

Caracterización morfoagronómica *in situ* de cacao criollo (*Theobroma cacao* L.) en lugares de prevalencia natural y su incidencia en la selección de germoplasma promisorio en El Salvador

López, M

Estudiante tesista. Departamento de Fitotecnia,
Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador.
Correo electrónico: max.lopez@hotmail.es

Deras, EC

Estudiante tesista. Departamento de Fitotecnia,
Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador.
Correo electrónico: erick_deras98@yahoo.es

Parada Berrios, FA

Docente Director. Departamento de Fitotecnia,
Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador.

Lara Ascencio, F

Docente Director. Departamento de Protección Vegetal,
Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador.

Resumen

Con el objetivo de identificar y caracterizar árboles de cacao criollo promisorio, se desarrolló la caracterización morfoagronómica *in situ* en el periodo de julio 2016 a julio de 2017. Esta labor incluyó giras en lugares de prevalencia natural de la especie, en diversas localidades de El Salvador, caracterizando 47 árboles de cacao localizados en los municipios de San Luis Talpa y San Pedro Nonualco, La Paz; Arcatao, Chalatenango; Tenancingo, Cuscatlán y Ciudad Delgado, San Salvador. Se especificó atributos cualitativos y cuantitativos de cada árbol y de sus segmentos: hojas, flores, frutos, y semillas. Para la caracterización se utilizaron descriptores morfoagronómicos propuestos por la Cocoa Research Unit-University of West Indians (Trinidad y Tobago), el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA). La interpretación de datos se hizo a través de estadística simple y análisis multivariado utilizando el programa SPSS versión 23. El análisis de componentes principales se identificó 11 conglomerados que reunieron características de 27 árboles. Se encontraron 10 árboles de cacao con características del tipo “criollo de aroma fino”, con frutos con formas angoleta y cundeamor, el 100% de semillas de color blanco y contenidos de grasa menores al 50%. También sobresalieron cuatro árboles con contenidos mayores al 50% de grasa en las semillas. Estas características promisorias encontradas demuestran que dichos arboles deben ser incluidos en programas de producción, alimentación humana y mejoramiento genético. Finalmente se elaboró un catálogo de los árboles caracterizados.

Palabras clave: Morfología, caracterización, genética, fenotipos, germoplasma promisorio, descriptor, cacao criollo.

Abstract

The objective is identify and characterize promising Creole cacao trees, *in situ* morphoagronomic characterization was developed in the period from July 2016 to July 2017. This work included tours in places of natural prevalence of the species, in various locations in El Salvador, characterizing 47 cocoa trees located in the municipalities of San Luis Talpa and San Pedro Nonualco, La Paz; Arcatao, Chalatenango; Tenancingo, Cuscatlan and Ciudad Delgado, San Salvador. Qualitative and quantitative attributes of each tree and its segments were specified: leaves, flowers, fruits, and seeds. For the characterization, morpho-agronomic descriptors proposed by the Cocoa Research Unit -University of West Indians (Trinidad and Tobago), the National Institute of Agricultural and Livestock Forestry Research (INIFAP) and the National Institute of Agricultural Research (INIA) were used. The interpretation of data was done through simple statistics and multivariate analysis using the SPSS program version 23. The main components analysis was identified 11 conglomerates that gathered characteristics of 27 trees. Ten cocoa trees with characteristics of the “Creole of fine aroma” type were found, with fruit with angoleta and cundeamor forms, 100% of white seeds and fat content less than 50%. There were also four trees with more than 50% fat content in the seeds. These promising characteristics found show that these trees should be included in production programs, human nutrition and genetic improvement. Finally a catalog of the characterized trees was elaborated.

Key words: Morphology, characterization, genetics, phenotypes, promissory germplasm, descriptor, cacao criollo.

Introducción

En El Salvador existen árboles de cacao con buenas características productivas, adaptabilidad y de buena calidad que podrían contribuir al desarrollo de la actividad cacaotera que cada día está tomando mayor interés entre los productores. Además este rubro tradicionalmente ha sido de mucho potencial productivo y de exportación, lo cual constituye una oportunidad para el desarrollo de un nuevo sector y la generación de empleo en el país, debido a que el mercado consumidor extiende cada vez más su demanda y diversidad de consumo.

El cacao (*Theobroma cacao* L.) pertenece a la familia Sterculiaceae, es un árbol de tamaño mediano, aunque puede alcanzar alturas de hasta 20 m cuando crece libremente bajo sombra (estado silvestre y sin manejo). También, se diferencia de otras especies por ser cauliflora, ya que forma flores y frutos en el tronco y ramas (Dubón 2011). Asimismo, Veraz (1993) citado por Peña (2003) revela que las flores de cacao son pequeñas, carecen de nectarios, son de color rosado a blanco y hermafroditas (dos sexos), pentámera, de ovario súpero. Los frutos de cacao son bayas con tamaños que oscilan de 10 – 42 cm, de forma variable (oblonga, elíptica, ovada, abovada, esférica y oblata); de superficie lisa o rugosa, y de color rojo o verde al estado inmaduro (García Carrión 2007, citado por APPCACA 2008).

En la actualidad se denominan tres fenotipos de cacao que son: forasteros, trinitario y criollo, los cacaos forasteros se agrupan según la forma del fruto que pueden ser cundeamor, amelonado, sambito, calabacillo y angoleta; los cacaos de tipo trinitarios corresponde a la población híbrida derivada de criollos y forasteros, los cuales crecieron juntos en un mismo país o región, finalmente los cacaos de tipo criollo sobresalen por la forma y color de los cotiledones, los cuales son los más importantes. También, los frutos o mazorcas presentan una cierta variabilidad en su forma generalmente alargada, con una punta muy acentuada en el extremo inferior (Graziani *et al.* 2002).

Según el INIA (2005) a través de programas de mejoramiento genético se puede seleccionar cultivares que presenten características de alta calidad, producción y adaptabilidad a las condiciones ambientales de un determinado lugar. Por tal razón, la caracterización morfológica de recursos fitogenéticos es fundamental para estudiar la variabilidad genética, identificar plantas y conservar los recursos genéticos.

Por otra parte Hernández (2013), menciona que la caracterización es el primer paso en el mejoramiento de los cultivos y programas de conservación.

Por ello, la relevancia de la investigación radicó en la caracterización y selección de germoplasma de cacao promisorio adaptado a las condiciones propias del lugar, que puedan ser utilizados comercialmente, y que tengan aceptación en el mercado nacional e internacional, garantizando así resultados que beneficien a los productores. Por tanto, el objetivo principal de esta investigación fue identificar clones de cacao con características del tipo “criollo de aroma fino”, a partir de una caracterización *in situ* en lugares de prevalencia natural de la especie en el país.

Materiales y Métodos

Localización

El estudio se realizó en el período de julio a diciembre 2016, en los municipios de San Luis Talpa y San Pedro Nonualco, La Paz; Arcatao, Chalatenango; Tenancingo, Cuscatlán y Ciudad Delgado San Salvador, El Salvador. Los árboles se encontraron entre los siete y los 575 msnm.

Material experimental

Se caracterizaron *in situ* 47 árboles de cacao: 27 en la cooperativa hacienda Santa Clara en San Luis Talpa y tres en San Pedro Nonualco departamento de La Paz; 11 en el cantón Cerro Grande Arcatao, Chalatenango; tres en Tenancingo, Cuscatlán y tres en Ciudad Delgado, San Salvador (cuadro 1). La caracterización de frutos y semillas se realizó solamente a 28 árboles ya que el resto no se le encontraron frutos en la época de las visitas al lugar.

Evaluación del germoplasma de cacao

Para caracterizar la identidad de los cultivares registrados se utilizaron los descriptores de cacao propuestos por García (2012), INIA (2005) y INIFAP (2014) ya que presentan diferentes características y parámetros para ser aplicados en los árboles encontrados en la investigación, además cada árbol fue georeferenciado mediante un sistema de posicionamiento global (GPS), se le asignó un código estructurado por el primer nombre del lugar de *rewwwcolecta* y el número con base al orden encontrado (cuadro 1). Posteriormente se identificaron atributos cualitativos y cuantitativos de mayor interés tales como: frutos con ápice apiculado, alta rugosidad, cascara delgada semillas de color blanco y contenidos de grasa en la semilla.

Cuadro 1. Codificación y ubicación de los árboles de cacao caracterizados.

Número correlativo	Árbol	Código	Abreviatura	Propietario	Lugar de recolección	Altitud (msnm)
1	23	Tenancingo 1	TG 1	Francisco Arevalo	Tenancingo, Cuscatlán	544
2	24	Tenancingo 2	TG 2			545
3	25	Tenancingo 3	TG 3			546
4	27	Santa Clara 1	ST 1	Asociación Cooperativa Hacienda Santa Clara	Hacienda Santa Clara, San Luis Talpa, La Paz	7
5	28	Santa Clara 2	ST 2			7
6	29	Santa Clara 3	ST 3			7
7	30	Santa Clara 4	ST 4			7
8	31	Santa Clara 5	ST 5			7
9	32	Santa Clara 6	ST 6			7
10	33	Santa Clara 7	ST 7			7
11	34	San José Cortez 1	CD 1	José Emilio Mónico Juárez	Cantón San José Cortez, Ciudad Delgado, San Salvador	562
12	35	San José Cortez 2	CD 2			562
13	36	San José Cortez 3	CD 3			562
14	38	Santa Clara 8	ST 8	Cooperativa Hacienda Santa Clara	Cooperativa Hacienda Santa Clara, San Luis Talpa, La Paz.	7
15	41	Santa Clara 9	ST 9			7
16	43	Santa Clara 10	ST 10			7
17	55	Santa Clara 11	ST 11			7
18	56	Santa Clara 12	ST 12			7
19	62	Santa Clara 13	ST 13			7
20	63	Santa Clara 14	ST 14			7
21	78	Santa Clara 15	ST 15			7
22	81	Santa Clara 16	ST 16			7
23	82	Santa Clara 17	ST 17			7
24	92	Santa Clara 18	ST 18			7
25	102	Santa Clara 19	ST 19			7
26	106	Santa Clara 20	ST 20			7
27	112	Santa Clara 21	ST 21			7
28	117	Santa Clara 22	ST 22			7
29	123	Santa Clara 23	ST 23			7
30	146	Santa Clara 24	ST 24			7
31	151	Santa Clara 25	ST 25			7
32	169	Santa Clara 26	ST 26			7
33	170	Santa Clara 27	ST 27			7
34	195	Arcatao 1	ARC 1	Marina Melgar	Cantón Cerro Grande, Arcatao, Chalatenango.	519
35	196	Arcatao 2	ARC 2			519
36	197	Arcatao 3	ARC 3			519
37	198	Arcatao 4	ARC 4			519
38	199	Arcatao 5	ARC 5			519
39	201	Arcatao 6	ARC 6			519
40	202	Arcatao 7	ARC 7			519
41	203	Arcatao 8	ARC 8			519
42	204	Arcatao 9	ARC 9			519
43	205	Arcatao 10	ARC 10			519
44	207	Arcatao 11	ARC 11			519
45	209	San Pedro Nonualco 1	SPN 1	Otoniel López Beltran	San Pedro Nonualco, La Paz.	574
46	210	San Pedro Nonualco 2	SPN 2			574
47	211	San Pedro Nonualco 3	SPN 3			575

Fuente: Elaboración propia (2017).

Variables en estudio

Las variables cualitativas fueron: arquitectura, forma de ramificación y vigor del árbol; forma y color de hojas, frutos y semillas; color de flores y pubescencia de brotes tiernos; las variables cuantitativas fueron: edad, altura, diámetro, número de frutos, cojinetes y flores por cojinete, longitud y ancho de hojas, frutos y semillas, espesor de cáscara en frutos, espesor de semillas, peso de frutos, índice de semillas y frutos, longitud y ancho de sépalos, ovario y estilo de la flor y análisis bromatológico de las semillas

Análisis bromatológico

Para el análisis de las muestras de semilla recolectadas de los 28 árboles, se siguió los procedimientos propuestos por la AOAC (1990). El análisis fue realizado en el laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador, para determinar: Humedad parcial y total, porcentaje de proteína, grasa, fibra cruda y minerales (Calcio, Fósforo y Potasio).

Metodología estadística

Para el análisis de los datos o atributos cualitativos se utilizó estadística descriptiva a partir de tablas. Para los datos cuantitativos se aplicó estadística simple (desviación estándar, media y coeficiente de variación) y análisis multivariado, específicamente componentes principales, análisis de correlación y de conglomerados; ambos análisis permitieron resumir la información de un número grande de casos, agrupándolos con base a similitudes, cercanías o distancia, para lo cual se utilizó el programa SPSS versión 23.

Resultados y Discusión

Variables cualitativas

Arquitectura, forma de ramificación y vigor de árbol

El 85.11% de los árboles caracterizados presentaron arquitectura erecta, 10.64% arquitectura intermedia como consecuencia de la falta del manejo agronómico adecuado y el 4.26% arquitectura pendulosa. El 59.57% poseen ramificación intermedia, 23.40% simple y 17.02% verticilada. El 70.21% presentaron vigor intermedio, 19.15% vigor débil, donde destacaron los árboles Tenancingo 1, 2 y 3 por encontrarse en abandono y 10.64% fueron árboles vigorosos. García Carrión (2012) en estudios de caracterización de cacao, describió el vigor de los árboles con los mismos criterios: débil, intermedio o vigoroso, donde el 100 % de los árboles caracterizados presentó vigor débil.

Color de brotes tiernos

El 44.59% de los árboles presentaron brotes de color verde claro, 31.50% brotes rojo claro, 11.11% brotes de color rojo medio, 8.75% brotes de color marrón y el 4.05% brotes color rojo oscuro. El INIA (2005) menciona que el color de las hojas tiernas está asociado a la presencia de antocianina y difiere del resto de las hojas.

Pubescencia en brotes terminales

El 95.95% de los árboles caracterizados presentaron pubescencia débil, 3.46% pubescencia fuerte y 0.59% pubescencia moderada. Sobresalió la característica fenotípica de pubescencia fuerte en los árboles San José Cortez 1, 2, 3 y Tenancingo 1, 2, 3, que tienen alta tendencia a cacaos de tipo criollo. Marcano (2007) citado por Duarte (2014), afirma que la pubescencia en ramas jóvenes es una característica evidente en los árboles de cacao criollo y hay una escala de pubescencia entre estos y los forasteros, siendo ésta imperceptible en los últimos.

Forma del fruto

El 77.42% de la población de árboles seleccionados poseen frutos con forma ovada, 19.35% frutos de forma oblonga y 3.23% forma abovada. Estas características encontradas en la mayoría de frutos coinciden con las planteadas por el descriptor de García Carrión (2012), sin embargo la forma abovada fue la menos encontrada pero con mayor tendencia fenotípica a los cacaos de aroma fino.

Color del fruto

Se encontraron cinco colores de frutos madurós: 80.65% son frutos de color amarillo verde; 6.45% color púrpura, 6.45% anaranjado, 3.23% color amarillo y 3.23% presentaron color rojo medio. Sobresalió el color amarillo verde, el cual fue más representativo en los árboles que presentaron mayor tendencia fenotípica a cacaos criollos.

Morfología de la superficie del fruto (rugosidad)

El 87.10% de los árboles que se caracterizaron presentaron superficie moderadamente rugosa; 9.68% morfología lisa o ligeramente rugosa, y 3.23% muy rugosos, representativo del árbol San José Cortez 1. Medina (1950) indica que los cacaos se clasifican por la rugosidad: forma fenotípica angoleta, posee rugosidad verrugosa; el cundeamor tiene constricción superficie verrugosa; la forma amelonada tiene superficie verrugosa o lisa y la forma calabacillo superficie lisa. Estos resultados coinciden con los de la presente investigación en cuanto a la rugosidad moderada y muy rugosa y también a la forma angoleta y cundeamor encontrada en los cultivares con alta tendencia fenotípica a criollos.

Resistencia de cáscara

EL 58.06% de los árboles poseen frutos con resistencia fuerte al tacto; 25.81% presentaron resistencia moderada, estos son: Arcatao1, Santa Clara

11, San José Cortez 1, 2, y 3; 16.13% poseen frutos con resistencia débil. Medina (1950) menciona que los tipos criollos tienen mazorca cuya cáscara es delgada y blanda, mientras el forastero posee cáscara dura.

Color de semillas

El 41.38% de los árboles caracterizados presentaron semillas de color púrpura, 27.59% semillas de color blanco, 20.69% semilla de color jaspeado, 3.45% semillas de color rosado y 3.45% de color morado, esto explica la alta erosión genética del material criollo por genotipos importados de Sur América, en tal sentido Bartley (1989) menciona que los cotiledones manifiestan una gran variedad de colores, sin embargo, se reportan con mayor frecuencia los cotiledones purpuras típico de los genotipos trinitarios y en menor frecuencia los cotiledones blancos típico de los genotipos criollos tal como los encontrados en la presente investigación.

Además, se encontraron semillas con matices de color blanco, rosado y púrpura a las cuales se les denominó color jaspeado. Al respecto Sari y Susilo (2011) concluyeron que en el cultivo de cacao se producen granos de colores diferentes en el mismo fruto, esto dependerá del origen del polen que fecundan a la flor, generando efectos positivos y negativos en las características cualitativas y cuantitativas de la semilla, a este fenómeno se le conoce como Xenia.

Descripción de variables cuantitativas

Número de semillas por fruto

El árbol Santa Clara 2, reportó el valor máximo con 57 semillas por fruto y el árbol Arcatao 2 presentó el valor mínimo con 12 semillas, los demás árboles tenían entre 18 y 56 semillas. El promedio es de 33.97, desviación estándar es de 11.89 y el coeficiente de variación de 35%, mostrando así heterogeneidad en el comportamiento de dicha variable. Los árboles San José Cortez 1, 2, 3; los Arcatao 1, 2, 3, 4 y 5, reportaron de 14 a 24 semillas por fruto. Al respecto Pérez (2009) en su investigación, menciona que los cacaos de fenotipos criollos conservaron la mínima cantidad de semilla por mazorca, en comparación a los fenotipos forasteros y trinitarios.

Índice de frutos

El mayor número de mazorcas para obtener un kilogramo de semillas secas lo reportó el árbol Arcatao 1 con 139.82 frutos y el número mínimo de frutos lo registró el árbol Santa Clara 6 con 14.62 frutos. Se obtuvo un promedio de 37.41 frutos, una desviación estándar de 27 y un coeficiente de variación

de 72.15%, es decir que los índices de frutos entre cada árbol presentaron alta variabilidad. Además, esta característica es de mucha importancia ya que entre menor cantidad de frutos se requieran para formar un kilogramo de semilla seca se vuelva más relevante para la producción y comercialización.

Peso seco de semilla

El árbol Arcatao 5 reportó el peso máximo de semilla con 2.26 g y el árbol Santa Clara 13 el peso mínimo con 0.54 g, los restantes oscilan entre 0.56 y 2.06 g (Fig. 1). El promedio es de 1.05 g, desviación estándar de 0.47 g y el coeficiente de variación 43.48%, esto indica que esta variable es altamente heterogénea. Estos resultados se encuentran cercanos a los valores reportados por Arciniegas (2005) citado por Ayesta (2009), quien registró un índice de semillas promedio de 1.2 g en clones de cacao. Además, los pesos de semillas secas iguales o mayores a un gramo es un parámetro relevante para la selección de árboles élite.

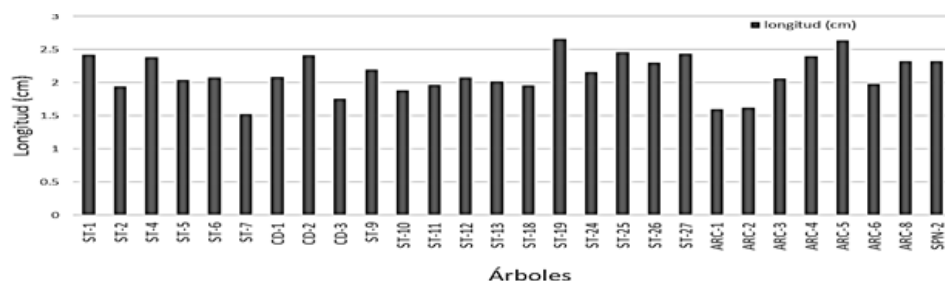


Figura 1. Peso seco de semillas de cacao de 28 árboles caracterizados.

Análisis bromatológico

Contenido de grasa en la semilla de cacao

El árbol Santa Clara 22 presentó el mayor valor en grasa con 62.57 % el menor valor lo mostró el árbol Arcatao 5 con 30.20%. (Fig. 2). El contenido promedio de grasa en las semillas de los 28 árboles fue de 44.09%, la desviación estándar fue de 7.94%, y el coeficiente de variación fue de 18.01%, lo que implica que existe homogeneidad en los árboles respecto a dicho contenido.

Enríquez (1994) citado por Vicencio (2001) destaca que uno de los factores más importantes en términos comerciales es el porcentaje de grasa en el grano, y que el alto nivel de grasa podría interferir en el proceso normal de

fermentación, haciéndolo más largo. El tipo forastero tiene un porcentaje de grasa mayor al 52%, mientras que el cacao fino o de aroma tiene un porcentaje menor al 50%, en efecto los resultados de dicha investigación afirman que 24 de los árboles caracterizados son fino o de aroma porque presentaron semillas con porcentajes de grasa menores al 52.85% y los árboles Santa Clara 7, 10 y 22 presentaron 56.67%, 59.69% y 62.57% característico del tipo forastero.

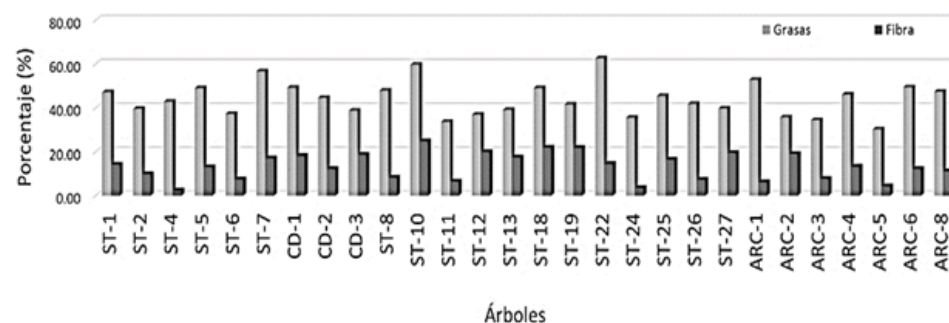


Figura 2. Porcentaje de grasa y fibra en la semilla de cacao de 28 árboles de cacao.

Contenido de ceniza en la semilla

El árbol San José Cortez 3, presentó el mayor valor con 7.11% de ceniza, mientras que el menor valor lo mostró el árbol Santa Clara 5 con 3.48%, los restantes oscilan entre 3.57-6.40% (Fig. 3). El contenido promedio de ceniza en las semillas de los 28 árboles fue de 4.96%, la desviación estándar fue de 1.03% y el coeficiente de variación fue de 20.92% es decir un comportamiento homogéneo. Enríquez (1994) citado por Vicencio (2001) en su estudio de los parámetros de la calidad del cacao, menciona que el porcentaje de ceniza del grano es uno de los componentes que permite distinguir al cacao común con menos de 2.5% de ceniza del fino de aroma con porcentajes superiores al 3%. Esto indica que los 28 árboles caracterizados poseen atributos propios de cacaos de aroma fino ya que todos respecto a dicho contenido ostentaron valores superiores al 3%.

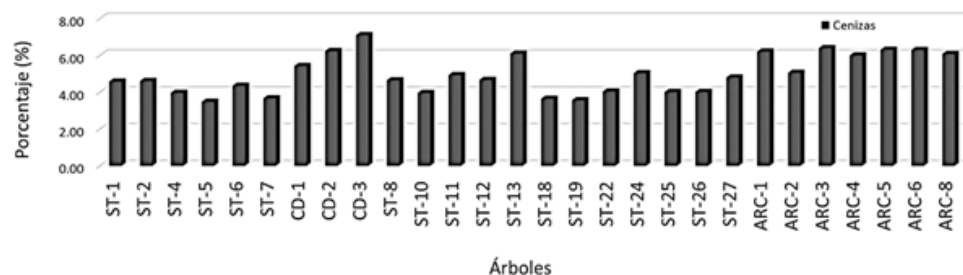


Figura 3. Concentración de ceniza en la semilla de cacao de 28 árboles caracterizados.

Fósforo, Calcio y Potasio

El árbol Santa Clara 13 presentó el mayor valor con 2.06% de fósforo, el menor valor lo mostró el árbol Santa Clara 5 con 0.83% (Fig. 4). El contenido promedio de fósforo en las semillas de los 28 árboles fue de 1.37%, la desviación estándar fue de 0.28% y el coeficiente de variación de 21.02%, lo que indica que un comportamiento moderadamente homogéneo en los árboles.

El árbol Santa Clara 2 presentó el mayor valor con 0.89% de calcio, el menor valor lo mostró el árbol Arcatao 2 con 0.37% los restantes se mantienen en un rango entre 0.40 y 0.80% (Fig. 4). El contenido promedio de calcio en las semillas de los 28 árboles fue de 0.53%, la desviación estándar fue de 0.13%, y el coeficiente de variación fue de 24.6%, lo que implica que dicho contenido tuvo un comportamiento moderadamente homogéneo.

El árbol Santa Clara 14 presentó el mayor valor con 1.89% de Potasio, el menor valor lo mostró el árbol Santa Clara 5, con 1%, los restantes oscilan entre 1.0 - 1.77% (Figura 4), el contenido promedio de Potasio en las semillas de los 28 árboles fue de 1.34%, la desviación estándar fue de 0.24% y el coeficiente de variación de 18.61%, es decir, que existe homogeneidad con respecto a dicho contenido.

Según Unicef (2004) citado por Cote y Jiménez (2005), el contenido de macronutrientes como vitaminas y minerales es indispensable para los diferentes procesos bioquímicos y metabólicos del organismo y en consecuencia para el buen funcionamiento del cuerpo humano. También el calcio es el catión más abundante del organismo, representa el 2,24% del peso corporal libre de grasa. Junto con el fósforo son los principales constituyentes del esqueleto; ambos forman parte de la hidroxiapatita presente en los huesos.

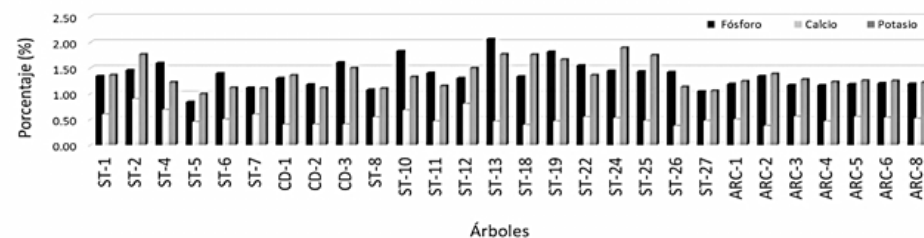


Figura 4. Concentración de Fósforo, Calcio y Potasio en la semilla de 28 árboles de cacao Caracterizados.

Estimación de variabilidad genética, a través de estadística simple

Los árboles caracterizados mostraron alta heterogeneidad, con coeficientes de variación que oscilan entre 40 y 87.08%, lo cual revela un amplio rango de dispersión de las características, por lo que la variabilidad genética en la especie es alta para las variables altura, diámetro a altura del pecho (DAP), número chupones, frutos por árbol, número cojinetes, flores por cojinete, peso seco e índice de fruto y de semilla, humedad total y porcentaje de fibra en la semilla.

Análisis de correlación

Los resultados indicaron que al menos 35 correlaciones resultaron ser altamente significativas estadísticamente (cuadro 2).

Al analizar la matriz de correlación, se observó que existen correlaciones lineales altamente significativas entre los descriptores y la mayor correlación positiva la tienen los descriptores: peso seco de semilla e índice de semilla con valores de $r = 1.00$; la longitud de hoja y longitud media de la hoja también tienen una fuerte relación lineal positiva ($r = 0.93$), grosor de cáscara con la altura de caballete $r = 0.79$ y la longitud media de la hoja con el ancho de hoja $r = 0.77$. Dichas asociaciones fueron altamente significativas ($p < 0.01$); tal que, al aumentar el peso de semilla también aumenta el índice de semilla y similar comportamiento para las demás variables.

Además, se observaron correlaciones lineales negativas del número de chupones y número de semillas por fruto con el contenido de cenizas en la semilla $r = -0.57$, longitud de estilo con longitud de ovario $r = -0.59$, longitud y ancho de semilla con el índice de fruto $r = -0.59$ y -0.73 , espesor de semillas con número de semillas/kg $r = -0.61$, y peso seco con número de semillas/kg $r = -0.91$.

Esto indica que al aumentar la cantidad de chupones y la cantidad de semillas por fruto, el contenido de ceniza y los microelementos podrían disminuir tanto en la semilla como en las demás secciones de la planta y similar comportamiento para el resto de descriptores.

Cuadro 2. Comunalidades de los descriptores cuantitativos de cacao.

Sección	Descriptor	Inicial	Extracción	Porcentaje (%)
Hoja	Longitud	1.000	.967	96.7
	Longitud Media	1.000	.966	96.6
	Ancho	1.000	.914	91.4
Árbol	Altura	1.000	.804	80.4
	Diámetro altura de pecho	1.000	.880	88
	Número de chupones	1.000	.854	85.4
	Número de cojinetes	1.000	.918	91.8
	Número de flores	1.000	.809	80.9
	Número de frutos	1.000	.767	76.7
	Edad.	1.000	.874	87.4
Flores	Sépalos	1.000	.721	72.1
	Ancho de sépalos	1.000	.816	81.6
	Longitud de estaminodios	1.000	.864	86.4
	Longitud de ovario	1.000	.795	79.5
	Ancho de ovario	1.000	.900	90
Fruto	Longitud de estilo	1.000	.842	84.2
	Longitud de fruto	1.000	.864	86.4
	Ancho de fruto	1.000	.821	82.1
	Grosor de cáscara	1.000	.915	91.5
	Profundidad de Surco	1.000	.848	84.8
	Altura de caballete	1.000	.827	82.7
	Peso de fruto	1.000	.896	89.6
	Número semilla	1.000	.938	93.8
	Índice de fruto	1.000	.866	86.6
	Longitud de semilla	1.000	.826	82.6
Número de semilla	Ancho de semilla	1.000	.934	93.4
	Espesor de semilla	1.000	.890	89
	Peso seco de semilla	1.000	.972	97.2
	Índice de semilla	1.000	.972	97.2
	Número de semillas / kg	1.000	.960	96
Análisis químico	Ceniza	1.000	.914	91.4
	Grasa	1.000	.764	76.4
	Proteína	1.000	.771	77.1
	Fósforo	1.000	.843	84.3
	Calcio	1.000	.859	85.9
	Potasio	1.000	.898	89.8
	Fibra	1.000	.820	82
	Humedad parcial	1.000	.831	83.1
	Humedad total	1.000	.896	89.6

Fuente: Método de extracción: Análisis de Comunalidades.

Análisis de componentes principales y variables que influyeron en la formación de estos

En la figura 5 se observa que los primeros 11 componentes expresan la variabilidad existente total en la especie con 86.68% de confiabilidad, de igual manera a través de los autovalores iniciales que presentaron un valor menor que uno a partir del componente 11 (el criterio de selección indica que valores menores que uno, no indican variabilidad y por lo tanto su comportamiento es homogéneo). También se aprecia el corte y la formación de un ángulo de 45° justamente sobre el componente 11, en donde al menos con una característica participa de la varianza total.

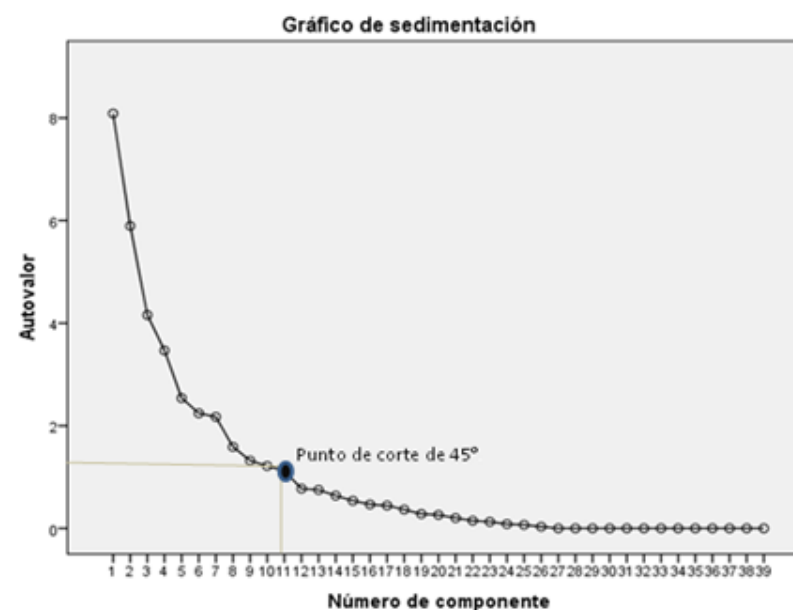


Figura 5. Proporción de la varianza explicada por cada componente principal en la caracterización de cacao.

Análisis de conglomerados

El fenograma (Fig. 6), muestra el proceso de agrupamiento entre los casos y la distancia en la que se formó cada agrupamiento. En tal sentido, un fenograma es la representación gráfica del historial de conglomerados que proporciona información muy valiosa sobre el número final de conglomerado.

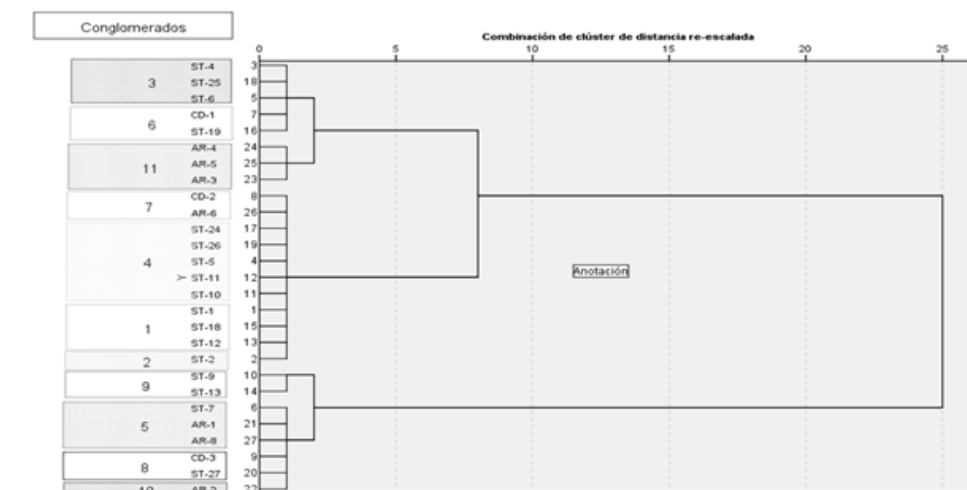


Figura 6. Fenograma de 27 árboles de Cacao.

El conglomerado uno se formó por los árboles: Santa Clara 1, 12 y 18; estos materiales fueron influenciados por las variables: longitud y ancho de semilla, grosor de cáscara, peso seco, y el índice de semilla. Estas variables están estrechamente relacionadas debido a la similitud y homogeneidad existente entre las mismas. Este grupo sobresalió por presentar el mayor promedio en cuanto a humedad total en la semilla 5.56%.

El conglomerado dos lo integró el árbol Santa Clara 2 y fue influenciado por las variables longitud, longitud media y ancho de hoja, número de chupones y edad del árbol. Este grupo sobresalió por tener promedios mayores de diámetro a la altura de pecho (DAP) 19.10 cm, número de cojinetes por metro lineal 45, ancho de fruto 8.90 cm, grosor de cáscara 1.20 cm, altura de caballete 1.30 cm, peso de fruto 563.86 g, porcentaje de calcio 0.89% y potasio 1.76%.

El conglomerado tres, se conformó por los árboles: Santa Clara 4, 6 y 25; estos materiales fueron influenciados por las variables número de flores por cojinete y ancho de fruto, espesor de cáscara, altura de caballete. Este grupo sobresalió de los demás conglomerados por poseer mayor promedio en cuanto a número de Chupones por árbol con 7, número de semilla 45 y longitud de semilla 2.31 cm.

El conglomerado cuatro se integró por los árboles: Santa Clara 5, 10, 11, 24 y 26.; estos materiales fueron influenciados por las variables número de chupones, longitud de estilo y proteína. Este grupo sobresalió por presentar

el mayor promedio de longitud de hoja 36.98 cm, longitud media 20.06 cm y ancho de hoja 12.82 cm.

El conglomerado cinco, agrupó las características de los árboles Arcatao 1, 8 y Santa Clara 7. Estos materiales fueron influenciados por las variables: número de cojinetes por metro lineal y número de semillas por fruto. Dicho grupo sobresalió por presentar los mayores promedios en cuanto a: ancho de sépalos 2.21 mm, longitud de sépalos 6.95 mm, longitud de estaminodios 6 mm, longitud de ovario 2.11 mm y grasa 52.31%.

El conglomerado seis juntó los árboles: San José Cortez 1 y Santa Clara 19; estos materiales fueron influenciados por las variables longitud de ovario y humedad parcial. Además, se caracterizó por presentar la mayor longitud promedio de fruto 17.75%, proteína 31.55% y fibra 20%.

El conglomerado siete, se formó por los árboles: Arcatao 6 y San José Cortez 2; estos materiales fueron influenciados por las variables contenido de fósforo y potasio. Este grupo se resaltó por ostentar el mayor ancho de ovario 1.56 mm y ceniza 6.27%.

El conglomerado ocho, agrupó los caracteres de los árboles San José Cortez 3 y Santa Clara 27, estos materiales fueron influenciados por las variables ancho de sépalos, longitud de estaminodios y calcio.

El conglomerado nueve, agrupó los caracteres del árbol: Santa Clara 9 y 13; estos materiales fueron influenciados por las variables: longitud de fruto, contenido de grasa y contenido de fibra. Este grupo sobresalió por presentar el mayor promedio de edad de árbol 80 años, número de flores por cojinetes 10.2 mm, longitud de estilo 2.3 mm, número de semilla por kilogramo 1822.21 semillas y fósforo 1.57%.

El conglomerado diez, agrupó únicamente las características del árbol Arcatao 2, fue influenciado por las variables altura de árbol y número de frutos. Sobresalió por presentar la profundidad promedio mayor de surco 0.60 cm e índice de fruto 139.82.

El conglomerado 11, agrupó los árboles Arcatao 3, 4 y 5 y fueron influenciados por la variable diámetro a la altura de pecho. Este grupo sobresalió por presentar la mayor altura promedio 9.33 m, número de frutos por árbol 65.67, ancho de semilla 1.36 cm, grosor de semilla 1.14 cm, peso seco semilla 2.13 g, índice de semilla 2.13 g y humedad parcial 44.31 %.

Conclusiones

La caracterización morfoagronómica es el principio del mejoramiento genético e incidió en la selección de características promisorias como: color blanco en las semillas, alta rugosidad en el fruto, ápices atenuados y cáscara delgada, siendo estas características propiamente encontradas en los árboles de cacaos de tipo criollo.

Los 27 árboles caracterizados en la cooperativa hacienda Santa Clara presentaron características promisorias relacionadas fenotípicamente a cacaos criollos y se destacaron los árboles Santa Clara 7 y 22 por los más altos contenidos de grasa en las semillas.

De los 11 árboles de Arcatao Chalatenango, cinco presentaron semillas de color blanco, hojas pequeñas, frutos verdes amarillos, con forma cundeamor y angoleta, flores blancas y brotes de color verde claro, sobresalieron los árboles Arcatao 4 y 5 presentando semillas de mayor longitud y peso seco respecto al resto de cultivares.

Los árboles San José Cortez 1, 2 y 3 sobresaliendo respecto al resto en cuanto a la forma ramificación, pubescencia en brotes terminales, rugosidad en frutos, formas cundeamor con poca resistencia en cáscara y semillas completamente blancas. También sobresalieron los árboles San Pedro Nonualco 1, 2, y 3 con el 95% de las semillas de color blanco siendo estas características típicas de cacaos criollos.

La variabilidad genética cuantitativa de los árboles seleccionados estuvo determinada por el 36.36% de los descriptores, y mostraron coeficientes de variación mayores del 30%. Además el método de análisis multivariado permitió agrupar 11 componentes o conglomerados por características afines o similitudes de las variables árbol, hojas, flores, frutos y semillas de 27 árboles de cacao caracterizados.

Recomendaciones

Los árboles San José Cortez 1, 2, y 3; Arcatao 1, 2, 3, 4 y 5; Santa Clara 4, 5 y 6 y los SPN 1 y 2 presentaron frutos de color amarillo verde con forma cundeamor y angoleta, ápices atenuados y alta rugosidad en la cáscara y semillas de color blanco a jaspeado, por ello, es necesario propagar estos germoplasmas a través de parcelas con distintas condiciones ambientales en el país.

Los árboles Arcatao 1, 8 y Santa Clara 7 del conglomerado cinco; Arcatao 6, y San José Cortez 2 del conglomerado siete, presentaron valores superiores

al 52 % de grasa contenido en las semillas de cacao. Esto representa una importante alternativa para los productores interesados en la extracción y comercialización de manteca de cacao.

Los árboles Arcatao 3, 4 y 5 del conglomerado 11, presentaron el mayor peso e índice de semilla, por tanto, estos árboles deben propagarse ya que los valores mostrados en cuanto a dicha característica y la alta tendencia que los vincula a cultivares criollos, los hace aún más valiosos para los productores e investigadores.

Evaluar las condiciones físicas de los suelos y las posibles relaciones con la planta de cacao en sus diferentes etapas.

Agradecimiento

Este artículo es producto de información obtenida del proyecto de investigación científica “Conservación de recursos filogenéticos de café y cacao criollo en sistemas agroecológicos productivos de El Salvador frente al cambio climático”, el cual es financiado por USAID a través del Proyecto de Educación Superior para el Crecimiento Económico, con Acuerdo de Cooperación Número 0214405-G-2018-003-00 entre Research Triangle Institute (RTI), USA y la Universidad de El Salvador, UES, el cual es coordinador por el Ing. Agr. M.Sc. Fidel Ángel Parada Berrios de la Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador, UES.

Bibliografía

- APPCACAO (Asociación Peruana de Productores de Cacao). 2008. Estudio de Caracterización del Potencial Genético del Cacao en el Perú. M y O Consulting S.A.C (Empresa Consultora). Lima, Peru. UE-PERU/PENX. 152 p.
- Ayesta Villega, ED. 2009. Caracterización morfológica de cien árboles promisorios de *Theobroma cacao* L. en Waslala, RAAN. Tesis. Ing. A. Managua, NI, UNA. 58 P.
- Bartley D. 1989. Manejo de Germoplasma de Cacao (en línea). Turrialba. IICA. Consultado 10 mar. 2017. Disponible en <https://books.google.com/sv/books?id=wbdCxx->
- Cote Flóres, MS; Jiménez Betacourt, JH. 2005. Caracterización de Clones de Cacao Promisorios con énfasis en el contenido de micronutrientes. Tesis MSc. Química. Universidad industrial de Santander, Facultad de Fisicoquímicas Escuela de Ingeniería Química Bucaramanga. Colombia. 102 p.
- Duarte Hernández, D. 2014. Caracterización Morfo agronómica de 26 materiales regionales e introducidos de cacao (*Theobroma cacao* L.) en San Vicente Chucuri, Santander. Tesis. Ing. A. CO. UFPS. 139p.
- Dubón, A. 2011. Manual de producción de cacao. Lima, Cortéz, HN. FHIA. 208 p.
- García Carrión, LF. 2012. Catálogo de cultivares del cacao del Perú (en línea). Lima, PE. Consultada 8 sep. 2016. Disponible en: http://www.regionhuanuco.gob.pe/grde/.../cultivares_2012.pdf.
- Hernández Villarreal, AE. 2013. Caracterización Morfológica de Recursos Filogenéticos. Bio Ciencias. 2(3): 113-118.
- INIA (Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas). 2005. Descriptor de Caracteres Morfológicos en Cacao. Campo Experimental de San Juan Lagunillas-Mérida. Venezuela. Basado en Engels, et al (1980).
- INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícola y Pecuaria). (2014). Manual grafico de descriptores varetales de cacao (*Theobroma cacao* L). Chiapas, México. 72p.
- Medina, ZC. 1950. Informe final sobre el cultivo del cacao. Tesis especialista en cacao. Costa Rica. Turrialba. 40 p.
- Peña Monserrate, GR. (2003). Caracterización Morfológica de 57 Acciones de Cacao (*Theobroma cacao* L.) Tipo Nacional de Banco de Germoplasma de la estación experimental tropical pichilingue. Tesis. Ing. A. Universidad Técnica de Manabí Facultad de Ingeniería Agronómica Escuela de Agronomía. Ecuador. 134p.
- Pérez Zuñiga, JI. 2009. Evaluación y caracterización de selecciones clonales de cacao (*Theobroma cacao* L.) del Programa de Mejoramiento del CATIE. Tesis MSc. Agricultura Ecológica. CATIE (Centro Agronómico Tropical De Investigación y Enseñanza). Costa Rica. 149p.
- Sari, AI; Susilo, AW. (2011). Indikasi Pengaruh Xenia pada Tanaman Kakao (*Theobroma cacao* L.). (en línea). Pelita Perkebunan 27(3), 181-190. Consultado 24 jul.2016. Disponible en <https://www.ccrjournal.com/index.php/ccrj/article/download/155/pdf>.
- Vicencio Jácome, AV. 2001. Caracterización química del nivel de fermentación y estudio de los parámetros de calidad del cacao (*Theobroma cacao* L.). Quito, EC. 2ed. INIAP. 75p.
- Graziani de Fariñas, L; Ortiz de Bertorelli, L; Angulo, J; Parra, P. 2002. Características físicas del fruto de cacaos tipos criollo, forastero y trinitario de la localidad de cumboto, Venezuela. Aragua, UCV. Consultado 2 mar.2017. Disponible en http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2002000300006.