





# VARIABILIDAD MORFOAGRONÓMICA DE 50 MATERIALES PROMISORIOS DE TRES ESPECIES DE *THEOBROMA* (MALVACEAE) EN CONDICIONES DE LA AMAZONIA COLOMBIANA

Armando Sterling Cuéllar<sup>1\*</sup>, Diego Ferney Caicedo Rodríguez<sup>1</sup>,  
Carlos Hernando Rodríguez León<sup>1</sup>, Pedro Nel Ruiz Torres<sup>2</sup>,  
Yasodhara Marieth Salas Tobón<sup>2</sup>, María Natali Nieto Guzmán<sup>3</sup>

## RESUMEN

Este estudio tuvo como objetivo seleccionar y evaluar in situ 50 materiales vegetales de tres especies del género *Theobroma* (*T. cacao*, *T. grandiflorum* y *T. bicolor*), a partir de la caracterización de diferentes parámetros morfoagronómicos deseables, orientados a la identificación de nuevos materiales con potencial para la región. Se seleccionaron 50 materiales promisorios procedentes de ocho municipios del Caquetá (Colombia) para el seguimiento in situ durante 18 meses. Para la caracterización morfoagronómica se adaptaron 30 descriptores propuestos en la literatura. Se realizaron análisis de varianza multivariada, comparación de medias con la prueba de Tukey ( $\alpha=0,05$ ), análisis de correlación de Pearson, análisis de componentes principales, conglomerado jerárquico y un análisis procrustes para determinar el grado de consenso entre caracteres cuantitativos y cualitativos. Se encontraron diferencias significativas en más del 70% de los caracteres morfoagronómicos sometidos a consenso. Las correlaciones positivas más altas ( $r \geq 0,7$ ) se presentaron entre el peso fresco de las semillas y los descriptores peso del fruto, índice de grano, longitud de arista, diámetro y longitud del fruto. Los caracteres

cuantitativos con mayor influencia fueron en su orden el peso fresco de semillas, el peso de la mazorca, el índice de grano, la arista de la mazorca, el diámetro de la mazorca y el índice de mazorca. El color de la flor y el color del fruto fueron los caracteres cualitativos con mayor influencia fenotípica. En el 48% de los materiales evaluados hubo ausencia de moniliasis. Se seleccionaron 20 materiales élite: 11 de *T. cacao*, seis de *T. grandiflorum* y tres de *T. bicolor*.

## Palabras claves

*T. cacao*, *T. grandiflorum*, *T. bicolor*, descriptor, Caquetá

## ABSTRACT

This study aimed to select and evaluate in situ 50 accessions of three species of the genus *Theobroma* (*T. cacao*, *T. grandiflorum* and *T. bicolor*) beginning with the identification and characterization of different desirable parameters morphoagronomic, in order to identify new materials with potential for the region. Were selected 50 promising accessions

<sup>1</sup> Investigador Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI Sede Florencia. Calle 17 No. 11-67, 2° Piso, Florencia, Caquetá (Colombia). E-mails: asterling@sinchi.org.co

\* Autor para correspondencia / dcaicedo@sinchi.org.co, crodriguez@sinchi.org.co

<sup>2</sup> Investigador contratista Instituto SINCHI Sede Florencia. Calle 17 No. 11-67, 2° Piso, Florencia, Caquetá (Colombia). E-mails: pedronel16@yahoo.es / yasosalas89@hotmail.com

<sup>3</sup> Tesista de pregrado, contratista Instituto SINCHI. Universidad de la Amazonia, Grupo de Micología GINMUA. Sede Principal. Avd. Circunvalación, Barrio El Porvenir. Florencia, Caquetá (Colombia). E-mail:natalia-nieto1988@hotmail.com

from eight municipalities of Caquetá (Colombia) for monitoring in situ for 18 months. In the characterization adapted 30 morphoagronomic descriptors proposed in the literature. Multivariate anova and Tukey tests were performed with  $\alpha = 0.05$ . Pearson correlation, principal component and hierarchical cluster analysis were performed. Procrustes analysis was realized to determine the degree of consensus between quantitative and qualitative characters. Significant differences were found in 70% of the characters morphoagronomic. The highest positive correlations ( $r \geq 0.7$ ) occurred between fresh weight of seeds and weight of the fruit, grain index, awn, diameter and length of the fruit descriptors. The most discriminant quantitative characters were in order: fresh weight of seeds, weight of the fruit, grain index, awn of the fruit, diameter of the fruit and index of pod. The flower and fruit colors were qualitative characters with best phenotypic discrimination. The 48% of the accessions do not showed symptoms of frosty pod disease. 20 elite accessions were selected: 11 of *T. cacao*, six of *T. grandiflorum* and three of *T. bicolor*.

## Keywords

*T. cacao*, *T. grandiflorum*, *T. bicolor*, descriptor, Caquetá

## INTRODUCCIÓN

Según Alverson *et al.* 1999. El género *Theobroma* pertenece a la Familia Malvaceae la cual se encuentra dividida en seis secciones (*Andropetalum*, *Glossopetalum*, *Oreanthes*, *Rhytidocarpus*, *Telmatocarpus* y *Theobroma*) basadas en rasgos morfológicos propuestos por (Cuatrecasas 1964); división que luego es soportada por datos moleculares generados por (Silva y Figueira 2005). El género *Theobroma* comprende 22 especies y es exclusivamente neo tropical, a lo largo de las regiones lluviosas de los trópicos, desde los 18° de latitud norte hasta los 15° de latitud sur. Brasil y Colombia están considerados como los principales centros de diversidad del género, ambos países, poseen el mayor número de especies silvestres (Santos *et al.* 2012). El cacao *Theobroma cacao* L, fuente del chocolate, es la especie más cultivada y económicamente importante en menor grado

el copoazú *T. grandiflorum* (Willd. ex Spreng.) K. Schum y el maraco *T. bicolor* Humb. & Bonpl.

La industria del chocolate se basa en la selección de cultivares de cacao *T. cacao* algunos de ellos poliembriónicos y originados por el cruce con las especies del género. La pulpa de copoazú *T. grandiflorum* se utiliza en jugos, postres, helados, y cosméticos, y es considerado uno de los cultivos con más potencial en la región amazónica por su buen desempeño de la especie cultivada en asocio agroforestal (Browder y Pedlowski 2000, Lim 2012). Las semillas de copoazú también se pueden utilizar para la producción de chocolate de alta calidad. El maraco *T. bicolor* se consume fresco, cocido o tostado, la pulpa se utiliza en bebidas y las semillas se consumen azadas, hervidas, utilizadas en pastelería, con la semilla también se hace chocolate de calidad inferior, aunque la grasa de la manteca extraída de la semilla es de buena calidad (Lim 2012).

Históricamente el cultivo del cacao *T. cacao* en Colombia se desarrolló con base en materiales genéticos híbridos obtenidos por cruzamientos entre clones trinitarios y forasteros y en buena proporción, hijos de estos híbridos. Actualmente Colombia cuenta con 147.000 hectáreas sembradas entre cacao común (50 – 60 años; 27,3%), híbridos (70-90 años; 27,3%) y clonados (2002-2011; 45,4%) (PROEXPORT Colombia 2012).

El Plan Nacional de Desarrollo Cacaotero 2012-2021, plantea la necesidad de modernizar 130.000 hectáreas, pasando todos los cultivos a clones y de esta manera garantizar cacao de clase mundial y mejorar la producción actual. La Federación Nacional de Cacaoteros de Colombia (Fedecacao), el Ministerio de Agricultura, la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica) y los departamentos técnicos de la Industria, han identificado los materiales (clones) para la siembra, que por sus características de producción, calidad física y organoléptica (sensorial) son destacados y se utilizan en los cultivos modernos. Desde el 2004 se han realizado estudios en algunas zonas del país basados en estadística descriptiva, para identificar la caracterización morfoagronómica y molecular de los materiales criollos, regionales e introducidos, y así, clasificar aquellos que se destacan por rendimiento, calidad y tolerancia a enfermedades (Arguello *et al.* 1999,

Arguello y Mejía 2000, Palencia *et al.* 2008, Aranzazu *et al.* 2009). El cacao que se siembra en Colombia corresponde a clones de origen trinitario como son los ICS-TSH y clones regionales seleccionados en Colombia bajo los mismos parámetros de calidad y productividad (Aranzazu *et al.* 2009). A nivel nacional grandes compañías comerciales como CASA LUKER® han priorizado además del cacao *Theobroma cacao* L, la compra de almendras provenientes de otros *Theobromas* principalmente copoazú, *T. grandiflorum*; lo cual representa una excelente oportunidad para aprovechar este biorrecurso nativo de la región amazónica e incorporarlo a la cadena productiva de cacao (Hernández y Barrera 2009). Sin embargo, aunque se han desarrollado biofábricas especializadas en la producción de *T. cacao* para todo el país, aun en muchas zonas se sigue sembrando material vegetal sin previa evaluación local, poniendo en riesgo el establecimiento de nuevas plantaciones que llegan a ser susceptibles al principal limitante fitosanitario del cultivo, el hongo *M. royeri* (Aranzazu *et al.* 2009).

Actualmente el Caquetá cuenta con un área establecida de 1.666 has de cultivo de cacao, que corresponde a híbridos (70,2%) y clonados (29,8%) en diferentes edades de las cuales 1.175has se encuentran en producción. Beneficiando a cerca de 850 familias, con un área promedio de 2.5 has/familia y una producción registrada para el departamento de 139,41 toneladas de grano de cacao seco. (Secretaría de Agricultura Caquetá– Acamafrut 2012).

En particular, para la Amazonia colombiana no sólo se han recomendado materiales introducidos sin previa evaluación local sino que además se desconoce el potencial de otras especies de *Theobroma* como *T. grandiflorum* y *T. bicolor*, que pueden ser altamente promisorias, dado que se han adaptado durante muchos años a las condiciones edafoclimáticas regionales (Gobernación del Caquetá 2007). A nivel regional, el Instituto SINCHI y la Universidad Nacional de Colombia generaron en 2005 información sobre las potencialidades de 12 ecotipos promisorios de copoazú (*T. grandiflorum*) y cuatro ecotipos de cacao maraco (*T. bicolor*) con potencial para la Amazonia colombiana (Melgarejo *et al.* 2006). Sin embargo, se requiere investigación sobre mejoramiento genético de tipo regional, donde se rescaten y evalúen materiales locales, en busca de nuevas variedades del género *Theobroma* con

características morfoagronómicas sobresalientes y con potencial económico para la región.

De acuerdo con lo anterior, este estudio tuvo como objetivo seleccionar y evaluar *in situ* 50 materiales vegetales de tres especies del género *Theobroma* (*T. cacao*, *T. grandiflorum* y *T. bicolor*) a partir de la identificación y caracterización de diferentes parámetros morfoagronómicos deseables, entendido como una estrategia de rescate y aprovechamiento del germoplasma local en el Departamento del Caquetá con potencial económico para la Amazonia colombiana.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El estudio se realizó en el departamento del Caquetá (Amazonia noroccidental Colombiana). El departamento del Caquetá presenta una precipitación promedio anual de 3.245 mm, una temperatura media de 25,4°C, la humedad relativa promedio es de 85,7% y el brillo solar medio de 1.490 horas de luz/año (IDEAM 2009). Según el IGAC (2010), los suelos del Caquetá en términos generales, presentan una textura principalmente arcillosa, con diferentes grados de drenaje interno, con un pH que fluctúa entre 4,5 y 5,8, con una capacidad catiónica de cambio de baja a media y saturación de bases baja, Presentan alto contenido o saturación de aluminio; en los horizontes minerales se presenta bajo contenido de carbón, fósforo, potasio y magnesio.

Para la identificación y selección de los materiales de *Theobroma*, se definieron tres zonas representativas del departamento por su tradición cacaotera: a) zona norte (municipios de San Vicente del Caguán, Puerto Rico y El Doncello); b) zona centro (municipios de Solano, Paujil y Florencia); y c) zona Sur (municipios de Belén, Albania y Valparaíso).

### Preselección y selección *in situ* de los materiales de *Theobroma*

Durante seis meses se realizaron diferentes expediciones en las tres zonas priorizadas y se preseleccionaron

mediante concertación con la comunidad 190 árboles del género *Theobroma* con edad igual o superior a 10 años y con características morfoagronómicas sobresalientes (Aranzazu *et al.* 2009). Se preseleccionaron 118 materiales de *T. cacao*, 44 materiales de *T. grandiflorum* y 28 materiales de *T. bicolor*. A partir de los materiales preseleccionados y mediante la aplicación de los índices y límites se selección propuestos

para *T. cacao* por Aranzazu *et al.* 2009 para Colombia, y la adaptación de éstos índices (Cuadro 1) para *T. grandiflorum* y *T. bicolor*, se seleccionaron para el seguimiento *in situ* durante 18 meses, 50 materiales con características deseables (promisorios) procedentes de ocho municipios del Caquetá (Cuadro 2). Los materiales preseleccionados en Solano, no calificaron en la selección.

**CUADRO 1.** ÍNDICES Y LÍMITES DE SELECCIÓN PARA MATERIALES SOBRESALIENTES DEL GÉNERO *THEOBROMA* EN CAQUETÁ (COLOMBIA)

Descriptor morfoagronómico															
Especie	No. Frutos/árbol/año			Índice de Mazorca			Índice de semilla (g)			No. Almendras/mazorca			Incidencia de moniliasis (%)		
	Índice y Límites			Índice y Límites			Índice y Límites			Índice y Límites			Índice y Límites		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
<i>T. cacao</i> <sup>1</sup>	< 70	70-100	>101	> 21	16 – 20	<15	< 1,3	1,4 – 1,5	> 1,6	< 35	36 – 45	> 46	> 16	5 – 15	<5
<i>T. grandiflorum</i> <sup>2</sup>	< 38	39-65	>66	> 19	11 – 18	<10	< 1,4	1,5 – 2,4	> 2,5	< 30	31 – 39	> 40	> 16	5 – 15	<5
<i>T. bicolor</i> <sup>2</sup>	< 15	16-36	>37	> 10	7 – 9	< 6	< 2,2	2,3 – 3,0	> 3,1	< 35	36 – 43	> 44	> 16	5 – 15	< 5

<sup>1</sup> Fuente: Aranzazu *et al.* (2009)

<sup>2</sup> Los autores

**CUADRO 2.** LISTADO DE 50 MATERIALES PROMISORIOS DE *THEOBROMA* (*T. CACAO*, *T. GRANDIFLORUM* Y *T. BICOLOR*) PROCEDENTES DEL DEPARTAMENTO DEL CAQUETÁ (COLOMBIA)

Identificación	Especie	Edad (años)	Altitud m.s.n.m	Municipio	Vereda
SCSA* 3	<i>T. cacao</i>	40	447	El Doncello	Serranía Baja
SCSA 5	<i>T. cacao</i>	17	543	El Doncello	Serranía Baja
SCSA 6	<i>T. cacao</i>	17	526	El Doncello	Serranía Baja
SCSA 16	<i>T. cacao</i>	12	265	San Vicente del Caguan	Tres Esquinas del Caguan
SCSA 18	<i>T. cacao</i>	12	268	San Vicente del Caguan	Tres Esquinas del Caguan
SCSA 27	<i>T. cacao</i>	50	352	Puerto Rico	El Carmelo
SCSA 28	<i>T. cacao</i>	50	355	Puerto Rico	El Carmelo
SCSA 29	<i>T. cacao</i>	50	343	Puerto Rico	El Carmelo
SCSA 30	<i>T. cacao</i>	50	352	Puerto Rico	El Carmelo
SCSA 32	<i>T. bicolor</i>	15	346	El Doncello	La Arenosa
SCSA 41	<i>T. bicolor</i>	14	239	La montaña	Itarca
SCSA 42	<i>T. cacao</i>	13	405	Florencia	Nueva Jerusalen
SCSA 43	<i>T. cacao</i>	13	434	Florencia	Nueva Jerusalen
SCSA 45	<i>T. cacao</i>	13	440	Florencia	Nueva Jerusalen
SCSA 50	<i>T. cacao</i>	18	560	Florencia	Nueva Jerusalen
SCSA 64	<i>T. bicolor</i>	16	677	Florencia	El Paraiso Bajo
SCSA 71	<i>T. cacao</i>	11	375	Florencia	La Primavera
SCSA 73	<i>T. grandiflorum</i>	15	299	El Doncello	La Libertad

Identificación	Especie	Edad (años)	Altitud m.s.n.m	Municipio	Vereda
SCSA 75	T. cacao	40	298	El Doncello	La Libertad
SCSA 88	T. cacao	18	277	El Doncello	Santa Cruz
SCSA 90	T. cacao	18	281	El Doncello	Santa Cruz
SCSA 97	T. cacao	15	354	El Paujil	La Rivera
SCSA 103	T. cacao	30	355	El Paujil	La Esperanza
SCSA 104	T. cacao	20	243	Valparaiso	Acueducto
SCSA 107	T. cacao	20	231	Valparaiso	Acueducto
SCSA 108	T. cacao	20	233	Valparaiso	Acueducto
SCSA 113	T. bicolor	16	253	Valparaiso	La Argentina Alta
SCSA 115	T. grandiflorum	15	232	Valparaiso	La Argentina Alta
SCSA 117	T. grandiflorum	20	246	Valparaiso	La Argentina Alta
SCSA 119	T. bicolor	10	253	Valparaiso	Santafé
SCSA 120	T. bicolor	10	252	Valparaiso	Santafé
SCSA 121	T. grandiflorum	12	247	Valparaiso	Santafé
SCSA 124	T. grandiflorum	12	252	Valparaiso	Santafé
SCSA 140	T. cacao	40	269	Belen de los Andaquies	El Sanchez
SCSA 142	T. cacao	30	272	Belen de los Andaquies	El Sanchez
SCSA 143	T. bicolor	15	287	Belen de los Andaquies	Agua Dulce
SCSA 151	T. cacao	13	277	Belen de los Andaquies	Agua Dulce
SCSA 152	T. grandiflorum	13	287	Belen de los Andaquies	Agua Dulce
SCSA 154	T. grandiflorum	18	284	Belen de los Andaquies	El Portal la Mono
SCSA 158	T. grandiflorum	17	270	Belen de los Andaquies	Azabache
SCSA 160	T. grandiflorum	12	283	Albania	La Argentina
SCSA 161	T. grandiflorum	12	283	Albania	La Argentina
SCSA 169	T. grandiflorum	12	272	Albania	La Argentina
SCSA 170	T. grandiflorum	12	274	Albania	La Argentina
SCSA 174	T. grandiflorum	35	306	Albania	San Isidro
SCSA 175	T. cacao	35	305	Albania	San Isidro
SCSA 177	T. cacao	20	322	Albania	Las Delicias
SCSA 178	T. cacao	20	322	Albania	Las Delicias
SCSA 179	T. cacao	20	315	Albania	Las Delicias
SCSA 180	T. cacao	20	323	Albania	Las Delicias

\*SCSA (Selección Caqueté Sinchi Acamafrut)

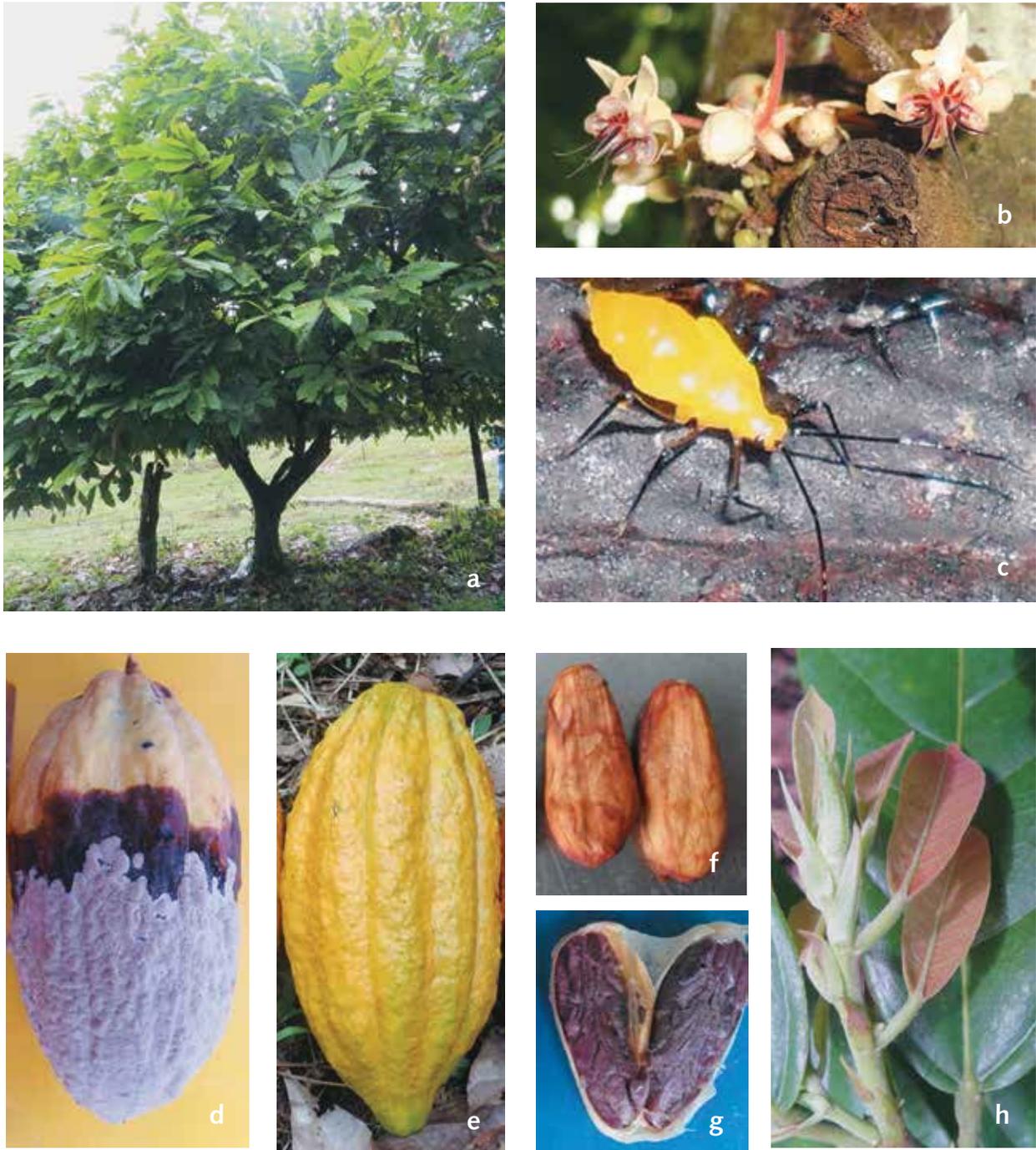
## EVALUACIÓN *IN SITU* DE LOS MATERIALES DE *THEOBROMA* SELECCIONADOS

Para la caracterización morfoagronómica de los 50 materiales seleccionados se adaptaron para las

tres especies de *Theobroma* 30 descriptores propuestos (Cuadro 3) por Engels *et al.* (1980), Alves *et al.* (2003a), Vargas *et al.* (2005) y Santos *et al.* (2012). En las figuras 1, 2 y 3 se resumen los principales caracteres morfológicos descritos para cada especie de *Theobroma*.

**CUADRO 3.** LISTADO DE DESCRIPTORES MORFOAGRONÓMICOS UTILIZADOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE 50 MATERIALES PROMISORIOS *THEOBROMA* (*T. CACAO*, *T. GRANDIFLORUM* Y *T. BICOLOR*)

Estructura	Descriptores	Estado de descriptores
Árbol	Altura total del árbol (m) (AT)	Se midió la altura con un clinómetro
	Altura del fuste (m) (AFA)	Se midió con cinta métrica de la base del tronco hasta la inserción de las ramas
	Diametro de copa (m) (DC)	Se midió dos direcciones, la dirección norte-sur y la dirección Este-Oeste, y tomando como referencia la proyección de los extremos de la misma sobre el suelo.
	Habito del fuste (HF)	Se utilizó una escala visual 1 a 2 donde 1 se asigna a fuste recto y 2 a fuste pendulado
Hoja	Largo de la hoja (cm) (LH)	Se midió con cinta métrica del ápice hasta la base de la hoja (Promedio de 10 hojas).
	Ancho de la hoja (cm) (AH)	Se midió con cinta métrica el ancho de la hoja (Promedio de 10 hojas).
	Color del brote terminal (CBT)	Se utilizó escala visual 2 y 4 donde 2 se asigna a brotes de color rojo y 4 se asigna al color verde pálido
Flor	Numero de Flores por cojin (FXC)	Se contó el número de flores por cojin.
	Numero de cojines por metro lineal (CML)	Se contó el numero de cojines que hay en un metro lineal en ramas plagiotropicas
	Color de la flor (CF)	2=Blanca; 4=Blanca con violeta; 6=Violeta
Fruto	Forma del fruto (FF)	1=Amelonado; 2=Cundeamor; 3= Angoleta; 4= Calabacillo; 5=Elíptica; 6=Oblongo y 7= Aovado
	Color del fruto inmaduro (CFI)	1=verde; 2=verde con pigmentación rojiza; 3=rojo con pigmentación verde; 4=violeta
	Color del fruto maduro (CFM)	3=Amarrillo; 5= rojo; 7= Café
	Rugosidad del fruto (RF)	2=Rugoso; 4=Semirugoso; 6=Liso
	Constricción basal (CB)	3=Ausente; 5=Ligero; 7=Intermedio; 9=Fuerte
	Forma del ápice (FA)	1=Atenuado; 2= Agudo; 3=Obtuso; 4= Redondeado; 5= Apezonado
	Peso del fruto (g) (PF)	Peso promedio de 20 frutos
	Longitud del fruto (cm) (LF)	Se midió con un Pie de rey (Promedio de 20 frutos)
	Diametro del fruto (cm) (DF)	Se midió con un Pie de rey (Promedio de 20 frutos)
	Arista del fruto (cm) (AF)	Se utilizó cinta métrica en la medición de la parte externa del fruto (Promedio de 20 frutos)
	Grosor de Cáscara (cm) (GC)	Se midió con un Pie de rey (Promedio de 20 frutos)
	Número de semillas por fruto (SXF)	Se contó el número de semillas por fruto
	Número de frutos por árbol (NFA)	Se contó el número de frutos por árbol
	Semillas	Peso fresco de las semillas (g) (PFS)
Forma de las almendras (FAL)		3= Aplanada; 5= Ovoides; 7= Cilíndrica
Color interno de almendras (CIA)		1= Violeta; 2= Rosadas; 3= Crema
Agrónomico	Índice de grano (IG) (g)	Se utilizó 100 semillas por cada árbol y seco; luego fue dividido por 100
	Índice de mazorca (IM) (número)	Es el número de semillas secas para obtener un kilo de cacao seco.
	Incidencia de moniliasis (IMr) (%)	Se contó el número de frutos afectados con inóculo natural de <i>Moniliophthora roreri</i>
	Incidencia de monaloniom (IMo) (%)	Se contó el número de frutos afectados con el insecto <i>Monaloniom</i> sp.



**FIGURA 1.** PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS OBSERVADAS EN MATERIALES DE *T. CACAO* EN CAQUETÁ. **A.** ARQUITECTURA DEL ÁRBOL. **B.** ÓRGANO FLORAL. **C.** INCIDENCIA DE *MONALONION* SP. **D.** INCIDENCIA DE *M. RORERI*. **E.** MORFOLOGÍA DEL FRUTO. **F.** ALMENDRAS. **G.** COLOR INTERNO COTILEDÓN. **H.** BROTE FOLIAR.



**FIGURA 2.** PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS OBSERVADAS EN MATERIALES DE *T. GRANDIFLORUM* EN CAQUETÁ. **A.** ARQUITECTURA DEL ÁRBOL. **B.** MORFOLOGÍA DEL FRUTO. **C.** INCIDENCIA DE *M. RORERI*. **D.** COLOR INTERNO COTILEDÓN. **E.** ALMENDRAS. **F.** ÓRGANO FLORAL. **G.** MORFOLOGÍA FOLIAR.

## SELECCIÓN DE LOS MEJORES MATERIALES DE *THEOBROMA*

Luego de 18 meses de seguimiento *in situ* y a partir del uso de los índices de selección (Cuadro 1) se realizó la valoración final de los materiales evaluados y se calificaron los 20 materiales de *Theobroma* más sobresalientes para su posterior conservación *ex situ* e inclusión en un programa de mejoramiento genético con potencial para la región.

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

Las variables cuantitativas se analizaron mediante un ANOVA multivariado y se realizó una prueba de Tukey al 5% para determinar las diferencias entre los pares de medias. Se realizó un análisis de correlación múltiple de Pearson ( $\alpha=0,05$ ). Las variables cualitativas se organizaron en tablas de frecuencias y un análisis de componentes principales (ACP) para identificar las variables cuantitativas con más peso en la diferenciación de los diferentes materiales de *Theobroma*. A



**FIGURA 3.** PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS OBSERVADAS EN MATERIALES DE *T. BICOLOR* EN CAQUETÁ. **A.** ARQUITECTURA DEL ÁRBOL. **B.** MORFOLOGÍA FOLIAR. **C.** ÓRGANO FLORAL. **D.** COLOR INTERNO COTILEDÓN. **E.** ALMENDRAS. **F.** MORFOLOGÍA DEL FRUTO.

partir de un gráfico biplot se analizó la relación entre materiales y descriptores morfoagronómicos cuantitativos. Se realizó un análisis de conglomerados para conformar grupos y analizar las similitudes entre los diferentes materiales con base en los descriptores morfoagronómicos cuantitativos y cualitativos. Finalmente mediante un análisis procrustes se determinó el grado de consenso entre los datos de las variables cuantitativas y cualitativas. Las pruebas estadísticas se corrieron en el programa InfoGen versión 2012 (Balzarini y Di Rienzo 2012).

## RESULTADOS

### Parámetros estadísticos de resumen para variables cuantitativas

El cuadro 4 resume los parámetros estimados para cada una de las variables cuantitativas. Se encontraron diferencias altamente significativas entre las tres especies de *Theobroma* para los 19 caracteres cuantitativos estudiados ( $P < 0.01$ ). En general, los materiales de *T. grandiflorum* fueron los más vigorosos

**CUADRO 4.** PRINCIPALES PARÁMETROS ESTADÍSTICOS ASOCIADOS A 19 DESCRIPTORES MORFOAGRONÓMICOS CUANTITATIVOS DE TRES ESPECIES DE THEOBROMA

Especie	<i>T. cacao</i>				<i>T. grandiflorum</i>				<i>T. bicolor</i>			
	Rango	Media	DE <sup>2</sup>	CV(%) <sup>3</sup>	Rango	Media	DE <sup>2</sup>	CV(%) <sup>3</sup>	Rango	Media	DE <sup>2</sup>	CV(%) <sup>3</sup>
<b>Arquitectura del árbol</b>												
Altura total (AT) (m)	2,50-13,70	6,41a <sup>1</sup>	2,07	32,32	5-10,90	8,48b	1,58	18,59	4-11,80	6,80ab	2,55	37,52
Altura del fuste (AFA) (m)	0,10-2,30	0,97a	0,62	63,67	0,30-3,20	1,34a	0,91	67,83	0,60-4,20	2,20b	1,26	57,14
Dímetro de copa (DC) (m)	3,36-10,25	5,88a	1,49	25,39	5,23-9,80	6,35a	1,34	21,05	2,44-6,38	4,70a	1,51	32,12
<b>Hoja</b>												
Largo de hoja (LH) (cm)	21,16-37,86	28,90a	3,91	13,53	33,88-42,34	37,35b	2,93	7,85	26,24-31,86	28,67a	2,38	8,31
Ancho de la hoja (AH) (cm)	7,96-13,76	9,90a	1,21	12,17	7,98-11,94	10,308a	1,03	10,01	13,66-17,36	14,90b	1,19	8,02
<b>Flores</b>												
N° Flores/cojín (FXC) (número)	1-6	2,52a	1,34	53,19	1-4	2,33a	1,07	45,99	1-3	2,00a	0,82	40,82
N° Conijos / m lineal (CML) (número)	2-30	15,25a	6,75	44,30	2-18	7,67b	4,52	58,95	2-10	4,14b	2,79	67,45
<b>Fruto</b>												
Longitud del fruto (LF) (cm)	13,10-21,60	17,93a	2,19	12,19	17-25,10	21,29b	2,58	12,13	19,30-29,30	23,07b	3,39	14,68
Dímetro del fruto (DF) (cm)	7,10-13,10	8,84a	1,23	13,96	9-11,90	10,74b	0,83	7,69	12,40-16,30	13,73c	1,51	11,01
Arista (AF) (cm)	17,40-26,60	21,68a	2,49	11,50	22,20-30,90	27,02b	2,75	10,20	23,88-37	29,14b	4,56	15,65
Grosor de cascara (GCF) (cm)	0,90-1,50	1,19a	0,15	12,34	0,40-0,90	0,65b	0,16	24,10	0,90-1,30	1,11a	0,20	18,27
Peso de la mazorca (PF) (g)	286-1.399,80	677,86a	201,82	29,77	1.00 <sup>3</sup> , 4.1.823,10	1404,91b	224,81	16,00	1.480-2.959,40	2060,30c	608,45	29,53
<b>Producción</b>												
Semillas por fruto (SXF) (número)	23-50	41,23a	5,21	12,63	30-44	38,83a	4,49	11,56	39-51	43,57a	3,74	8,57
Peso fresco de las semillas (PFS) (g)	80,60-261,30	160,62a	41,01	25,53	47,1,60-867,60	667,67b	119,13	17,84	57,1,60-1.100,50	828,29c	188,24	22,73
Índice de semillas (IG) (g)	1-1,70	1,24a	0,20	15,94	1,30-3	2,42b	0,52	21,40	2,20-3,90	3,07c	0,67	21,90
Índice de mazorcas (IM) (número)	14,80-36,70	19,83a	3,96	19,98	8,10-19	11,489b	3,77	32,82	5,81-9,10	7,256c	1,30	17,97
Número de fruto por árbol (NFA) (número)	59-236	113,61a	45,30	39,87	38-92	64,83b	17,52	27,03	15-66	36,57b	18,08	49,44
<b>Enfermedades y plagas</b>												
Incidencia de momiasis (IMr) (%)	0-54,16	8,28a	13,64	164,70	0-53,19	8,20a	15,47	188,61	0-20	7,42a	9,40	126,71
Incidencia de molanionio (IMo) (%)	0-57,66	8,79a	16,78	190,77	0-0	0,00a	0,00	0,00	0-0	0,00a	0,00	0,00

<sup>1</sup> Letras diferentes en las columnas indican diferencias estadísticas significativas entre los medios con un nivel de significancia del 5% por la prueba de Tukey

<sup>2</sup> DE: Desviación estándar

<sup>3</sup> CV: Coeficiente de variación

seguidos de *T. cacao* y *T. bicolor*. En cuanto a los caracteres reproductivos, en *T. cacao* se presentó la mayor variación de flores por cojín (1-6) y promedio de cojines por metro lineal (15,25). Los frutos más grandes y pesados correspondieron a los materiales de *T. bicolor*, seguidos de *T. grandiflorum* y *T. cacao* ( $P < 0,05$ ). Sin embargo, en *T. cacao* se presentó el mayor grosor en la cáscara del fruto (1,19 cm) ( $P < 0,05$ ). En términos de producción, los mayores índices de grano y mazorcas se presentaron en *T. bicolor*, seguido por *T. grandiflorum* y *T. cacao* ( $P < 0,05$ ). Sin embargo, el cacao común es el que más mazorcas en promedio produce por año (113,61). *T. bicolor* fue la especie con mayor promedio de almendras por mazorca (43,57) ( $P > 0,05$ ). Los parámetros de reacción a enfermedades y plagas mostraron revelaron ausencia de *Monalonionsp.* En *T. bicolor* y *T. grandiflorum*, además de una baja incidencia en *T. cacao* (8,79%). En relación con la reacción a *M. royeri*, la mayor incidencia media de la enfermedad fue de 15,47% en *T. cacao* ( $P > 0,05$ ).

## Grado de correlación entre los descriptores cuantitativos

73 coeficientes de correlación fueron significativos ( $P < 0,05$ ), sin embargo, sólo los coeficientes mayores a 0,5 fueron considerados como asociaciones lineales representativas de los parámetros evaluados. Las correlaciones más importantes se observaron entre caracteres reproductivos. En este sentido, los frutos más grandes y pesados, presentaron una mayor masa de semillas y éstas a su vez tuvieron un mayor peso seco (IG) debido a que se determinaron altas relaciones directas significativas entre el peso fresco de las semillas (PFS) con el peso del fruto (PF) ( $r = 0,93$ ). El PFS presentó una importante relación con el índice de grano (IG) ( $r \geq 0,7$ ) y las medidas morfométricas del fruto arista (AF), diámetro

(DF) y longitud (LF). El PF también presentó coeficientes de correlación  $r \geq 0,7$  con éstas mismas medidas morfométricas. Los materiales con mayor índice de mazorca (IM) correspondieron a aquellos con mayor número de cojines florales por metro lineal (CML) ( $r = 0,56$ ). En términos fitosanitarios, la probabilidad de ataque de la plaga *Monalonionsp.* (IMo) fue mayor a medida que se incrementó el número de frutos por árbol (NFA) ( $r = 0,54$ ). La incidencia de moniliasis (IMr) presentó una baja correlación con CML ( $r = 0,38$ ;  $P < 0,05$ ).

La mayor relación indirecta correspondió al IM y IG ( $r = -0,87$ ). Del mismo modo, el IM presentó una fuerte correlación negativa con PFS ( $r = -0,83$ ), PF ( $r = -0,78$ ), DF ( $r = -0,71$ ) y AF ( $r = -0,64$ ). De acuerdo con lo anterior, también se encontró que los materiales con mayor IG correspondieron a aquellos con menor CML ( $r = -0,57$ ). El IG por ejemplo no se correlacionó significativamente con el número de semillas por fruto (SXF) ( $r = -0,04$ ). No se presentó ninguna correlación negativa significativa que involucrara las variables IMr o IMo.

## Análisis de frecuencia para descriptores cualitativos

La mayor variación (%) en el hábito del fuste se presentó en los materiales de *T. cacao* con un 77,42% de fuste erectos frente a un 22,58% de fustes pendulados (Cuadro 5). Los brotes foliares verdes dominaron en *T. cacao* (90,32%), mientras que en *T. grandiflorum* fueron el 16,67%. En *T. bicolor* predominó el brote de color rojo (85,71%). En *T. cacao* el porcentaje de materiales con flor blanca representaron el 96,77% a diferencia de las otras dos especies que no presentaron flores de éste color.

**CUADRO 5.** FRECUENCIA RELATIVA (%) DE 11 DESCRIPTORES MORFOAGRONOMICOS CUALITATIVOS DE TRES ESPECIES DE *THEOBROMA*

Descriptor	Categoria	Porcentaje (%)		
		<i>T. cacao</i>	<i>T. grandiflorum</i>	<i>T. bicolor</i>
Habitudo del fuste (HF)	Erecto	77,42	50	57,14
	Pendulado	22,58	50	42,86
Color del brote (CB)	Café	NA	75	14,29
	Rojo	9,68	8,33	85,71
	Verde	90,32	16,67	NA
Color de flor (CF)	Roja	NA	NA	100
	Roja y blanca	3,23	100	NA
	Blanca	96,77	NA	NA
Forma del fruto (FF)	Amelonado	22,58	NA	NA
	Angoleta	25,81	NA	NA
	Calabacillo	6,45	NA	NA
	Cundeamor	45,17	NA	NA
	Eliptico	NA	NA	14,29
	Aovado	NA	8,33	71,43
	Oblongo	NA	91,67	14,29
Color del fruto inmaduro (CFI)	Café	NA	100	NA
	Rojo	9,68	NA	NA
	Rojo con franjas verdes	3,23	NA	NA
	Verde con pigmentación rojiza	9,68	NA	NA
	Verde	77,42	NA	100
Color fruto maduro (CFM)	Amarillo	93,50	NA	100
	Café	3,23	100	NA
	Rojo	3,23	NA	NA
Rugosidad del fruto (RF)	Liso	12,91	100	14,29
	Rugoso	32,26	NA	NA
	Semirrugoso	54,84	NA	85,71
Constricción basal del fruto (CBF)	Ausente	9,68	NA	85,71
	Fuerte	6,45	NA	NA
	Intermedio	45,16	58,33	14,29
	Ligero	38,71	41,67	NA
Forma de apice (FA)	Agudo	35,49	25	NA
	Apezonado	45,16	41,67	NA
	Atenuado	12,9	NA	NA
	Obtuso	3,23	8,33	14,29
	Redondeado	3,23	25	85,71
Forma almendras (FAL)	Aplanada-Ovoide	93,2	100	NA
	Cilíndrica-Ovoide	9,68	NA	NA
	Intermedia-Eliptica	NA	NA	100
Color interno almendra (CIA)	Blanca	3,23	100	100
	Violeta	96,77	NA	NA

NA: No aplica

En *T. bicolor* todas las flores fueron rojas con blanco y en *T. grandiflorum*, rojas (Cuadro 5). El 45,17% de los materiales de *T. cacao* presentaron mazorcas cundeamor (ausente en las otras dos especies), con constricción basal intermedia similar a *T. grandiflorum*, pero ausente en la mayoría de los materiales de *T. bicolor* (85,71%) y rugosidad principalmente semi-rugosa con ápice apezonado en la mayoría de materiales de *T. cacao* y *T. grandiflorum*. En *T. bicolor* el ápice del fruto fue redondeado (85,71%). Los estados de fruto inmaduro y maduro en *T. grandiflorum* fueron iguales (café), mientras que en *T. cacao* y *T. bicolor* osciló principalmente de verde a amarillo. Todas las almendras de *T. grandiflorum* y *T. bicolor* fueron blancas, en el primer caso aplanada-ovoides y en el segundo intermedia-elíptica. En *T. cacao* la mayoría de almendras fueron aplanadas-ovoides de color violeta.

## ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES PARA DESCRIPTORES CUANTITATIVOS

En el cuadro 6 se presentan las variables cuantitativas más importantes resultado del análisis de los coeficientes de los vectores característicos asociados a los primeros cinco componentes. El ACP realizado a partir de la matriz de correlación indicó que cinco componentes aportaron el 80,58% de la variación total, estos cinco parámetros tuvieron raíces características mayores a la unidad con un aporte a la variabilidad total del 71.65% (Cuadro 6).

**CUADRO 6.** COMPONENTES PRINCIPALES PARA LOS 13 DESCRIPTORES MORFOAGRONÓMICOS CUANTITATIVOS MÁS IMPORTANTES DE 50 ÁRBOLES PROMISORIOS DE *THEOBROMA* (*T. CACAO*, *T. GRANDIFLORUM* Y *T. BICOLOR*)

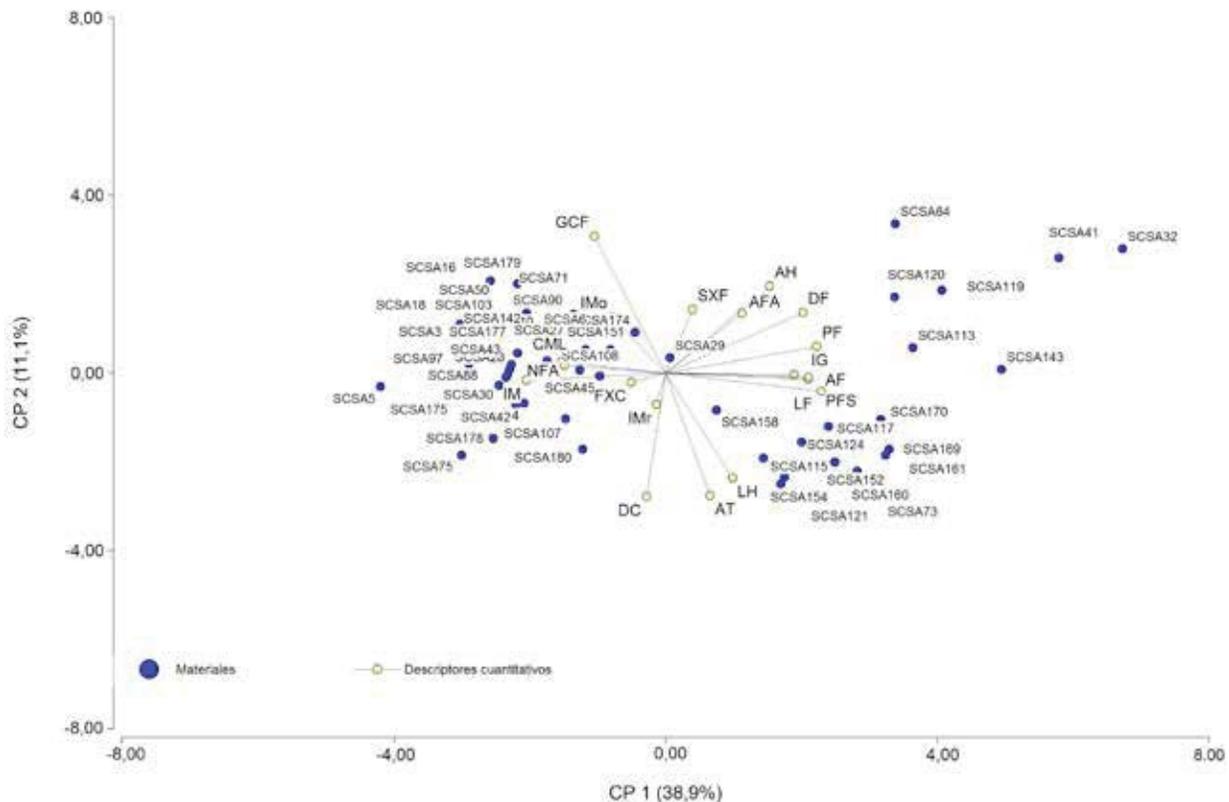
	Componentes principales				
	1	2	3	4	5
λValor característico	7,38	2,11	1,57	1,46	1,10
Varianza del componente (%)	38,85	11,12	8,24	7,67	5,76
% de varianza acumulada	38,85	49,98	58,22	65,89	71,65
	Autovectores				
<b>Arquitectura del árbol</b>					
Altura total (AT) (m)	0,10	-0,42	-0,16	-0,23	0,09
<b>Hoja</b>					
Ancho de la hoja (AH) (cm)	0,23	0,30	0,12	0,07	0,11
<b>Flores</b>					
N° Conijes /m lineal (CML) (número)	-0,23	0,04	0,42	0,16	0,09
<b>Fruto</b>					
Longitud del fruto (LF) (cm)	0,29	0,00	0,17	-0,10	-0,13
Diametro del fruto (DF) (cm)	0,31	0,21	0,13	-0,04	-0,01
Arista (AF) (cm)	0,32	-0,02	0,18	-0,11	-0,06
Grosor de cascara (GCF) (cm)	-0,16	0,47	0,20	-0,07	-0,01
Peso de la mazorca (PF) (g)	0,34	0,09	0,13	-0,04	0,01
<b>Producción</b>					
Peso fresco de las semillas (PFS) (g)	0,35	-0,06	0,05	0,04	0,05
Indice de semillas (IG) (g)	0,32	-0,01	0,05	0,10	0,19
Indice de mazorcas (IM) (número)	-0,31	-0,03	0,10	0,09	-0,22
Numero de fruto por árbol (NFA) (número)	-0,23	0,03	0,11	-0,42	0,38
<b>Enfermedades</b>					
Incidencia de moniliasis (IMr) (%)	-0,02	-0,11	0,64	-0,09	-0,30

A partir del gráfico biplot del ACP por materiales de *Theobroma* se pudo evidenciar tres grupos, los cuales se discriminan principalmente por los descriptores de producción y fruto (Cuadro 6 y Figura 4). En el primer grupo se encuentran los materiales que están más asociados con las variables de producción IG y las variables morfométricas de fruto AF, DF y PF que tienen mayor aporte a la variación total (Cuadro 6). Estos materiales según el cuadro 1 corresponden a la especie *T. bicolor* (maraco). En el segundo grupo, se observan los materiales de *T. grandiflorum* (copozú) (Cuadro 1) que están más asociados al índice de producción PFS y las variables morfométricas de fruto AF y LF (Cuadro 6). En el tercer grupo, que corresponden a los materiales de *T. cacao* (cacao común), se observa la mayor asociación con las variables de producción IM y NFA, así como la mayor incidencia de *M. royeri* (IMr).

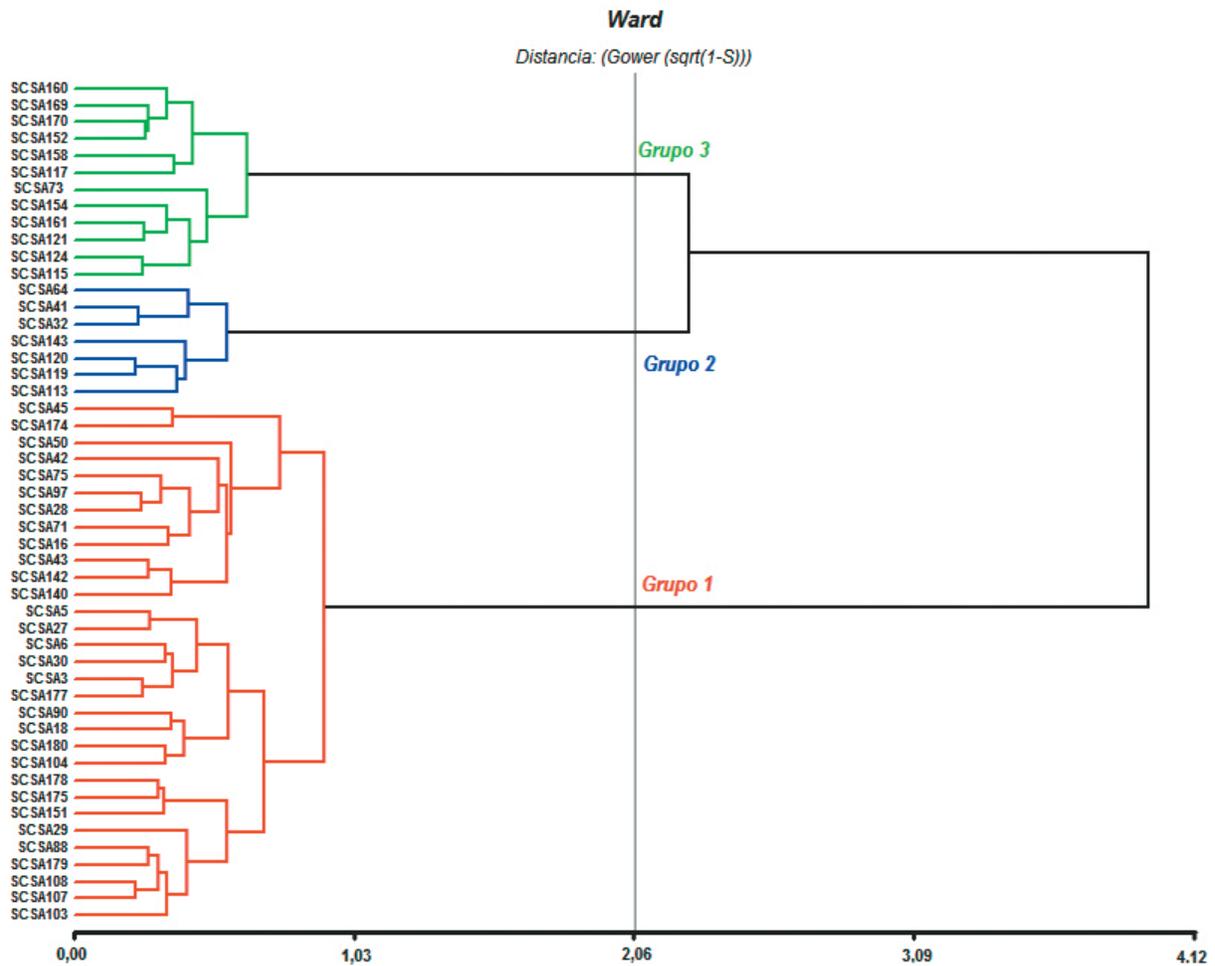
## ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS PARA DESCRIPTORES CUANTITATIVOS Y CUALITATIVOS

El análisis por conglomerados jerárquicos presentado en la figura 5 permitió identificar tres grupos bien diferenciados (2,06). El grupo (1) de color rojo está conformado por 31 materiales de *T. cacao*, el grupo (2) en color azul por 12 materiales de *T. grandiflorum* y el grupo (3) por 7 materiales de *T. bicolor*. Estos grupos coincidieron con los generados por el ACP.

Se encontró mayor similitud entre los materiales de *T. cacao* con *T. bicolor*, que con respecto a los materiales de *T. grandiflorum*, debido a que el análisis de distancias y similitudes de Gower (Figura 5) mostró que la mayor distancia (3,95) se presentó



**FIGURA 4.** ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES (GRÁFICO BIPLLOT) DE 19 DESCRIPTORES MORFOAGRONÓMICOS CUANTITATIVOS Y SU RELACIÓN CON 50 MATERIALES PROMISORIOS DE *THEOBROMA* (*T. CACAO*, *T. GRANDIFLORUM* Y *T. BICOLOR*). CLAVE: AT: ALTURA TOTAL; AFA: ALTURA DE FUSTE; DC: DIÁMETRO DE COPA; LH: LARGO DE LA HOJA; AH: ANCHO DE LA HOJA; FXC: FLORES POR COJÍN; CML: COJINES POR METRO LINEAL; LF: LONGITUD DEL FRUTO; DF: DIÁMETRO DEL FRUTO; AF: ARISTA; GCF: GROSOR DE CÁSCARA; PF: PESO DE LA MAZORCA; SXF: SEMILLAS POR FRUTO; PFS: PESO FRESCO DE LAS SEMILLAS; IG: ÍNDICE DE SEMILLAS; IM: ÍNDICE DE MAZORCAS; NFA: NÚMERO DE FRUTOS POR ÁRBOL; IMr: INCIDENCIA DE MONILIASIS; IMO: INCIDENCIA DE MONALONIO.



**FIGURA 5.** ANÁLISIS DE CONGLOMERADO JERÁRQUICO PRODUCIDO MEDIANTE EL ALGORITMO WARD Y LA DISTANCIA DE GOWER SOBRE LA MATRIZ DE SIMILARIDAD OBTENIDA A PARTIR DEL ANÁLISIS DE 22 DESCRIPTORES MORFOAGRONÓMICOS (11 CUANTITATIVOS Y 11 CUALITATIVOS) DE 50 MATERIALES PROMISORIOS DE *THEOBROMA* (*T. CACAO*, *T. GRANDIFLORUM* Y *T. BICOLOR*).

entre materiales de *T. cacao* (SCSA 103) y *T. grandiflorum* (SCSA 113), mientras que la menor distancia (0,22) ocurrió entre materiales de *T. grandiflorum* (SCSA 119 y SCSA 120).

## ANÁLISIS DE CONSENSO ENTRE DESCRIPTORES CUANTITATIVOS Y CUALITATIVOS

El consenso entre los descriptores morfoagronómicos cualitativos y cuantitativos fue de 83,9 %. Los

auto valores indican que la variabilidad explicada a través de los ejes 1 y 2 de la descomposición de la matriz de consenso fue 48,6 % (Cuadro 7), con los 28 primeros ejes se explica el 100 % de la variabilidad. Los materiales que tuvieron mayor consenso fueron SCSA32 (0,089), SCSA42 (0,086), SCSA64 (0,079) y SCSA41 (0,074) y el de menor consenso fue el material SCSA151 con 0,011.

**CUADRO 7.** ANÁLISIS PROCRUSTES GENERALIZADO (APG) COMBINANDO DESCRIPTORES MORFOAGRONÓMICOS CUANTITATIVOS Y CUALITATIVOS DE 50 MATERIALES PROMISORIOS DE THEOBROMA (*T. CACAO*, *T. GRANDIFLORUM* Y *T. BICOLOR*)

Autovalores	Valor	Proporción	Proporción acumulada
1	0,28	0,34	0,34
2	0,12	0,15	0,49
<b>Cuadro de Análisis de la Varianza</b>			
<b>Sumas de cuadros dentro por caso</b>			
	Consenso	Residual	Total
SCSA 3	0,01	0,00	0,02
SCSA 5	0,05	0,01	0,07
SCSA 6	0,02	0,00	0,02
SCSA 16	0,03	0,01	0,04
SCSA 18	0,02	0,01	0,03
SCSA 27	0,02	0,00	0,03
SCSA 28	0,02	0,01	0,02
SCSA 29	0,01	0,01	0,02
SCSA 30	0,03	0,01	0,04
SCSA 32	0,09	0,01	0,10
SCSA 41	0,07	0,01	0,08
SCSA 42	0,09	0,01	0,09
SCSA 43	0,02	0,01	0,03
SCSA 45	0,02	0,01	0,03
SCSA 50	0,05	0,01	0,07
SCSA 64	0,08	0,00	0,08
SCSA 71	0,02	0,00	0,02
SCSA 73	0,05	0,00	0,05
SCSA 75	0,04	0,00	0,05
SCSA 88	0,02	0,00	0,02
SCSA 90	0,03	0,01	0,04
SCSA 97	0,02	0,00	0,03
SCSA 103	0,02	0,00	0,03
SCSA 104	0,03	0,01	0,04
SCSA 107	0,01	0,01	0,02
SCSA 108	0,01	0,00	0,02
SCSA 113	0,04	0,01	0,05
SCSA 115	0,02	0,00	0,03
SCSA 117	0,03	0,00	0,03
SCSA 119	0,04	0,00	0,05
SCSA 120	0,04	0,01	0,04

Autovalores	Valor	Proporción	Proporción acumulada
1	0,28	0,34	0,34
2	0,12	0,15	0,49
<b>Cuadro de Análisis de la Varianza</b>			
<b>Sumas de cuadros dentro por caso</b>			
	Consenso	Residual	Total
SCSA 121	0,03	0,00	0,03
SCSA 124	0,03	0,01	0,03
SCSA 140	0,03	0,01	0,04
SCSA 142	0,02	0,00	0,03
SCSA 143	0,06	0,01	0,07
SCSA 151	0,01	0,01	0,02
SCSA 152	0,04	0,01	0,05
SCSA 154	0,03	0,01	0,04
SCSA 158	0,03	0,01	0,03
SCSA160	0,04	0,01	0,04
SCSA 161	0,03	0,01	0,04
SCSA 169	0,04	0,00	0,04
SCSA 170	0,03	0,01	0,04
SCSA 174	0,05	0,01	0,06
SCSA 175	0,03	0,01	0,04
SCSA 177	0,02	0,01	0,02
SCSA 178	0,02	0,01	0,04
SCSA 179	0,03	0,01	0,03
SCSA 180	0,03	0,01	0,03
Total	1,68	0,32	2,00
<b>Sumas de cuadrados dentro por grupo</b>			
	Consenso	Residual	Total
Grupo 1	0,84	0,16	1,00
Grupo 2	0,84	0,16	1,00
Total	1,68	0,32	2,00

## VALORACIÓN FINAL DE LOS MEJORES MATERIALES (ELITE) DE THEOBROMA

De acuerdo con el cuadro 8, los 20 mejores materiales de *Theobroma* seleccionados luego de 18

meses de seguimiento *in situ* fueron: a) *T. cacao* (SCSA 179, SCSA 29, SCSA 45, SCSA 50, SCSA 142, SCSA 177, SCSA 30, SCSA 16, SCSA 43, SCSA 88 y SCSA 90); b) *T. grandiflorum* (SCSA 73, SCSA 117, SCSA 161, SCSA 170, SCSA 115 y SCSA 124,); y c) *T. bicolor* (SCSA 120, SCSA 119 y SCSA 41).

**CUADRO 8.** COMPORTAMIENTO PROMEDIO DE LOS ÍNDICES DE SELECCIÓN DURANTE 18 MESES DE EVALUACIÓN Y PUNTAJE ALCANZADO POR CADA UNO DE LOS 50 MATERIALES DE *THEOBROMA* SELECCIONADOS EN CAQUETÁ.

Identificación	Especie	Incidencia de moniliasis (%)	No. Frutos/ árbol/año	Índice de semilla (g)	Índice de Mazorca	No. Almendras/ mazorca	Calificación/ Puntaje
SCSA 73	<i>T. grandiflorum</i>	0	92	2,8	9,53	40	15
SCSA 117	<i>T. grandiflorum</i>	0	83	3	8,13	41	15
SCSA 120	<i>T. bicolor</i>	0	45	3,2	5,81	44	15
SCSA 161	<i>T. grandiflorum</i>	0	85	2,8	8,1	44	15
SCSA 170	<i>T. grandiflorum</i>	0	72	3	8,1	41	15
SCSA 119	<i>T. bicolor</i>	0	38	3,8	6,2	43	14
SCSA 179	<i>T. cacao</i>	5,55	208	1,4	14,8	49	14
SCSA 29	<i>T. cacao</i>	0	130	1,4	15	48	14
SCSA 41	<i>T. bicolor</i>	0	21	3,9	5,9	43	13
SCSA 45	<i>T. cacao</i>	0	97	1,7	16,3	36	12
SCSA 50	<i>T. cacao</i>	0	124	1,4	19	36	12
SCSA 115	<i>T. grandiflorum</i>	4,44	68	2,6	12,8	30	12
SCSA 124	<i>T. grandiflorum</i>	0	38	2,3	10,8	43	12
SCSA 142	<i>T. cacao</i>	0	85	1,6	17,3	36	12
SCSA 177	<i>T. cacao</i>	0	102	1,5	17	39	12
SCSA 30	<i>T. cacao</i>	5,52	236	1,5	16,5	39	12
SCSA 16	<i>T. cacao</i>	3,65	143	1,3	18,8	40	11
SCSA 43	<i>T. cacao</i>	18,4	173	1,4	16,7	43	11
SCSA 88	<i>T. cacao</i>	2,7	185	1,2	18,4	43	11
SCSA 90	<i>T. cacao</i>	0	122	1,3	18,3	41	11
SCSA 103	<i>T. cacao</i>	15,6	104	1,1	17,6	50	11
SCSA 108	<i>T. cacao</i>	4,16	91	1,1	20	47	11
SCSA 113	<i>T. bicolor</i>	14,2	48	2,8	9,1	39	11
SCSA 143	<i>T. bicolor</i>	17,6	66	3,3	7,5	41	11
SCSA 152	<i>T. grandiflorum</i>	53,1	71	2,4	10,6	39	11
SCSA 169	<i>T. grandiflorum</i>	17,3	65	2,7	9,6	38	11
SCSA 104	<i>T. cacao</i>	5,08	89	1,1	19,2	48	11
SCSA 121	<i>T. grandiflorum</i>	9,09	38	2,1	10,9	43	11
SCSA 180	<i>T. cacao</i>	0	85	1	20,4	46	11
SCSA 154	<i>T. grandiflorum</i>	0	53	1,7	18,9	31	11
SCSA 42	<i>T. cacao</i>	54,1	186	1,4	17,4	40	10
SCSA 18	<i>T. cacao</i>	17,6	104	1,5	17,3	37	10
SCSA 28	<i>T. cacao</i>	2,12	82	1,3	19,7	39	10
SCSA 32	<i>T. bicolor</i>	20	23	2,3	8,4	51	10
SCSA 64	<i>T. bicolor</i>	0	15	2,2	7,88	44	10
SCSA 151	<i>T. cacao</i>	0	98	1,2	18,8	44	10
SCSA 158	<i>T. grandiflorum</i>	0	63	1,3	19	40	10
SCSA 160	<i>T. grandiflorum</i>	14,2	50	2,4	11,4	36	10
SCSA 174	<i>T. cacao</i>	0	87	1,2	18,9	42	10

Identificación	Especie	Incidencia de moniliasis (%)	No. Frutos/ árbol/año	Indice de semilla (g)	Indice de Mazorca	No. Almendras/ mazorca	Calificación/ Puntaje
SCSA 175	<i>T. cacao</i>	0	158	1,2	21,4	39	10
SCSA 140	<i>T. cacao</i>	3,7	90	1,2	20,4	41	10
SCSA 3	<i>T. cacao</i>	15	151	1,1	22,5	38	9
SCSA 97	<i>T. cacao</i>	0	72	1	24,5	41	9
SCSA 178	<i>T. cacao</i>	0	85	1	21,6	44	9
SCSA 75	<i>T. cacao</i>	5,4	86	1,2	21,1	38	9
SCSA 27	<i>T. cacao</i>	1,65	65	1	23,8	39	8
SCSA 71	<i>T. cacao</i>	0	59	1	22,2	45	8
SCSA 6	<i>T. cacao</i>	16,3	85	1	21,7	43	7
SCSA 107	<i>T. cacao</i>	37	70	1	21,4	44	6
SCSA 5	<i>T. cacao</i>	42,9	70	1,2	36,7	23	5

## DISCUSIÓN

Los descriptores utilizados permitieron discriminar que entre los fenotipos, las características evaluadas son altamente heredables y pueden ser detectados a simple vista y se expresan de igual forma en todos los ambientes analizados. Los órganos de *Theobroma* más importantes para la descripción morfológica, la flor y el fruto, son aquellos que están menos influenciados por el ambiente, la importancia decrece en las hojas, tronco, ramas, raíces y los tejidos celulares. Los descriptores con mejor relación y con mayor importancia en la discriminación de los materiales de *Theobroma* estuvieron asociados principalmente con los parámetros reproductivos (fruto y producción) más que con los vegetativos, lo cual coincide con lo reportado por Santos *et al.* (2012) quienes evaluaron la variabilidad morfológica de cuatro especies de *Theobroma* en la Amazonia brasileña; en su estudio encontraron que *T. grandiflorum* fue la especie más eficiente en la producción de frutos. En éste estudio la mayor producción de frutos por árbol se observó en *T. cacao*. En ambos estudios, se encontró que las especies *T. grandiflorum* y *T. bicolor* presentaron los mayores promedios en los descriptores cuantitativos pero divergieron entre sí especialmente en el color de la flor, el fruto y la semilla.

De acuerdo con Cuatrecasas (1964), los frutos de *Theobroma* presentan gran variabilidad en la forma, tamaño y color, especialmente en *T. cacao*, lo cual

explicaría el por qué los tres grupos (tres especies de *Theobroma*) obtenidos en este estudio a través del análisis de conglomerados discriminados principalmente por caracteres morfométricos del fruto, difieren del agrupamiento mostrado por Santos *et al.* (2012) quienes agruparon las especies con mayores índices morfométricos reproductivos (*T. bicolor*, *T. cacao* y *T. grandiflorum*) y un grupo de especies con frutos pequeños, cáscaras delgadas y bajo número de semillas (*T. obovatum*, *T. subincanum* y *T. speciosum*).

Las diferencias observadas aquí en el peso seco de las semillas coincide con el estudio de Santos *et al.* (2012) quienes reportaron los mayores promedios en *T. bicolor* y *T. grandiflorum*. Al respecto, Enríquez y Soria (1968) indican que además del peso, los descriptores de semilla más importantes son el diámetro, el largo y el espesor de semillas. No obstante Pound (1938) concluyó que el peso de semilla es el carácter más confiable para la descripción e identificación de clones de cacao, pero indica que dado que el tamaño de semilla es un carácter muy variable, se deben usar muestras grandes para su determinación. Según Clement *et al.* (2003) las variación en la forma, longitud, ancho y peso de la semilla en *T. cacao* está relacionada con el origen genético de los materiales, el cual también influye en la heredabilidad y en los componentes aditivos de varianza para el peso del grano (Fallo y Cilas 1998). Las variables cuantitativas más importantes con capacidad discriminatoria en nuestro estudio fueron

similares a las reportadas por otros autores principalmente en *T. cacao*. El peso de la semilla (IG) coincidió con lo reportado por Bekele *et al.* (2006) pero contrastó con lo reportado por Arguello y Mejía (2000) quienes encontraron un mayor aporte atribuido al peso de la mazorca. Bekele *et al.* (2006) reportaron que la longitud y el número de semillas, el número de óvulos y la longitud del sépalo son variables a considerar por su capacidad discriminadora. Del mismo modo, afirmaron que las variables cualitativas color del pedicelo, color de la mazorca madura, constricción basal y textura de la superficie poseen alta variabilidad. En éste estudio el color del fruto maduro (CFM) y la rugosidad del fruto (RF) permitieron diferenciar *T. grandiflorum* de las otras dos especies. La constricción basal fuerte permitió discriminar *T. cacao* de los otros cacaos amazónicos.

Lerceteau *et al.* (1997) reportó para *T. cacao* la mayor variabilidad de descriptores asociados al fruto con lo que demostró la no independencia de las variables peso de la mazorca completa y vacía, longitud de la mazorca, diámetro de la mazorca y grosor de la cáscara, con un  $r \geq 0,7$ . Lo anterior coincide con lo reportado en éste estudio en donde las mayores correlaciones se presentaron entre las variables morfométricas de fruto. Sin embargo, la mayor correlación se observó entre el peso fresco de las semillas y el peso del fruto. Venturieri (1996), Alves *et al.* (2003b) y Santos *et al.* (2012) reportaron altas correlaciones positivas entre los caracteres foliares, diferentes a los resultados mostrados aquí en donde las correlaciones de estas variables fueron inferiores a 0,5. La mayor relación se presentó entre el ancho de la hoja (AH) y la altura del fuste (AFA) ( $r = 0,41$ ). La AH fue la variable vegetativa con mayor variabilidad en los diferentes materiales (Cuadro 5). Según Langlade *et al.* (2005), estas diferencias morfológicas entre las especies en general involucran modificaciones en forma y tamaño, cuyas variaciones aún son poco entendidas. Según Santos *et al.* (2012) los rasgos florales exhiben fuertes diferencias entre las especies de *Theobroma*. En éste estudio la mayor diferencia se observó en la variable número de cojines por metro lineal (CML) la cual osciló entre 4,14 y 15,25 para *T. bicolor* y *T. cacao* respectivamente. Los mayores valores observados para los caracteres florales en éste estudio fueron similares a los reportados por Santos *et al.* (2012) quienes reportaron los mayores promedios en *T. grandiflorum*. Sin

embargo difieren de los datos analizados por Engels *et al.* (1980) para algunas especies silvestres (*T. bicolor*, *T. grandiflorum*, *T. speciosum* y *T. subcanum*) especialmente en relación con el número de flores por cojín.

En este estudio se consideraron además de los parámetros morfológicos y de rendimiento, la reacción a plagas (*Monalonionsp.*) y enfermedades (*M. royeri*). Según Phillips *et al.* (2003), las enfermedades fungosas son uno de los principales factores limitantes para la actividad cacaotera mundial. La moniliasis (*M. royeri*) es una de las enfermedades más dañinas, la sucesiva diseminación de esta enfermedad en América tropical, ha reducido significativamente su potencial productivo, causando inclusive el abandono de muchas plantaciones. Salinas (1997) afirma que el chinche *Monalonionsp.* Puede ocasionar pérdidas de hasta el 80% de la producción. Existen dos especies de importancia que atacan al cacao: *M. dissimulatum* y *M. annulipes*, el primero, se propaga en plantaciones con exceso de sombra sin poda y el segundo cuando hay exceso de luminosidad. Los resultados del ACP aquí generados, mostraron un bajo poder discriminatorio del descriptor asociado a *M. royeri* (IMr) y ninguna contribución importante del descriptor asociado a *Monalonionsp.* (IMo). La comparación de medias mostró por ejemplo que no existen diferencias significativas entre las tres especies de *Theobroma* para ambos descriptores, y hubo ausencia de la enfermedad en 24 de los 50 materiales evaluados. Lo que contrasta con el estudio de Arguello *et al.* (1999) quienes no encontraron materiales con ausencia de reacción a *M. royeri* en 44 clones élite de cacaos procedentes del nororiente colombiano. Aranzau *et al.* (2009) sólo reportaron ausencia de la enfermedad en tres de los 38 árboles élite seleccionados en su mayoría en el Departamento de Santander (Colombia). Phillips-Mora *et al.* (2012) reportaron en 42 clones de cacao de la colección de CATIE (Costarrica) una incidencia natural de moniliasis que osciló entre 5 y 73% luego de 7 años de seguimiento. Los resultados reportados aquí mostraron un rango inferior de aparición de la enfermedad (0 – 54,16%), lo que representa una valiosa oportunidad de incorporar genes de resistencia a *M. royeri* en materiales susceptibles de alto rendimiento dentro de un programa convencional de mejoramiento genético (Phillips-Mora 1996). En esta investigación no se reportó presencia de

*Monalonionsp.* en las especies *T. grandiflorum* y *T. bicolor*. En *T. cacao* la incidencia de la plaga osciló entre 0 y 57.66%, aunque el valor medio no difirió significativamente de las otras especies de *Theobroma* ( $P > 0,05$ ). El rango de aparición de la plaga varía según Donis (1988) de las condiciones de iluminación dentro de la plantación, el patrón de lluvias y temperaturas, la altitud y el manejo agronómico del cacaotal. De ahí que la tolerancia a la plaga esté más relacionada con aspectos exógenos que por atributos propios del material genético.

El consenso entre la configuración cuantitativa y la cualitativa fue de 83,9 %, los que indica que las variables cualitativas brindan una información similar, lo cual es válido con el uso de descriptores cualitativos. Los genotipos que tuvieron mayor consenso en este estudio tuvieron por tanto la mayor coincidencia en el análisis comparativo de caracteres cuantitativos y cualitativos. Este tipo de análisis fue utilizado por July Martínez (2007) para relacionar información molecular y morfológica en materiales élites de *T. cacao* reportando un consenso de 70,8 % que consideran como una correlación significativa entre la información molecular y morfológica.

## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este estudio permiten concluir que los 50 materiales de *Theobroma* caracterizados morfoagronómicamente en el departamento del Caquetá representan una importante fuente de germoplasma con potencial para su incorporación comercial en la región, destacándose la selección *in situ* de 11 materiales élite de *T. cacao*, seis de *T. grandiflorum* y tres de *T. bicolor*. Se destacar además que en el 48% de los materiales seleccionados hubo ausencia de moniliasis y no se presentó la plaga *Monalonion* en los materiales de *T. grandiflorum* y *T. bicolor*.

Es necesario utilizar técnicas moleculares con el propósito de precisar la identificación de los genotipos de los 50 materiales evaluados. Este estudio es el primer reporte para la Amazonia colombiana, sobre la caracterización de rasgos agronómicos de interés y su integración con diferentes rasgos morfológicos polimórficos entre especies de *Theobroma*, los cuales pueden ayudar a direccionar cruzamientos

interspecíficos en programas de mejoramiento genético con potencial para la región.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen: a) al proyecto “Selección y evaluación *in situ* de árboles elites del genero *Theobroma*, como estrategia de rescate y aprovechamiento del germoplasma local con potencial para la Amazonia colombiana”- Contrato RC No.628-2011- Fiduciara Bogotá – Colciencias – Sinchi por el soporte económico a la presente investigación.b) al doctor Edilson Giraldo Giraldo, Director Ejecutivo de Acamafrut y a todo el personal técnico y administrativo por su apoyo y contribución al proyecto; y c) a los productores de cacao propietarios de las fincas donde se realizó la selección y seguimiento *in situ* de los árboles de *Theobroma* en Caquetá.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alverson WS, BA Whitlock, R Nyffler, C Bayer, DA Baum. 1999. Phylogeny of the core Malvales: evidence from ndhF sequence data. *Am J Bot* 86:1474–1486p.
- Aranzazu F, N Martínez, G Palencia, R Coronado, D Rincón. 2009. Mejoramiento Genético para incrementar la producción y productividad del sistema de cacao en Colombia. Unión temporal cacao de Colombia uno. FEDECACAO–CORPOICA. 128p.
- Arguello O, LA Mejía, N Contreras, JA Toloza. 1999. Manual de caracterización morfoagronómica de clones elite de cacao (*Theobroma cacao* L) en el nororiente Colombiano. Corpoica. 60p.
- Arguello O, LA Mejía. 2000. Variabilidad morfoagronómica de 59 árboles elite de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Santander. En: Mejía LA, O Arguello (eds). Tecnología para el mejoramiento del sistema de producción de cacao. Corpoica 50-53p.
- Alves RM, S Huhn, M Loureiro, do E. S. T. 2003a. Caracterização de acessos de cupuaçuzeiro através de caracteres bromatológicos da polpa do fruto. Belém:Embrapa-CPATU, 1998. 4 p. (Pesquisa em Andamento, 2003).
- Alves RM, AA Franco, ED Cruz, A Figueira. 2003b. Seleção de descritores botânico-agronômicos para caracterização de germoplasma de

- cupuaçuzeiro. Pesq.agropec. bras., Brasília, v. 38, n. 7, 807-818p.
- Bekele FL, I Bekele, DR Butler, G Bidaisee. 2006. Patterns of morphological variation in a sample of cacao (*Theobroma cacao* L.) germplasm from the International Cocoa Genebank, Trinidad. *Genetic Resources and Crop Evolution*.433-948.
- Balzarini MG, Di Rienzo JA. InfoGen versión 2012. FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.info-gen.com.ar>.
- Clement D, AM Risterucci, JC Motamayor, J N'Goran, C Lanaud .2003. Mapping quantitative trait loci for bean traits and ovule number in *Theobroma cacao* L. *Genome* 46:103-111
- Cuatrecasas J. 1964. Cacao and its allies: a taxonomic revision of the genus *Theobroma*. *Contr US NatlHerb* 35:379-614p.
- Donis, J. 1988. Incidencia de plagas insectiles en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) bajo sol y sombra en la zona Atlántica de Costa Rica. Turrialba, CR. CATIE. 193p.
- Engels J, Bartley BG, Enriquez GA. (1980). Cacao descriptors, their states and modus operandi. Turrialba, Costa Rica. CATIE. Tech Bull 7:196.
- Enriquez G. J Soria. 1968. The variability of certain bean characteristics of cacao (*Theobroma cacao* L.). *Euphytica*, 17: 114-120.
- Enríquez G. 1991. Descripción y evaluación de los recursos genéticos. In Castillo R., Estrella J, Tapia C. eds. *Técnicas para el manejo y uso de los recursos genéticos vegetales*. Editorial Porvenir. Quito EC. p. 116-160p.
- Fallo J, C Cilas. 1998. Etude géométrique de la granulométrie des fèves de cacaoyer (*Theobroma cacao* L.). Relation avec des caractères agronomiques. *Plantations, Recherche, Développement* 5:195-200
- FEDECACAO (Federación Nacional de Cacaoteros, CO). 2005. Informe segundo trimestre del programa de Investigación para la Ejecución del Plan de Inversiones y Gastos.
- Gobernación del Caquetá. 2007. Documento de diagnóstico y Plan de acción de la cadena productiva de cacao y su agroindustria en el Departamento del Caquetá. 62p.
- Hernández MS, JA Barrera (eds). 2009. Frutas amazónicas competitividad e innovación. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas. 100p.
- IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, CO). 2009. Datos meteorológicos del Departamento del Caquetá. Estación Limnimétrica de Montañita, Caquetá. Bogotá, DC. 3p.
- IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, CO). 2010. Caquetá, características geográficas. Imprenta nacional de Colombia. Bogotá. 373p
- July Martínez W. 2007. Caracterización morfológica y molecular del Cacao Nacional Boliviano y de selecciones élites del Alto Beni, Bolivia. M Sc thesis CATIE, Turrialba, Costa Rica
- Langlade NB, X Feng, T Dransfield, L Copsey, AI Hanna, C The'baud, ABangham, A Hudson, E Coen. 2005. Evolution through genetically controlled allometry space. *Proc Natl Acad Sci USA* 102:10221-10226
- Lerceteau E, Robert T, Petiard V. and Crouzillat D. 1997. Evaluation of the extent of genetic variability among *Theobroma cacao* accessions using RAPD and RFLP markers. *Theor. Appl. Genet.* 95(1/2): 10-19.
- Lim TK. 2012. *Edible Medicinal And Non-Medicinal Plants: Volume 3, Fruits*.
- Melgarejo LM, MS Hernández, JA Barrera, M Carrillo. 2006. *Theobroma* Oferta y potencialidades de un banco de germoplasma del genero *Theobroma* en el enriquecimiento de los sistemas productivos de la región amazónica. Instituto amazónico de investigaciones científicas Sinchi. Universidad Nacional de Colombia. 223p.
- Palencia C, Coronado R, Bastidas S, Mejía LA. 2008. Identificación, selección y multiplicación de árboles elite o de alto rendimiento de cacao (*Theobroma cacao* L) con la participación de los agricultores. CORPOICA. 35p.
- Phillips -Mora, W. 1996. Studies at CATIE on moniliasis resistance (*Moniliophthoralaroreri* Cif. & Par.) Evans *et al.*). In: International Workshop on the Contribution of Disease Resistance to Cocoa Variety Improvement, INGENIC. 1999. Bahía, Brazil. 111-117p.
- Phillips-Mora W, Krauss U, Evans H, Wilkinson M, 2003. Genetic diversity of the cacao pathogen *Moniliophthoralaroreri* (Cif.) Evans *et al.* in tropical America. *Proceedings of the Fourteenth International Cocoa Research Conference*. Accra, Ghana: CocoaProducers' Alliance, (Abstract, 60).
- Phillips M W, L Arciniegas, QA Mata, JC Motamayor. 2012. Catálogo de clones de cacao de clones de cacao seleccionado por el CATIE para siembras comerciales. 1ª ed.- Turrialba, C. R:

- CATIE.68p.: il.- (Serie técnica. Manual técnico/CATIE; no. 105).
- Pound, FJ. 1938. Cacao and Witches broom disease (*Marasmiusperniciosus*) of South America with notes on other species of *Theobroma*. Yuilles-Printery. Port-of-Spain, Trinidad and Tobago. Reprinted 1982 In Arch. Cocoa Res. 1:20-27.
- PROEXPORT COLOMBIA (Promoción de turismo, inversión y exportaciones, CO). 2012. Cacao colombiano fino y de aroma. 15 p.
- Santos CR, JL Pires, RX Correa. 2012. Morphological characterization of leaf, flower, fruit and seed traits among Brazilian *Theobroma* L. species. Centro de Pesquisas do Cacau (CEPEC-CEPLAC), Ilhé'us, BA, Brazil. Genet Resour Crop Evol (2012) 59:327–345p.
- Salinas, G.1997. Biología y Ecología del chinche del cacao *Monaloniondissimulatum* DISTANT, 1883 (Hemiptera: Miridae) en la Región de Sapecho-Alto Beni, Universidad Mayor.
- Secretaría de Agricultura Caquetá-ACAMAFRUT (Asociación Departamental de Productores de Cacao y Especies Maderables, CO). 2012. Estadísticas Sector Cacaotero Departamento del Caquetá 2011. 3 p.
- Silva CRS, A Figueira. 2005. Phylogenetic analysis of *Theobroma* (Sterculiaceae) based on Kunitz-like trypsin inhibitor sequences. Plant SystEvol 250:93–104p.
- Vargas A, E Somarriba, M Carballo. 2005. Dinámica poblacional del chinche (*Monaloniondissimulatum* Dist.) y daño de mazorcas en plantaciones orgánicas de cacao del Alto Beni, Bolivia. Revista de Agroforestería en las Américas N ° 4 3–4 4. 72-76p.
- Venturieri GA. 1996. Estimativa da área foliar e do peso de folhas secas de plantas jovens de cupuaçu (*Theobromagrandiflorum* (Wild. Ex Spreng.) Schum.–Sterculiaceae)