Págs 1640-1643.
37. FAO. FAOSTAT. Consultado: 9/5/2015. 2015. Disponible en: <http://faostat3.fao.org/>.
38. FLORES, M. 2005. Limitaciones y posibilidades para el reconocimiento oficial de una “denominación de origen” al cacao fino y de aroma producido en determinadas zonas de Ecuador. Tesis presentada en opción al título de Máster en Relaciones Internacionales. Área de Estudios Sociales y Globales. Universidad Andina Simón Bolívar. Ecuador. 159 pp.

39. GALLEANO, N.; OTEIZA, P.I. y FRAGA, C.G. 2009. Cocoa, chocolate and cardiovascular disease. *Journal of Cardiovascular Pharmacology* 56 (4): Págs 483-490.
40. GONZÁLEZ, Y. 2003. Caracterización morfológica y molecular de genotipos de *Dioscorea alata* y *D. trifida* del Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá, IDIAP y CATIE. Tesis presentada en opción al título de Magíster Scientiae. Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza. Escuela de Postgrado del CATIE. Costa Rica. 92 pp.
41. GONZÁLEZ, Y.; PÉREZ, E. y PALOMINO, C. 2012. Factores que inciden en la calidad sensorial del chocolate. *Actualización en nutrición* 13 (4): Págs 314-331.
42. GUEVARA, M. 2015. Caracterización morfológica del fruto y la semilla de 9 clones de cacao *Theobroma cacao* L). Seminario de Graduación para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Realizado en el Centro de Desarrollo Tecnológico del NTA. Cuba. 22 pp.
43. GULTINAN, M.J.; VERICA, J.; ZHANG, D. y FIGUEIRA, A. 2008. Genomics of *Theobroma cacao*, the Food of the Gods. En: P. H. Moore and R. Ming (eds). *Genomics of Tropical Crop Plants*. Págs 145-170.
44. GUTIÉRREZ, ABIEL. 2020. Caracterización morfológica de tres genotipos criollos promisorios de *Theobroma cacao* L., en Panamá *Ciencia Agropecuaria* no. 30: Págs 150-169.
45. HERNÁNDEZ, A.; PÉRES, J.; BOSCH, D. y CASTRO, N. 2015. Suelos Fluvisoles. Clasificación de los suelos de Cuba. Cuba. 70 pp.
46. HIDALGO, R. 2007. Variabilidad genética y caracterización de especies vegetales. In *Análisis estadístico de datos de caracterización morfológica de recursos filogenéticos*. (En línea). Franco T, Hidalgo R. eds. Boletín técnico no 8, IPGRI Cali, CO. Consultado 28 agosto 2007. Disponible en <http://www.Biodiversity International rg/publications/pdf/894>. Págs 2-26.

47. HUSSON, F.; JOSSE, J.; LE, S. y JEREMY, M. 2013. Facto Mine R: Multivariate exploratory data analysis and data mining with R. R package. Versión 1.25.
48. ICCO. 2003. Internacional Cocoa Organization. Boletín trimestral de estadísticas del cacao. Vol. XXX. No. 1 y 2.
49. ICCO. 2012. Quarterly bulletin of ICCO statistics. London. 60 pp.
50. ICCO. 2014. ICCO Annual report 2012/2013. London. 61 pp.
51. IWARO, A.D.; BEKELE, F.L. y BUTLER, D.R. 2003. Evaluation and utilization of cacao *Theobroma cacao* L.) germplasm at the International Cocoa Genebank, Trinidad. Euphytica 130: Págs 207-221.
52. JAIMES, Y. y ARANZAZU, F. 2010. Manejo de las enfermedades del cacao *Theobroma cacao* L., en Colombia con énfasis en *Monilia Moniliophthora roreri*. Bogotá; CORPOICA, FEDECACAO y Ministerio de Agricultura. Colombia. Págs 13 – 22.
53. JOHNSON, E.; BEKELE, F.; BROWN, S.; SONG, Q.; ZHANG, D.; MAINHARDT, L. y SCHNELL, R. 2009. Population structure and genetic diversity of the Trinitario cacao *Theobroma cacao* L. from Trinidad and Tobago. In: Crop Sci. 49: Págs 564-572.
54. JUMBO, A. 2017. Caracterización morfológica del cacao (*Theobroma cacao* L.) en la cuenca del río Nangaritza provincia de Zamora Chinchipe. Tesis en opción al título de Ingeniero en Administración y Producción Agropecuaria. Ecuador. 141 pp.
55. KADOW, D.; BOHLMANN, J.; PHILLIPS, W. y LIEBEREI, R. 2013. Identification of main fine or flavor components in two genotypes of the cocoa tree *Theobroma cacao* L.). Journal of Applied Botany and Food Quality 86: Págs 90-98.

56. KUMAR, P.; GUPTA, V.K.; MISRA, A.K.; MODI, D.R. y PANDEY, B.K. 2009. Potential of molecular markers in plant biotechnology. *Plant Omics Journal* 2 (4): Págs 141-162.
57. LACHENAUD, P. y OLIVER, G. 2005. Variability and selection for morphological bean traits in wild cocoa trees (*Theobroma cacao* L.) from French Guiana. *Genetic Resources and Crop Evolution* 52: Págs 225-231.
58. LALIBERTÉ, B. 2012. A global strategy for the conservation and use of cacao genetic resources, as the foundation for a sustainable cocoa economy. Montpellier, France. Bioversity International. 175 pp.
59. LANAUD, C.; RISTERUCCHI, A.M.; N'GORAN, A.K.J.; CLEMENT, D.; FLAMENT, M.H.; LAURENT, V. y FALQUE, M. 1995. A genetic linkage map of *Theobroma cacao* L. *Theoretical and Applied Genetics* 91: Págs 987-993.
60. LATIF, R. 2013. Chocolate/cocoa and human health: a review. *The Netherland Journal of Medicine* 71 (2): Págs 63-68.
61. LEAL, A. 2005. Caracterización de árboles superiores de cacao (*Theobroma cacao* L.) seleccionados por el programa de mejoramiento genético del CATIE. Tesis presentada en opción al título de *Magíster Scientiae*. Escuela de Postgrado, Programa de Educación para la Enseñanza y la Conservación. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Cuba. 126 pp.
62. LEE, K.W.; KIM, Y.J.; LEE, H.J. y LEE, C.Y. 2003. Cocoa has more phenolic phytochemicals and a higher antioxidant capacity than tea and red wine *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51 (25): Págs 7292-7295.
63. MAHARAJ, K.; MAHARAJ, P.; BEKELE, F.L.; RAMNATH, D.; BIDAISSE, G.G.; BEKELE, I.; PERSAD, C.; JENNINGS, K. y SANKAR, R. 2011. Trinidad selected hybrids: An investigation of the phenotypic and agro-economic traits of 20 selected cacao cultivars. *Tropical Agriculture (Trinidad)* 88 (4): Págs 175-185.

64. MARCANO, M.; MORALES, S.; HOYER, M.T.; COURTOIS, B.; RISTERUCCI, A.M.; OLIVER, F.; PUGH, T.; CROS, E.; GONZALEZ, V.; DAGERT, M. y LANAUD, C. 2009. A genome wide admixture mapping study for yield factors and morphological traits in a cultivated cocoa (*Theobroma cacao* L.) population. *Tree Genetics & Genomes* 5: Págs 329-337.
65. MÁRQUEZ, J. 2014. *Reseña Histórica del Cacao*. La Habana. Cuba. Producciones Gráficas MINREX.
66. MÁRQUEZ, J.J. y AGUIRRE, M.B. 2008. *Manual técnico de manejo agrotécnico de las plantaciones de cacao*. Ciudad de La Habana. Cuba. 60 pp.
67. MÁRQUEZ, J.J. y AGUIRRE, M.B. 2010. *Cacao con denominación de origen. Metodología para su obtención en el Consejo Popular de Sabanilla del municipio Baracoa*. La Habana. Cuba. Editora Agroecológica. 62 pp.
68. MÁRQUEZ, J.J.; MATOS G.; OCHOA, P.; LAMBERTT W.; SELVA F.; MATOS Y. 2008. *Lineamientos para el establecimiento de la política varietal del cacao en Cuba*. Baracoa: Estación de Investigaciones de Café y Cacao, Departamento de Agrotécnia. Cuba.
69. MARTÍN, G. A.; BONILLA, D. S. C.; LIGOREETO, G. A. M. Y FAJARDO, D. A. 2000. Identificación y análisis de variabilidad morfológica de 59 cultivares de papa criolla (*Solanum phureja* Juz et Buk.). *Agronomía colombiana*. Colombia. 17: Págs 49-60.
70. MARTÍNEZ, F. S.; GUTIÉRREZ, M.; VERDECIA, M. y SÁNCHEZ, F. 2002. Comportamiento de mezcla clonal híbrida en plantaciones comerciales de cacao en la ladera nororiental de Farallón Colorado. *Revista Café Cacao* 3(1): Págs 83-85.
71. MARTÍNEZ, W.J. 2007. *Caracterización morfológica y molecular del Cacao Nacional Boliviano y de selecciones élites del Alto Beni, Bolivia*. Tesis presentada en opción al título de Magister Scientiae. Escuela de Posgrado, 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. 88 pp.

72. MEINHARDT, L.W.; JOHANA, R.; BAILEY, B.A.; AIME, M.C.; GRIFFITH, G.W.; ZHANG, D. y PEREIRA, G.A.G. 2008. *Moniliophthora perniciosa*, the causal agent of witches' broom disease of cacao: what's new from this old foe? *Molecular Plant Pathology* 9 (5): Págs 577-588.
73. Menéndez, M. 2020. Comunicación personal. Investigado Agregado INAF UCTB Baracoa.
74. MENÉNDEZ, M.; LAMBERTT, W.; COLUMBIE, A.; MATOS, G.; OLIVERO, A.; RODRÍGUEZ, M. y SÁNCHEZ, E. 2002. Selección de clones de *Theobroma cacao* Lin. con alto potencial productivo y de calidad industrial. *Revista Café y Cacao* 3 (1): Págs 64-66.
75. MINAG. 1987. Instrucciones técnicas para el cultivo y cosecha de café y cacao. CIDA. La Habana. Cuba.
76. MINAG. 2019. Lista oficial de variedades comerciales. La Habana. Cuba.
77. MORA, V. 2009. Utilización de microsátélites en el estudio de la resistencia de árboles seleccionados de cacao (*Theobroma cacao* L.) a la enfermedad Mancha de agua (*Phytophthora megasperma*). Tesis presentada en opción al título de Licenciado en Biología. Departamento de Biología. Universidad de Los Andes. 117 pp.
78. MOTAMAYOR, J.; LACHNEAUD, P.; DA SILVA, E. MOTA, J.; LOOR, R.; KUHN, D.; BROWN, J. y SCHNELL, R. 2008. Geographic and genetic population differentiation of the Amazonian chocolate tree (*Theobroma cacao* L.). *PLOS ONE* 3:331.
79. MOTAMAYOR, J.; RISTERUCCI, A.; LÓPEZ, P.; ORTIZ, C.; MORENO, A. y LANAUD, C. 2002. Cacao domestication I: the origin of the cacao cultivated by the Mayas. In: *Heredity* 89: Págs 380- 386.

80. MOTAMAYOR, J.C.; MOCKAITIS, K.; SCHMUTZ, J.; HAIMINEN, N.; LIVINGSTONE, D., III; CORNEJO, O.; FINDLEY, S.D.; ZHENG, P.; UTRO, F.; ROYAERT, S.; SASKI, C.; JENKINS, J.; PODICHETI, R.; ZHAO, M.; SCHEFFLER, B.E.; STACK, J.C.; FELTUS, F.A.; MUSTIGA, G.M.; AMORES, F.; PHILLIPS, W.; MARELLI, J.P.; MAY, G.D.; SHAPIRO, H.; MA, J.; BUSTAMANTE, C.D.; SCHNELL, R.J.; MAIN, D.; GILBERT, D.; PARIDA, L. y KUHN, D.N. 2013. The genome sequence of the most widely cultivated cacao type and its use to identify candidate genes regulating pod color. *Genome Biology* 14: 53.
81. NIEMENAK, N.; CILAS, C.; ROHSIUS, C.; BLEIHOLDER, H.; MEIER, U. y LIEBEREI, R. 2009. Phenological growth stages of cacao plants (*Theobroma* sp.): codification and description according to the BBCH scale. *Annals of Applied Biology* 155: Págs 1-12.
82. NÚÑEZ, G. N. y GONZÁLEZ, E. N. 2005. El cacao y el chocolate en Cuba. Editorial Academia. La Habana. Cuba.
83. NÚÑEZ, N. 2010. El cacao y el chocolate en Cuba. En: 2da Edición. Fundación Fernando Ortiz. La Habana. Cuba. 336 pp.
84. O'DOHERTY, D.C. y ZOLL, J.J. 2012. *Forcipomyia hardyi* Diptera: Ceratopogonidae, a potential pollinator of cacao (*Theobroma cacao*) flowers in Hawaii. *Proceedings of the Hawaiian Entomological Society* 44: Págs 79-81.
85. OCPI. Oficina Cubana de la Propiedad Intelectual. 2020. Base de datos de recursos fitogenéticos del cacao en Cuba.
86. ONEI. Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca. Anuario Estadístico de Cuba 2013. La Habana. Cuba. 2013. Págs 219-246.
87. ONU, 2011. International cocoa agreement, Geneva. United Nations. 44 pp.

88. PARRA, G. 2005. Origen del cacao en Venezuela. En: I Congreso Venezolano del Cacao y su Industria. Área: Zonificación y Agroecología. Caracas, Venezuela. 255 pp.
89. PASQUAL, M.; ALVES, E.; RODRIGUES, J.D. y ALMENDAGNA, F. 2012. Tissue culture techniques formative a mazonian fruit trees. En: M. Pasqual (ed). Recent advances in plant *in vitro* culture. Págs 151-164.
90. PAULIN, D.; CLEMENT, D.; N'GORAN, J. y ESKES, A. 2016. Preliminary results of the selection of individual clones. In: 12th International Cocoa Research Conference, Salvador Bahía, BR. Memorias. 342 pp.
91. PÉREZ, J. 2009. Evaluación y caracterización de selecciones clonales de cacao (*Theobroma cacao* L.) del programa de mejoramiento del CATIE. Tesis presentada en opción al título de Magister Scientiae en Agricultura Ecológica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Cuba. 149 pp.
92. PHILLIPS, W.; COUTIÑO, A.; ORTIZ, C.; LÓPEZ, A.; HERNANDEZ, J. y AIME, M. 2006. First report of *Moniliophthora roreri* causing frosty pod rot *Moniliasis* disease of cocoa in México. In: Plant Pathology. 55: 584 pp.
93. POWIS, T.G.; CYPHERS, A.; GAIKWAD, N.W.; GRIVETTI, L. y CHEONG, K. 2011. Cacao use and the San Lorenzo olmec. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 108: Págs 8595- 8600.
94. QUIROZ, J.G. 2002. Caracterización molecular y morfológica de genotipos superiores con características de cacao nacional (*Theobroma cacao* L.) de Ecuador. Tesis presentada en opción al título de Magister Scientiae. Escuela de Postgrado, Programa de Educación para la Enseñanza y la Conservación. Centro Agronómico Tropical de investigación y Enseñanza. Ecuador. 111 pp.
95. R CORE TEAM R: 2020. A language and environment for statistical computing. Version 4.0.2. R Foundation for Statistical Computing.

96. RAMOS, A.; RAMOS, O.; MARGARITA, G.; MACHADO, E.; SIERRA, Y. 2020. Caracterización fenotípica y genotípica de cultivares de cacao (*Theobroma cacao* L.) de Dibulla, La Guajira, Colombia. *Cienc. Tecnol. Agropecuaria*, 21 (3): Págs 1557-1564.
97. RODRIGUEZ, C.; AREN, A.; CAICEDO, A.; OLIVIER, S.; XAVIER, A.; GABRIEL, A.; ALVARADO, A. AND ROXANA Y. 2019. Cacao breeding in Colombia, past, present and future. *Breeding Science* 69: Págs 373–382.
98. RONDÓN, J. 2000. Mejoramiento genético del cacao *Theobroma cacao* L. En: Tecnología para el mejoramiento del sistema de producción de cacao. Bucaramanga, Corpoica. Págs 37 – 38.
99. RUIZ, X. 2014. Diversidad genética de cacao *Theobroma cacao* L., con marcadores moleculares microsatélites. Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de Magister en Ciencias Agrarias. Facultad de Ciencias Agrarias. Colombia.
100. RUSCONI, M. y CONTI, A. 2010. *Theobroma cacao* L., the food of the gods: A Scientific approach beyond myths and claims. *Pharmacological Research* 61: Págs 5-13.
101. SANTOS, R.C.; PIRES, J.L. y CORREA, R.X. 2012. Morphological characterization of leaf, flower, fruit and seed traits among Brazilian *Theobroma* species. *Genetic Resources and Crop Evolution* 59: Págs 327-345.
102. SCHROETER, H.; HEISS, C.; BALZER, J.; KLEINBONGARD, P.; KEEN, C.L.; HOLLENBERG, N.K.; SIES, H.; KWIK-URIBE, C.; SCHMITZ, H.H. y KELM, M. 2006. Epicatechin mediates beneficial effects of flavanol-rich cocoa on vascular function in humans. *PNAS* 103 (4): Págs 1024-1029.
103. SENSEN, C.W. 2005. Handbook of genome research. Genomics, proteomics, metabolomics, bioinformatics, ethical and legal issues. Volumen Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim. 318 pp.

104. SERRANO, F.M. 2006. El cacao en sus primeros pasos hacia la globalización. En: I Congreso nacional ANPE. Noruega. Págs 8-9.
105. SHANNON, C.E. y WEAVER, W. 1949. The mathematical theory of communication. University of Illinois. Urbana Press. 117 pp.
106. SUÁREZ, G.M. 2013. Zonificación edafoclimática de *Theobroma cacao* L. en el macizo montañoso Nipe – Sagua - Baracoa. Tesis presentada en opción al título de Doctor en Ciencias Agrícolas. Departamento de Fitotecnia. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. Cuba. 100 pp.
107. SUSLOW, T.; THOMAS, B. y BRAFORD, K. 2002. Biotechnology Provides New Tools for Plant Breeding. [En línea]. Seed Biotechnology Center, UC Davis/Biotechnology Work group 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>.
108. SWANSON, J. D. 2005. Flower development in *Theobroma cacao* L.: an assessment of morphological and molecular conservation of floral development between *Arabidopsis thaliana* and *Theobroma cacao*. Tesis presentada en opción al título de Doctor of Philosophy in Integrative Biosciences. The Graduate School. The Pennsylvania State University. Estados Unidos. 191 pp.
109. TEIXEIRA, J.B.; MARBACH, P.A.S. y SANTOS, M.D.O. 2002. Otimização da metodologia de embriogêneses somática visando a propagação clonal de genótipos elite de caçãõ *Theobroma cacao* L. Brasilia, DF. Embrapa. 34 pp.
110. Toirac, Y. 2017. Caracterización morfoagronómica de genotipos de *Theobroma cacao* L. para mejorar la estructura clonal del cultivo en Cuba. Tesis en opción al título de Ingeniero Agrónomo. Facultad Agroforestal. Universidad de Guantánamo. 46 pp.
111. TORRES, I. 2012. Manual de producción de cacao fino de aroma a través de manejo lógico. Universidad de Cuenca Tesis de Grado. Ecuador. 141 pp.

112. VÁZQUEZ, A.; MOLINA, F.; NUÑES, J. y SALVADOR, M. 2012. Potencial de los arcadores moleculares para el rescate de individuos de *Theobroma cacao* L. de alta calidad. En: Revista de la Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería A.C., Bio - Tecnología. Vol 16, 1: Págs 36 – 46.
113. VILLEGAS, R. y ASTORGA, C. 2005. Caracterización morfológica del cacao nacional boliviano, Alto Beni, BO. In Agroforestería en las Américas no. 43-44: Págs 81-85.
114. VOIGT, J. 2013. Chocolate and cocoa aroma. En: Watson, R.R.; Preedy, V.R. y Zibadi, S. (eds). Chocolate in health and nutrition. Springer Science + Business Media, LLC. Págs 89-101.
115. WEISING, K.; NYBOM, H.; WOLFF, K. y KAHL, G. 2005. DNA fingerprints in plants: principles and applications. Second Edition. Boca Ratón, Florida. CRC Press. 444 pp.
116. ZHANG, D.; FIGUEIRA, A.; MOTILAL, L.; LACHENAUD, P. y MEINHARDT, L.W. 2011. *Theobroma cacao* L. En: C. Kole (ed). Wild crop relatives: Genomic and breeding resources. Springer. Págs 227-296.