



Estudio morfoagronómico de materiales de cacao (*Theobroma cacao* L.) de diferentes zonas productoras en Colombia

Morfoagronomic study of cacao materials (*Theobroma cacao* L.) from different production areas in Colombia

Martha del Pilar López-Hernández¹
Angelica Piedad Sandoval-Aldana²
Jairo García-Lozano³
Jenifer Criollo-Nuñez⁴



DOI: <https://doi.org/10.19053/01228420.v18.n3.2021.12570>

RESUMEN: Las características de los productos agrícolas están influenciadas por el ecosistema, desde la perspectiva de los factores bióticos y abióticos, los cuales producen en la planta respuestas fisiológicas y a su vez en los frutos propiedades fisicoquímicas únicas, que son la base para las denominaciones de origen y estrategias de agregación de valor al producto en el mercado actual. En el presente trabajo se caracterizaron morfoagronómicamente diez materiales de cacao (*Theobroma cacao* L.) seleccionados por su destacada productividad (FSV41, FLE3, FEAR5, FSA12, FEC2, SCC23, SCC80, SCC55, ICS95 y CCN51), los cuales fueron establecidos en los departamentos de Santander (931 m s. n. m.), Huila (885 m s. n. m.) y Arauca (204 m s. n. m.), principales zonas productoras de cacao en Colombia. Para la evaluación de las características físicas de los materiales recolectados se utilizaron 21 descriptores cuantitativos encargados de definir la variabilidad física del fruto según el clon y el lugar de recolección. Los datos recolectados fueron analizados mediante la matriz de correlación de Pearson y análisis de componentes principales, se logró identificar aquellos descriptores que más aportan a la variabilidad entre materiales (índice de mazorca, relación longitud diámetro, peso y diámetro de semilla y peso y longitud de fruto). Además, se pudo comprobar el efecto del lugar de cosecha sobre las características físicas de los materiales resaltando la importancia del estudio de adaptación previo a la siembra del material de cacao, con el objetivo de garantizar una cosecha de cacao Premium, productiva y de calidad para la industria, que compita en el mercado.

PALABRAS CLAVE: Descriptores, Diversidad Genética, Componentes Principales, Influencia Del Ambiente, Genotipo

ABSTRACT: The characteristics of agricultural products are influenced by the ecosystem from the perspective of biotic and abiotic factors, which produce physiological responses in the plant and, in turn, unique physicochemical properties in the fruits, which are the basis for designations of origin and strategies of adding value to the product in the current market. In the present work, ten cacao materials (*Theobroma cacao* L.) selected for their outstanding productivity (FSV41, FLE3, FEAR5, FSA12, FEC2, SCC23, SCC80, SCC55, ICS95 and CCN51) were morphoagronomically characterized, which were established in the departments of Santander (931 m.a.s.l.), Huila (885 m.a.s.l.) and Arauca (204 m.a.s.l.), the main cocoa producing areas in Colombia. For the evaluation of the physical characteristics of the collected materials, 21 quantitative descriptors were used in charge of defining the physical variability of the fruit according to the clone and the place of collection. The collected data were analyzed using Pearson's correlation matrix and principal component analysis, it was possible to identify those descriptors that contribute the most to the variability between materials (ear index, relation length-diameter, weight and diameter of seed and weight and length of fruit). In addition, it was possible to verify the effect of the place of harvest on the physical characteristics of the materials, highlighting the importance of the adaptation study prior to sowing the cocoa material, with the aim of guaranteeing a Premium, productive, and quality cocoa harvest for the industry, that competes in the market.

KEYWORDS: Descriptors, Genetic Diversity, Main Components, Influence of The Environment, Genotype.

FECHA DE RADICACIÓN: 9 de marzo de 2021 **FECHA DE APROBACIÓN:** 26 de agosto de 2021

CITAR COMO: López Hernández, M. del P., Sandoval Aldana, A. P., García Lozano, J., & Criollo Nuñez, J. (2021). Estudio morfoagronómico de materiales de cacao (*Theobroma cacao* L.) de diferentes zonas productoras en Colombia. *Cien. Agri.*, 18(3): 99-109. <https://doi.org/10.19053/01228420.v18.n3.2021.12570>.

- 1 M.Sc. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – Agrosavia - C.I. Nataima - Espinal, Colombia. mlopezh@agrosavia.co
 ORCID: 0000-0002-4214-0306
- 2 Ph.D. Universidad del Tolima. Ibagué, Colombia. apsandovala@ut.edu.co ORCID: 0000-0002-0850-6394
- 3 Ph.D. Universidad del Tolima. Ibagué, Colombia. jgarcialo@ut.edu.co ORCID: 0000-0001-8774-3912.
- 4 M.Sc. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – Agrosavia - C.I. Nataima - Espinal, Colombia. jcriollo@agrosavia.co
 ORCID: 0000-0002-1623-4966.

I. Introducción

Las poblaciones de individuos que conforman una especie vegetal están bajo una continua interacción de adaptación, donde intervienen factores físicos, biológicos, bioquímicos y anatómicos, por ello cada especie adapta la información contenida en el genoma de acuerdo con sus necesidades (Ortiz et al., 2021). Resultado de lo anterior es la acumulación de la información genética que cada especie guarda entre los miembros de su población y lo transmite a las subsiguientes generaciones a través del tiempo; de esta manera, aunque la población de una especie comparte características comunes pueden presentar muchas variantes individuales, las cuales se denomina variabilidad genética, esto permite a cada especie adaptarse a los cambios que se presentan en su entorno (Sandoya, 2019).

La planta de cacao *Theobroma cacao* L. es altamente alógama, indicando que la polinización cruzada es del 95 %, aunque existe la posibilidad de algunos materiales se autopolinicen; como consecuencia de lo anterior, la mayoría de los materiales genéticos son heterocigotos (Sandoval et al., 2020). Desde el punto de vista económico, Colombia es un país que cuenta con ventajas comparativas para la producción cacao ya que posee una amplia diversidad genética y se encuentra en una posición geográfica estratégica, por su ubicación en la zona ecuatorial, con una gran variedad de pisos térmicos y disponibilidad de recursos hídricos (Cely, 2017). El cacao es una especie perteneciente a la clase de las Dicotiledóneas, familia Malvaceae y del género *Theobroma*, se desarrolla en alturas de 0 a 1200 m.s.n.m., incidiendo de forma relevante en la variabilidad de las características del fruto, así como en el material genético (Bautista et al., 2021).

En Colombia en el año 2000 se llevó a cabo la modernización de cultivos mediante plantaciones de clones de cacao; lo anterior produjo un aumento en la diversidad genética. Desde 2006, Fedecacao y Agrosavia cuentan con parcelas experimentales en seis regiones cacaoteras del país, en donde cuentan con cinco materiales regionales SCC (Selección Colombia Corpoica) 23, 41, 52, 58, 80, cinco materiales regionales de Fedecacao FLE 3 (Fedecacao Lebrija), FEAR 5 (Fedecacao Arauquita), FSA 12 (Fedecacao Saravena), FEC 2 (Fedecacao El Carmen), FSV 41 (Fedecacao San Vicente) y dos materiales introducidos a Colombia como testigos ICS 95 y CCN 51 (Martínez et al., 2009). De acuerdo con la investigación de González et al. (2018) realizaron la identificación y evaluación de árboles élite de cacao, con características de producción, adaptabilidad y calidad sobresaliente en la subregión de Urabá, seleccionando cuatro grupos por el análisis de conglomerados; el primer grupo se caracterizó por tener alto rendimiento a diferencia de los demás grupos, recomendando evaluar la relación compatible de los clones respecto a los demás materiales ya propagados y establecidos. Por su parte, Martínez et al. (2018) realizaron una caracterización a nivel morfoagronómico de 42 genotipos y molecular de 70 genotipos, colectados en diferentes

regiones productoras de Colombia, logrando verificar la relación existente entre los genotipos seleccionados y parentales utilizados en programas de mejoramiento genético. En la presente investigación se caracterizaron morfoagronómicamente diez materiales de cacao seleccionados por Fedecacao y Agrosavia por su alto rendimiento en productividad y parámetros de calidad básicos (FSV41, FLE3, FEAR5, FSA12, FEC2, SCC23, SCC80, SCC55, ICS95 y CCN51), establecidos en diferentes zonas del país con el propósito de evidenciar la influencia del lugar de colecta sobre sus características físicas.

II. Materiales y Métodos

Se realizó la caracterización morfoagronómica de 10 materiales de cacao: FSV41, FLE3, FEAR5, FSA12, FEC2, SCC23, SCC80, SCC55, ICS95 y CCN51, provenientes de Santander (931 msnm.), Huila (885 msnm.) y Arauca (204 msnm.), principales zonas productoras del país. La colecta fue manejada bajo los lineamientos señalados en Resolución 1466 del 03 de diciembre de 2014. Para la caracterización morfoagronómica se seleccionaron seis frutos por árbol de cada material en etapa de madurez fisiológica, conservando la uniformidad en color, forma y tamaño, además de la ausencia de daños biológicos. Las muestras fueron transportadas al laboratorio de Ciencias Agroalimentarias del C.I. Nataima de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA (Espinal, Tolima) en donde se evaluaron 21 descriptores de acuerdo con el protocolo establecido (Tabla I).

TABLA I. Descriptores morfoagronómicos evaluados en la caracterización de diez materiales de cacao (*Theobroma cacao* L.)

	Descriptor	Código		Descriptor	Código
Fruto	Peso del Fruto	P.F.	Semilla	Peso de Semilla con Mucilago	P.S.H.
	Longitud del Fruto	L.F.		Porcentaje de Semilla con Mucilago	R.S.H.
	Diámetro del Fruto	D.F.		Peso de Semilla sin Mucilago	P.S.S.
	Relación Longitud Diámetro	R.L.D.		Porcentaje de Semilla sin Mucilago	R.S.S.
Cáscara	Peso de Cáscara	P.C.		Índice de Mazorca	I.M.
	Porcentaje de Cáscara	R.C.		Índice de Grano	I.G.
	Grosor de Cáscara	G.C.		Longitud de Semilla	L.S.
Placenta	Peso de Placenta	P.PL.		Diámetro de Semilla	D.S.
	Porcentaje de Placenta	R.P.		Grosor de Semilla	G.S.
Semilla	Número de Semillas	N.S.		Mucilago	Peso de Mucilago
				Porcentaje de Mucilago	R.P.

Fuente: Elaboración propia.

Los respectivos pesos se determinaron con una balanza analítica marca Ohaus®, modelo Adventure Pro AV412 de precisión 0.01 g, registrando los valores en gramos (g). La longitud, diámetro y grosor de los diferentes caracteres fueron medidos con un calibrador digital con precisión de 0.01 mm (Mitutoyo®), reportando los valores en milímetros (mm). El color del fruto fue determinado de acuerdo con la tabla de tejidos vegetales de Munsell. El número de semillas se refiere a la cantidad de semillas que posee cada fruto de cacao. El índice de mazorca es el número promedio de frutos o mazorcas necesarias para obtener un kg de cacao seco y el índice de grano es el peso promedio de grano en gramos, tomado de una muestra de 100 granos de cacao seco.

Análisis estadístico

Los datos recolectados a partir de la caracterización morfoagronómica fueron analizados empleando modelos lineales generales y mixtos, considerando el lugar de recolección y los materiales como efectos fijos y la repetición como factor aleatorio. Estos modelos se seleccionaron de acuerdo con los criterios de información de Akaike y Bayesianos. La prueba de comparación de medias utilizada fue Di Rienzo, Guzmán y Casanoves (DGC). Los análisis descriptos se realizaron con el software RStudio versión 3.5.1 (RStudio Inc, Boston, EE. UU.); así mismo se realizó el análisis de correlación, mediante la matriz de Pearson, con el fin de detectar aquellos descriptores con correlación alta (>70 %) y significativa. A partir de la matriz de correlación, se desprende el análisis de componentes principales (ACP), en donde se identificaron los descriptores que aportan el mayor porcentaje de variabilidad. La dispersión de las poblaciones se graficó sobre el plano determinado por los dos primeros componentes principales. El procesamiento de los datos del ACP se realizó mediante el paquete estadístico SPAD versión 3.5. (Bécue & Valls, 2000).

III. Resultados y Discusión

Los resultados mostraron que la zona, el material y la interacción fueron estadísticamente significativos ($P \leq 0.05$) (Tabla II). En la prueba de comparación de medias ajustadas (Tabla III) se observó que el material CCN51 proveniente de Arauca presentó valores sobresalientes de porcentaje de mucilago y en Santander sobresalió en cuanto a número de semillas; Sotomayo et al. (2017) en su estudio agruparon al material CCN51 junto con INIAPT 094, INIAPT 484 e INIAPT 384 por compartir valores altos de peso fresco y mazorcas sanas Rojas et al. (2020) en la búsqueda de identificar indicadores potenciales de madurez para cosecha de frutos de cacao, encontraron que el material CCN51 sobresalió por el peso de semilla. El material FEAR 5 proveniente del departamento del Huila, presentó los mayores valores de longitud del fruto

y relación longitud diámetro, el FEC 2 proveniente de Arauca sobresalió por presentar los valores más altos de peso de semilla sin mucilago y porcentaje de semilla s. El FSV41 es un material seleccionado por la federación colombiana de cacaoteros – FEDECACAO por ser resistente a *Moniliophthora roreri* y por su calidad (Gómez, 2018); para dicho material proveniente de Arauca se identificaron valores altos de peso de placenta y porcentaje de mucilago y los procedentes de Santander sobresalieron por valores altos de diámetro de semilla e índice de mazorca. Respecto al material SCC23, se observó que el proveniente de Arauca fue uno de los materiales de mayor grosor de semilla. El material SCC55 proveniente de Santander presentó los valores más altos en cuanto a peso del fruto, porcentaje de cáscara, peso de placenta y grosor de semilla, aunque con valores por debajo a los reportados por Argüello et al. (1999).

Existen dos descriptores de gran relevancia para determinar el rendimiento, estos son índice de mazorca e índice de grano. El índice de mazorca está influenciado por factores genéticos y ambientales como la edad de la planta, la localización de los frutos en el árbol y las condiciones de suelo y fertilidad (Estivarez & Maldonado, 2019). Martínez et al. (2009) realizaron una clasificación de materiales según el índice de grano, calificando como alto los que poseen índice de grano ≥ 1.8 g, medio 1.4-1.7 g y bajo 1.3 g. En este sentido, SCC23 proveniente del Huila fue uno de los materiales con mayor índice de mazorca y menor índice de grano, características indeseadas para la industria procesadora de licor de cacao y sus derivados. El material FEC2 proveniente de Arauca reportó valores bajos en índice de mazorca y altos en índice de grano, dejando en evidencia sus características promisorias para el beneficio y procesamiento.

TABLA II. Resumen general de las pruebas hipótesis obtenidas a partir de los modelos lineales generales y mixtos para cada una de las características sobresalientes en diez materiales de cacao (*Theobroma cacao* L.). Los valores de F y p son resultado de los factores zona y materiales y su interacción. Los p-valores con diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$) sobresalen con negrilla y presentan doble*

Característica	Zona		Material		Zona*Material	
	Valor F	Valor p	Valor F	Valor p	Valor F	Valor p
P.F.	40.77	<0.0001	8.79	<0.0001	12.71	<0.0001**
L.F.	17.82	<0.0001	5.85	<0.0001	9.41	<0.0001**
R.L.D.	51.51	<0.0001	10.41	<0.0001	2.30	0.0042**
R.C.	6.62	0.0019	25.26	<0.0001	15.58	<0.0001**
P.P.L.	26.30	<0.0001	30.29	<0.0001	4.58	<0.0001**
N.S.	6.99	0.0014	7.37	<0.0001	2.12	0.0091**
P.S.S.	205.70	<0.0001	23.08	<0.0001	15.29	<0.0001**
R.S.S.	198.13	<0.0001	64.64	<0.0001	29.52	<0.0001**
I.M.	37703.94	<0.0001	2937.78	<0.0001	1899.69	<0.0001**
G.S.	6.56	0.0020	2.04	0.0408	2.68	0.0008**
D.S.	13.48	<0.0001	25.48	<0.0001	6.55	<0.0001**
R.P.	179.16	<0.0001	14.30	<0.0001	19.39	<0.0001**

TABLA III. Medias ajustadas, error estándar y su respectiva significancia ($P \leq 0.05$) de características sobresalientes en diez materiales de cacao (*Theobroma cacao* L.)

Zona	Clon	P.F.	L.F.	R.L.D.	R.C.	P.P.L.	N.S.	P.S.S.	R.S.S.	I.M.	G.S	D.S.	R.P.
Arauca	CCN 51	600.74±28.2 ^c	209.63±3.45 ^d	2.26±0.04 ^c	59.1±2.6 ^b	15.08±1.16 ^b	48±2.57 ^b	63.06±5.02 ^d	10.59±1.23 ^f	15.51±0.16 ^f	9.96±0.45 ^b	13.71±0.41 ^b	27.79±1.98 ^a
	FEAR 5	450.92±47.12 ^d	191.4±5.85 ^d	2.4±0.11 ^b	65.49±2.14 ^b	13.03±1.6 ^b	44.2±4.36 ^b	44.33±5.38 ^c	9.74±0.99 ^f	22.51±0.16 ^d	8.82±0.32 ^b	12.09±0.44 ^c	21.85±1.05 ^b
	FEC 2	677.24±17.49 ^c	205.92±4.34 ^d	2.36±0.04 ^b	63.72±2.36 ^b	11.75±0.66 ^b	45.8±3.6 ^b	193.49±8.6 ^a	30.76±0.98 ^a	5.5±0.12 ^c	8.51±0.49 ^b	15.4±0.43 ^b	5.78±1.05 ^d
	FLE 3	610.42±32.9 ^c	207.61±6.63 ^d	2.84±0.09 ^b	63.59±2.79 ^b	15.65±2.43 ^b	48.2±2.42 ^b	63.32±8.92 ^d	10.42±0.79 ^f	15.35±0.14 ^f	8.64±0.28 ^b	13.61±0.41 ^b	23.46±1.21 ^b
	FSA 12	707.8±43.08 ^c	223.81±6.83 ^c	2.36±0.05 ^b	72.82±1.86 ^b	14.71±1.34 ^b	48±1.9 ^b	65.46±4.63 ^d	9.32±0.69 ^f	16.52±0.18 ^f	9.72±0.2 ^b	11.75±0.31 ^c	15.8±1.04 ^f
	FSV 41	625.28±51.69 ^c	195.25±5.84 ^d	2.15±0.07 ^c	48.19±3.39 ^c	28.62±3.1 ^a	46.8±0.8 ^b	87.01±10.17 ^c	14.09±0.9 ^e	13.45±0.14 ^f	9.93±0.55 ^b	17.12±0.58 ^a	33.18±2.81 ^a
	ICS 95	494.81±26.07 ^d	192.48±4.88 ^d	2.4±0.06 ^b	76.26±1.67 ^a	3.05±0.96 ^d	36.8±1.39 ^b	34.36±6.33 ^c	6.95±1.06 ^f	27.5±0.16 ^f	8.35±0.27 ^b	10.88±0.27 ^c	16.18±1.08 ^c
	SCC 23	823.86±45.54 ^b	242.08±6.9 ^b	2.47±0.08 ^b	79.33±2.83 ^b	12.53±1.72 ^b	48±5.61 ^b	119.72±9.39 ^f	14.36±0.96 ^e	8.41±0.16 ^f	11.74±0.45 ^b	14.89±0.54 ^b	4.81±1.67 ^d
	SCC 80	596.04±40.89 ^c	223.02±6.57 ^c	2.49±0.06 ^b	73.76±0.65 ^b	9.47±1.44 ^c	42.2±3.54 ^b	42.22±4.88 ^b	7.13±0.56 ^f	24.58±0.15 ^c	9.17±0.52 ^b	11.08±0.71 ^c	17.54±0.77 ^c
	SSC 55	711.8±57.73 ^c	205.62±6.56 ^d	2.24±0.06 ^c	70.33±2.37 ^a	15.74±2.09 ^b	40.2±1.66 ^b	52.45±4.9 ^e	7.41±0.53 ^b	19.37±0.16 ^f	9.44±0.26 ^b	13.74±0.34 ^b	20.03±2.39 ^b
Huila	CCN 51	393.46±28.2 ^b	207.32±3.45 ^d	2.64±0.04 ^b	60.67±2.64 ^b	12.64±1.12 ^b	49.2±3.99 ^b	50.8±5.02 ^e	13.48±1.23 ^e	19.43±0.17 ^f	8.95±0.31 ^b	12.18±0.41 ^c	8.39±1.98 ^b
	FEAR 5	667.59±47.12 ^c	266.57±5.85 ^a	3.02±0.11 ^a	61.78±2.1 ^b	14.89±1.71 ^b	45.4±1.03 ^b	60.2±5.38 ^d	9.3±0.99 ^f	17.51±0.14 ^b	10.52±0.53 ^a	13.15±0.44 ^b	3.97±1.05 ^d
	FEC 2	622.73±17.49 ^c	230.98±4.34 ^c	2.68±0.04 ^b	64.4±2.38 ^b	8.85±0.72 ^c	44±4.39 ^b	54.07±8.6 ^c	8.6±0.98 ^f	18.4±0.16 ^f	9.21±0.5 ^b	13.85±0.43 ^b	4.58±1.05 ^d
	FLE 3	534.2±32.9 ^f	230.91±6.63 ^c	2.84±0.09 ^a	59.48±2.68 ^b	14.67±2.29 ^b	46.2±1.16 ^b	46.83±8.92 ^e	8.88±0.79 ^f	20.65±0.17 ^e	9.64±0.3 ^b	13.37±0.41 ^b	7±1.21 ^d
	FSA 12	521.97±43.08 ^d	220.91±6.83 ^c	2.53±0.05 ^b	76.63±1.88 ^b	7.69±1.15 ^c	38.4±4.47 ^b	42.22±4.63 ^c	8.15±0.69 ^f	27.43±0.15 ^b	9.5±0.37 ^b	11.62±0.31 ^c	3.27±1.04 ^d
	FSV 41	424.55±51.69 ^d	201.67±5.84 ^d	2.46±0.07 ^b	46.68±3.3 ^c	15.22±1.8 ^b	43.6±1.89 ^b	69.67±10.17 ^d	16.53±0.9 ^f	14.47±0.14 ^k	9.24±0.5 ^b	15.34±0.58 ^b	7.66±2.81 ^d
	ICS 95	390.13±26.07 ^d	212.37±4.88 ^d	2.83±0.06 ^b	71.97±1.66 ^b	4.73±0.95 ^d	39±1.64 ^b	48.73±6.33 ^c	12.68±1.06 ^e	22.35±0.19 ^d	10.3±0.55 ^a	13.42±0.27 ^b	3.37±1.08 ^d
	SCC 23	506.48±45.54 ^d	222.63±6.9 ^c	2.7±0.08 ^b	76.41±2.76 ^b	6.16±1.29 ^d	39.6±5.84 ^b	33.05±9.39 ^f	6.51±0.96 ^f	30.48±0.15 ^a	10±0.65 ^b	13.29±0.54 ^b	2.6±1.67 ^d
	SCC 80	674.75±40.89 ^c	244.91±6.57 ^b	2.68±0.06 ^b	62.76±0.73 ^b	9.05±1.42 ^c	35±5.72 ^b	36.93±4.88 ^e	5.38±0.56 ^f	27.58±0.15 ^b	9.05±0.25 ^b	12.56±0.71 ^c	4.79±0.77 ^d
	SSC 55	477.7±57.73 ^b	206.44±6.56 ^d	2.51±0.06 ^b	76.59±2.48 ^b	8.95±1.5 ^c	36.8±1.16 ^b	42.5±4.9 ^e	9.07±0.53 ^f	24.36±0.21 ^c	9.22±0.5 ^b	13.12±0.34 ^b	2.65±2.39 ^b
Santander	CCN 51	760.77±28.2 ^b	225.41±3.45 ^d	2.32±0.04 ^c	65.25±2.76 ^b	21.14±1.24 ^a	56±3.65 ^a	145.11±5.02 ^b	19.1±1.23 ^a	7.28±0.01 ^s	9.17±0.82 ^b	14.91±0.41 ^b	12.87±1.98 ^c
	FEAR 5	621.84±47.12 ^c	224.42±5.85 ^d	2.53±0.11 ^b	73.37±2.25 ^b	13.37±1.62 ^b	44±2.55 ^b	109.96±5.38 ^c	17.84±0.99 ^d	9.08±0.01 ^p	9.91±0.32 ^b	14.18±0.44 ^b	6.66±1.05 ^d
	FEC 2	665.89±17.49 ^c	216.17±4.34 ^d	2.42±0.04 ^b	73.2±2.54 ^a	10.77±0.68 ^b	45.4±2.48 ^b	109.66±8.6 ^c	16.46±0.98 ^d	8.82±0.01 ^q	9.67±0.56 ^b	14.28±0.43 ^b	8.73±1.05 ^d
	FLE 3	516.09±32.9 ^f	209.18±6.63 ^d	2.54±0.09 ^b	70.72±3.01 ^b	11±1.85 ^b	49±6.86 ^b	95.43±8.92 ^c	21.03±0.79 ^c	10.47±0.00 ^r	10.1±0.48 ^b	13.68±0.41 ^b	8.73±1.21 ^d
	FSA 12	577.44±43.08 ^c	209.06±6.83 ^d	2.41±0.05 ^b	73.7±1.87 ^a	12.56±1.28 ^b	41.2±1.85 ^b	85.61±4.63 ^c	14.81±.69 ^e	11.69±0.01 ^m	9.86±0.42 ^b	12.17±0.31 ^c	9.31±1.04 ^d
	FSV 41	690.96±51.69 ^c	213.61±5.84 ^d	2.29±0.07 ^c	57.11±3.97 ^b	26.12±2.8 ^a	44.4±1.21 ^b	175.84±10.17 ^a	25.57±0.9 ^b	5.68±0.02 ^t	10.94±0.93 ^a	17.8±0.58 ^a	13.49±2.81 ^c
	ICS 95	747.85±26.07 ^b	231.67±4.88 ^c	2.6±0.06 ^b	80.4±1.69 ^a	8.28±0.92 ^c	41.4±3.43 ^b	103.79±6.33 ^c	13.98±1.06 ^e	9.46±0.01 ^p	11.55±0.47 ^a	14.56±0.27 ^b	4.52±1.08 ^d
	SCC 23	463.1±45.54 ^d	203.29±6.9 ^d	2.26±0.08 ^c	43.76±2.09 ^c	15.7±1.99 ^b	45.4±0.81 ^b	108.37±9.39 ^f	23.71±0.96 ^b	9.24±0.01 ^p	9.75±0.8 ^b	14.62±0.54 ^b	29.13±1.67 ^a
	SCC 80	699.62±40.89 ^c	231.93±6.57 ^c	2.55±0.06 ^b	76.77±0.63 ^b	9.57±1.45 ^c	52.6±1.17 ^a	102.02±4.88 ^c	14.64±0.56 ^e	9.95±0.01 ^o	9.94±0.6 ^b	12.32±0.71 ^c	7.24±0.77 ^d
	SSC 55	1071.12±57.73 ^a	252.55±6.56 ^b	2.48±0.06 ^b	82.31±2.58 ^a	25.24±3.32 ^a	36.4±1.86 ^b	94.29±4.9 ^c	8.8±0.53 ^f	10.63±0.02 ⁿ	10.92±0.3 ^a	13.5±0.34 ^b	6.58±2.39 ^f

 n = 6 ± error estándar; Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($P > 0.05$).

El análisis de correlación de Pearson evidenció correlaciones altas (≥ 0.70) y significativas ($P \leq 0.0001$) con las variables: peso del fruto con peso de la cáscara ($r = 0.92$) y diámetro del fruto ($r = 0.70$); índice de grano con peso de semilla sin mucilago ($r = 0.92$) y con peso de semilla con mucilago ($r = 0.74$); peso de semilla con mucilago con peso de placenta ($r = 0.70$); peso de mucilago con porcentaje de mucilago ($r = 0.89$); longitud de semilla con diámetro de semilla ($r = 0.73$); porcentaje de semilla sin mucilago con porcentaje de semilla con mucilago ($r = 0.85$) y con porcentaje de placenta ($r = 0.84$); porcentaje de cascara con peso de cascara ($r = 0.70$). Las correlaciones negativas correspondieron a porcentaje de cascara con porcentaje de placenta ($r = -0.80$) y porcentaje de semilla con mucilago ($r = -0.90$); índice de mazorca con porcentaje de semilla sin mucilago ($r = -0.85$) e índice de grano ($r = -0.85$).

Como resultado del análisis de correlación de Pearson se suprimieron nueve (D.F., P.C., G.C., R.P., P.S.H., R.S.H., I.G., L.S. y P.P.) de los veintinueve descriptores iniciales, los cuales no se tuvieron en cuenta en el análisis de componentes principales.

Los valores propios y la varianza total explicada para cada uno de los componentes principales se muestran en la Tabla IV. Este análisis permitió establecer tres factores que explican el 70.26 % de la varianza total.

TABLA IV. Valores propios y varianza explicada en análisis de componentes principales (ACP) en la caracterización morfoagronómica de cacao (*Theobroma cacao* L.)

Lambda	Valor Propio	Proporción	Proporción Acumulada
1	4.29	33.00	33.00
2	3.34	25.71	58.71
3	1.50	11.55	70.26
4	1.17	8.98	79.24
5	1.01	7.79	87.03
6	0.83	6.39	93.41
7	0.36	2.77	96.18
8	0.22	1.71	97.89
9	0.17	1.28	99.17
10	0.07	0.54	99.71
11	0.03	0.23	99.94
12	0.0076	0.06	100.00
13	0.0001	0.00	100.00

Fuente: Elaboración propia

El 33.0 % de la varianza total es explicada por el primer componente principal (Tabla IV), correlacionando variables principales atribuibles a la semilla como peso de semilla sin mucilago (0.87), índice de mazorca (-0.88) y diámetro

de semilla (0.82). El segundo componente principal explica el 25.71 % de la variabilidad, y está conformado principalmente por peso de fruto (-0.87). Por último, el tercer componente principal explica el 11.55 % de la variabilidad y está compuesto principalmente por variables relacionadas a la dimensión del fruto como lo es longitud del fruto (0.62) y relación longitud diámetro (0.63) (Tabla V).

TABLA V. Correlación entre las variables originales y los tres primeros componentes principales en la caracterización de cacao (*Theobroma cacao* L.)

VARIABLES	CP 1	CP 2	CP 3
P.F.	0.14	-0.87	0.14
L.F.	-0.15	-0.65	0.62
R.L.D.	-0.53	-0.09	0.63
R.C.	-0.52	-0.71	-0.21
G.C.	-0.20	-0.57	-0.32
P.PL.	0.70	-0.09	0.30
N.S.	0.55	0.22	0.26
P.S.S.	0.87	-0.32	-0.15
R.S.S	0.76	0.29	-0.19
I.M.	-0.88	0.32	0.03
G.S.	0.28	-0.66	0.22
D.S.	0.82	-0.01	0.18
R.P	-0.04	-0.57	-0.32

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 1, se observa el nivel de agrupamiento de las poblaciones, con base en los dos primeros componentes principales. Se logra evidenciar que, a pesar de tratarse del mismo material, las condiciones de las zonas de cosecha influenciaron en las características físicas evaluadas en el presente estudio, como es el caso de las recolectadas en Santander que se ubicaron en los cuadrantes dos y tres (excepto FSA12), las recolectadas en el Huila en los cuadrantes uno y cuatro (excepto FSV41), mientras que las de Arauca se encontraron dispersas en los cuatro cuadrantes. Teniendo como base la dirección de crecimiento de los vectores de los descriptores evaluados, se observa que los materiales ubicados en el cuadrante tres (FSV41-S, FEC2-A, CCN51-S, FEC2-S, FEAR5-S, FLE3-S, SCC80-S, ICS95-S, SCC55-S, SCC23-A) poseen valores altos en cuanto diámetro de semilla, peso de placenta, peso de semilla sin mucilago, grosor de semilla y peso de fruto y bajos valores en Índice de mazorca y porcentaje de mucilago, lo contrario a las ubicadas en el uno (ICS95-A, FSA12-H, SCC80-H, SCC80-A, SCC55-H, ICS95-H, FEC2-H, FLE3-H, FEAR5-A, CCN51-H, FLE3-A); los materiales que se encuentran en el cuadrante dos (CCN51-A, FSV41-H, FSV41-A, SCC23-S) se caracterizan por sus

altos valores de número de semilla sin mucilago y porcentaje de semilla sin mucilago y bajos valores en relación longitud diámetro, porcentaje de cáscara, grosor de cáscara y longitud de fruto, lo opuesto a los materiales del cuadrante cuatro (SCC23-H, SCC55-A, FSA12-A, FSA12-S, FEAR5-H). Los materiales más alejados del origen de la coordenada son aquellos que presentan valores por encima a los del promedio como es el caso de SCC23-S, FSV41-S, SCC55-S, ICS95-A, lo que se puede correlacionar con los valores observados en la Tabla III. Para la selección de un material de cacao, la industria tiene en cuenta los siguientes parámetros: el tamaño de grano, el porcentaje de cáscara, contenido de grasa, dureza de la manteca y la humedad (Álvarez et al., 2007). Según la NTC 1252 (ICONTEC, 2012), para catalogar un cacao premio, debe poseer un peso mínimo de almendra de 1.2 g. Desde esta perspectiva, los materiales promisorios para la industria estarían ubicados en los cuadrantes dos y tres.

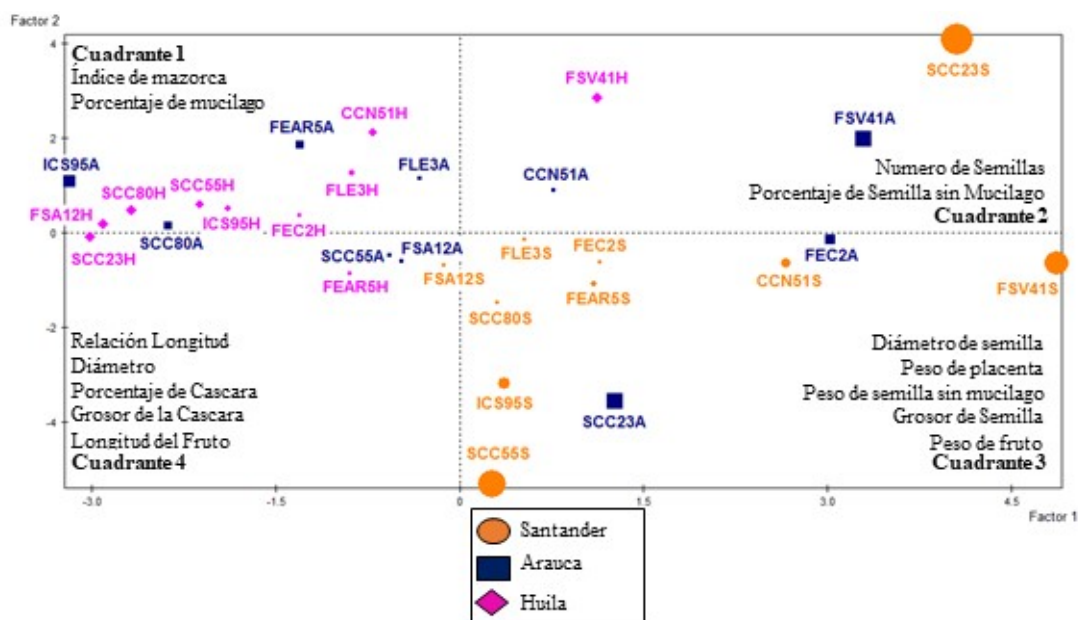


FIGURA 1. Nivel de agrupamiento de diez materiales de cacao (*Theobroma cacao* L.) procedentes de diferentes zonas productoras, con base en los dos primeros componentes principales

IV. Conclusiones

El ambiente es un factor determinante en desarrollo morfoagronómico de los frutos de cacao, que interaccionan con el genotipo del material, dando como resultado que aquellos que poseen características destacables de rendimiento en alguna región no las presentan en otra, siendo necesario un estudio de adaptación antes de realizar propagaciones. Los descriptores que más aportan a la variabilidad entre los materiales de cacao, de acuerdo con el análisis de componentes principales son el de índice de mazorca, relación longitud diámetro, peso y diámetro de semilla y peso y longitud de fruto. Los materiales promisorios para la industria chocolatera de acuerdo con las

características sobresalientes encontradas en este estudio son CCN51, FSV41, SCC23, FEC2, FEAR5, FLE3, SCC80, ICS95 y SCC55.

Agradecimientos

Esta investigación se deriva del proyecto “Evaluación de las características físico-químicas, organolépticas y funcionales, de diferentes tipos de cacao (*Theobroma cacao* L.) para identificar clones elite y mejorar la competitividad en Colombia”, financiado y ejecutado por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Minciencias y la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA.

Descargos de responsabilidad

Todos los autores realizaron aportes significativos al documento y quienes están de acuerdo son su publicación y manifiestan que no existen conflictos de interés en este estudio.

Referencias

- Álvarez, C., Pérez, E., y Lares, M. (2007) Caracterización física y química de almendras de cacao fermentadas, secas y tostadas cultivadas en la región de Cuyagua, estado Aragua. *Agronomía Tropical*, 57(4), 249-256.
- Argüello, O., Mejía, L., Contreras, N., y Toloza, J. (1999). *Evaluación, introducción y multiplicación de árboles elite de cacao como estrategia de productividad para el nororiente colombiano* (informe final). Recuperado de http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/4144/2/20067181339_Multiplicacion%20de%20arboles%20elite%20de%20cacao.pdf.
- Bautista Morales, R., Alarcón Pulido, S. A., García Muñoz, S. A., Piña Ramírez, F. J., y Ortega Rodríguez, A. (2021). Propuesta para el establecimiento del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L) en la zona norte del estado de Veracruz. *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 9(1), 181–191. <https://doi.org/10.47808/revistabioagro.v9i1.350>
- Bécue, M., y Valls, J. (2000). *Manual de introducción a los métodos factoriales y clasificación con SPAD*. Universidad Politécnica de Catalunya y Universidad Autónoma de Barcelona. Recuperado de <http://sct.uab.cat/estadistica/sites/sct.uab.cat/estadistica/files/manualSPAD.pdf>.
- Cely L. A. (2017). Oferta productiva del cacao colombiano en el posconflicto. Estrategias para el aprovechamiento de oportunidades comerciales en el marco del acuerdo comercial Colombia-Unión Europea. *Equidad y Desarrollo*, 1(28), 167-195.
- Copa, B. (2017). Caracterización morfológica de árboles de cacao (*Theobroma cacao* L.) con potencial productivo y tolerancia a monilia (*Moniliophthora roreri* Cif & Par. Evans et al.) en el área IIb y VI, de la región Alto Beni Bolivia. (Tesis de grado, Universidad Mayor de San Andrés, Viacha, Bolivia). Recuperado de <https://>

- repositorio.umsa.bo/xmlui/bitstream/handle/123456789/13311/T-2421.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Estivarez Copa, M. E., y Maldonado Fuentes, C. (2019). Criterios de selección para cacao nacional Boliviano (*Theobroma cacao* L.), en Alto Beni-Bolivia. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 6(2), 29-36.
- Gomez, C. (2018). Identificación y cuantificación de dípteros (*Ceratopogonidae*) polinizadores de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Granja Luker (Palestina, Caldas) a través de la utilización de materia orgánica en descomposición. Tesis de pregrado. Facultad de ciencias, carrera biología, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.
- González, R., Silva, N., Suarez, A., y Castañeda, D. (2018). Evaluación y caracterización de clones regionales de cacao en la subregión del Urabá antioqueño: Fase I. *Revista Nova*, 4, 21-30. <https://doi.org/10.23850/issn.2500-4476>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2012). *Cacao en grano. Norma Técnica Colombiana – NTC 1252*.
- Martínez, N., Rincón, D., Palencia, G., y Aránzazu, F. (2009). *Materiales de cacao en Colombia, su compatibilidad sexual y modelos de siembra*. Unión temporal cacao en Colombia Uno. Fedecacao – Corpoica. Recuperado de <https://repositorio.agrosavia.co/handle/20.500.12324/2353>
- Martínez, N., Gallego, G., Zapata, P., Quintero, C., Duarte, D., Tohme, J., y Ramírez, O. (2018). *Morphoagronomic and molecular characterization of the cocoa collection of the National Federation of Cocoa Farmers of Colombia*. In International Symposium on Cocoa Research (ISCR), Lima, Peru, 13-17 November 2017. International Cocoa Organization (ICCO). Recuperado de https://www.icco.org/about-us/international-cocoa-agreements/doc_download/3592-caracterizacion-morfoagronomica-y-molecular-de-la-coleccion-de-cacao-de-la-federacion-nacional-de-ca.html.
- Ortiz, D., Moreno, F., y DíEZ, M. C. (2021). Photosynthesis, growth, and survival in seedlings of four tropical fruit-tree species under intense radiation. *Acta Amazónica*, 51, 1-9.
- Rojas, K. E., García, M. C., Cerón, I. X., Ortiz, R. E., y Tarazona, M. P. (2020). Identification of potential maturity indicators for harvesting cacao. *Heliyon*, 6(2), e03416.
- Sandoval, E. Y. A., Merchán, P. J. A., Rodriguez, A. F. B., Díaz, E. P., y Serrano-Cely, P. A. (2020). Estado actual de la cacaocultura: una revisión de sus principales limitantes. *Revista Ciencia y agricultura*, 17(2), 1-11.
- Sandoya, M. (2019). Tipos de injertos en plantas de vivero de cacao nacional (*Theobroma cacao* L.) (Tesis de grado, Universidad Técnica de Babahoyo, Babahoyo, Ecuador). Recuperado de <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/6813/E-UTB-FACIAG-ING%20AGRON-000203.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sotomayo, I., Tarqui, O., Peña, G., Amores, F., Loor, R., Casanova, T., y Motamayor, J. (2017). Selección de genotipos de cacao (*Theobroma cacao* L.) de alto rendimiento y con tolerancia a las principales enfermedades que afectan al cultivo en Ecuador. International Symposium on Cocoa Research (ISCR), Lima, Perú, 13-17 Noviembre 2017
- Statistical Analysis System. (1985). *SAS User's guide: Statistics*. Version 5a. edición. Cary, NC. SAS. Institute Inc.