

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN**

NOMBRE DE LA INVESTIGACIÓN

Código: AI-1903

Formación de un banco de germoplasma de cacao (*Theobroma cacao* L.) con árboles criollos seleccionados en el municipio de San Pedro Nonualco, Departamento de La Paz, El Salvador.

TÍTULO A OBTENER:

Ingeniero Agrónomo

AUTORES

Nombres, apellidos	Institución y dirección	Teléfono; E-mail	Firma
Br. Franco Portillo, Rodd Alberto	Barrio Roma, municipio de Ciudad Barrios, departamento de San Miguel	7886-4942 rodd_a@outlook.com	
Br. Romero Quintanilla, Juan Carlos	Calle pral. cantón Las Isletas, municipio de San Pedro Masahuat, departamento de La Paz	7135-9943 jcrquintanilla@gmail.com	
Ing. Agr. M Sc. Fidel Ángel Parada Berrios	Facultad de Ciencias Agronómicas, departamento de Fitotecnia	7795-6408 faparadaberrios@yahoo.com	
Ing. Agr. M Sc. Efraín Antonio Urrutia Rodríguez	Facultad de Ciencias Agronómicas, departamento de Desarrollo Rural	7318-0554 earu_1663@yahoo.com.mx	
Lic. Ada Yanira Arias de Linares	Facultad de Ciencias Agronómicas, departamento de Química Agrícola	7860-4900 yani_linares@hotmail.com	

Visto bueno

Coordinador de Procesos de Graduación del Departamento de Fitotecnia Ing. Agr. Mario Alfredo Pérez Ascencio	Firma:
Director General de Procesos de Graduación de la Facultad de Ciencias Agronómicas Ing. Agr. M.Sc. Elmer Edgardo Corea Guillen	Firma:
Jefe del Departamento Ing. Agr. M Sc. Fidel Ángel Parada Berrios	Firma:
	Sello:

Lugar y fecha: ciudad universitaria, julio de 2019

Formación de un banco de germoplasma de cacao (*Theobroma cacao* L.) con árboles criollos seleccionados en el municipio de San Pedro Nonualco, Departamento de La Paz, El Salvador.

AUTORES. Franco-Portillo, RA¹; Romero-Quintanilla, JC¹; Parada-Berrios, FA²; Urrutia-Rodríguez, EA³; Arias de Linares, AY⁴.

RESUMEN

La investigación se llevó a cabo en los municipios de San Pedro Nonualco, San Luis Talpa, Tenancingo y San Salvador, departamento de La Paz, Cuscatlán y San Salvador, respectivamente, realizando giras de colecta y caracterización *in situ*, durante el período de octubre de 2017 a octubre de 2018, donde se identificaron árboles de cacao con características promisorias. El lugar seleccionado para el establecimiento del banco de germoplasma fue en el cantón Robles, municipio de San Pedro Nonualco, La Paz, con coordenadas geográficas 13°36'112" latitud norte y 89°55'449" longitud oeste, con altitud de 520 msnm. Para la caracterización del germoplasma colectado se utilizaron descriptores utilizados en México, Perú y Venezuela. A las mazorcas de los árboles encontrados también se les realizó el análisis bromatológico de la semilla. Para la interpretación de la información se utilizó la estadística descriptiva y análisis multivariado mediante el programa estadístico SPSS versión 25. Como resultado se logró caracterizar morfoagronómicamente un total de 36 árboles de cacao, asimismo, el método multivariado utilizado mostró una variabilidad de la especie con un 86.33% de confiabilidad originando 12 conglomerados, también se encontraron nueve árboles con forma de mazorca pentágona, nueve árboles con color de semilla blanca, características típicas de cacao criollo y se obtuvieron 28 árboles con contenido de grasa menor del 50%. Se concluye que, de los árboles encontrados y caracterizados, el 13.89% (5 árboles) presentan forma de mazorca pentágona y el 52.78% (19 árboles) coloración de semilla blanca, crema y rosa, que son características típicas de germoplasma de cacao criollo. Se logró la formación de un banco de germoplasma con el material colectado, pero también se incorporaron árboles clonados colectados en investigaciones precedentes. Finalmente, se elaboró un catálogo con los árboles caracterizados.

Palabras clave: materiales genéticos, caracterización, análisis bromatológico, banco de germoplasma, cacao criollo, *Theobroma*.

Formation of a bank of cacao germplasm (*Theobroma cacao* L.) with selected creole trees in the municipality of San Pedro Nonualco, Department of La Paz, El Salvador.

AUTHORS. Franco-Portillo, RA¹; Romero-Quintanilla, JC¹; Parada-Berrios, FA²; Urrutia-Rodríguez, EA³; Arias de Linares, AY⁴.

ABSTRACT

The research was carried out in the municipalities of San Pedro Nonualco, San Luis Talpa, Tenancingo and San Salvador, department of La Paz, Cuscatlán and San Salvador, respectively, making tours of collection and characterization *in situ*, during the period of october

¹ Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Fitotecnia, Estudiantes tesis tas. E-mail: rodd_a@outlook.com; jrcquintanilla@gmail.com

² Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Fitotecnia, Docente Director. E-mail: faparadaberrios@yahoo.com

³ Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Desarrollo Rural, Docente Director. E-mail: earu_1663@yahoo.com.mx

⁴ Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Química Agrícola, Docente Director. E-mail: yani_linares@hotmail.com

of 2017 to October 2018, where cacao trees with promising characteristics were identified. The selected place for the establishment of the germplasm bank was in the canton Robles, municipality of San Pedro Nonualco, La Paz, with geographic coordinates 13° 36'112 "north latitude and 89° 55'449" west longitude, with an altitude of 520 msnm. For the characterization of the collected germplasm, descriptors used in Mexico, Peru and Venezuela were used. The cobs of the trees found were also subjected to the bromatological analysis of the seed. For the interpretation of the information, descriptive statistics and multivariate analysis were used through the statistical program SPSS version 25. As a result, a total of 36 cacao trees were characterized morphoagronomically, and the multivariate method used showed a variability of the species with a 86.33% of reliability originating 12 conglomerates, were also found nine trees shaped pentagon cob, nine trees with white seed color, typical characteristics of creole cacao and 28 trees were obtained with fat content less than 50%. It is concluded that of the trees found and characterized, 13.89% (5 trees) have a pentagon cob shape and 52.78% (19 trees) white, cream and pink seed coloration, which are typical characteristics of creole cacao germplasm. The formation of a germplasm bank with the collected material was achieved, but also cloned trees collected in previous investigations were incorporated. Finally, a catalog with the characterized trees was elaborated.

Key words: genetic materials, characterization, bromatological analysis, germplasm bank, creole cacao, *Theobroma*.

1. INTRODUCCIÓN

En El Salvador la producción del cacao es una actividad que está estimulando el interés de muchos productores, percibiendo su potencial a futuro, ya que constituye una oportunidad para el desarrollo, como un nuevo rubro de generación de ingresos, trabajo y dinamización de la economía nacional. En el país se encuentran árboles de cacao con buen potencial genético principalmente germoplasma criollo en peligro de extinción, pero no se ha logrado identificar, mucho menos conservar y propagar comercialmente. El cacao ocupa el tercer lugar después del azúcar y el café en el mercado mundial de materias primas y actualmente en El Salvador no se tienen zonas productoras de cacao, pero si existen ciertas fincas pequeñas y medianas, que son iniciativas dispersas que mantienen el cultivo del mismo. El mercado mundial demanda 3.5 millones de toneladas de cacao. Toda Centroamérica produce 5 mil toneladas y El Salvador sólo unas 200 toneladas (cacao con dominancia de trinitario). A nivel mundial sólo un 5% del cacao que se comercializa es de alta calidad y en este segmento está el criollo, el mejor cacao del mundo, según los productores salvadoreños (Cruz Montesinos 2012).

Esta especie posee una amplia diversidad y variabilidad genética. Donde se pueden encontrar poblaciones dispersas de cacao silvestre, cacao cultivado y especies afines al género *Theobroma*. A pesar de ello, este valioso pool genético se ve amenazado día a día por una erosión genética de consecuencias impredecibles. A través del tiempo y por generaciones, las poblaciones silvestres y domesticadas, han estado sometidas a la influencia de factores evolutivos como: la selección natural, mutación, aislamiento geográfico, migración y deriva genética, que sumado a la selección artificial, aunque incipiente, ha generado una amplia recombinación genética dentro y entre poblaciones locales, expresándose en un amplio espectro de genotipos, que bajo la influencia de factores ambientales *in situ*, los atributos productivos y organolépticos, se han expresado en grado variable y diferenciales (USAID 2008).

Actualmente el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), a través del Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA), han retomado el interés por este cultivo, que

tienen como objetivo principal el desarrollo tecnológico y el fortalecimiento de la base productiva en el país. También, la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, se encuentra realizando diversas investigaciones sobre el cultivo de cacao, buscando materiales promisorios de alto valor genético para su rescate y conservación en bancos de germoplasma.

Por tanto, el objetivo principal de esta investigación fue formar un banco de germoplasma de cacao con árboles criollos, seleccionados del municipio de San Pedro Nonualco y la incorporación de otras selecciones colectadas en otros municipios con características acentuadas de cacao criollo, con la finalidad de garantizar el rescate y conservación del material nativo, donde se dispone de material de propagación identificado para los productores de la zona que lo demanden, para que en el futuro se exploten comercialmente y logren la aceptación en el mercado nacional e internacional, obteniendo resultados que beneficien a los productores.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Ubicación

El estudio se realizó en el período de octubre de 2017 a octubre de 2018. El banco de germoplasma se estableció en el cantón El Roble, caserío el Volcancito, municipio de San Pedro Nonualco, departamento de La Paz con coordenadas geográficas 13°36'112" latitud norte y 89°55'449" longitud oeste, con una altitud de 520 metros sobre el nivel del mar, estableciendo y caracterizando un total de 36 árboles de cacao, entre otros clones.

2.2 Material experimental

Se caracterizaron *in situ* 36 árboles de cacao criollo, distribuidos en el municipio de San Pedro Nonualco (20 árboles) y San Luis Talpa (1 árbol), ambos pertenecientes al departamento de La Paz; Universidad de El Salvador (2 árboles), municipio de San Salvador departamento de San Salvador y en el municipio de Tenancingo (13 árboles) departamento de Cuscatlán, El Salvador. A cada uno de los árboles se tomaron datos de georreferenciación y altura sobre el nivel del mar (Cuadro 1) y además se extrajeron muestras de hojas, flores y mazorcas para su respectiva caracterización y de las semillas de las mazorcas se realizó su respectivo análisis bromatológico.

2.3 Condiciones climáticas de la zona

La temperatura promedio anual donde está ubicado el banco de germoplasma es de 23.70 °C, registrándose la más alta entre los meses de marzo y abril, mayor a los 33 °C y las mínimas de 20 °C entre los meses de noviembre y febrero. La humedad relativa media del aire es del 72% y precipitaciones acumuladas de 1,778.82 mm al año (MARN 2017).

2.4 Herramientas para la caracterización

Para la caracterización morfoagronómica de cacao se utilizaron varios descriptores morfológicos y agronómicos cuyas características o variables fueron semejantes a las características reflejadas o expresadas en el material seleccionado, estos descriptores son: Catálogo gráfico de descriptores varietales de cacao (*Theobroma cacao* L.) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas de México (INIFAP) (Avendaño Arrazate, *et al*, 2014), Catálogo de cultivares de cacao de Perú (USAID 2016) y el Manual práctico para la caracterización morfológica de cacao de Venezuela (Jiménez *et al*, 1980). Estos sirvieron para comparar los caracteres y así establecer los atributos morfoagronómicos que presentaba cada árbol seleccionado.

2.5 Variables en estudio

Las variables cualitativas fueron: arquitectura y forma de ramificación; color y pubescencia de brotes; forma, textura y color de hojas, mazorcas y semillas; color de flores. Las variables cuantitativas fueron: altura, diámetro a la altura de pecho, número de mazorcas, número de cojinetes y flores por cojinete, largo y ancho de hojas, longitud y diámetro de mazorcas, longitud y espesor de semillas, espesor de cáscara en mazorcas, peso de mazorcas, índice de semillas y mazorcas, longitud y ancho de sépalos, ovario y estilo de la flor y análisis bromatológico de las semillas.

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

Municipio	N° de árbol	Abreviatura	Latitud	Longitud	Altura
San Pedro Nonualco	1	SPN 1	13°36'16.43"	88°56'40.84"	562
San Pedro Nonualco	2	SPN 2	13°36'16.36"	88°56'41.01"	562
San Pedro Nonualco	3	SPN 3	13°36'16.10"	88°56'41.00"	559
San Pedro Nonualco	4	SPN 4	13°34'47.90"	88°56'23.50"	510
San Pedro Nonualco	5	SPN 5	13°34'47.60"	88°56'23.70"	502
San Pedro Nonualco	9	SPN 9	13°36'16.20"	88°56'40.80"	504
San Pedro Nonualco	10	SPN 10	13°36'15.80"	88°56'41.60"	558
San Pedro Nonualco	11	SPN 11	13°36'16.60"	88°56'41.90"	564
San Pedro Nonualco	12	SPN 12	13°36'16.50"	88°56'41.80"	568
Santa Clara	13	SC 13	13°25'31.32"	89°05'05.29"	19
San Pedro Nonualco	14	SPN 14	13°34'47.28"	88°56'23.79"	496
San Pedro Nonualco	15	SPN 15	13°36'16.38"	88°56'41.52"	560
San Pedro Nonualco	16	SPN 16	13°36'16.40"	88°56'41.41"	560
Tenancingo	17	TN 17	13°48'39.81"	88°58'80.38"	500
Tenancingo	18	TN 18	13°48'40.10"	88°58'80.40"	497
Tenancingo	19	TN 19	13°48'39.80"	88°58'80.50"	498
Tenancingo	20	TN 20	13°48'40.10"	88°58'80.60"	499
Tenancingo	21	TN 21	13°48'39.90"	88°58'80.90"	500
Tenancingo	22	TN 22	13°48'39.90"	88°58'80.80"	497
Tenancingo	23	TN 23	13°48'39.90"	88°58'90.00"	498
Tenancingo	32	TN 32	13°48'41.05"	88°58'80.30"	513
Tenancingo	35	TN 35	13°48'38.60"	88°58'80.70"	504
Tenancingo	36	TN 36	13°48'38.40"	88°58'80.80"	503
Tenancingo	37	TN 37	13°48'42.38"	88°58'07.07"	512
Tenancingo	38	TN 38	13°48'42.18"	88°58'06.92"	512
Tenancingo	39	TN 39	13°48'42.00"	88°58'06.81"	513
San Pedro Nonualco	47	SPN 47	13°36'15.80"	88°56'41.30"	562
San Pedro Nonualco	45 SV	45 SV	13°35'58.30"	88°55'51.50"	622
San Pedro Nonualco	48 SV	48 SV	13°35'59.40"	88°55'52.30"	628
San Pedro Nonualco	49 SV	49 SV	13°35'59.90"	88°55'52.00"	631
San Pedro Nonualco	50 SV	50 SV	13°36'10.10"	88°55'52.10"	642
San Pedro Nonualco	209	SPN 209	13°36'16.15"	88°56'42.09"	559
San Pedro Nonualco	210	SPN 210	13°36'15.81"	88°56'42.07"	559
San Pedro Nonualco	211	SPN 211	13°36'16.40"	88°56'42.60"	565
San Salvador	001	UES 001	13°43'80.80"	89°12'00.80"	699
San Salvador	2a	UES 2A	13°43'19.50"	89°12'40.70"	695

2.6 Análisis bromatológico

El análisis se realizó en muestras de semillas colectadas de 36 árboles, se siguieron 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, con la finalidad de determinar: porcentaje de proteína, materia seca, grasa, fibra cruda, carbohidratos, cenizas y minerales (hierro, zinc y calcio).

2.7 Metodología estadística

Para el análisis de los datos o atributos cualitativos se utilizó estadística descriptiva a partir de tablas y para los datos cuantitativos se aplicó estadística simple (desviación estándar, media y coeficiente de variación) y análisis multivariado, específicamente análisis de correlación, componentes principales 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 25.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Descripción de variables cualitativas

3.1.1 Arquitectura y forma de ramificación

Todos los árboles caracterizados presentaron arquitectura erecta 100% y la mayoría con forma de ramificación intermedia 38.89% o simple 36.11%. Moreira (1992) encontró en estudios de diversos centros de investigación de cacao, que la arquitectura está influenciada por la poda y que el árbol debe ser podado metódicamente desde su primera fase de crecimiento, con el fin de darle buena formación y mantenerlo en mejores condiciones de producción.

3.1.2 Color y pubescencia de brotes tiernos

El color de la hoja joven fue rojo claro 33.33%, seguido de rojo medio 27.78%, verde claro 22.22%, verde medio 11.11% y marrón 5.56% con pubescencia intermedia en brotes terminales 52.78% y una pubescencia incipiente 47.22%. Los clones seleccionados por CATIE (2016) presentan diversidad de colores de hoja joven desde rojo pálido con verde, café claro verdoso hasta rojo con café intenso.

3.1.3 Forma, color, constricción basal, forma del ápice, superficie y resistencia de la cáscara de la mazorca

El 63.89% de las mazorcas presentó forma ovado, mientras que el 22.22% forma obovada y un 13.89% forma pentágona. El 44.44% presentó un color de mazorca amarillo verde, el 16.67% color amarillo, mientras que otro 16.67% color rojo medio, un 11.11% color púrpura, un 8.33% color rojo oscuro y un 2.78% color anaranjado. En cuanto a la constricción basal, un 63.89% se clasifica como ausente o muy débil mientras que un 16.67% moderada, un 13.89% débil y un 5.55% fuerte. En cuanto a la forma del ápice un 41.67% ápice estallado, mientras que un 41.67% ápice obtuso y un 16.66% ápice agudo. En cuanto a la superficie de la mazorca un 72.22% presenta una superficie moderadamente rugosa, un 19.44% superficie lisa o ligeramente rugosa y un 8.33% superficie muy rugosa. En cuanto a la resistencia de la cáscara en mazorca fisiológicamente madura, el 75% presentó una resistencia fuerte, un 22.22% resistencia moderada y un 2.78% superficie débil. Martínez (2007), demostró en sus estudios que el 39% de las mazorcas presentó forma ovado, con escasa constricción basal 59.8% y una rugosidad intermedia 46.7%. El ápice de la mayoría de las mazorcas fue obtuso 31.8% o agudo 30.8% y el porcentaje de los genotipos con mazorcas de color verde fue del 100%. Amores, *et al.* (2009), indica que los cacaos criollos de cotiledones blancos, violeta pálidos o rosa, sus mazorcas usualmente tienen una forma alargada, con punta acentuada en el extremo inferior, corteza marcada con diez surcos profundos, pericarpio rugoso y delgado y mesocarpio poco lignificado. En estado inmaduro la cáscara es de color rojo o verde, tornándose amarilla y anaranjado-rojiza a la madurez.

3.1.4 Color de pulpa; color y forma de semilla

El color de pulpa que más predominó fue el blanco con un 52.78%, seguido del color crema claro con un 47.22%, es importante mencionar que sólo estos colores fueron encontrados en

la pulpa de las mazorcas de cacao. En cuanto a la forma de la semilla en sección longitudinal la más representativa fue la ovada con un 69.44%, seguido de una forma oblonga de 19.44% y forma elíptica con 11.11%. En cuanto a la sección trasversal la que predominó fue la forma aplanada con un 97.22%, seguido de la forma intermedia con un 2.78%. En cuanto al color de semilla el purpura oscuro fue el que más se encontró con un 39.89%, pero tomando en cuenta el color blanco, crema y rosa, representan el 52.77%. Martínez (2007), demostró en sus estudios que el color de las semillas en su totalidad fue de color púrpura 100%. Amores, *et al.* (2009), explica que en el grupo de cacao criollo, están incluidos genotipos con almendras dotadas de cotiledones de color blanco marfil, presentes principalmente en América Central, México y sectores de Venezuela y Colombia, pero según Arguello *et al* (2000) citado por el mismo autor, algunos de estos cacaos también presentan cotiledones o semillas violeta pálidos o rosados y estaminodios color rosado pálido. Las almendras son gruesas casi redondas, con cotiledones ligeramente pigmentados. Este tipo de cacao requiere de dos a tres días para completar su fermentación, es muy aromático y comercialmente se enmarca dentro de los cacaos finos

3.2 Descripción de variables cuantitativas

3.2.1 Número de semillas por mazorca

Los árboles codificados como SPN 4 y SPN 11 presentaron el mayor valor en cuanto al número de semillas por mazorca con 47 semillas, el menor valor lo mostró el árbol codificado como TN 23 con 17 semillas. De los 36 árboles, el valor promedio fue de 33.39 semillas, la desviación estándar de 7.82% y un coeficiente de variación de 34.13%. Esto quiere decir que existe alta heterogeneidad en dicha variable. Se encontró correlación positiva entre número de semillas y número de óvulos con un valor de $r= 0.95$, lo que indica una dependencia directa del número de semillas al número de óvulos, coincidiendo con Dubón y Sánchez (2011), quien afirma que una mazorca contiene de 25 a 45 semillas, lo que depende del número de óvulos fecundados. Martínez (2007), demostró en sus estudios en Bolivia que el número promedio de semillas fue de 34.7 semillas y en cacao nacional silvestre el número promedio de semillas por mazorca fue de 38 semillas.

3.2.2 Peso de mazorca

El árbol SPN 11 presentó el mayor valor en cuanto al peso de mazorca con 872.50 g, el menor valor lo mostró TN 23 con 191.40 g (Figura 1). El valor promedio fue de 451.80 g, la desviación estándar de 174.48% y el coeficiente de variación de 38.62%. Lo que manifiesta una alta heterogeneidad en esta variable. Se encontró correlación positiva entre largo de mazorca y peso de cáscara, con valor de $r= 0.72$, indicando dependencia entre las variables. Al respecto Martínez (2007), en su estudio en Bolivia menciona que, el peso promedio de las mazorcas fue de 272.6 g obteniendo el peso máximo para la muestra de Cachichira (383.3 g) y el más bajo para la muestra de Macagua (227 g). También los valores se encuentran en el rango mencionado por Dostert, *et al.* (2012), quienes manifiestan que los pesos de las mazorcas de cacao oscilan entre 200 y 1,000 g.

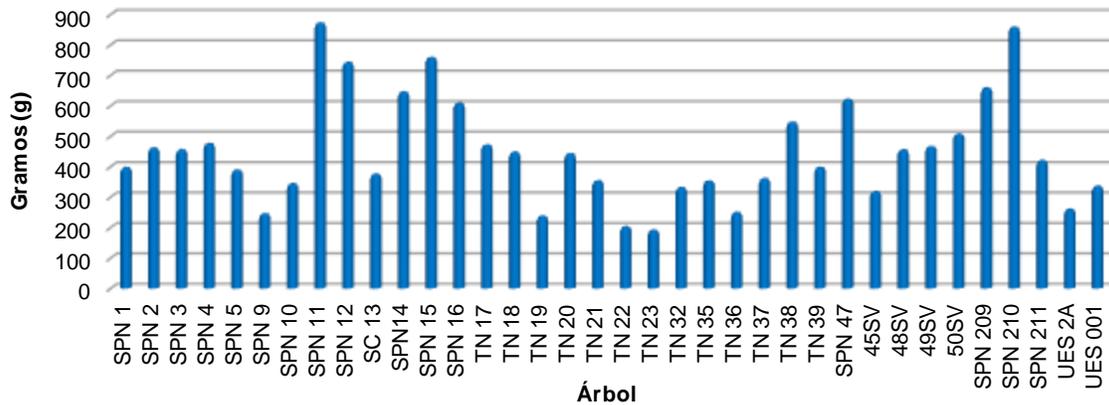


Figura 1. Peso de mazorcas de 36 árboles caracterizados de cacao.

3.2.3 Índice de mazorcas

El árbol TN 23 presentó el mayor valor en cuanto al índice de mazorcas con 80.97 mazorcas, el menor valor lo mostró el árbol 45 SV con 11.62 mazorcas. De los 36 árboles, el valor promedio fue de 26.11 mazorcas, la desviación estándar de 13.64% y un coeficiente de variación de 52.22%. Esto quiere decir que existe alta heterogeneidad en dicha variable. FEDECACAO (2005), reporta en los clones ICS entre 11 y 20 mazorcas para formar un kilo de semillas secas, bajo excelentes condiciones de manejo. El análisis de correlación indica que existe independencia y relación inversa entre las variables índice de mazorca y peso seco de semilla, ya que reporta un valor negativo $r = -0.76$ requiriendo de una gran cantidad de mazorcas para formar un kilo de semilla o grano seco. Analizando estos resultados el árbol TN 23 requiere de 81 mazorcas para formar un kilo de semilla o grano seco y el 45 SV solamente 11, entre ambos árboles, es importante detallar que el primero se encuentra en condiciones silvestres y sin manejo alguno, lo cual podría mejorar con manejo adecuado, el segundo árbol se encuentra con un manejo prácticamente óptimo por su donador.

3.2.4 Índice de semilla

El árbol TN 23 presentó el mayor valor en cuanto al Índice de semilla con 137.65 semillas, el menor valor lo presentó el árbol 50 SV con 50.53 semillas (Figura 2). De los 36 árboles, el valor promedio fue de 79.44 semillas, la desviación estándar de 23.20% y un coeficiente de variación de 29.20%. Esto quiere decir que existe heterogeneidad en dicha variable.

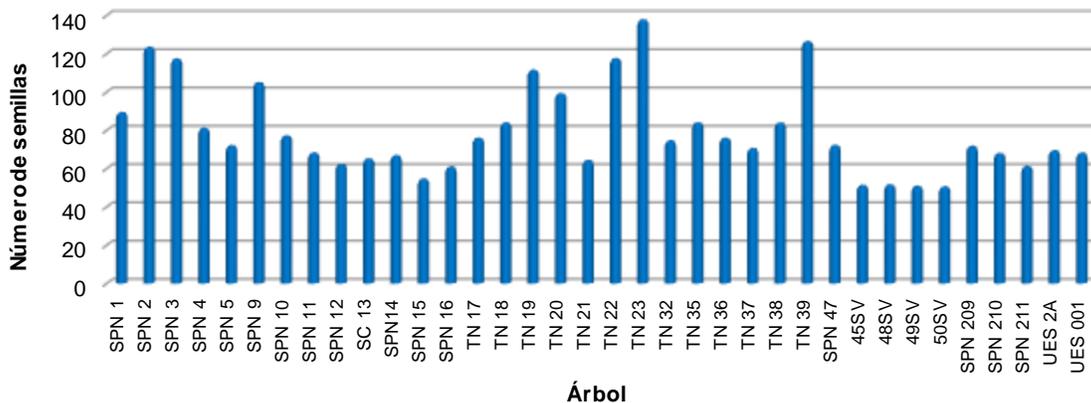


Figura 2. Índice de semilla de 36 árboles caracterizados de cacao.

3.2.5 Peso seco de semilla

El material 50 SV presentó el mayor valor en cuanto al peso seco de semilla con 1.98 g, el menor valor lo presentó el árbol TN 23 con 0.73 g. De los 36 árboles, el valor promedio fue de 1.35 g, la desviación estándar de 0.35% y un coeficiente de variación de 25.71%. Esto quiere decir que existe heterogeneidad en dicha variable (Figura 3). Martínez (2007), encontró en sus estudios una media de peso seco de 24.1 g por fruto. Al analizar el coeficiente de correlación se encontró correlación positiva entre las variables diámetro de mazorca y peso de semilla; diámetro de mazorca y peso de semilla más placenta más mucilago, con valores de $r = 0.63$ para ambas asociaciones, indicando dependencia entre las variables. El análisis de correlación indica que existe independencia entre las variables índice de semilla y peso seco de semilla, ya que reporta un valor negativo $r = - 0.76$, para evaluar la calidad de los granos del cacao se calculó el índice de semilla, que es el peso promedio en gramos de 100 semillas fermentadas y secas tomadas al azar.

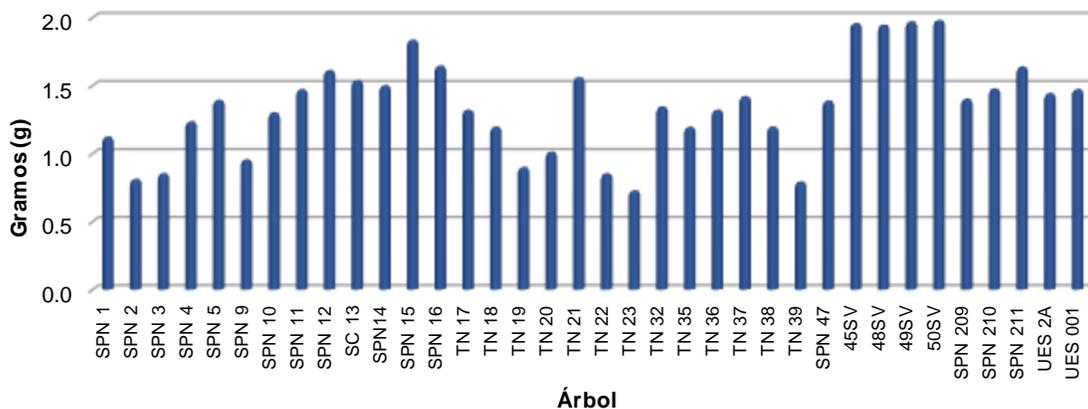


Figura 3. Peso seco de semillas de 36 árboles caracterizados de cacao in situ.

3.3 Análisis bromatológico

3.3.1 Contenido de grasa, proteína y fibra cruda en la semilla de cacao

De los 36 árboles analizados el mayor contenido de grasa el 50 SV con un valor de 54.31% y el que presentó menor contenido de grasa el TN 35 con un valor de 37.06%. El contenido promedio de grasa de 44.56%, la desviación estándar de 4.81% y coeficiente de variación de 10.79%, significando homogeneidad en dicha variable en sus diferentes muestras (Figura 4).

De acuerdo a los 36 árboles analizados el que presentó mayor contenido de proteína el SPN 47 con un valor de 23.61% y el que presentó menor contenido de proteína el TN 19 con un valor de 11.23%. El contenido promedio de proteína fue de 19.35%, la desviación estándar de 2.75% y coeficiente de variación de 14.21%, presentando homogeneidad en la variable para las muestras tituladas (Figura 4).

Con respecto al análisis de fibra el que presentó mayor contenido fue el árbol SPN 16 con un valor de 30.10% y el que presentó menor contenido el SPN 11 con un valor de 5.47%. El contenido promedio de fibra de 15.52%, la desviación estándar de 6.81% y coeficiente de variación de 43.90%, implicando alta heterogeneidad en dicha variable para las diferentes muestras (Figura 4).

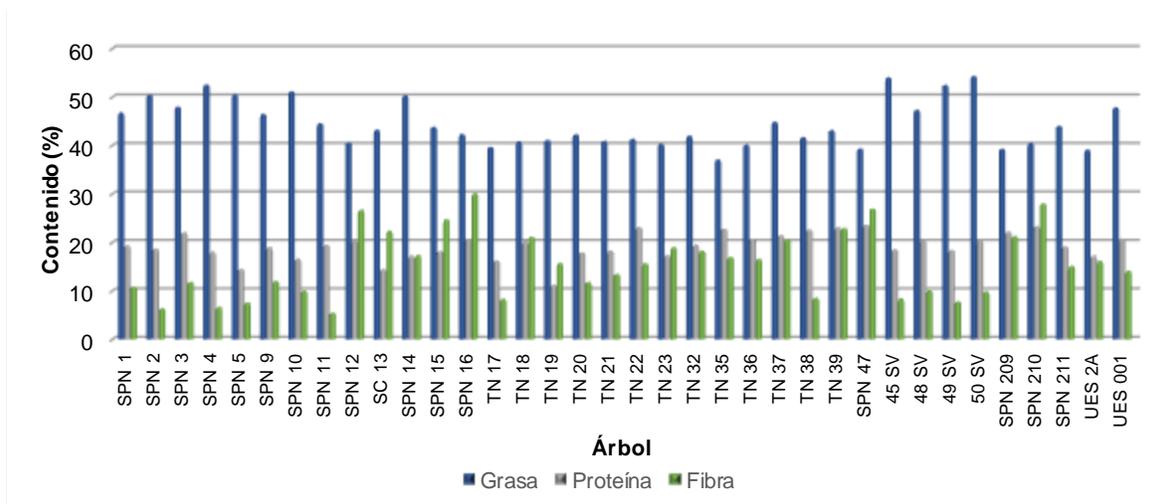


Figura 4. Contenido de grasa, proteína y fibra cruda de la semilla de 36 árboles de cacao.

3.3.2 Contenido de ceniza en la semilla

El árbol TN 21 presentó el mayor contenido de ceniza con un valor de 6.14% y el árbol SPN 11 presentó el menor contenido con un valor de 3.49% (Figura 5). El valor promedio de los 36 árboles fue de 4.62%, la desviación estándar de 0.67% y el coeficiente de variación de 14.58%, considerando que existe homogeneidad en dicha variable en sus respectivas muestras.

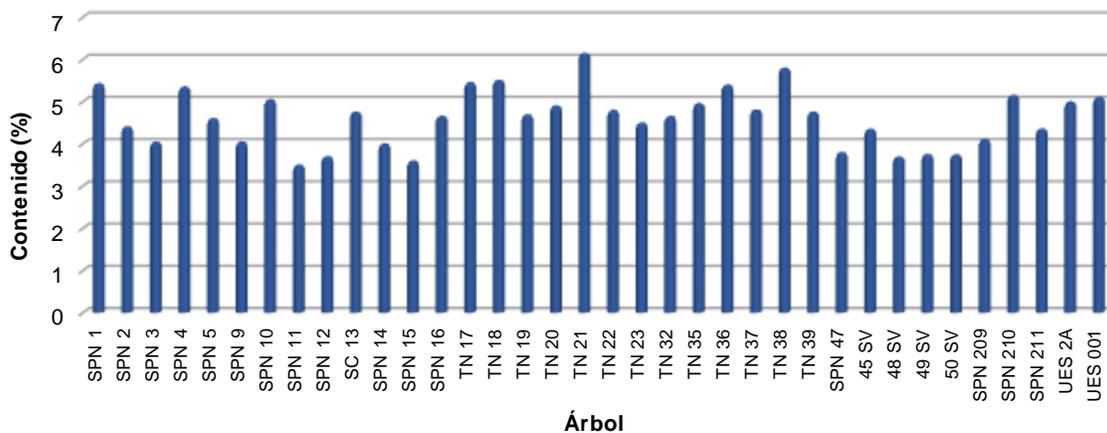


Figura 5. Contenido de ceniza de la semilla de 36 árboles de cacao.

3.3.3 Contenido de hierro (Fe), zinc (Zn) y calcio (Ca)

Para el contenido de hierro el árbol que presentó mayor valor fue el TN 22 con 42.80 ppm y el que menor valor el SPN 14 con 14.47 ppm. El promedio de hierro para los 36 árboles analizados fue de 30.30 ppm, la desviación estándar de 6.99% y el coeficiente de variación de 23.08% lo que indica que el comportamiento de la variable fue heterogéneo.

Con respecto al contenido de zinc el árbol que presentó mayor valor fue el UES 001 con 63.97 ppm y el árbol que presentó menor valor fue TN 21 con 38.06 ppm (Figura 6). El contenido promedio de zinc fue de 50.57 ppm, la desviación estándar de 6.32% y coeficiente de variación de 12.49% lo que indica que el comportamiento de la variable fue homogéneo.

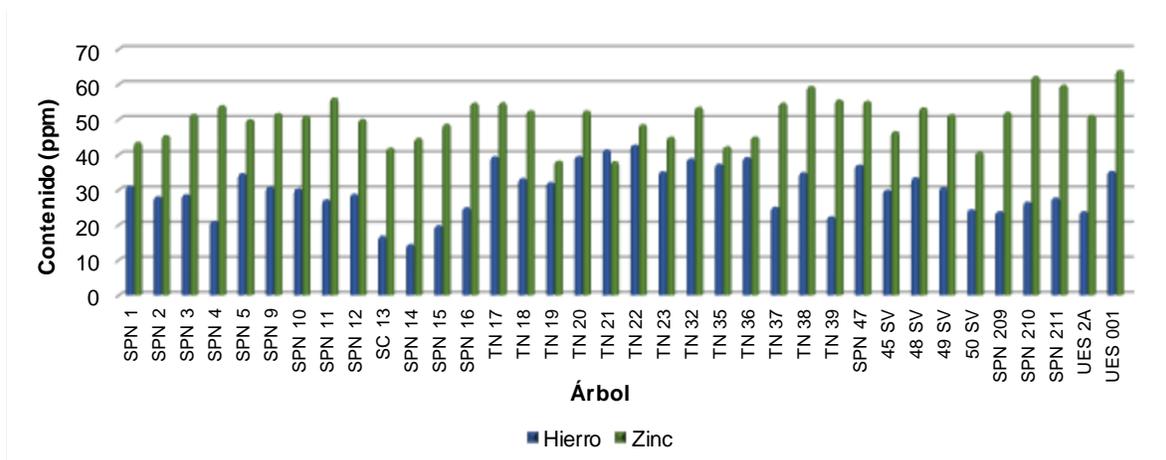


Figura 6. Contenido de hierro y zinc de la semilla de 36 árboles de cacao.

Los árboles que presentaron mayor contenido de calcio fueron el SPN 3, SPN 12, TN 21, TN 32 y TN 38 con un valor de 0.15%, respectivamente y los árboles con menor valor de calcio fueron SPN 11, SPN 14, SPN 15, SPN 16, SPN 47, SPN 209, SPN 210, SPN 211, TN 23, TN 36, UES 2A y UES 001 con un valor de 0.05% (Figura 7).

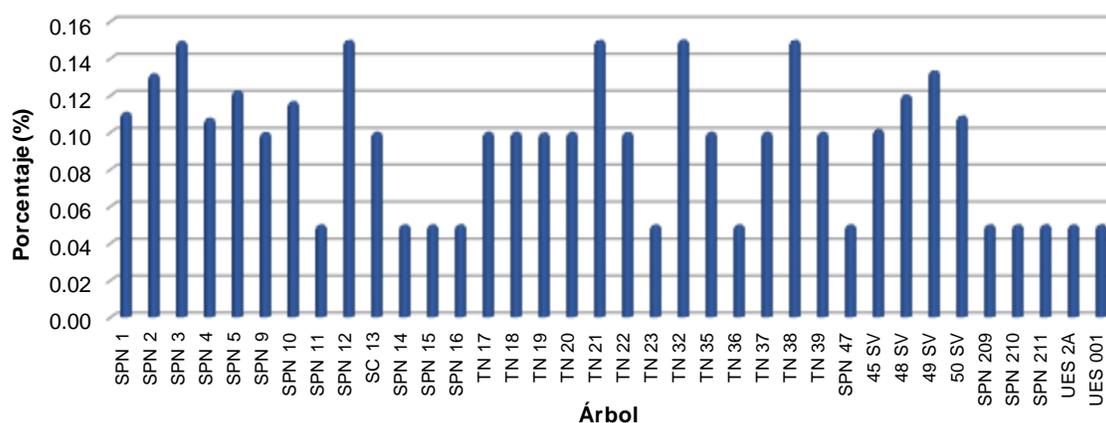


Figura 7. Contenido de calcio de la semilla de 36 árboles de cacao.

3.4 Componentes principales

El método de componentes principales tiene por objeto transformar un conjunto de variables, a las que se denomina originales, en un nuevo conjunto de variables denominadas componentes principales. Estas últimas se caracterizan por no estar correlacionadas entre sí y además pueden ordenarse de acuerdo con la información que llevan incorporada (De la Fuente Fernández 2011).

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

La figura 8, muestra la variabilidad existente en la especie con un 86.33% de confiabilidad, con autovalores mayores a uno lo que da origen a 12 componentes y a partir de este los autovalores son menores a uno, lo que indica que no hay variabilidad y su comportamiento es homogéneo. El punto de corte fue en el componente ocho, donde se forma un ángulo de 45° participando al menos una variable de la varianza total.

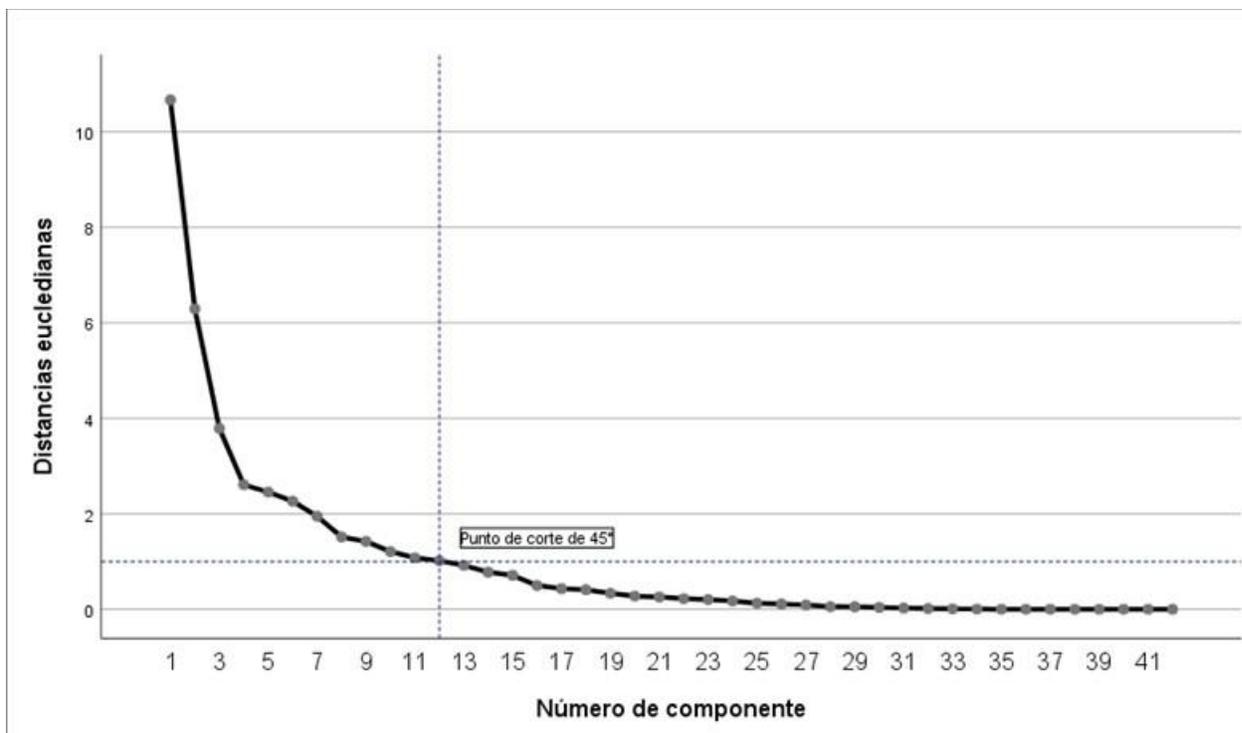


Figura 8. Proporción de la varianza explicada por cada componente principal en la caracterización de cacao.

3.5 Análisis de conglomerados

En la figura 9 se observan las asociaciones que ocurrieron entre los materiales, debido a la similitud existente entre una o más variables, por lo tanto, se muestran 12 grupos, los cuales se describen a continuación.

El conglomerado 1. Está formado por los árboles SPN 1 y SC 13, materiales encontrados en San Pedro Nonualco y Santa Clara, respectivamente, los cuales están siendo influenciados por las variables peso de mazorca, peso de cáscara, diámetro de mazorca, largo de mazorca, largo de semilla, peso de semilla más placenta más mucílago y ancho de semilla, debido a la alta homogeneidad entre ellas, con coeficiente de variación menor al 10% y la variable espesor de caballete que presenta un coeficiente de variación menor al 20% siendo homogénea, estas son características correspondientes a mazorca y semilla. El conglomerado presentó un coeficiente promedio de 15.14%.

El conglomerado 2. Muestra la agrupación de SPN 2 y SPN 3, ambos pertenecientes a San Pedro Nonualco, siendo influenciados por las variables largo de hoja, ancho de hoja, largo desde la base hasta el punto más ancho de la hoja, diámetro a la altura del pecho, número de óvulos y número de semillas, presentando alta homogeneidad debido a que tienen coeficiente de variación menor al 10%, estas son características de árboles, hojas, flores y semillas. El conglomerado presentó un coeficiente de variación de 15.37%.

El conglomerado 3. Está formado por los árboles SPN 4, TN 17 y TN 18, el primero perteneciente a San Pedro Nonualco y el resto a Tenancingo, estos fueron influenciados por las variables índice de semillas, peso seco de semillas; las cuales presentan alta homogeneidad al obtener un coeficiente de variación menor al 10% e índice de mazorca, la cual presenta heterogeneidad al tener un coeficiente de variación menor al 30%, estos deben

su agrupación debido a la similitud existente en las características de mazorca y semilla. El conglomerado presentó un coeficiente de variación promedio de 20.33%.

El conglomerado 4. Está formado por los árboles SPN 5, SPN 211 y TN 20, encontrados en San Pedro Nonualco y Tenancingo, estos árboles están influenciados por las variables largo de estaminodio que presenta alta homogeneidad por tener un coeficiente de variación menor al 10%, largo de sépalo, número de flores por cojín, número de óvulos y número de semillas, son variables homogéneas con un coeficiente de variación menor al 20%. Este grupo se caracteriza por presentar el menor valor en largo de sépalo y largo de estaminodio. El conglomerado presentó un coeficiente de variación promedio de 22.29%.

El conglomerado 5. Está agrupado por los árboles SPN 9 y UES 2A, pertenecientes a San Pedro Nonualco y San Salvador, respectivamente, siendo influenciados por las variables materia seca, proteína y humedad parcial, estos tienen similitudes correspondientes al análisis bromatológico de la semilla, presentando alta homogeneidad debido al coeficiente de variación menor al 10%. El conglomerado obtuvo un coeficiente de variación promedio de 16.27%.

En el conglomerado 6. Se encuentran los árboles SPN 10, 45 SV (San Pedro Nonualco), TN 21, TN 32, TN 35, TN 37 (Tenancingo) y UES 001 (San Salvador), influenciados por las variables carbohidratos, fibra cruda y número de chupones, siendo la primera una variable homogénea, ya que presenta un coeficiente de variación menor al 20%, contrario a las dos variables restantes que son heterogéneas con coeficiente de variación mayor al 30%. El conglomerado presentó un coeficiente de variación promedio de 23.55%.

En el conglomerado 7. Se encuentran los árboles SPN 11 y SPN 210, ambos pertenecientes a San Pedro Nonualco, los cuales están siendo influenciados por las variables: grasa, hierro y ancho de semilla con alta homogeneidad al presentar un coeficiente de variación menor al 10%, y la variable número de mazorcas es altamente heterogénea, ya que presenta un coeficiente de variación mayor al 40%. El conglomerado presentó un coeficiente de variación promedio de 17.33%.

En el conglomerado 8. Se encuentran los árboles SPN 12 y SPN 15, ambos pertenecientes a San Pedro Nonualco, los cuales están siendo influenciados por las variables: largo y ancho de ovario, la primera es homogénea al presentar un coeficiente de variación menor al 20%, y la segunda es heterogénea, ya que presenta un coeficiente de variación mayor al 20%, estas son características de la flor. El conglomerado presentó un coeficiente de variación promedio de 11.38%.

En el conglomerado 9. Se encuentran los árboles SPN 14, SPN 16, SPN 47 y SPN 209 todos pertenecientes a San Pedro Nonualco, los cuales están siendo influenciados por las variables: número de chupones, altura y espesor de semilla, siendo esta última altamente homogénea al presentar un coeficiente de variación menor al 10%, y el resto de variables son heterogéneas, ya que presentan un coeficiente de variación mayor al 30%, estas son características de árbol y semilla. El conglomerado presentó un coeficiente de variación promedio de 18.55%.

En el conglomerado 10. Se encuentran los árboles TN 19, TN 22, TN 23 y TN 36, todos pertenecientes a Tenancingo, los cuales están siendo influenciados por las variables: zinc, que es altamente homogénea por presentar un coeficiente de variación menor del 10%, el número de cojines por metro lineal y número de flores por cojín son homogéneas, ya que presenta un coeficiente de variación menor al 20% y humedad total, la cual es heterogénea, ya que

presenta un coeficiente de variación mayor al 30%, estas son características de la flor y análisis bromatológico. El conglomerado presentó un coeficiente de variación promedio de 19.52%.

En el conglomerado 11. Se encuentran los árboles TN 38 (Tenancingo), 48 SV, 49 SV y 50 SV (San Pedro Nonualco), los cuales están siendo influenciados por las variables: ancho de sépalo y contenido de ceniza, la primera es altamente homogénea al presentar un coeficiente de variación menor al 10% y la segunda es heterogénea, ya que presenta un coeficiente de variación mayor al 20%, estas son características de la flor y análisis bromatológico. El conglomerado presentó un coeficiente de variación promedio de 16.38%.

El conglomerado 12. Agrupó únicamente el árbol TN 39 perteneciente a Tenancingo, en el cual la única variable tomada en cuenta fue el calcio que es altamente homogénea, ya que presenta un coeficiente de variación de 0%, esta es una característica del análisis bromatológico.

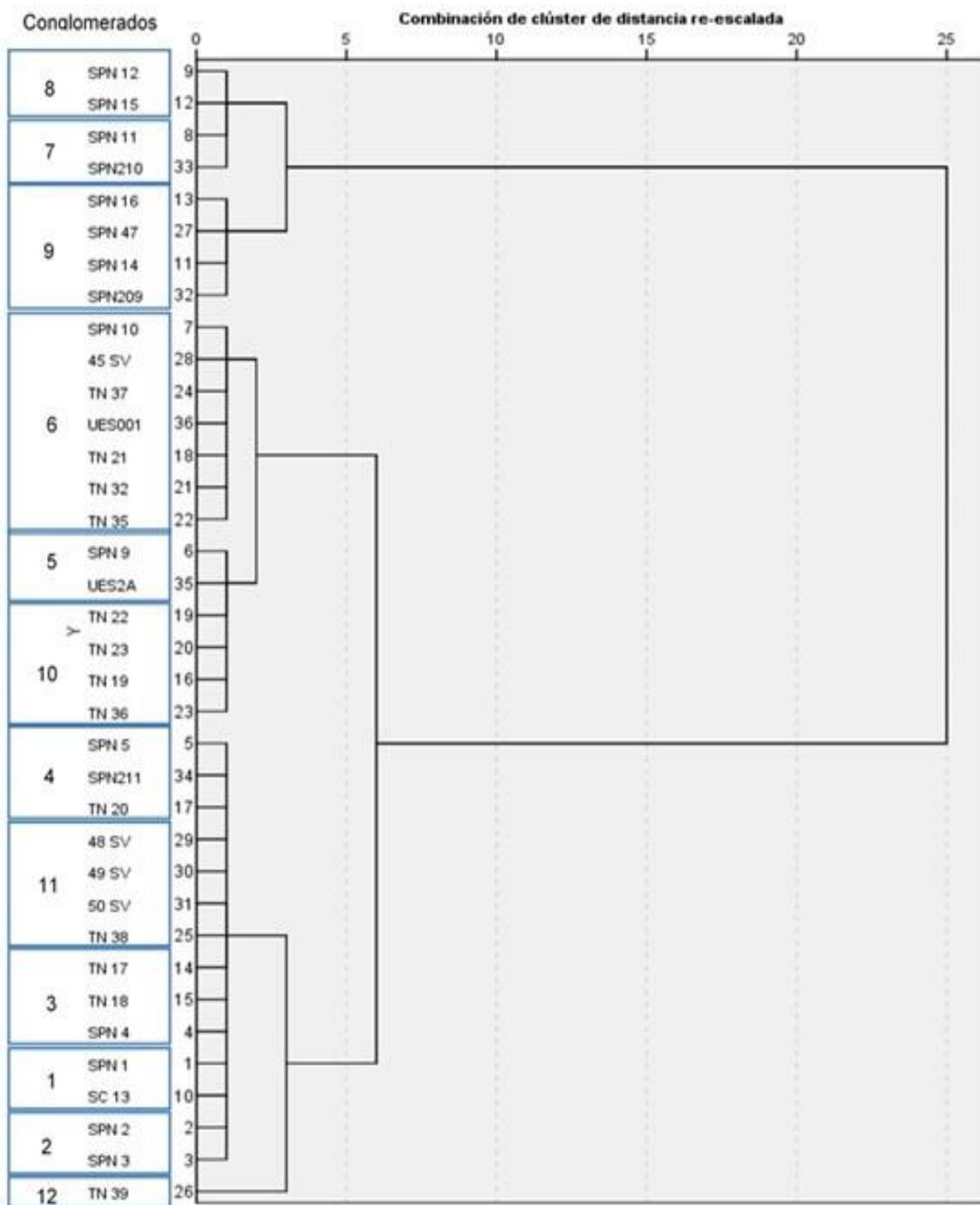


Figura 9. Dendrograma de distancias de 36 árboles de cacao.

4. CONCLUSIONES

Con base a la información obtenida, las observaciones realizadas *in situ* y el análisis de resultados, se presentan las siguientes conclusiones:

Se caracterizaron 36 árboles de cacao establecidos en el banco de germoplasma en San Pedro Nonualco, los cuales presentan características de cacao criollo de aroma fino, demostrado por sus características cualitativas y cuantitativas de mazorcas, semillas y forma del árbol.

De los 36 árboles de cacao caracterizados, 19 árboles presentan en forma más definida las características cualitativas de cacao criollo fino de aroma como mazorca pentágona, semillas de color blanco, rosa y crema.

En cuanto a los árboles identificados como cacaos criollos finos de aroma, 28 árboles tienen valores en grasa menor al 50% y 8 árboles tienen valores en grasa por arriba del 50% (cacaos trinitarios).

El árbol 45 SV presentó el menor valor en cuanto al índice de mazorcas con un total de 11.62 mazorcas que indica que se necesitan 12 mazorcas aproximadamente para formar un kilogramo de semilla seca; el árbol 50 SV presentó el menor valor en cuanto al índice de semilla con un total de 50.53 semillas, indicando que se necesitan 51 semillas aproximadamente para formar 100 gramos de semilla seca.

El método multivariado permitió agrupar en 12 componentes o grupos los árboles de cacao evaluados, llamando a esos componentes como poblaciones de cacao, ya que cada grupo se caracteriza por poseer variables idénticas entre sí, pero diferentes entre los demás grupos.

En el conglomerado uno se encuentran los árboles SPN 1 y SC 13, los cuales se destacan por las variables: peso de fruto, peso de cáscara, diámetro del fruto, largo de fruto, largo de semilla, peso de semilla más placenta más mucílago y ancho de semilla.

5. RECOMENDACIONES

Continuar con la búsqueda, colecta, caracterización, conservación y propagación a nivel nacional de germoplasma que exprese las características de cacao criollo fino de aroma, con el fin de establecer bancos de germoplasma y jardines clonales en diferentes pisos altitudinales para evaluar la adaptabilidad y la productividad.

Para la clonación de cada árbol de cacao caracterizado las varetas deben ser envueltas en papel periódico húmedo, transportadas dentro de una hielera y se debe injertar el mismo día de su colecta, ya que al pasar más de 24 horas las varetas presentan oxidación y disminuye el porcentaje de prendimiento del injerto.

Realizar una evaluación de la productividad y de las características organolépticas de las accesiones establecidas en el banco de germoplasma en San Pedro Nonualco y seleccionar aquellos que presentan el mayor rendimiento de cosecha y el mejor perfil organoléptico.

Completar la caracterización morfoagronómica de los árboles de cacao establecidos en el banco de germoplasma con una caracterización molecular para conocer con certeza el porcentaje de características criollas que posee cada árbol.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Amores, F; Palacios, A; Jiménez, J; y Zhang, D. 2009.** Entorno ambiental, genética, atributos de calidad y singularización del cacao en el nor oriente de la provincia de Esmeraldas, Quevedo, Los Ríos, Ecuador. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Boletín Técnico N° 135. 100 p.
- AOAC (Asociación Oficial de Químicos Analistas, Estados Unidos). 1990.** Métodos oficiales de análisis (en línea). Filipinas, Estados Unidos. s.p. Consultado 31 may. 2017. Disponible en <http://www.eoma.aoac.org/>
- Avendaño Arrazate, CH; Cueto Moreno, J; Mendoza López, A; López Andrade, PA; Sandoval Esquivéz, A; Aguirre Medina, JF. 2014.** Manual gráfico de descriptores varietales de cacao (*Theobroma cacao* L.). Coyoacán, México. 72 p.
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Costa Rica). 2016.** Catálogo de clones de cacao seleccionados por el CATIE para siembras comerciales (en línea). Turrialba, Costa Rica. 70 p. Consultado 10 sep. 2018. Disponible en http://www.worldcocoafoundation.org/wp-content/uploads/files_mf/phillipsmora2012clones4.64mb.pdf
- Cruz Montesinos, E. 2012.** Caracterización de la cadena de agroproductiva cacao en El Salvador (en línea). San Salvador, El Salvador. 71 p. Consultado 29 de abr. 2017. Disponible en <http://simag.mag.gob.sv/uploads/pdf/Contribuciones2014311105318.pdf>
- De la Fuente Fernández, S. 2011.** Análisis componentes principales. Madrid, España. 34 p.
- Dostert, N; Roque, J; Cano, A; Torre, M y Weigend, M. 2012.** Hoja Botánica: Cacao. Trad Luebert, F. Lima, Perú. GmbH. 19 p.
- Dubón, A; Sánchez, J. 2011.** Manual de Producción de Cacao. 1 ed. La Lima, Cortés: FHIA. 208 p.
- FEDECACAO (Federación Nacional de Cacaoteros de Colombia). 2005.** El beneficio y características físico químicas del cacao (*Theobroma cacao* L.). Bogotá, Colombia. Produmedios. 32 p.
- Jiménez, JM; Castillo, A; Gómez, A; Ramos, G; Chacón, I; Moya, A; Rumbos, R; Vidal, R; Albornoz, L; Gutiérrez, B; Vivas, A; Morales, N; Ramis, C. 1980.** Manual Práctico para la caracterización morfológica de cacao (*Theobroma cacao* L.). Caracas, Venezuela. s.e. 50 p.
- MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, SV). 2017.** Boletín Climatológico Mensual, Anual 2017. San Salvador, El Salvador. 1 p.
- Martínez, WJ. 2007.** Caracterización morfológica y molecular del cacao nacional boliviano y de selecciones élites del Alto Beni, Bolivia. Tesis M. Sc. Turrialba, Costa Rica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 101 p.
- Moreira Duque, M. 1992.** La poda del cacao. 2ed. Quevedo, Ecuador. INIAP, Estación Experimental Tropical Pichilingue. 18 p.

USAID (Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional). 2008. Estudio de caracterización del potencial genético del cacao en el Perú (en línea). Lima, Perú. 78 p. Consultado 25 mar. 2017. Disponible en http://minagri.gob.pe/portal/download/pdf/direccionesyoficinas/dgca/estudio_caracterizacion.pdf

USAID (Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional). 2016. La experiencia de la Alianza cacao Perú: 28,000 Ha de cacao fino y de aroma bajo sistemas agroforestales en la Amazonía peruana: una contribución para una agricultura bio diversa y carbono positiva con ex coccaleros en las regiones de San Martín, Huánuco y Ucayali en la Amazonía Peruana. San Isidro, Perú. 73 p.