

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN MEJORAMIENTO GENÉTICO

DE PLANTAS



**“CARACTERIZACIÓN Y CLASIFICACIÓN FENÉTICA DE 46
ACCESIONES DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) DE LA
COLECCIÓN INTERNACIONAL DE LA U.N.A.S., TINGO MARÍA”**

Presentada por:

LUIS FERNANDO GARCÍA CARRIÓN

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAGISTER SCIENTIAE
EN MEJORAMIENTO GENÉTICO DE PLANTAS**

Lima - Perú

2019

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN MEJORAMIENTO GENÉTICO DE PLANTAS

**“CARACTERIZACIÓN Y CLASIFICACIÓN FENÉTICA DE 46
ACCESIONES DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) DE LA
COLECCIÓN INTERNACIONAL DE LA U.N.A.S., TINGO MARÍA”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE
MAGISTER SCIENTIAE EN MEJORAMIENTO
GENÉTICO DE PLANTAS**

Presentada por:

LUIS FERNANDO GARCÍA CARRIÓN

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

M.Sc. Ricardo Sevilla Panizo
PRESIDENTE

Dr. Félix Camarena Mayta
PATROCINADOR

Mg.Sc. Julián Chura Chuquija
MIEMBRO

Dr. Salomón Helfgott Lerner
MIEMBRO

A Dios por darme la vida, fe y sabiduría.

A la inolvidable memoria de mis queridos y recordados progenitores:

Francisca Amalia Carrión de García (Q.E.P.D. y D.D.G.)

Francisco Zolano García Rebaza (Q.E.P.D. y D.D.G.)

Por sus principios, valores y forjar mi carrera profesional y especialización.

A Manuela Rodríguez Sánchez de García, mi esposa y compañera de mi vida que con su aliento y comprensión, hizo posible culminar esta tesis de posgrado.

A Patricia, Luis y Jennifer, mis maravillosos hijos a quienes dejo este legado y el reto de superar obstáculos y alcanzar sus nobles aspiraciones.

AGRADECIMIENTOS

- A la Escuela de posgrado de Universidad Nacional Agraria - La Molina y a sus docentes-investigadores de la especialidad de Mejoramiento Genético de Plantas, por compartir sus valiosos conocimientos y experiencias académicas en esta especialidad.

- Al Dr. Félix Camarena Mayta (Patrocinador) por sus valiosas enseñanzas, orientación y aliento permanente para culminar esta tesis.

- A los miembros del Jurado de tesis de posgrado: M.Sc. Ricardo Sevilla Panizo (Presidente), Dr. Salomón Helfgott Lerner (Miembro) y Mg. Sc. Julián Chura Chuquiya (Miembro), por su tiempo dedicado a la revisión y acertadas sugerencias.

- A mis compañeros posgraduados, docentes del Área de Fitomejoramiento de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS) y todas aquellas personas que directa o indirectamente me alentaron para culminar esta tesis.

ÍNDICE GENERAL

	Pág
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Origen, domesticación y diversificación del cacao	3
2.2. Clasificación actual del germoplasma	5
2.3. Botánica y sistemática	6
2.4. Caracterización de germoplasma.....	9
2.4.1. Caracterización morfológica	11
2.4.2. Caracterización organoléptica	11
2.5. Métodos multivariados usados en la taxonomía.....	12
2.5.1. Métodos de ordenación	13
2.5.2. Métodos de agrupamientos.....	15
III. MATERIALES Y MÉTODOS	19
3.1. Campo experimental.....	19
3.1.1. Ubicación	19
3.1.2. Registros meteorológicos	19
3.1.3. Análisis físico-químico del suelo	19
3.2. Material genético	21
3.3. Metodología.....	21
3.3.1. Elección de descriptores morfológicos	23
3.3.2. Elección de descriptores organolépticos	27
3.4. Elección de estadísticos descriptivos univariados	27
3.5. Elección de estadísticos descriptivos multivariados.....	28
3.5.1. Método de análisis de componentes principales (ACP).....	28
3.5.2. Método de análisis de agrupamientos (AC)	29
3.6. Conducción de la investigación.....	30
3.6.1. Determinación de los caracteres morfológicos	31
3.6.2. Determinación de los caracteres organolépticos	31

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	32
4.1. De la caracterización morfológica y organoléptica	32
4.1.1. Caracteres morfológicos de la flor	32
4.1.2. Caracteres morfológicos del fruto	43
4.1.3. Caracteres morfo-organolépticos de la semilla	50
4.2. De la clasificación infraespecífica	62
4.2.1. Análisis de correlación simple de Pearson	62
4.2.2. Análisis de componentes principales (ACP)	65
4.2.3. Análisis de agrupamientos (AC)	83
V. CONCLUSIONES	92
VI. RECOMENDACIONES	93
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	94
VIII. ANEXOS.....	106

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Datos meteorológicos registrados de Mayo a Septiembre, 2012 en Tingo María.	20
Cuadro 2. Resultados del análisis físico-químico del suelo del Banco de genes de cacao.	20
Cuadro 3. Grupos germoplásmicos y genealogía de 46 accesiones de cacao de la colección Internacional.	22
Cuadro 4. Resultados de la caracterización morfológica de flores de 46 accesiones de cacao de la colección Internacional.	34
Cuadro 5. Resultados de la caracterización morfológica de frutos de 46 accesiones de cacao de la colección Internacional.	44
Cuadro 6. Resultados de la caracterización morfo-organoléptica de semillas de 46 accesiones de cacao de la colección Internacional.	52
Cuadro 7. Estadísticos univariados de seis caracteres organolépticos de semilla fresca de 46 accesiones de cacao de la colección Internacional.	57
Cuadro 8. Matriz de correlación de seis caracteres organolépticos de la semilla fresca de 46 accesiones de cacao de la colección Internacional.	60
Cuadro 9. Matriz básica de datos de 24 caracteres morfo-organolépticos de 46 accesiones de cacao de la colección Internacional.	63
Cuadro 10. Matriz de coeficientes de correlación de 24 caracteres morfo-organolépticos de 46 accesiones de cacao de la colección Internacional.	66
Cuadro 11. Valores propios y proporción de la variancia explicada en el análisis de	

los componentes principales basado en la matriz de correlación.	67
Cuadro 12. Vectores propios de los primeros cinco componentes principales para las 24 variables originales de la colección Internacional de cacao.....	69
Cuadro 13. Correlación lineal entre las 24 variables originales con los cinco primeros componentes principales.	70
Cuadro 14. Proporción de la variancia explicada por cada variable original sobre los cinco primeros componentes principales en la colección Internacional de cacao.	74

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Forma básica del fruto (FBF).	24
Figura 2. Constricción de la base del fruto (CBF).	24
Figura 3. Forma del ápice del fruto (FAF).	24
Figura 4. Rugosidad de la superficie del fruto (RUF).	25
Figura 5. Separación de un par de lomos (SLF).	25
Figura 6. Profundidad de los surcos primarios del fruto (PSF).	25
Figura 7. Color del fruto inmaduro (CIF).	26
Figura 8. Forma de la semilla en sección longitudinal (FLS).	26
Figura 9. Forma de la semilla en sección transversal (FTS).	26
Figura 10. Forma de la semilla en sección transversal (FTS).	27
Figura 11. Histogramas de frecuencia con ajuste normal de seis caracteres organolépticos de la semilla fresca de 46 accesiones de cacao de la colección Internacional.	58
Figura 12. Proporción de la variancia explicada por los componentes principales en la caracterización fenotípica de la colección Internacional de cacao.	68
Figura 13. Distribución de las 24 variables originales sobre el primer y segundo componente principal en la caracterización de la colección Internacional de cacao.	73

Figura 14. Dispersión de 46 accesiones de cacao sobre el primer y segundo componente principal de la colección Internacional basado en la matriz de correlación de Pearson.....	77
Figura 15. Árbol de recorrido mínimo de 46 accesiones de cacao sobre el primer y segundo componente principal de la colección Internacional basado en la matriz de correlación de Pearson.	78
Figura 16. Dispersión de 46 accesiones de cacao sobre el primer y tercer componente principal de la colección Internacional basada en la matriz de correlación de Pearson.....	81
Figura 17. Árbol de recorrido mínimo de 46 accesiones de cacao sobre el primer y tercer componente principal de la colección Internacional basada en la matriz de correlación de Pearson.....	82
Figura 18. Distribución biplot de 24 variables originales de 46 accesiones de cacao de la colección internacional sobre el primer y segundo componente principal, basado en la matriz de correlación de Pearson. .	84
Figura 19. Dendrograma de disimilaridad de 46 accesiones de cacao de la colección Internacional basado en la distancia Euclidiana y el método del ligamiento promedio.....	87

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. Croquis del Banco de genes de cacao de la Universidad Nacional Agraria de la Selva-Tingo María.	1067
ANEXO 2. Formato de evaluación sensorial utilizado en la caracterización organoléptica de las semillas frescas de cacao.	1078
ANEXO 3. Resultados de la caracterización morfológica de flores de 46 accesiones de cacao de la colección Internacional.	108
ANEXO 4. Resultados de la caracterización morfológica de frutos de 46 accesiones de cacao de la colección Internacional.	109
ANEXO 5. Resultados de la caracterización morfo-organoléptica de semillas de 46 accesiones de cacao de la colección Internacional.	110
ANEXO 6. Resultados del conteo del número de óvulos por ovario de 46 accesiones de cacao de la colección Internacional.	111
ANEXO 7. Matriz de coeficientes de similaridad y distancia euclidiana para las 46 accesiones de cacao de la colección Internacional.	112
ANEXO 8. Fotografías de los frutos de las 46 accesiones de cacao de la colección Internacional.	1146

RESUMEN

Con la finalidad de caracterizar y clasificar infraespecíficamente la colección Internacional del Banco de genes de cacao de la Universidad Nacional Agraria de la Selva-Tingo María, mediante métodos multivariado se realizó esta investigación de Abril a Octubre del 2012. Como material genético se utilizó 46 accesiones de cacao que fueron caracterizados con una lista de 24 descriptores estándar (18 morfológicos y 6 organolépticos). Como método de ordenación se usó el análisis de componentes principales (ACP) basado en la matriz de correlación de Pearson y como método de agrupamiento, el análisis de conglomerados (AC) usando la distancia Euclidiana y el método del ligamiento promedio. La caracterización morfológica y organoléptica permitió diferenciar y ubicar las accesiones de cacao según su grupo genético (Nacional, Forastero del Alto Amazonas y Trinitario), verificando su identidad genética. El ACP mostró que los caracteres morfológicos de flores, frutos y organolépticos de la semilla fresca fueron los más discriminativos e importantes taxonómicamente. El dendrograma generado por el AC mostró siete conglomerados muy congruentes con el ACP siendo el conglomerado IV el más concentrado y diverso fenéticamente; y también, la identificación de dos accesiones putativas: PA-167 y CCN-51 de la colección Internacional. Futuros estudios de clasificación infraespecífica del cacao deben incluir caracteres morfo-agronómicos de alto valor taxonómico y el uso de marcadores moleculares.

Palabras claves: Cacao, caracterización morfológica, caracterización organoléptica, análisis multivariado, clasificación infraespecífica.

ABSTRACT

With the aim to characterize and classify infraspecifically the International collection from cacao genebank of the Universidad Nacional Agraria de la Selva-Tingo María by multivariate methods, this investigation was carried out from April to October, 2012. As genetic material forty six cacao accessions were used which were characterized by twenty-four standard descriptors (18 morphological and 6 organoleptic). The multivariate analysis included as ordination method the principal component analysis (PCA) based in the Pearson's correlation matrix and as agglomerative method the cluster analysis (AC) utilizing the Euclidian distance and the average linkage method. The morphological and organoleptic characterization permitted to difference and locate cacao accessions according to their genetic group (National, Upper Amazonian Forastero and Trinitario), confirming their genetic identity. The PCA shown that the flowers, fruits and organoleptic traits of fresh seeds, were the most discriminants and taxonomically importants. The obtained dendrogram by the cluster analysis (CA) shown seven clusters very congruents with the PCA it being the cluster IV the most concentrated and diverse phenetically and also the identification of two putative accessions PA-167 y CCN-51 from the International collection. Further studies on cacao infraspecific classification should include additional morphological traits of high taxonomic value and the use of molecular markers.

Key words: Cacao, morphological characterization, organoleptic characterization, multivariate analysis, infraspecific classification.

I. INTRODUCCIÓN

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es una especie originaria de los bosques tropicales húmedos de América del sur y sus almendras son el insumo básico para la industria del chocolate y derivados, la industria cosmética e industria farmacéutica (García, 2000).

La Amazonía peruana es un microgenocentro que alberga una amplia diversidad genética de poblaciones de cacao silvestre, cultivado y parientes silvestres que se diferencian por sus caracteres morfológicos, agronómicos e industriales.

Desafortunadamente, este valioso reservorio de genes está expuesto a la erosión genética sin que se haya suficientemente explorado, adecuadamente caracterizado, conservado y utilizado. La sustitución gradual de cultivares nativos y naturalizados por cultivares modernos de superior productividad, pero de inferior calidad y adaptación provoca erosión genética y sub-utilización de los mismos.

El uso generalizado de cultivares de cacao de estrecha base genética y uniformes fenotípicamente, también los hace vulnerables a agresores bióticos (pestes emergentes) y/o abióticos (estrés climáticos). La identificación y utilización de genotipos superiores genéticamente divergentes es una estrategia eficaz para el desarrollo de germoplasma de cacao de amplia base genética. Las colecciones base y activas que conservan una apreciable diversidad genética del cacao si no son suficientemente caracterizadas y evaluadas, la documentación no es muy útil para el fitomejorador.

Numerosas investigaciones han usado descriptores morfológicos cuantitativos y cualitativos para evaluar la variabilidad fenotípica de los cultivares de cacao. Los primeros tienen la desventaja de expresarse recién a la madurez y ser influenciados por el ambiente; en cambio, los segundos por ser discriminantes, altamente heredables y que se expresan por igual en todos los ambientes (Engels, 1983b; Franco e Hidalgo, 2003),

permiten diferenciar cultivares, detectar duplicados y diagnosticar errores de identificación de germoplasma (Bryan *et al.*, 1997).

El Banco de genes de cacao de la U.N.A.S.-Tingo María conserva 160 accesiones en tres colecciones: Internacional, Huallaga y Ucayali, cuya identificación varietal completa aún no se ha realizado. La caracterización y evaluación de estas accesiones haría posible: (a) fortalecer el germoplasma mediante el pre-mejoramiento, (b) utilizar genotipos genéticamente divergentes como progenitores de híbridos superiores, (c) difundir genotipos élites en sistemas mono o policlonales, entre otros.

Motivados por obtener información sobre la variabilidad fenotípica y relaciones fenéticas de 46 accesiones de la colección Internacional de cacao del Banco de genes de la U.N.A.S.-Tingo María, se realizó esta investigación que tuvo como propósito alcanzar como:

Objetivo principal:

Caracterizar fenotípicamente y clasificar fenéticamente 46 accesiones de cacao de la colección Internacional del Banco de genes de la U.N.A.S.-Tingo María utilizando métodos univariados, bivariados y multivariados.

Objetivos específicos:

- Caracterizar morfológicamente y organolépticamente 46 accesiones de cacao de la colección Internacional mediante métodos univariados y bivariados.
- Clasificar fenéticamente a nivel infraespecífico 46 accesiones de cacao de la colección Internacional mediante métodos multivariados.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Origen, domesticación y diversificación del cacao

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es una especie endémica de América del sur y según Cheesman (1944) citado por Días (2006), su centro de origen estaría localizado en un círculo de 400 km de radio en la confluencia de los ríos Napo, Caquetá y Putumayo, tributarios del río Amazonas. Sin embargo, Wood y Lass (1985) señalaron que el centro de origen se encontraría en las cuencas de los ríos Amazonas y Orinoco.

Otros investigadores reportan que el centro primario de diversidad del cacao estaría localizado en la región nororiental de Perú Krug y Quartey-Papafio (1964), citado por García (2000). No obstante, la existencia de poblaciones silvestres muy variables y dispersas en las regiones centro y sur de la Amazonía peruana apoyaría la hipótesis de que el centro de diversidad no solo estaría confinada a dicha región, sino que también incluiría las zonas orientales de San Martín, Huánuco, Junín, Ucayali, Ayacucho, Cusco, y Madre de Dios, donde están las cuencas de los ríos Mayo, Huallaga, Ene, Ucayali, Tambo, Urubamba, Tambopata, respectivamente (M y O Consulting, 2008)

A partir de la década de los 60s se estableció una clara distinción entre el lugar del origen botánico del cacao (zona oriental de Perú, Ecuador y Colombia) y la región de domesticación en América central. El grupo ‘Criollo’ de América central y el grupo ‘Forastero’ de América del Sur tuvieron orígenes separados y evolucionaron en forma independiente (Cuatrecasas, 1964; de la Cruz *et al.*, 1995).

Las primeras evidencias arqueológicas mostraron que el cacao ‘Criollo’ fue originalmente cultivado por los Mayas en América central y representaría el primer grupo de cacao domesticado y usado en la alimentación por más de 2,600 años (Hurst *et al.*, 2002).

Los hallazgos arqueológicos de cerámica y orfebrería pre-inca encontrados en la cultura Mayo-Chinchipe descubiertos el 2002 que se extendió hasta el río Marañón en la selva norte peruana con uso social de 5,300 años A.C., mediante las pruebas del carbono¹⁴ (Olivera, comunicación personal), ponen en evidencia que Perú y Ecuador compartirían el área principal del centro de origen y domesticación inicial incipiente del cacao en América del sur.

Antes de la domesticación y uso del cacao en América central habría ocurrido una domesticación inicial de cacao tradicional ‘Amelonado’ en la Amazonia oriental de Venezuela que está apoyada por análisis genéticos con marcadores moleculares RFLP y SSR, la relativa uniformidad de los frutos y el bajo número de alelos privados (Motamayor *et al.*, 2003; Clement *et al.*, 2010).

Es probable que las culturas pre-colombinas de América del sur hayan diseminado una población natural hacia la zona central de la Guyana amazónica y otra, hacia el occidente hasta llegar al sur de México. Estas poblaciones aisladas por el istmo de Panamá se habrían desarrollado en dos grupos genéticos morfogeográficamente distintos: ‘Criollo’ y ‘Forastero’ (Hurst *et al.*, 2002).

Pound (1932) fue uno de los primeros en diferenciar el cacao por la forma del fruto y en ese mismo año, van Hall (1932), citado por Allen y Lass (1983), clasificó las variedades de cacaos en dos grupos: ‘Criollo’ y ‘Forastero’, separando a los ‘Criollos’ según su distribución geográfica y a los ‘Forasteros’ según la forma de sus frutos en: (a) “angoleta”, (b) “cundeamor”, (c) “amelonado” y (d) “calabacillo”. La subdivisión del tipo ‘Forastero’ según la forma del fruto tuvo poco valor práctico ya que la ambigüedad inducía a confusión cuando éstos términos lo designaban como variedades de cacao.

Cheesman (1944) estudiando un gran número de poblaciones locales y foráneas de cacao propuso una clasificación más amplia para el cacao: (a) ‘Criollo’ (Criollos de América central y Criollos de América del sur) y (b) ‘Forastero’ (Forasteros Amazónicos y Trinitarios). Estos grupos fueron denominados “complejos genéticos” (Soria, 1978) y después “complejos raciales” o “complejos germoplásmicos”. Se presume que los grupos genéticos ‘Criollo’ y ‘Forastero’ predominantes en América

central y sur, respectivamente, sean descendientes de un ancestro común originario de un lugar próximo a Concepción (Colombia) ubicado entre las cuencas altas de los ríos Napo, Putumayo y Caquetá de donde se fueron dispersando (Nosti, 1969).

Hace más de medio siglo se postuló un tercer grupo genético de cacao, el ‘Trinitario’, que pudo haber sido una población segregante originada de cruzamientos entre una variedad “amelonada” del grupo ‘Forastero’ de las Guyanas y una población del grupo ‘Criollo’ de Venezuela (Toxopeus, 1969). Recientes estudios revelan nuevos conocimientos sobre la taxonomía, especiación y dispersión geográfica del cacao, y que mediante marcadores moleculares RFLP y RAPDs (Laurent *et al.*, 1993; N’ Goran *et al.*, 1994), han confirmado la naturaleza híbrida del grupo genético ‘Trinitario’ (‘Forastero’ x ‘Criollo’).

Enríquez (1992) cita a Pound (1945) quien reportó que el cacao ‘Nacional’ era muy distinto al cacao ‘Criollo’ y cacao ‘Forastero’. También cita a Cheesman (1944) y Soria (1978), quienes basados en el color verde y tamaño del fruto; así como, la superficie rugosa y los surcos moderadamente profundos, decidieron incluir al cacao ‘Nacional’ dentro del grupo ‘Forastero’. Posteriormente, se sugirió incluirlos dentro del grupo ‘Criollo’ basándose en caracteres morfológicos de la semilla y el sabor fino muy semejante a este grupo de cacao.

2.2. Clasificación actual del germoplasma

En vista que los estudios de caracterización morfológica no resultaban muy consistentes para dilucidar o diferenciar la diversidad genética de los principales grupos genéticos de cacao, los estudios de diversidad genética comparativa usando marcadores RFLP y RAPD iniciados por Laurent *et al.* (1993), Lerceteau *et al.* (1993) y continuados por N’Goran *et al.* (1994), Lachenaud (1997) apoyado por evidencias moleculares, argumentos paleo-climáticos, paleo-geográficos y etno-botánicos, propuso una clasificación del cacao basado en cuatro complejos germoplásmicos naturales con su correspondiente distribución geográfica: (a) ‘Criollo’ (América central, Colombia y Venezuela), (b) ‘Amazonas’ o Forastero del Alto Amazonas (Perú, Ecuador, Colombia, Bolivia y Brasil), (c) ‘Guyanas’ o Forastero del Bajo Amazonas (meseta de las

Guyanas, Venezuela, Surinam, Guyana Francesa y Brasil) y (d) ‘Nacional’ (zona costera del Ecuador).

Los grupos genéticos ‘Criollo’ y ‘Nacional’ parecen haberse separado y evolucionado de los otros por la formación de la cordillera de los Andes; mientras que los grupos ‘Amazonas’ y ‘Guyanas’ pertenecientes al gran grupo ‘Forastero’ lo hicieron ante eventos ligados a la climatología del periodo cuaternario (Lachenaud, 1997). Estudios con marcadores moleculares establecieron la especificidad del grupo genético ‘Nacional’ como un nuevo complejo germoplásmico (Lerceteau *et al.*, 1997).

Otro grupo genético conocido como ‘Refractario’ resultante de hibridaciones naturales entre poblaciones originales del grupo ‘Nacional’ con el ‘Trinitario’ introducido de Venezuela y seleccionado en el Ecuador por su resistencia de campo a la “escoba de bruja”, no fue considerado como un grupo genético *per se* sino hasta el descubrimiento por Zhang *et al.* (2008), quienes reportaron que era genéticamente diferente a los grupos genéticos ya conocidos (Bekele *et al.*, 2010; CacaoNet, 2012).

La última clasificación de germoplasma de cacao que involucró 1,241 accesiones de diferente origen geográfico utilizando 106 marcadores microsatélites fue elaborado por Motamayor *et al.* (2008) quienes propusieron 10 grupos genéticos naturales: (1) ‘Amelonado’, (2) ‘Contamaná’, (3) ‘Criollo’, (4) ‘Curaray’, (5) ‘Guyana’, (6) ‘Iquitos’, (7) ‘Marañón’, (8) ‘Nacional’, (9) ‘Nanay’ y (10) ‘Purús. Según estos investigadores, la nueva clasificación permite entender mejor la amplitud y la estructura de la diversidad genética de la especie cacao.

2.3. Botánica y sistemática

El árbol de cacao es de porte alto y puede alcanzar entre 6 a 30 m. de altura. El rango de variación depende de las condiciones del suelo y el clima; el genotipo, grado de sombrío y manejo. En su estado natural crece y se desarrolla bajo la sombra de otras especies arbóreas del bosque húmedo tropical y bosque seco. En poblaciones cultivadas y por razones de manejo, la altura se mantiene entre 3 a 4 m.

La raíz principal es pivotante y puede alcanzar hasta 2 m. dependiendo de la estructura y profundidad del suelo. Las raíces laterales se ubican principalmente en los primeros 30 cm. del suelo y alrededor del árbol, pudiendo alcanzar entre 3 a 6 m. de diámetro (García, 2011).

El tallo es glabro y ortotrópico en su primera fase de crecimiento perdurando así hasta los 12 a 18 meses. Luego el crecimiento se interrumpe y aparece una estructura denominada “horqueta” compuesta por 3 a 5 ramillas secundarias que crecen en forma plagiotrópica. En la base de la horqueta con frecuencia aparecen brotes ortotrópicos denominados “chupones” que pueden dar origen a nuevas horquetas (Toxopeus, 1969).

La hoja es coriácea, simple y entera de 15 a 50 cm. de longitud y de 5 a 20 cm. de ancho; con ápice acuminado largo, corto o romo. La forma del limbo puede ser lanceolada, elíptica, abovada u ovada; con un peciolo compuesto por dos pulvínulos poco o muy prominentes, insertos con el tallo y el limbo. La base de la hoja es redondeada o ligeramente cordada y las estípulas son lineales y caducas. Los brotes foliares generalmente presentan pigmentación antociánica con excepción de árboles mutantes que carecen de pigmentación (García, 2011).

La flor es hermafrodita, actinomorfa y pentámera (5 sépalos, 5 pétalos, 5 estaminodios, 5 estambres y 5 lóculos por ovario); completa (todos sus verticilos florales) y perfecta (androceo + gineceo). La inflorescencia es cimosa y las flores aparecen en grupos (“cojines florales”) o solitarias en el tronco (León, 1987). Su diámetro puede oscilar de 1 a 1.5 cm (Toxopeus, 1969). El pedúnculo floral puede ser verde, parcial o completamente pigmentado. Los sépalos son de prefloración valvar con o sin pigmentación antociánica; mientras que los pétalos son de prefloración imbricada, con una base cóncava, un puente delgado y una “lígula” en el extremo superior. Los estambres son fértiles, cortos y encorvados hacia afuera con una antera biteca. Los estaminodios son infértiles y actúan como órganos de atracción de insectos y protección del gineceo. El ovario es súpero, pentacarpelar y pentalocular. Cada lóculo contiene dos series de óvulos anátropos de placentación axial pudiéndose encontrarse entre 30 a 60

óvulos por ovario en promedio, acomodados en cinco hileras (Cheesman, 1944; Toxopeus, 1969).

El fruto es una baya denominada “mazorca”. Su tamaño puede oscilar entre 10 a 45 cm. Es de forma variable (oblonga, elíptica, abovada, ovada, esférica u oblata); con superficie lisa o rugosa; de color verde, verde pigmentado o rojizo al estado inmaduro, y amarillo-anaranjado al estado maduro. La constricción basal puede ser ausente, ligera, intermedia o fuerte; con ápice agudo, obtuso, atenuado, redondeado, apezonado o dentado; con surcos superficiales, intermedios o profundos, y grosor de cáscara delgada, intermedia o gruesa (García, 2011). El crecimiento y desarrollo completo del fruto (de la fecundación hasta la maduración), toma entre 4 a 7 meses (Eskes y Lanaud, 2001).

La semilla es de tamaño variable (1 a 3 cm), de sección longitudinal: oblonga, elíptica, ovada o irregular; de sección transversal: aplanada, intermedia o redondeada; con mucílago de color blanco o blanco cremoso; con diferentes intensidades de sabores básicos (dulzura, acidez, astringencia y amargor) o específicos (floral, frutal, herbal, etc.). Los cotiledones pueden ser: blanco, rosado, violeta, morado o marrón (García, 2011).

Por otro lado, el cacao es una especie que en forma natural se reproduce de modo sexual por semilla botánica; pero también puede ser reproducida de modo asexual por semilla vegetativa. Su sistema de polinización es abierta (alogamia) y el nivel de ploidía es diploide ($2n=20$ cromosomas). El género *Theobroma* comprende 22 especies que son nativas del nuevo mundo y la especie cacao se distribuye en América desde el sur de México hasta Brasil y Bolivia (Wood y Lass, 1985).

Según León (1987), la especie cacao es clasificada jerárquicamente según las siguientes categorías taxonómicas :

Reino	: Plantae
División	: Espermatofita
Sub-división	: Arquiclamídea

Clase	: Angiospermae
Sub-clase	: Dicotiledónea
Orden	: Malvales
Familia	: Sterculiaceae
Tribu	: Bitnerieae
Sección	: Eutheobroma
Género	: Theobroma
Especie	: <i>Theobroma cacao</i> L.

Recientes estudios de sistemática (Paoletti *et al.*, 2009) y de genómica evolutiva usando marcadores moleculares (Argout *et al.*, 2011), reportan que la especie debe ubicarse en la familia Malvacea y no en la familia Sterculiaceae.

2.4. Caracterización de germoplasma

La caracterización de los organismos vegetales al igual que de otros organismos vivos tiene los siguientes fines: (a) identificación o determinación, (b) sistemática, (c) análisis de la diversidad genética, (d) gestión de bancos de germoplasma, (e) definición de nuevas variedades y (f) búsqueda de marcadores de caracteres agronómicos (González-Andrés, 2001).

La caracterización es una actividad que consiste en describir caracteres cualitativos y cuantitativos para identificar o diferenciar accesiones de una misma especie. Se usa generalmente para caracteres altamente heredables, fácilmente percibibles por los sentidos y que se expresan igualmente en todos los ambientes (Franco e Hidalgo, 2003).

En la caracterización y evaluación de germoplasma vegetal se utilizan listas de descriptores morfológicos estandarizados. Esta herramienta permite describir, identificar y evaluar las accesiones depositadas en un banco de germoplasma basándose en atributos vegetativos y reproductivos; ya sean éstos cualitativos o cuantitativos y también, caracteres agronómicos de importancia económica.

Los caracteres cualitativos juegan un rol importante en la clasificación de las unidades taxonómicas o *taxas* pues la probabilidad de cometer errores en la clasificación es más pequeña (Engels, 1983b); mientras que los caracteres cuantitativos de mayor interés agronómico que los cualitativos, aun cuando son influenciados por los factores ambientales, son también útiles en la caracterización e identificación de clones de una colección varietal (Engels, 1983a).

La documentación de accesiones de un banco de germoplasma para ser útil en un programa de mejoramiento genético depende fundamentalmente de la disponibilidad de descripciones precisas, y por sobre todo, de la identificación taxonómica del germoplasma (Engels, 1986). La detección de accesiones duplicadas y errores en la identificación son asuntos serios para el manejo de los recursos genéticos (Bryan *et al.*, 1997).

Chang (1976), citado por Engels (1983a) reporta que cuando se tiene una descripción completa de una colección de germoplasma, los datos acumulados suministran una base para: (a) caracterizar todas las variedades, (b) distinguir accesiones con nombres homónimos o similares y reconocer duplicados, (c) identificar variedades con una combinación de caracteres favorables, (d) clasificar taxonómicamente las variedades, (e) detectar grupos de caracteres correlacionados que pueden tener valor práctico inmediato o que podrían dar lugar a relaciones genéticas entre variedades, y (f) estimar la variación dentro de la colección.

Cuando se realiza una clasificación jerárquica y ésta es exitosa, los organismos dentro de un conglomerado estarán muy cercanos unos de otros en la representación geométrica bi o tridimensional. La técnica comprende: (a) formulación del problema de agrupación definiendo las variables involucradas, (b) selección de una medida de distancia y/o similitud apropiada, (c) selección de un método de agrupación y (d) evaluación de la validez del análisis (Gondar, 2000).

2.4.1. Caracterización morfológica

Para caracterizar morfológicamente las colecciones de cacao se usa una lista de descriptores morfológicos estándar. La primera lista que reunió información sobre los caracteres de clones de cacao fue elaborada por Enríquez y Soria (1967). Ellos determinaron el tamaño mínimo de la muestra y el método de observación para cada descriptor. Posteriormente, Engels *et al.* (1980) propusieron una lista de descriptores de cacao que sirvió de base para la elaboración de la lista de descriptores estandarizados de cacao patrocinado por el IBPGR, hoy Bioversity International (García, 2012).

Un estudio sobre caracterización morfológica de accesiones de cacao de la colección base de Trinidad reportó que los caracteres reproductivos, particularmente los de la flor y fruto, son taxonómicamente muy útiles respecto a los caracteres vegetativos. La probable explicación se atribuye a la mayor presión de selección y al control genético sobre los caracteres reproductivos que habría ocurrido durante el proceso evolutivo (Bekele y Bekele, 1996).

2.4.2. Caracterización organoléptica

La calidad del cacao se expresa a través de atributos organolépticos de la semilla fresca o del licor del cacao. El sabor y el aroma que se detecta a nivel de las papilas gustativas y olfato, respectivamente, reflejan los efectos combinados del genotipo, los factores edafoclimáticos, el manejo agronómico y la labor de post-cosecha utilizada (Clapperton *et al.*, 1994).

El genotipo de cacao tiene una influencia marcada en los caracteres organolépticos siendo heredable el potencial aromático. Existen diferencias en los aromas del cacao dentro y entre poblaciones cultivadas. El cacao ‘Nacional’ exhibe un intenso aroma a flores, chocolate y especias; en cambio, el cacao ‘Criollo’ tiene sabor a nueces y caramelo, y el cacao ‘Trinitario’, un intenso aroma a chocolate, sabor a frutas, caramelo y pasas (Clapperton *et al.*, 1994; Sukha y Butler, 2006).

Recientes estudios han revelado que no sólo los cultivares ‘Criollo’ pueden aportar características de buen sabor; sino también los cultivares ‘Forastero’. En los cultivares NA-32, SCA-6 y SCA-12 pertenecientes al grupo genético ‘Forastero del Alto Amazonas’ se pueden conseguir notas de buen sabor tan similares a los cultivares ‘Criollo’ v.g “Criollo de Mérida” y “Porcelana” de Venezuela, o de los reconocidos sabores tipo “Arriba” ecuatorianos (Arciniegas y Phillips-Mora, 2007; Amores *et al.*, 2009)

Mucho del éxito en la identificación de sabores finos requiere del acceso a una colección amplia del material de plantación bien mantenida y documentada; donde se apliquen procedimientos sistemáticos de preparación de muestras y la evaluación sensorial del sabor (Clapperton *et al.*, 1994). Observaciones de campo evidencian una buena correlación entre la calidad de la pulpa y el licor del cacao que posibilitaría una selección temprana de árboles con superior calidad organoléptica (Eskes *et al.*, 2007).

La caracterización organoléptica de un cultivar de cacao se realiza a través de una prueba de degustación o evaluación sensorial. Para ello se requiere un panel de catadores experimentados y una escala hedónica que permita medir las intensidades de los atributos sensoriales de los sabores básicos (dulzura, acidez, astringencia, amargor, etc.) y sabores específicos (floral, frutal, herbal, nueces, etc.).

Un estudio de caracterización morfológica y organoléptica de la semilla fresca de tres muestras de poblaciones de cacaos nativos “Criollo de montaña” (Junín), “Chuncho” (Cusco) y “Blanco” (Piura), señala que los dos primeros (selva) poseen perfiles sensoriales muy similares, mientras que el “Blanco” (costa), un perfil sensorial menos similar al “Chuncho” a pesar de pertenecer al mismo grupo genético ‘Forastero del Alto Amazonas’ (García, 2014).

2.5. Métodos multivariados usados en la taxonomía

La taxonomía numérica se basa en la evaluación de las semejanzas o afinidades entre unidades taxonómicas y la ordenación de las mismas en taxones de más alto rango

apoyadas sobre éstas semejanzas (Sokal y Sneath, 1963). Las relaciones entre unidades taxonómicas están basadas en la expresión fenotípica, y por lo tanto, representan similitudes fenéticas entre taxones y no afinidades genéticas. Además, la correlación entre las relaciones fenéticas y genéticas de las unidades taxonómicas operativas (UTOs), son relevantes para estudios de evolución filogenética (Sneath y Sokal, 1973).

La taxonomía numérica es una herramienta importante para el Curador que lo puede emplear exitosamente en un Banco de genes para identificar accesiones desconocidas y posibles duplicados como parte esencial en la conservación racional de germoplasma (Jain, 1979). Las accesiones semejantes pueden conformar grupos y éstos pueden ser evaluados para: (a) relacionar distintas áreas geográficas, (b) la amplitud de la diversidad genética, (c) realizar nuevas colecciones, y (d) identificar accesiones duplicadas (Bryan *et al.*, 1997)

En los análisis de datos resultantes de caracterización de los recursos fitogenéticos (colecciones de germoplasma), siempre surgen interrogantes sobre: (a) cómo representarlos geoméricamente? y (b) cómo cuantificar la asociación y clasificarlos respecto a un conjunto de variables que pueden ser cuantitativas, cualitativas o la combinación de ambas? (Bramardi, 2002). Si bien el investigador tiene la libertad de elegir el método o técnica multivariada, ésta debe ser de uso generalizada y adecuarse a los objetivos del estudio.

Los agrupamientos de unidades taxonómicas pueden ser definidos por cualquiera de los métodos multivariados: (a) ordenación, que describe las relaciones espaciales entre entidades y (b) clasificación, que agrupa entidades en grupos homogéneos (Cross *et al.*, 1995).

2.5.1. Métodos de ordenación

Entre los métodos de ordenación, el análisis de componentes principales (ACP) y el análisis de coordenadas principales (ACoP), son los métodos más usados en estudios de similitud/disimilitud del germoplasma a nivel morfológico y a nivel molecular. El

ACoP, se recomienda solo cuando se trata de variables cualitativas con datos de presencia/ausencia y donde se utilizan índices de similitud (Bramardi, 2002).

El ACP es un método que: (a) evalúa la correlación entre posibles variables, (b) reduce un gran conjunto de variables a otro más pequeño que no estén correlacionadas entre sí y que además se puedan ordenar de acuerdo con la información que llevan incorporada, (c) elimina variables que contribuyen muy poco al problema en estudio, (d) evalúa la agrupación taxonómica de individuos en grupos y (e) construye índices que sirven para agrupar individuos (Jeffers, 1962; López de Castilla y Porras, 2002).

También el ACP permite encontrar la semejanza entre la totalidad de las UTOs. Este método permite imaginar un espacio multidimensional para ubicar las UTOs y donde cada dimensión representa un carácter; i.e., habrá tantas dimensiones como caracteres. Las relaciones entre las UTOs están reflejadas en la posición en que se dispongan en ese espacio. Cuanto más próximos dos UTOs se encuentren entre sí, éstos estarán más estrechamente relacionados (Crisci y López, 1983).

Es común encontrar interrelaciones entre más de dos variables que no pueden ser detectadas mediante el análisis de correlación requiriéndose por tanto el análisis de la estructura de datos a través de la descomposición vectorial (*eigen analysis*). Para eliminar el efecto de la correlación de las variables un paso previo es formar variables ortogonales (no correlacionadas) para cualquier tipo de análisis (regresión, agrupamientos, etc), siendo muy útil el método de los componentes principales (Morrison, 1967).

El cuadrado de la contribución de un carácter para un componente principal, representa la variancia de ese carácter para dicho componente. La sumatoria de las variancias de todos los caracteres para un determinado componente principal se denomina *eigen valor* o valor propio. Los valores propios son distintos para cada componente ortogonal. El componente con mayor valor propio, será el primer componente principal, el que le sigue será el segundo y así sucesivamente. La suma de los valores propios constituye la variancia total de las UTOs para los caracteres utilizados; por consiguiente, puede

determinarse el porcentaje de variación contenido en cada componente principal según su contribución a esta suma. Cada componente principal es independiente al otro pues contienen una porción de la variación no expresada en ningún otro componente principal (Crisci y López, 1983).

El método de análisis de componentes principales (ACP) consiste en transformar un conjunto de variables: $X_1, X_2, X_3, \dots, X_m$ en un nuevo conjunto de variables $Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_n$, con las siguientes propiedades :

- a. Cada variable transformada es una combinación lineal de las X , tal como se presenta a continuación:

$$Y_1 = a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + a_{13}X_3 + \dots + a_{1j}X_m$$

- b. La suma de los cuadrados de los coeficientes a_{ij} , es igual a 1, según la siguiente expresión matemática:

$$\sum_{i=1}^m a_{ij}^2 = 1$$

- c. En todas las combinaciones posibles, cada componente principal contiene una parte diferencial de la información de la variabilidad total de los caracteres (SAS, 2013).

2.5.2. Métodos de agrupamientos

La estructura taxonómica está referida a la separación de grupos de organismos presentes a partir de la matriz de semejanza entre todos los pares de UTOs. Existen muchas modalidades para encontrar el grupo compacto en el hiperespacio fenético comúnmente denominado análisis de agrupamientos o “análisis cluster” (Sneath, 1978, citado por Crisci y López (1983).

El método de análisis de agrupamientos de tipo jerárquico (técnica “R”) busca agrupar n entidades o unidades taxonómicas operativas (UTOs) de tal forma que las unidades dentro de los grupos sean más similares en términos de correlación, distancia o de cualquier otra medida que las unidades en diferentes grupos o conglomerados (Sokal y Sneath, 1963).

Crisci y López (1983) sostienen que la matriz de similaridad puede resultar insuficiente para expresar relaciones entre todas las UTOs pues sólo muestra semejanzas entre pares de dichas unidades; de modo que el análisis de agrupamientos al involucrar técnicas que siguen reglas más o menos establecidas, puede formar grupos de UTOs que están asociados por su grado de similaridad. Con los coeficientes de similaridad se construye una matriz de semejanza o de similaridad. Esta matriz permite relacionar y describir la estructura del grupo estudiado de acuerdo a un modelo determinado (Hoenisberg, 1992).

El análisis de agrupamientos puede utilizar cualquiera de los diferentes métodos de encadenamiento (algoritmos) jerárquicos aglomerativos que estén disponibles. Estos métodos difieren unos de otros en cómo las distancias son calculadas entre dos grupos, siendo tres los algoritmos más utilizados:

a. Método del centroide

La distancia entre dos agrupamientos se define como la distancia euclidiana al cuadrado entre sus centroides o promedios.

b. Método de Ward

La distancia entre dos agrupamientos es la suma de cuadrados del análisis de variancia entre los dos agrupamientos adicionados sobre todas las variables. En cada generación, la suma de cuadrados dentro del agrupamiento es minimizada sobre todas las particiones obtenibles uniéndose los dos agrupamientos formados con anterioridad.

c. Método del ligamiento promedio

La distancia entre dos agrupamientos se define como la distancia promedio entre pares de observaciones, uno en cada agrupamiento. El ligamiento promedio reúne agrupamientos con pequeñas variancias y está predispuesto a generar grupos que presentan variancias similares (SAS, 2013).

Enríquez *et al.* (1987) en Costa Rica al estudiar relaciones fenéticas de 60 cultivares de cacao de distinto origen mediante el análisis de agrupamientos utilizando la distancia euclidiana y el método del ligamiento promedio, determinaron que muchos cultivares de una colección particular estaban estrechamente relacionados mientras que otros estaban muy distantes fenéticamente.

Otro estudio realizado en dicho país con el objeto de analizar las relaciones fenéticas de 294 clones de cacao usando 33 caracteres morfoagronómicos, reporta que las relaciones fenéticas entre clones representó un grado muy amplio. Además, señaló que el empleo de pocos caracteres cualitativos en mediciones de similaridad entre taxas relacionadas genéticamente puede dar resultados incorrectos o imprecisos (Engels, 1983b).

En Brasil, un estudio comparativo de evaluación de la divergencia fenética de cinco cultivares de cacao mediante métodos multivariados usando el estadístico de Mahalanobis (D^2) reporta una estrecha relación entre el cultivar “Maranhao” y un híbrido comercial infiriéndose que el cultivar mejorado retuvo genes en alta proporción del cultivar local no mejorado, mientras que los cultivares “Maranhao” y “Pará” mostraron ser cultivares distintos (Días *et al.*, 1996).

Días y Kageyama (1997) al evaluar la divergencia fenética multivariada de poblaciones locales de cacao de las series SIC y SIAL (‘Forasteros del Alto Amazonas’) de Bahía, reportan que los clones SIC-17 y SIAL-244 mostraron la más alta divergencia mientras que los clones SIC-18 y SIC-765 fueron los menos divergentes de acuerdo a la matriz de distancia Euclidiana.

Aycachi (2008) caracterizó morfoagronómicamente 21 clones de cacao de la colección Introducida-B del Banco de genes de cacao de Tingo María reportando que las accesiones CAT-4, ICS-98, SCA-6 y ROS-9 están muy separados entre sí e igualmente con las demás accesiones. El grupo V, tuvo tres sub-grupos, el primero formado por las accesiones NA-33 e IMC-51; el segundo por las accesiones EET-48 y EET-103, y el tercero por las accesiones EET-95 y EET-96 que expresaron un alto grado de similitud.

García (2010), estudiando relaciones de similitud de 14 clones híbridos de cacao de diferente origen genético en la Estación Tulumayo mediante el análisis de agrupamientos mostró un dendrograma formado por tres grupos y ocho entidades independientes siendo el Grupo I (ICS- 95 x P-7, 20 con ICS-95 x ICS-6, 14), el Grupo II (ICS-95 x U-58, 16 con U-68 x ICS- 6, 11) y el Grupo III (IMC-67 x ICS-95, 1 con H-12 x ICS-6, 6), los que presentaron las menores distancias Euclidianas y por tanto, las mayores similitudes taxonómicas.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Campo experimental

3.1.1. Ubicación

El estudio se realizó en el Banco de genes de cacao (BGC) de la Universidad Nacional Agraria de la Selva de Tingo María, ubicado en la margen derecha del río Huallaga, distrito de Rupa Rupa, provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco, cuyas coordenadas geográficas son: Longitud Oeste: 75°57'00", Latitud Sur: 09°09'08" y Altitud: 670 msnm. En coordenadas UTM: Este (390990) y Norte (8969856)

3.1.2. Registros meteorológicos

Los datos meteorológicos que se muestran en el Cuadro 1 fueron registrados en la Estación meteorológica "José A. Quiñónez", CORPAC-Tingo María, de Mayo a Septiembre, 2012, correspondiente al período de inicio y culminación de la investigación. Allí observamos que los promedios de temperatura máxima, temperatura mínima y temperatura media (25,2°C); así como, la precipitación promedio (81,2 mm) y la humedad relativa promedio (84,2 %), se encuentran dentro del rango típico para el distrito de Rupa Rupa. Si bien los valores no son óptimos éstos permiten un normal crecimiento de los órganos vegetativos (hojas, brotes, ramas) y reproductivos (frutos y semillas) del cacao.

3.1.3. Análisis físico-químico del suelo

El análisis físico-químico del suelo fue realizado en el Laboratorio de suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva de Tingo María cuyos resultados se muestran en el Cuadro 2. Este suelo es franco arcillo-arenoso con contenido medio de materia orgánica y nitrógeno total; muy bajo en fósforo, pH fuertemente ácido; baja capacidad

de intercambio catiónico efectivo y alto porcentaje de saturación de Aluminio⁺³. Durante su instalación y para mejorar las condiciones químicas del suelo haciendo más disponibles los nutrientes para un normal crecimiento y desarrollo de las accesiones de cacao, se incorporó la enmienda Dolomita (CO₃)₂ CaMg (2 tn/ha). Además, durante el periodo estudiado se fertilizó con 90 kg de N (Úrea), 90 kg de P₂O₅ (Superfosfato triple de calcio) y 120 kg de K₂O (Cloruro de potasio).

Cuadro 1. Datos meteorológicos registrados de Mayo a Septiembre, 2012 en Tingo María.

MES	TEMPERATURA			PRECIPITACION (mm)	HUMEDAD RELATIVA (mm)
	Máxima (°C)	Mínima (°C)	Media (°C)		
Mayo	30.7	20.3	25.5	79.8	85.0
Junio	30.1	19.8	24.9	150.2	85.0
Julio	29.9	18.9	24.4	49.4	85.0
Agosto	30.9	19.3	25.1	35.6	83.0
Septiembre	31.1	19.4	25.2	90.9	83.0
Total	152.7	97.7	125.1	405.9	421.0
Promedio	30.5	19.5	25.0	81.2	84.2

Fuente: Estación meteorológica “José A. Quiñónez”, CORPAC-Tingo María, 2012

Cuadro 2. Resultados del análisis físico-químico del suelo del Banco de genes de cacao.

CARACTERIZACIÓN	VALOR	MÉTODO
Análisis físico		
Arena (%)	52	Bouyucos
Limo (%)	22	Bouyucos
Arcilla (%)	26	Bouyucos
Textura	Franco arcillo - arenoso	Triángulo textural
Análisis químico		
Materia orgánica (%)	2.9	Wakley y Black
Nitrógeno (%)	0.13	Microkjeldalh
Fósforo (ppm)	3.4	Olsen modificado
Potasio (kg/ha)	—	—
CIC _E (meq/100 g. suelo)	4.3	Acetato de amonio
pH (1:1)	3.5	Potenciómetro
Al ⁺³ (% saturación)	60.5	Al ⁺³ /CIC _E

Fuente: Laboratorio de suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva-Tingo María

3.2. Material genético

El material genético estuvo constituido por 46 accesiones (clones) de cacao pertenecientes a la colección Internacional del BGC de distinto origen genético y procedencia geográfica. Estas accesiones proceden del Instituto Agronómico de Campinas (IAC), Brasil; del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Costa Rica y de la Universidad de las Indias Occidentales (UIW) de Trinidad y Tobago.

Entre 1988 y 1994 este germoplasma fue instalado en el Banco de genes de cacao de la UNAS-Tingo María (Anexo 1), localizado al interior de un bosque primario previamente raleado y propagado por injerto de parche. Cada accesión está constituida por 10 árboles sembrados a un distanciamiento de 3 x 3.5 m.

Las 46 accesiones de la colección Internacional se agruparon según el grupo germoplásmico y/o generalogía conocida o no definida, según la literatura científica revisada. La relación completa de estas accesiones se muestra en el Cuadro 3.

3.3. Metodología

En el estudio de las 46 accesiones de cacao de la colección Internacional (46 UTOs), se escogieron 24 caracteres, 18 caracteres morfológicos (ocho de flores, siete de frutos y tres de semillas) y seis caracteres organolépticos de semilla fresca (cuatro de sabores básicos y dos de sabores específicos).

En la caracterización morfológica se utilizó la lista de descriptores morfológicos estándar de la Universidad de las Indias Occidentales (Trinidad y Tobago) adaptada por García (2012), y en la caracterización organoléptica de la semilla fresca (pulpa y cotiledón), se utilizó la escala reportada por Eskes *et al.* (2007). En el análisis estadístico univariado se utilizaron estadísticos de tendencia central y dispersión, y la correlación de Pearson. En el análisis estadístico multivariado se utilizó el análisis de componentes principales (ACP) y el análisis de agrupamientos o 'cluster' (AC).

Cuadro 3. Grupos germoplásmicos y genealogía de 46 accesiones de cacao de la colección Internacional.

UTO	ACCESIÓN	GRUPO GERMOPLÁSMICO ¹	GENEALOGÍA ²
1	ICS-1	‘Trinitario’	Criollo x Forastero
2	ICS-6	‘Trinitario’	Criollo x Forastero
3	ICS-8	‘Trinitario’	Criollo x Forastero
4	ICS-39	‘Trinitario’	Criollo x Forastero
5	ICS-60	‘Trinitario’	Criollo x Forastero
6	ICS-78	‘Trinitario’	Criollo x Forastero
7	ICS-95	‘Trinitario’	Criollo x Forastero
8	ICS-98	‘Trinitario’	Criollo x Forastero
9	UF-29	‘Nacional’? o ‘Forastero’?	Nacional x desconocido
10	UF-296	‘Trinitario’	Criollo x Forastero
11	UF-613	‘Trinitario’	Criollo x Forastero
12	UF-650	‘Trinitario’	Criollo x Forastero
13	UF-667	‘Trinitario’	Criollo x Forastero
14	UF-676	‘Trinitario’	Criollo x Forastero
15	SCA-6	‘Forastero del Alto Amazonas’	Desconocida
16	SCA-12	‘Forastero del Alto Amazonas’	Desconocida
17	P-7	‘Forastero del Alto Amazonas’	Desconocida
18	P-12	‘Forastero del Alto Amazonas’	Desconocida
19	IMC-51	‘Forastero del Alto Amazonas’	Desconocida
20	IMC-67	‘Forastero del Alto Amazonas’	Desconocida
21	NA-33	‘Forastero del Alto Amazonas’	Desconocida
22	NA-727	‘Forastero del Alto Amazonas’	Desconocida
23	PA-150	‘Forastero del Alto Amazonas’	Desconocida
24	PA-167	‘Forastero del Alto Amazonas’	Desconocida
25	PA-310	‘Forastero del Alto Amazonas’	Desconocida
26	CAT-4	‘Forastero del Bajo Amazonas’	Desconocida
27	CAT x IMC-67	‘Forastero’ híbrido	CAT x IMC-67
28	P-12 x CAT	‘Forastero’ híbrido	P-12 x CAT
29	EET-19	‘Nacional’	Nacional x desconocido
30	EET-48	‘Nacional’	Nacional x Venezolano amarillo
31	EET-62	‘Nacional’	Nacional x Venezolano amarillo
32	EET-95	‘Nacional’	Nacional x Venezolano amarillo
33	EET-96	‘Nacional’	Venezolano amarillo x desconocido
34	EET-103	‘Nacional’	Nacional x Venezolano amarillo
35	EET-228	Desconocido	Nacional x desconocido
36	EET-233	Desconocido	Venezolano amarillo x desconocido
37	EET-400	‘Forastero del Alto Amazonas’	Silecia-1 (polinización libre)
38	CCN-51	Híbrido complejo	(IMC-67 x ICS-95) x Oriente-1
39	TSH-565	Híbrido simple	SCA-6 x ICS-1
40	PAN	‘Trinitario’	Desconocida
41	CC-42	‘Trinitario’	UF-676 (polinización libre)
42	LIT-1	‘Trinitario’	Desconocida
43	IAC-1	‘Forastero’ híbrido	Desconocida
44	ROS-9	‘Trinitario’	Desconocida
45	GS-36	‘Trinitario’	Desconocida
46	SC-6	‘Trinitario’	Desconocida

Fuente: ^{1,2} (Crouzillat *et al.*, 2001; Johnson *et al.*, 2009; Boccara *et al.*, 2010)

ICS = Selección del Colegio Imperial (Trinidad)
 EET = Estación Experimental Tropical (Ecuador)
 IMC = Iquitos Mezclado con Calabacillo (Perú)
 CAT = Catongo (Brasil)
 LIT = Litigra (Colombia)
 IAC = Instituto Agronómico de Campinas (Brasil)

SCA = Scavina (Perú)
 P = Pound (Perú)
 PA = Parinari (Perú)
 PAN = Pandora (Colombia)
 ROS = Rosario (México)
 SC = Selección Colombia (Colombia)

UF = Compañía de Frutos Unidos (Costa Rica)
 CCN-51 = Colección Castro-Naranjal (Ecuador)
 NA = Nanay (Perú)
 CC = Centro Cacao (Costa Rica)
 GS = Selección Grenada (Grenada)
 TSH = Híbrido seleccionado en Trinidad (Trinidad)

3.3.1. Elección de descriptores morfológicos

a. Flor

1. Antocianina en el botón floral (ABO)

1 = ausente

0 = presente

2. Orientación de los sépalos (OSE)

1 = verticales (replegados)

2 = horizontales

3. Color del pedúnculo floral (COP)

1 = verde

2 = verde pigmentado

3 = rojizo

4. Antocianina en la lígula del pétalo (ALP)

0 = ausente

1 = presente

5. Antocianina en el filamento estaminal (AFE)

0 = ausente

1 = presente

6. Antocianina en la parte superior del ovario (ASO)

0 = ausente

1 = presente

7. Número de óvulos por ovario (NOO)

1 = bajo (≤ 45)

2 = intermedio (46 - 56)

3 = alto (> 56)

8. Compatibilidad genética (COG)

0 = autocompatible

1 = autoincompatible

b. Fruto

1. Forma básica del fruto (FBF)

1 = oblongo

- 2 = elíptico
- 3 = abovado (trasovado)
- 4 = esférico
- 5 = oblato
- 6 = ovado



Figura 1. Forma básica del fruto (FBF).

2. Constricción de la base del fruto (CBF)

- 0 = ausente
- 1 = ligera
- 2 = intermedia
- 3 = fuerte
- 4 = muy fuerte (hombros amplios)

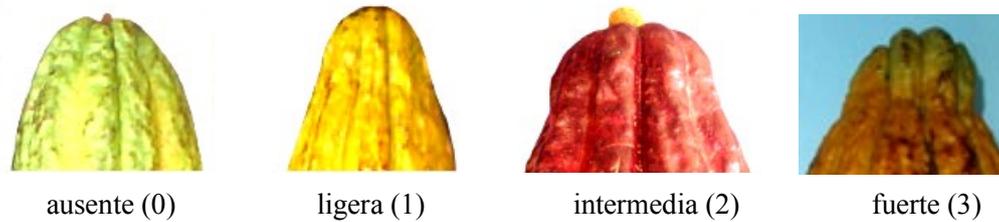


Figura 2. Constricción de la base del fruto (CBF).

3. Forma del ápice del fruto (FAF)

- 1 = atenuado
- 2 = agudo
- 3 = obtuso
- 4 = redondeado (esférico)
- 5 = apezonado
- 6 = dentado

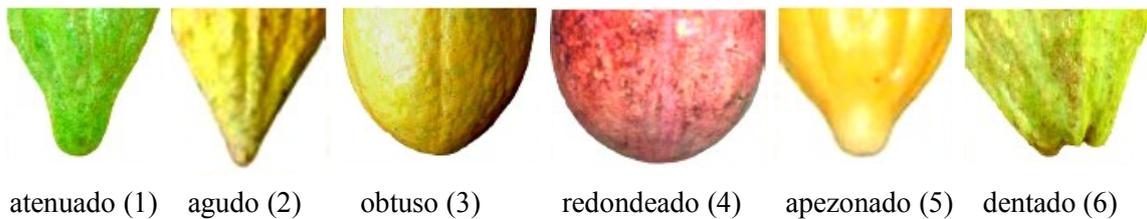


Figura 3. Forma del ápice del fruto (FAF).

4. Rugosidad de la superficie del fruto (RUF)

- 0 = ausente (liso)
- 3 = ligera
- 5 = intermedia
- 7 = fuerte (rugoso)

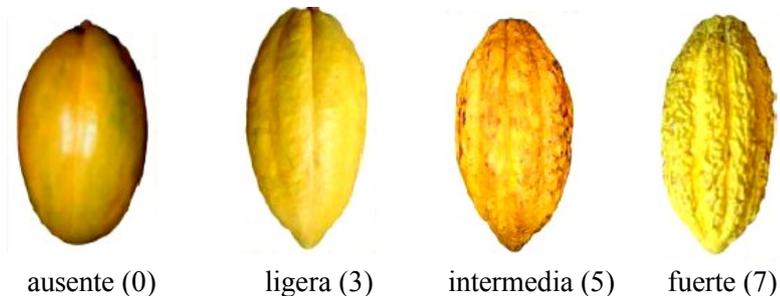


Figura 4. Rugosidad de la superficie del fruto (RUF).

5. Separación de un par de lomos (SLF)

- 0 = ninguna (fusionado)
- 1 = ligera
- 3 = intermedia
- 5 = amplia (equidistante)

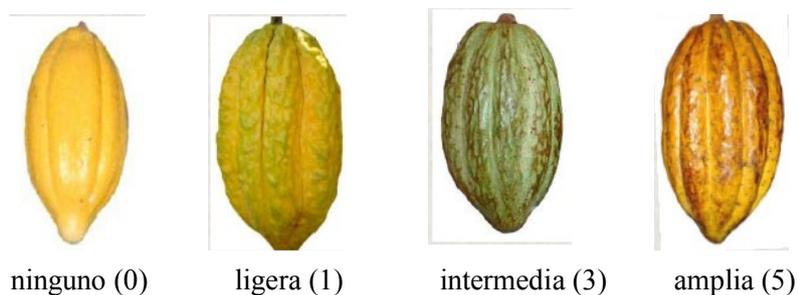


Figura 5. Separación de un par de lomos (SLF).

6. Profundidad de los surcos primarios (PSF)

- 3 = superficial (< 0.5 cm)
- 5 = intermedio (0.5 - 1.0 cm)
- 7 = profundo (> 1.0 cm)



Figura 6. Profundidad de los surcos primarios del fruto (PSF).

7. Color del fruto inmaduro (CIF)

- 1 = verde
- 2 = verde pigmentado
- 3 = rojizo



Figura 7. Color del fruto inmaduro (CIF).

c. Semilla.

1. Forma de la semilla en sección longitudinal (FLS)

- 1 = oblonga
- 3 = elíptica
- 5 = ovada
- 7 = irregular

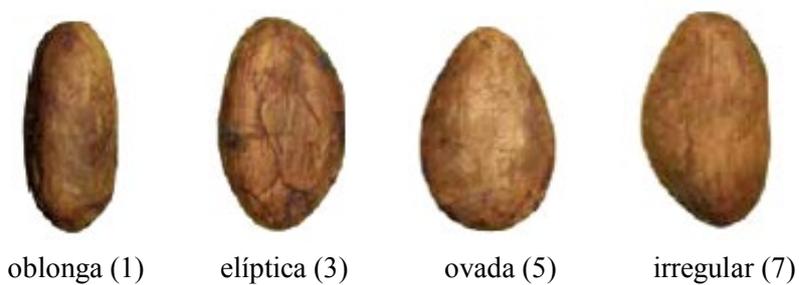


Figura 8. Forma de la semilla en sección longitudinal (FLS).

2. Forma de la semilla en sección transversal (FTS)

- 1 = aplanada
- 3 = intermedia
- 5 = redondeada



Figura 9. Forma de la semilla en sección transversal (FTS).

3. Color de cotiledones de la semilla (CCS)

- 1 = blanco
- 3 = violeta
- 5 = morado

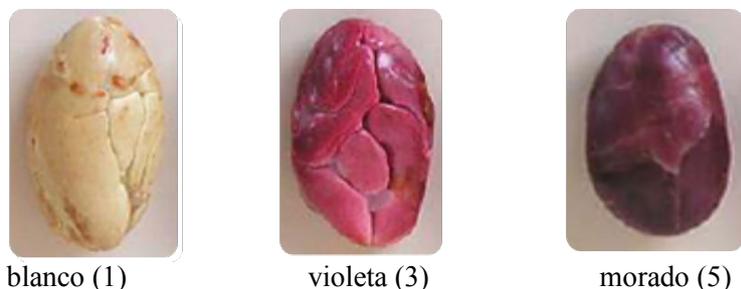


Figura 10. Forma de la semilla en sección transversal (FTS).

3.3.2. Elección de descriptores organolépticos

Los atributos elegidos se agruparon en dos categorías: sabores básicos (DUL=dulzura, ACI=acidez, AST=astringencia y AMA=amargor) y sabores específicos (FLO=floral y FRU=frutal). Para evaluar la intensidad del atributo se utilizó una escala hedónica con valores del 1 al 5. Los datos obtenidos se registraron en un formato Excel previamente elaborado (Anexo 2).

3.4. Elección de estadísticos descriptivos univariados

Para alcanzar los objetivos del estudio no fue necesario usar un diseño experimental y sus correspondientes pruebas paramétricas. Por desconocimiento de la naturaleza (discreta o continua) de los caracteres organolépticos se decidió analizar con estadísticos descriptivos univariados de tendencia central (moda y promedio) y de dispersión (desviación estándar, coeficiente de variabilidad y rango). Además, se usó el método de correlación de Pearson (r) para medir el grado de asociación entre los seis caracteres organolépticos elegidos.

Considerando la gran masa de datos obtenidos y con la finalidad de facilitar el procesamiento estadístico univariado de los seis caracteres organolépticos de las 46 accesiones de cacao de la colección Internacional, se utilizó el *software* PAST (2006), versión 5.0

3.5. Elección de estadísticos descriptivos multivariados

Para el logro del objetivo de la clasificación fenética a nivel intraespecífico, en primer lugar se realizó el análisis de componentes principales (ACP) como método de ordenación, y luego el análisis de conglomerados o 'cluster' (AC) como método de agrupamiento jerárquico para los 24 caracteres (variables) originales.

En el análisis multivariado; así como, la interpretación de los 24 caracteres morfo-organolépticos de las 46 accesiones de cacao de la colección Internacional, se siguió el procedimiento sugerido por Franco e Hidalgo (2003), utilizando el *software* PAST (2006), versión 5.0

3.5.1. Método de análisis de componentes principales (ACP)

Los pasos que se siguieron para el análisis de componentes principales (ACP), se muestra a continuación:

- a. Elaboración de la matriz básica de datos (M.B.D) con $n = 46$ accesiones y $p = 24$ caracteres (variables morfo-organolépticas).
- b. Cálculo de los coeficientes de correlación de Pearson entre los caracteres de flores, frutos y semillas, y elaboración de la matriz de correlación.
- c. Cálculo de los valores propios y la proporción de la variancia total explicada por cada componente principal.
- d. Selección del número de componentes principales. Se decidió por cinco componentes según los criterios de Kaiser (1960) que sugiere seleccionar componentes cuyo valor propio sea ≥ 1 y de Catell (1966) basado en el método gráfico (diagrama de sedimentación) que sólo considera los componentes anteriores al punto de inflexión de la curva (Franco e Hidalgo, 2003).
- e. Cálculo de los vectores propios y la correlación entre las variables originales y los componentes principales. Este último se calculó a partir de los vectores propios

(Cuadro 12) mediante la fórmula de Plá (1986), citado por Franco e Hidalgo (2003) y que se muestra a continuación:

$$r_{(jk)} = l_{(jk)} \times (\lambda_{(k)})^{1/2} / s_{(ij)}$$

Donde:

$r_{(jk)}$ = correlación entre la variable $x_{(ij)}$ original y el k -ésimo componente.

$l_{(jk)}$ = elemento j -ésimo del k -ésimo vector propio.

$\lambda_{(k)}$ = k -ésimo valor propio.

$s_{(ij)}$ = varianzas de la matriz de correlación.

- f. Cálculo de la proporción de la variancia explicada por cada variable original sobre los componentes principales seleccionados.
- g. Representación gráfica bidimensional de la matriz de proyección (nube de puntos) sobre los componentes principales 1 x 2 y 1 x 3 apoyados por sendos diagramas de árbol de recorrido mínimo (A.R.M).
- h. Representación gráfica biplot de variables y accesiones del germoplasma, y análisis de la proximidad fenética.

3.5.2. Método de análisis de agrupamientos (AC)

El análisis de agrupamientos o conglomerados de tipo jerárquico o análisis cluster (AC), tuvo como finalidad agrupar elementos (UTOs) muy parecidos entre sí por su similitud o reducida distancia taxonómica buscando lograr la máxima homogeneidad dentro del grupo, y la mayor heterogeneidad entre grupos. El procedimiento estándar consistió en ejecutar los siguientes pasos:

- a. Elaboración de la matriz básica de datos (M.B.D), $n \times p$ (46 x 24), donde n , es el número de accesiones y p , las variables (caracteres morfo-organolépticos).
- b. Estandarización de los datos con media igual a 0 y varianza igual a 1, para todos los caracteres registrados con diferentes unidades de medida. Para ello se utilizó la siguiente ecuación:

$$Y_{ij} = x_{ij} - \bar{x}_i / s_i$$

Donde:

Y_{ij} = valor estandarizado del carácter i , en la UTO j .

x_{ij} = valor del carácter i , para la UTO j .

\bar{x}_i = media del carácter i .

s_i = desviación estándar del carácter i .

- c. Elaboración de la matriz de distancias basada en la distancia euclidiana (D.E). La D.E., se obtiene matemáticamente según la siguiente fórmula:

$$D.E = (\sum_{i=1}^n (x_{ij} - x_{ik})^2)^{1/2}$$

Donde:

x_{ij} = valor del carácter i , en la UTO j

x_{ik} = valor del carácter i , en la UTO k

- d. Construcción del dendrograma a través del método del ligamiento promedio o “agrupamiento de pares no ponderados a través del promedio aritmético” (UPGMA, en inglés), como algoritmo de encadenamiento.
- e. Concordancia entre la M.B.D y la D.E interpretado a través del coeficiente de correlación cofenética (C.C.C)
- f. Generalizaciones o conclusiones.

3.6. Conducción de la investigación

El manejo agronómico de las accesiones (clones) se hizo con abonamiento y podas de mantenimiento. Las malezas se controlaron manualmente y las enfermedades mediante remoción de frutos enfermos con frecuencia quincenal y el uso del fungicida Kocide (2 lt/ha) como preventivo. La extracción de frutos (cosecha) se realizó cuando éstos mostraban un estado pintón y/o maduro.

3.6.1. Determinación de los caracteres morfológicos

En cada accesión, el registro del estado del descriptor morfológico se determinaba por percepción visual comparándolo con las figuras de la lista de descriptores morfológicos estándar. Los caracteres de flor, fruto y semilla se discriminaron usando datos doble estado (presencia/ausencia), datos multiestados (ordinal con secuencia lógica y nominal sin secuencia lógica) y datos discretos discontinuos.

La compatibilidad genética se evaluó siete días después de la autopolinización manual de acuerdo al prendimiento (cuajamiento) o desprendimiento (abscisión) de flores, usando una muestra, $n=20$ flores. La calificación de autocompatible y/o autoincompatible se basó en la prueba de Chi-cuadrado (X_c^2), en la que una accesión se declaraba autocompatible (estado del descriptor = 0) cuando seis o más flores estaban prendidas (\geq al 30 por ciento del total de flores autopolinizadas), y autoincompatible (estado del descriptor = 1) cuando menos de seis flores estaban prendidas (\leq del 30 por ciento del total de flores autopolinizadas).

3.6.2. Determinación de los caracteres organolépticos

En la determinación de los caracteres organolépticos de la semilla fresca cada descriptor (variable) fue evaluado según la intensidad del atributo en una escala con valores 0 – 5 publicado en la Norma Técnica Peruana NTP-ISO 6564 (2009); donde: 0 = ausente; 1 = muy bajo (muy débil); 2 = bajo (débil); 3 = intermedio (moderado), 4 = alto (intenso) y 5 = muy alto (muy intenso). Esta escala fue usada por Eskes *et al.* (2007) para evaluar sensorialmente clones de cacao de distinto origen genético en Tingo María.

La evaluación sensorial se realizó en un ambiente abierto y aislado de olores extraños que pudieran alterar la percepción sensorial del catador. Para este propósito cada catador (2) hacía un corte transversal de los frutos de cada accesión, lo olfateaba y degustaba el mucílago y los cotiledones de tres semillas frescas/fruto/accesión. Luego el catador se enjuagaba la boca con agua y comía una porción de galleta salada antes de catar otra accesión a fin de evitar percepciones sensoriales sesgadas de los sabores en caso de quedar algún aroma y/o sabor remanente en la boca.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. De la caracterización morfológica y organoléptica

Los resultados de la caracterización morfológica de flores, frutos y semillas; así como, la caracterización organoléptica (evaluación sensorial) de las semillas frescas de 46 accesiones de cacao de la colección Internacional, se muestran en los Cuadros 4, 5 y 6.

4.1.1. Caracteres morfológicos de la flor

El Cuadro 4 muestra los resultados de la caracterización morfológica de las flores de 46 accesiones de cacao de la colección Internacional.

Con relación al descriptor ABO (antocianina en el botón floral), 30 accesiones (65.2 por ciento) del total de la colección Internacional presentaron pigmentación antociánica: ICS-1, ICS-6, ICS-8, ICS-60, ICS-78, ICS-95, UF-296, UF-613, UF-650, UF-667, UF-676, PAN, CC-42, LIT-1, ROS-9, GS-36 y SC-6 (Trinitario); IMC-67 y NA-33 (Forastero del Alto Amazonas); CAT x IMC-67 (Forastero híbrido); EET-19, EET-48, EET-62, EET-95, EET-96, EET-103 (Nacional); UF-29 y EET-228 (Nacional x desconocido), CCN-51 (IMC-67 x ICS-95 x Oriente-1) y TSH-565 (SCA-6 x ICS-1), y 16 accesiones (34.8 por ciento) del total, no lo presentaron: ICS-39 y LIT-1 (Trinitario); SCA-6, SCA-12, P-7, P-12, NA-727, PA-150, PA-167, PA-310, EET-400 e IMC-51 (Forastero del Alto Amazonas); CAT-4 (Forastero del Bajo Amazonas); P-12 x CAT e IAC-1 (Forasteros híbrido) y EET-233 (Venezolano amarillo x desconocido).

La presencia del pigmento antociánico en el botón floral (ABO) se observó principalmente en los grupos genéticos ‘Trinitario’, ‘Forastero’ y ‘Nacional’ del cual se han derivado muchas accesiones. Nuestros resultados indican que las accesiones Trinitarias de las series ICS, con excepción del ICS-39; UF, EET, la accesión híbrida

simple TSH-565 (SCA-6 x ICS-1) y compleja CCN-51 (IMC-67 x ICS-95 x Oriente-1), respectivamente; así como, el CAT x IMC-67 (Forastero híbrido) presentan pigmentación antociánica; en cambio, casi todas las accesiones ‘Forastero del Alto Amazonas’, con excepción del IMC-67 y NA-33, la pigmentación estuvo ausente.

El marcador genético (ABO) por sí solo no podría ser útil en estudios de diferenciación y verificación de la identidad genética, principalmente en las accesiones de los grupos genéticos ‘Trinitario’, ‘Criollo’ y ‘Forastero’ o para detectar errores de rotulado y existencia de duplicados. No obstante, éste y otros descriptores de la flor que son útiles taxonómicamente han sido reportados por Engels (1983b), Engels (1986) y Bekele *et al.* (1994).

Enríquez y Soria (1967) reportan que la herencia de este carácter es monogénico siendo la pigmentación antociánica controlado por el alelo dominante y la no presencia (ausencia), por el alelo recesivo. Esta aseveración se ha podido constatar en progenies de cruza donde intervinieron progenitores ‘Trinitario’ (ICS-95 y UF-613) con ‘Forastero del Alto Amazonas’ (SCA 6, P-7, PA-150 y U-68), en la que el botón floral expresó completamente la pigmentación antociánica (García, 2010).

En el caso del descriptor ALP (antocianina en la lígula del pétalo), 27 accesiones (58.7 por ciento) del total, exhibieron antocianina: ICS-6, ICS-8, ICS-98, UF-296, UF-613, UF-650, UF-667, GS-36, PAN y CC-42 (Trinitario); P-7, P-12, IMC-67, PA-150, PA-167 y IMC-51 (Forastero del Alto Amazonas); CAT x IMC-67 y P-12 x CAT (Forasteros híbridos); EET-19, EET-48, EET-62, EET-95, EET-96 y EET-103 (Nacional); UF-29 (Nacional x desconocido) e IAC-1 (Forastero híbrido); mientras que 19 accesiones (41.3 por ciento) del total: ICS-1, ICS-39, ICS-60, ICS-78, ICS-95, UF-676, LIT-1, ROS-9 y SC-6 (Trinitario); SCA-6, SCA-12, NA-33, PA-310 y EET-400 (Forastero del Alto Amazonas); CAT-4 (Forastero del Bajo Amazonas); EET-228 (Nacional x desconocido), EET-233 (Venezolano amarillo x desconocido), CCN-51 (IMC-67 x ICS-95 x Oriente-1) y TSH-565 (SCA-6 x ICS-1), la antocianina estuvo ausente.

Cuadro 4. Resultados de la caracterización morfológica de flores de 46 accesiones de cacao de la colección Internacional.

CLON	ABO	ALP	AFE	ASO	COP	OSE	NOO	COG
ICS1	Presente (1)	Ausente (0)	Ausente (0)	Presente (1)	Rojizo (3)	Horizontales (2)	Intermedio (2)	Autocompatible (0)
ICS6	Presente (1)	Presente (1)	Ausente (0)	Ausente (0)	Verde (1)	Horizontales (2)	Intermedio (2)	Autocompatible (0)
ICS8	Presente (1)	Presente (1)	Presente (1)	Ausente (0)	Rojizo (3)	Horizontales (2)	Intermedio (2)	Autocompatible (0)
ICS39	Ausente (0)	Ausente (0)	Ausente (0)	Ausente (0)	Rojizo (3)	Horizontales (2)	Bajo (1)	Autoincompatible (1)
ICS60	Presente (1)	Ausente (0)	Ausente (0)	Ausente (0)	Rojizo (3)	Horizontales (2)	Bajo (1)	Autocompatible (0)
ICS78	Presente (1)	Ausente (0)	Ausente (0)	Presente (1)	Verde pigmentado (2)	Verticales (1)	Bajo (1)	Autocompatible (0)
ICS95	Presente (1)	Ausente (0)	Ausente (0)	Presente (1)	Rojizo (3)	Verticales (1)	Bajo (1)	Autocompatible (0)
ICS98	Presente (1)	Presente (1)	Ausente (0)	Presente (1)	Rojizo (3)	Horizontales (2)	Bajo (1)	Autocompatible (0)
UF29	Presente (1)	Presente (1)	Presente (1)	Ausente (0)	Verde pigmentado (2)	Verticales (1)	Intermedio (2)	Autocompatible (0)
UF296	Presente (1)	Presente (1)	Ausente (0)	Presente (1)	Rojizo (3)	Horizontales (2)	Bajo (1)	Autocompatible (0)
UF613	Presente (1)	Presente (1)	Presente (1)	Presente (1)	Rojizo (3)	Verticales (1)	Intermedio (2)	Autoincompatible (1)
UF650	Presente (1)	Presente (1)	Ausente (0)	Presente (1)	Rojizo (3)	Horizontales (2)	Bajo (1)	Autocompatible (0)
UF667	Presente (1)	Presente (1)	Ausente (0)	Ausente (0)	Rojizo (3)	Horizontales (2)	Bajo (1)	Autoincompatible (1)
UF676	Presente (1)	Ausente (0)	Ausente (0)	Ausente (0)	Verde pigmentado (2)	Horizontales (2)	Bajo (1)	Autocompatible (0)
SCA6	Ausente (0)	Ausente (0)	Ausente (0)	Ausente (0)	Verde (1)	Verticales (1)	Alto (3)	Autoincompatible (1)
SCA12	Ausente (0)	Ausente (0)	Ausente (0)	Ausente (0)	Verde (1)	Verticales (1)	Intermedio (2)	Autoincompatible (1)
P7	Ausente (0)	Presente (1)	Presente (1)	Ausente (0)	Verde pigmentado (2)	Verticales (1)	Intermedio (2)	Autoincompatible (1)
P12	Ausente (0)	Presente (1)	Presente (1)	Ausente (0)	Verde pigmentado (2)	Verticales (1)	Intermedio (2)	Autoincompatible (1)
IMC51	Ausente (0)	Presente (1)	Presente (1)	Ausente (0)	Verde pigmentado (2)	Verticales (1)	Alto (3)	Autoincompatible (1)
IMC67	Presente (1)	Presente (1)	Presente (1)	Ausente (0)	Verde pigmentado (2)	Verticales (1)	Alto (3)	Autoincompatible (1)
NA33	Presente (1)	Ausente (0)	Presente (1)	Ausente (0)	Verde pigmentado (2)	Verticales (1)	Intermedio (2)	Autoincompatible (1)
NA727	Ausente (0)	Presente (1)	Ausente (0)	Presente (1)	Verde pigmentado (2)	Verticales (1)	Intermedio (2)	Autoincompatible (1)
PA150	Ausente (0)	Presente (1)	Presente (1)	Ausente (0)	Verde (1)	Horizontal (2)	Intermedio (2)	Autoincompatible (1)

ABO= Antocianina botón floral; ALP= Antocianina lígula pétalo; AFE= Antocianina filamento estaminal; ASO= Antocianina parte superior ovario;
COP= Color pedúnculo floral; OSE= Orientación de sépalos; NOO= Número óvulos por ovario; COG= Compatibilidad genética.

Cuadro 4: “... continuación”

CLON	ABO	ALP	AFE	ASO	COP	OSE	NOO	COG
PA167	Ausente (0)	Presente (1)	Ausente (0)	Ausente (0)	Verde pigmentado (2)	Vertical (1)	Intermedio (2)	Autoincompatible (1)
PA310	Ausente (0)	Ausente (0)	Presente (1)	Ausente (0)	Verde pigmentado (2)	Vertical (1)	Bajo (1)	Autocompatible (0)
CAT4	Ausente (0)	Ausente (0)	Ausente (0)	Ausente (0)	Verde (1)	Horizontal (2)	Intermedio (2)	Autocompatible (0)
CATxIMC67	Presente (1)	Presente (1)	Presente (1)	Ausente (0)	Verde pigmentado (2)	Horizontal (2)	Intermedio (2)	Autocompatible (0)
P12xCAT	Ausente (0)	Presente (1)	Presente (1)	Ausente (0)	Verde pigmentado (2)	Horizontal (2)	Intermedio (2)	Autoincompatible (1)
EET19	Presente (1)	Presente (1)	Presente (1)	Ausente (0)	Rojizo (3)	Vertical (1)	Bajo (1)	Autocompatible (0)
EET48	Presente (1)	Presente (1)	Presente (1)	Ausente (0)	Verde pigmentado (2)	Vertical (1)	Intermedio (2)	Autocompatible (0)
EET62	Presente (1)	Presente (1)	Presente (1)	Ausente (0)	Verde pigmentado (2)	Vertical (1)	Intermedio (2)	Autoincompatible (1)
EET95	Presente (1)	Presente (1)	Presente (1)	Ausente (0)	Verde pigmentado (2)	Vertical (1)	Intermedio (2)	Autocompatible (0)
EET96	Presente (1)	Presente (1)	Presente (1)	Ausente (0)	Verde pigmentado (2)	Vertical (1)	Intermedio (2)	Autocompatible (0)
EET103	Presente (1)	Presente (1)	Presente (1)	Ausente (0)	Verde pigmentado (2)	Vertical (1)	Bajo (1)	Autocompatible (0)
EET228	Presente (1)	Ausente (0)	Presente (1)	Ausente (0)	Rojizo (3)	Vertical (1)	Intermedio (2)	Autocompatible (0)
EET233	Ausente (0)	Ausente (0)	Ausente (0)	Ausente (0)	Verde pigmentado (2)	Vertical (1)	Intermedio (2)	Autoincompatible (1)
EET400	Ausente (0)	Ausente (0)	Ausente (0)	Ausente (0)	Verde (1)	Vertical (1)	Intermedio (2)	Autoincompatible (1)
CCN51	Presente (1)	Ausente (0)	Ausente (0)	Presente (1)	Rojizo (3)	Horizontal (2)	Alto (3)	Autocompatible (0)
TSH565	Presente (1)	Ausente (0)	Ausente (0)	Presente (1)	Rojizo (3)	Horizontal (2)	Intermedio (2)	Autoincompatible (1)
PAN	Presente (1)	Presente (1)	Presente (1)	Ausente (0)	Rojizo (3)	Vertical (1)	Intermedio (2)	Autocompatible (0)
CC42	Presente (1)	Presente (1)	Presente (1)	Ausente (0)	Verde pigmentado (2)	Vertical (1)	Bajo (1)	Autocompatible (0)
LIT1	Ausente (0)	Ausente (0)	Presente (1)	Ausente (0)	Verde pigmentado (2)	Vertical (1)	Bajo (1)	Autocompatible (0)
IAC1	Ausente (0)	Presente (1)	Ausente (0)	Ausente (0)	Rojizo (3)	Horizontal (2)	Intermedio (2)	Autoincompatible (1)
ROS9	Presente (1)	Ausente (0)	Ausente (0)	Presente (1)	Rojizo (3)	Horizontal (2)	Bajo (1)	Autocompatible (0)
GS36	Presente (1)	Presente (1)	Ausente (0)	Presente (1)	Rojizo (3)	Horizontal (2)	Bajo (1)	Autocompatible (0)
SC 6	Presente (1)	Ausente (0)	Ausente (0)	Ausente (0)	Rojizo (3)	Vertical (1)	Bajo (1)	Autocompatible (0)

ABO= Antocianina botón floral; ALP= Antocianina lígula pétalo; AFE= Antocianina filamento estaminal; ASO= Antocianina parte superior ovario;

COP= Color pedúnculo floral; OSE= Orientación de sépalos; NOO= Número óvulos por ovario; COG= Compatibilidad genética.

Las accesiones ICS-39 y LIT-1 (Trinitario); SCA-6, SCA-12, PA-310 y EET-400 (Forastero del Alto Amazonas) y EET-233 (Venezolano amarillo x desconocido), si bien no presentan pigmento antociánico tanto en el botón floral como en la lígula del pétalo, no se podría afirmar la probable existencia de ligamiento genético entre estos dos marcadores morfológicos. Sobre su control hereditario no existe reporte alguno; sin embargo, conjuntamente con los otros verticilos con pigmentaciones antociánicas se discutirá más adelante sobre el mecanismo biosintético. No obstante, por el alto valor discriminativo en la caracterización de cultivares de cacao y al haberse posicionado en los primeros lugares de importancia taxonómica, este carácter ha sido recomendado por Engels (1993).

Con relación al descriptor AFE (antocianina en el filamento estaminal), en 24 accesiones (52.2 por ciento) del total, la pigmentación antociánica estuvo ausente: ICS-1, ICS-6, ICS-39, ICS-60, ICS-78, ICS-95, ICS-98, UF-296, UF-650, UF-667, UF-676, ROS-9, GS-36 y SC-6 (Trinitario); SCA-6, SCA-12, NA-727, PA-167 y EET-400 (Forasteros del Alto Amazonas); CAT-4 (Forasteros del Bajo Amazonas); EET-233 (Venezolano amarillo x desconocido), CCN-51(IMC-67 x ICS-95 x Oriente-1), TSH-565 (SCA-6 x ICS-1) e IAC-1 (Forastero híbrido). En cambio, 22 accesiones (47.8 por ciento) del total: ICS-8, UF-613, PAN, CC-42 y LIT-1 (Trinitario); P-7, P-12, IMC-67, NA-33, PA-150, PA-310 e IMC-51 (Forastero del Alto Amazonas); CAT x IMC-67 y P-12 x CAT (Forasteros híbridos); EET-48, EET-62, EET-95, EET-103, EET-19 y EET-96 (Nacional); UF-29 y EET-228 (Nacional x desconocido), sí lo presentaron.

A diferencia de los caracteres morfológicos anteriores, la presencia o ausencia de pigmentación en este verticilo floral, por sí sólo no podría discriminar ni ubicar inequívocamente las accesiones de los grupos germoplásmicos naturales ‘Forastero del Alto Amazonas’, ‘Criollo’ y ‘Nacional’, ni mucho menos, del grupo germoplásmico artificial ‘Trinitario’ y/o segregantes del grupo germoplásmico ‘Nacional’. Sin embargo, la presencia de pigmento en el filamento estaminal por su valor discriminativo e importancia taxonómica (primer lugar de 10 descriptores seleccionados para cacao) reportado por Engels (1993), resulta muy útil en una clasificación intraespecífica. Nuestros hallazgos coinciden con los resultados reportados por Soria y Enríquez (1981) quienes indican que algunas accesiones de origen ‘Nacional’ y otros de origen

‘Forastero del Alto Amazonas’ exhiben pigmentación antociánica en el filamento estaminal, mientras que otros son completamente despigmentados no habiéndose determinado hasta hoy su control hereditario.

En el caso del descriptor ASO (antocianina en la parte superior del ovario), 34 accesiones (73.9 por ciento) del total: ICS-6, ICS-8, ICS-39, ICS-60, UF-667, UF-676, PAN, CC-42, LIT-1 y SC-6 (Trinitario); SCA-6, SCA-12, P-7, P-12, IMC-67, NA-33, PA-150, PA-167, PA-310, EET-400 e IMC-51 (Forastero del Alto Amazonas); CAT-4 (Forastero del Bajo Amazonas); CAT x IMC-67, P-12 x CAT e IAC-1 (Forasteros híbridos); EET-48, EET-62, EET-95, EET-103, EET-19 y EET-96 (Nacional); EET-233 (Venezolano amarillo x desconocido); UF-29 y EET-228 (Nacional x desconocido), no lo presentaron; mientras que 32 accesiones (26.1 por ciento) del total: ICS-1, ICS-78, ICS-95, ICS-98, UF-296, UF-613, UF-650, ROS-9 y GS-36 (Trinitario); NA-727 (Forastero del Alto Amazonas); CCN-51(IMC-67 x ICS-95 x Oriente-1) y TSH-565 (SCA-6 x IMC-67), sí lo presentaron.

Con excepción de la accesión NA-727 (Forastero del Alto Amazonas) y la accesión CCN-51 en cuya genealogía tiene como progenitores al IMC-67 (Forastero del Alto Amazonas), ICS-95 (Trinitario) y ‘Oriente-1’ (Forastero del Alto Amazonas), como genotipo putativo nativo del valle de los Canelos en la Amazonía ecuatoriana (Boza *et al.*, 2014), la presencia de la pigmentación antociánica en este órgano floral no parece depender del origen de los progenitores o grupo genético, sino más bien se trataría de un carácter cuyo control hereditario se podría atribuir a la dominancia de un gen o dos genes independientes con interacción interalélica (García, 2009). Ostendorf (1965), citado por Enríquez (1967) reporta que los caracteres de la flor resultan muy útiles para caracterizar accesiones de cacao.

Con respecto al descriptor COP (color del pedúnculo floral), 21 accesiones (45.6 por ciento) del total, muestran el color verde pigmentado: ICS-78, UF-676, CC-42 y LIT-1 (Trinitario), UF-29 (Nacional x desconocido), P-7, P-12, IMC-67, NA-33, NA-727, PA-167, PA-310 e IMC-51 (Forastero del Alto Amazonas); CAT x IMC-67 y P-12 x CAT (Forasteros híbridos), EET-48, EET-62, EET-95, EET-96 y EET-103 (Nacional) y EET-233 (Venezolano amarillo x desconocido); le siguen 19 accesiones (41.3 por ciento) del

total que incluye a ICS-1, ICS-8, ICS-39, ICS-60, ICS-95, ICS-98, UF-296, UF-613, UF-650, UF-667, PAN, IAC-1, ROS-9, GS-36 y SC-6 (Trinitario), EET-19 (Nacional), EET-228 (Nacional x desconocido), CCN-51 (IMC-67 x ICS-95 x Oriente-1) y TSH-565 (SCA-6 x ICS-1), muestran el color rojizo; 6 accesiones (13.0 por ciento) del total: ICS-6 (Trinitario), SCA-6, SCA-12, PA-150 y EET-400 (Forastero del Alto Amazonas) y CAT-4 (Forastero del Bajo Amazonas), muestran el color verde.

Casi todas las accesiones ‘Trinitario’ y aquellos que en su genealogía tuvieron como progenitor un cultivar ‘Trinitario’ mostraron color rojizo en este verticilo floral, no observándose coloración rojiza en los cultivares ‘Forastero del Alto y Bajo Amazonas’ y el grupo ‘Nacional’, con excepción de la accesión EET-19 reportado como Nacional híbrido (Crouzillat *et al.*, 2001; Amores *et al.*, 2009; Boccara *et al.*, 2010), probablemente descendiente de un cruzamiento entre ‘Nacional x Trinitario’. Este carácter puede ser utilizado como marcador genético para discriminar preliminarmente cultivares ‘Trinitario’ de cultivares ‘Forastero del Alto y Bajo Amazonas’ y cultivares ‘Nacional’, y también, para inferir con cierto grado de aproximación la estructura genética de éstas poblaciones.

El tipo de herencia de este carácter podría ser monogénico codominante con expresión fenotípica del color rojizo y verde en genotipos heterocigotos, o bien monogénico dominante con genes modificadores para la intensidad y/o distribución de esta pigmentación. Es probable que la radiación solar (factor exógeno) podría estar involucrado estimulando la aparición temporal y/o intensificación de la pigmentación antociánica en los órganos vegetativos y/o reproductivos del cacao, tal como se ha observado en algunas accesiones de cacao de diferente origen genético cuando el fruto gira como respuesta a la puesta del sol en el Banco de genes de cacao.

Es evidente que la herencia de la pigmentación antociánica en los verticilos florales es compleja. Algunas expresiones fenotípicas que son característicos de ciertas poblaciones pueden ser específicas en órganos únicos como resultado de la acción pleiotrópica de uno o más alelos. Estas expresiones del gen serían importantes en la discriminación entre árboles y poblaciones de cacao (Bartley, 2005)

La existencia de variabilidad cuantitativa y cualitativa entre cultivares de cacao para un mismo carácter morfológico floral justificaría el uso de este órgano reproductivo en la diferenciación e identificación de accesiones de cacao (Enríquez y Soria, 1967; Bekele y Butler, 1999). También Ostendorf (1965) citado por Enríquez y Soria (1967) reporta que los verticilos florales (pétalo, pistilo y número de óvulos por ovario), son los mejores descriptores para caracterizar clones de cacao.

Se ha señalado que existen sistemas genéticos que regulan la aparición o no de pigmentos; así como, su intensificación y distribución en toda la planta. Sistemas similares podrían existir en el árbol de cacao involucrados en la biosíntesis, distribución, intensificación y degradación de pigmentos antociánicos y carotenoides; tanto en órganos vegetativos como reproductivos, y en cuya regulación, podrían estar implicados mecanismos complejos de activación o desactivación de genes individuales, complementarios o familias génicas (“supergenes”) durante su ontogenia.

Genes intensificadores para la pigmentación antociánica han sido reportado por de Castro *et al.* (1989) en Brasil en selecciones de cacao de las series CEPEC, EEG, SIAL, BE, MA, RB, CA y CAS que mostraron pigmentación antociánica en mayor o menor intensidad excepto el cultivar CEPEC-10, una selección CAT (Catongo) cuya expresión fenotípica a nivel de brotes foliares, verticilos florales, frutos y cotiledones de las semillas, muestra ausencia de pigmentación antociánica. Estos investigadores postulan un efecto pleitrópico de un gen mutante recesivo en todos los órganos vegetativos y reproductivos de este cultivar (clon).

En el desarrollo de pigmentos antociánicos de verticilos florales estaría involucrada procesos de biosíntesis de antocianinas y otros pigmentos mediada por muchas enzimas, de tal modo que las variaciones en las poblaciones de cacao estaría controlado por un sistema genético más complejo con varios loci (herencia poligénica) que reflejaría la variación en la pigmentación de las estructuras vegetativas y reproductivas (Bartley, 2005). Esta aseveración contrastaría con la hipótesis de una herencia monogénica y/o digénica atribuible a los caracteres cualitativos; no descartándose probables interacciones interalélicas o de un mecanismo epigenético que regularía la aparición y/o intensificación de la pigmentación. Esta premisa ayudaría a explicar la presencia o

ausencia total de antocianinas en el botón floral, lígula del pétalo, filamento estaminal, en la parte superior del ovario y en el pedúnculo floral.

Con relación al descriptor OSE (orientación de los sépalos), 27 accesiones (58.7 por ciento) del total: ICS-78, ICS-95, UF-613, PAN, CC-42, LIT-1 y SC-6 (Trinitario); SCA-6, SCA-12, P-7, P-12, IMC-67, NA-33, NA-727, PA-167, PA-310, EET-400 e IMC-51 (Forastero del Alto Amazonas); EET-19, EET-48, EET-62, EET-95, EET-96 y EET-103 (Nacional), EET-233 (Venezolano amarillo x desconocido), EET-228 y UF-29 (Nacional x desconocido), exhibieron los sépalos en posición vertical, en tanto que 19 accesiones (41.3 por ciento) del total: ICS-1, ICS-6, ICS-8, ICS-39, ICS-60, ICS-98, UF-296, UF-650, UF-667, UF-676, ROS-9 y GS-36 (Trinitario); PA-150 (Forastero del Alto Amazonas) y CAT-4 (Forastero del Bajo Amazonas); CAT x IMC-67, P-12 x CAT e IAC-1 (Forasteros híbridos), CCN-51 (IMC-67 x ICS-95 x Oriente-1) y THS-565 (SCA-6 x ICS-1), exhibieron en posición horizontal.

Estos resultados permiten inferir que los sépalos en posición horizontal son comunes en casi todas las accesiones 'Trinitario' mas no así en las accesiones 'Forastero del Alto Amazonas' de las series NA, SCA, P, IMC, con excepción de PA-150 (Forastero del Alto Amazonas) y CAT-4 (Forastero del Bajo Amazonas); así como, en las accesiones 'Nacional' (EET tradicionales) que exhiben sépalos en posición vertical (replegados). De lo anterior se puede postular que entre estas últimas accesiones existiría un parentesco racial muy cercano debido al origen geográfico y/o grado evolutivo comparado con las accesiones 'Trinitario'. Aunque se desconoce el control genético, es probable que se trate de una herencia monogénica cuya dominancia y/o recesividad necesita ser investigada y validada en el futuro.

En el caso del descriptor NOO (número de óvulos/ovario), 26 accesiones (56.5 por ciento) del total: ICS-1, ICS-6, ICS-8, UF-613, PAN y LIT-1(Trinitario); SCA-6, SCA-12, P-7, P-12, NA-33, NA-727, PA-150, PA-167 y EET-400 (Forastero del Alto Amazonas), CAT-4 (Forastero del Bajo Amazonas), CAT x IMC-67 y P-12 x CAT (Forastero híbridos); EET-48, EET-62, EET-95 y EET-96 (Nacional); EET-233 (Venezolano amarillo x desconocido); UF-29 y EET-228 (Nacional x desconocido) y TSH-565 (SCA-6 x ICS-1), presentaron un rango intermedio; mientras que 17

accesiones (36.9 por ciento) del total ICS-39, ICS-60, ICS-78, ICS-95, ICS-98, UF-296, UF-650, UF-667 y UF-676 (Trinitario); PA-310 (Forastero del Alto Amazonas); CC-42, LIT-1, ROS-9, GS-36 y SC-6 (Trinitario); EET-19 (Nacional) y EET-103 (Nacional x Venezolano amarillo), presentaron el rango bajo, y sólo 3 accesiones (6.6 por ciento) del total: IMC-51 e IMC-67 (Forastero del Alto Amazonas) y CCN-51 (IMC-67 x ICS-1 x Oriente-1), presentaron un amplio rango de NOO.

La amplia variación del número de óvulos por ovario (NOO) en esta colección se explicaría por el parentesco racial de los progenitores, el control poligénico (Cassia *et al.*, 2013) y por tratarse de un carácter cuantitativo discreto. Esquivel y Soria (1967) encontraron diferencias entre cultivares de cacao confirmando lo observado por Pound (1932) y la condición muy estable y altamente heredable del NOO (de Castro *et al.*, 1989). Por ello se recomienda su uso como criterio de selección indirecta por productividad en vez del número de semillas por mazorca, este último un carácter inestable y afectado por el ambiente aún dentro del mismo cultivar (López *et al.*, 1988).

Es pertinente señalar que las accesiones con un rango intermedio de NOO casi todos en su genealogía tuvieron un progenitor ‘Forastero del Alto Amazonas’ que posee un amplio rango de NOO, particularmente las series IMC, SCA, P, etc. También se ha confirmado que los más altos NOO se encuentra en los cultivares ‘Forastero del Alto Amazonas’ y los más bajos en los cultivares ‘Criollo’ y ‘Trinitario’ (Esquivel y Soria, 1967; López *et al.*, 1988; Cassia *et al.*, 2013).

Con respecto al control genético, Soria y Esquivel (1969) reportan una acción de dominancia de genes a favor de NOO bajos sobre NOO altos, mientras que Bartley (2005), sostiene lo contrario, i.e., dominancia de NOO altos sobre NOO bajos, tal como ha sido reportado por García (2010) y Aycachi (2008). Por ser un carácter cuantitativo discreto y estable (baja sensibilidad al efecto ambiental) y de alta heredabilidad relativa (67.7 por ciento), éste descriptor puede ser útil para la selección de genotipos superiores de cacao (Cassia *et al.*, 2013) y también, para dilucidar relaciones filogenéticas entre cultivares de cacao de distinto origen genético y/o procedencia geográfica.

Finalmente, con relación al descriptor COG (compatibilidad genética), 27 accesiones (58.7 por ciento) del total, fueron autocompatibles: ICS-1, ICS-6, ICS-8, ICS-60, ICS-78, ICS-95, ICS-98, UF-296, UF-650, UF-676, PAN, CC-42, LIT-1, ROS-9, GS-36 y SC-6 (Trinitario), UF-29 y EET-228 (Nacional x desconocido); EET-19, EET-48, EET-95, EET-96 y EET-103 (Nacional); PA-310 (Forastero del alto Amazonas), CAT-4 (Forastero del bajo Amazonas), CAT x IMC-67 (Forastero híbrido) y CCN-51 (IMC-67 x ICS-1 x Oriente-1); mientras que 19 accesiones (41.3 por ciento) del total, resultaron autoincompatibles: ICS-39, UF-613, UF-667 (Trinitario) y TSH-565 (SCA-6 x ICS-1); SCA-6, SCA-12, P-7, P-12, IMC-67, NA-33, NA-727, PA-150, PA-167, EET-400 e IMC-67 (Forastero del Alto Amazonas); P-12 x CAT e IAC-1 (Forasteros híbridos); EET-62 (Nacional) y EET-233 (Venezolano amarillo x desconocido).

Las accesiones autoincompatibles en su mayoría pertenecen al grupo genético 'Forastero del Alto Amazonas' y algunas accesiones al grupo 'Nacional' y 'Trinitario'. Arciniegas y Phillips-Mora (2007) en el germoplasma del CATIE encontraron que un 67.7 por ciento de las accesiones fueron autocompatibles y un 32.2 por ciento fueron autoincompatibles, que se puede explicar por la mayor proporción de accesiones 'Trinitario' + 'Criollo' y pocas accesiones 'Forastero'.

La base genética del sistema de incompatibilidad de Knight y Rogers (1955), Cope (1962), es compleja y no bien comprendida (Eskes y Lanaud, 2001). La reacción de autocompatibilidad y/o autoincompatibilidad se explica por el sistema de incompatibilidad esporofítica con tres loci, un locus *S* multialélico (con efectos de dominancia y codominancia) y dos loci (A y B) independientes y complementarios (Bartley, 2005). La expresión diferencial del carácter dependería del complejo racial a que pertenece y su grado evolutivo.

Existen algunas accesiones 'Trinitario' que son esencialmente autocompatibles: ICS-1, ICS-6, ICS-95, UF-650, etc., y accesiones 'Forastero del Alto Amazonas': IMC-67, P-7 y SCA-6, NA-33, PA-150 que son autoincompatibles (Engels, 1984; ICGD, 1999; Bartley, 2005). Nuestros resultados confirmaron la existencia de genotipos autoincompatibles: ICS-39, UF-613, UF-667 y UF-676 en el germoplasma 'Trinitario' y

pocos genotipos autocompatibles: PA-310 y CAT-4 en el germoplasma ‘Forastero’ del Alto y Bajo Amazonas, respectivamente.

4.1.2. Caracteres morfológicos del fruto

En el Cuadro 5 se muestra los resultados de la caracterización morfológica de siete caracteres de frutos de 46 accesiones de cacao de la colección Internacional.

Con relación al descriptor FBF (forma básica del fruto), 33 accesiones (71.7 por ciento) del total, son de forma elíptica: ICS-1, ICS-6, ICS-8, ICS-60, UF-296, UF-613, UF-650, UF-667, UF-676, CC-42, LIT-1, GS-36 y SC-6 (Trinitario); SCA-6, SCA-12, P-7, NA-33, NA-727, PA-150, PA-167, PA-310, EET-400 e IMC-51 (Forastero del Alto Amazonas), CAT-4 (Forastero del Bajo Amazonas) y CAT x IMC-67 y P-12 x CAT (Forastero híbrido); EET-19, EET-48, EET-62, EET-95, EET-96 y EET-103 (Nacional), y UF-29 (Nacional x desconocido). Le siguen las accesiones de forma oblonga (26.1 por ciento): ICS-39, ICS-78, ICS-95, ICS-98, ROS-9 y PAN (Trinitario); P-12 e IMC-67 (Forastero del Alto Amazonas), IAC-1 (Forastero híbrido), EET-228 (Nacional x desconocido); CCN-51(IMC-67 x ICS-95 x Oriente-1) y TSH-565 (SCA-6 x ICS-1), y sólo una accesión (2.2 por ciento) del total, de forma abovada: EET-233 (Venezolano amarillo x desconocido).

La forma abovada es un estado muy poco frecuente en las colecciones de germoplasma de cacao por lo que su control genético podría atribuirse a un gen recesivo raro (alelo privado). La presencia mayoritaria de sólo dos formas de fruto (elíptico y oblongo) en la colección Internacional poco ayuda a discriminar grupos germoplásmicos, ni mucho menos, dilucidar el origen genético de las accesiones ya que la forma elíptica lo exhiben tanto las accesiones ‘Forastero del Alto Amazonas’ como los ‘Trinitario’; excepto la accesión IMC-67 (Forastero del Alto Amazonas), y probablemente, algunas más en otras colecciones de germoplasma de forma oblonga, no pudiendo ser exclusivo del grupo genético ‘Trinitario’ clásico.

Cuadro 5. Resultados de la caracterización morfológica de frutos de 46 accesiones de cacao de la colección Internacional

CLON	FBF	CBF	FAF	RUF	SLF	PSF	CIF
ICS1	Elíptica (2)	Ligera (1)	Obtuso (3)	Ligera (3)	Intermedia (3)	Intermedio (5)	Rojizo (3)
ICS6	Elíptica (2)	Ligera (1)	Apezonado (5)	Ligera (3)	Intermedia (3)	Intermedio (5)	Verde (1)
ICS8	Elíptica (2)	Ligera (1)	Obtuso (3)	Ligera (3)	Intermedia (3)	Superficial (3)	Verde (1)
ICS39	Oblongo (1)	Intermedia (2)	Agudo (2)	Intermedia (5)	Intermedia (3)	Intermedio (5)	Verde pigmentado (2)
ICS60	Elíptica (2)	Intermedia (2)	Agudo (2)	Intermedia (5)	Intermedia (3)	Intermedio (5)	Verde (1)
ICS78	Oblongo (1)	Ligera (1)	Agudo (2)	Intermedia (5)	Ligera (1)	Intermedio (5)	Verde (1)
ICS95	Oblongo (1)	Ligera (1)	Agudo (2)	Ligera (3)	Intermedia (3)	Intermedio (5)	Rojizo (3)
ICS98	Oblongo (1)	Ligera (1)	Agudo (2)	Ligera (3)	Intermedia (3)	Intermedio (5)	Rojizo (3)
UF29	Elíptica (2)	Ligera (1)	Obtuso (3)	Intermedia (5)	Intermedia (3)	Intermedio (5)	Verde (1)
UF296	Elíptica (2)	Intermedia (2)	Obtuso (3)	Ligera (3)	Intermedia (3)	Intermedio (5)	Rojizo (3)
UF613	Elíptica (2)	Intermedia (2)	Agudo (2)	Ligera (3)	Amplio (5)	Intermedio (5)	Rojizo (3)
UF650	Elíptica (2)	Ligera (1)	Agudo (2)	Ligera (3)	Intermedia (3)	Intermedio (5)	Rojizo (3)
UF667	Elíptica (2)	Ausente (0)	Agudo (2)	Intermedia (5)	Ligera (1)	Superficial (3)	Rojizo (3)
UF676	Elíptica (2)	Ligera (1)	Agudo (2)	Intermedia (5)	Intermedia (3)	Intermedio (5)	Verde (1)
SCA6	Elíptica (2)	Ligera (1)	Atenuado (1)	Ligera (3)	Intermedia (3)	Intermedio (5)	Verde (1)
SCA12	Elíptica (2)	Ligera (1)	Atenuado (1)	Ligera (3)	Intermedia (3)	Intermedio (5)	Verde (1)
P7	Elíptica (2)	Ausente (0)	Obtuso (3)	Intermedia (5)	Intermedia (3)	Intermedio (5)	Verde (1)
P12	Oblongo (1)	Ausente (0)	Obtuso (3)	Intermedia (5)	Intermedia (3)	Intermedio (5)	Verde (1)
IMC51	Elíptica (2)	Ligera (1)	Obtuso (3)	Ligera (3)	Intermedia (3)	Intermedio (5)	Verde (1)
IMC67	Oblongo (1)	Ligera (1)	Atenuado (1)	Ligera (3)	Intermedia (3)	Superficial (3)	Verde (1)
NA33	Elíptica (2)	Ligera (1)	Obtuso (3)	Intermedia (3)	Intermedia (3)	Intermedio (5)	Verde (1)
NA727	Elíptica (2)	Ligera (1)	Obtuso (3)	Intermedia (3)	Ligera (1)	Superficial (3)	Verde (1)
PA150	Elíptica (2)	Intermedia (2)	Agudo (2)	Intermedia (5)	Intermedia (3)	Intermedio (5)	Verde pigmentado (2)

FBF= Forma básica del fruto; CBF= Constricción basal del fruto; FAF= Forma ápice del fruto; RUF= Rugosidad del fruto;

SLF= Separación lomos del fruto; PSF= Profundidad surcos del fruto; CIF= Color inmaduro del fruto

Cuadro 5: “... continuación”

CLON	FBF	CBF	FAF	RUF	SLF	PSF	CIF
PA167	Elíptica (2)	Intermedia (2)	Obtuso (3)	Ligera (3)	Intermedia (3)	Intermedio (5)	Verde pigmentado (2)
PA310	Elíptica (2)	Intermedia (2)	Obtuso (3)	Ligera (3)	Ligera (1)	Superficial (3)	Verde (1)
CAT4	Elíptica (2)	Ausente (2)	Obtuso (3)	Ausente (0)	Ligera (1)	Superficial (3)	Verde (1)
CATxIMC67	Elíptica (2)	Ligera (1)	Obtuso (3)	Ausente (0)	Ligera (1)	Superficial (3)	Verde (1)
P12xCAT	Elíptica (2)	Ausente (0)	Obtuso (3)	Ausente (0)	Ligera (1)	Superficial (3)	Verde (1)
EET19	Elíptica (2)	Ligera (1)	Obtuso (3)	Intermedia (5)	Ligera (1)	Intermedio (5)	Verde pigmentado (2)
EET48	Elíptica (2)	Ligera (1)	Obtuso (3)	Ligera (3)	Ligera (1)	Intermedio (5)	Verde pigmentado (2)
EET62	Elíptica (2)	Ausente (0)	Obtuso (3)	Ligera (3)	Intermedia (3)	Intermedio (5)	Verde pigmentado (2)
EET95	Elíptica (2)	Ligera (1)	Obtuso (3)	Ligera (3)	Ligera (1)	Intermedio (5)	Verde (1)
EET96	Elíptica (2)	Ausente (0)	Obtuso (3)	Intermedia (5)	Intermedia (3)	Intermedio (5)	Verde pigmentado (2)
EET103	Elíptica (2)	Intermedia (2)	Obtuso (3)	Intermedia (5)	Ligera (1)	Intermedio (5)	Verde (1)
EET228	Oblongo (1)	Intermedia (2)	Atenuado (1)	Intermedia (5)	Ligera (1)	Intermedio (5)	Verde pigmentado (2)
EET233	Obovado (3)	Ligera (1)	Obtuso (3)	Intermedia (5)	Intermedia (3)	Intermedio (5)	Verde pigmentado (2)
EET400	Elíptico (2)	Ligera (1)	Obtuso (3)	Intermedia (5)	Ligera (1)	Intermedio (5)	Verde (1)
CCN51	Oblongo (1)	Ligera (1)	Atenuado (1)	Fuerte (7)	Intermedia (3)	Profundo (7)	Rojizo (3)
TSH565	Oblongo (1)	Ligera (1)	Obtuso (3)	Ligera (3)	Ligera (1)	Intermedio (5)	Rojizo (1)
PAN	Oblongo (1)	Intermedia (2)	Atenuado	Ligera (3)	Ligera (1)	Superficial (3)	Verde pigmentado (2)
CC42	Elíptica (2)	Ausente (0)	Apezonado	Ligera (3)	Ligera (1)	Superficial (3)	Verde (1)
LIT1	Elíptica (2)	Ausente (0)	Obtuso	Ligera (3)	Ligera (1)	Superficial (3)	Verde (1)
IAC1	Oblongo (1)	Ausente (0)	Obtuso	Intermedia (5)	Intermedia (3)	Intermedio (5)	Verde pigmentado (2)
ROS9	Oblongo (1)	Intermedia (2)	Agudo	Intermedia (5)	Ligera (1)	Intermedio (5)	Verde pigmentado (2)
GS36	Elíptica (2)	Ligera (1)	Agudo	Intermedia (5)	Ligera (1)	Intermedio (5)	Rojizo (3)
SC 6	Elíptica	Intermedia (2)	Agudo	Ligera (3)	Ligera (1)	Intermedio (5)	Rojizo (3)

FBF= Forma básica del fruto; CBF= Constricción basal del fruto; FAF= Forma ápice del fruto; RUF= Rugosidad del fruto;

SLF= Separación lomos del fruto; PSF= Profundidad surcos del fruto; CIF= Color inmaduro del fruto

Un estudio reportó que cruces interclonales donde participaron cultivares ‘Forastero del Alto Amazonas’ (IMC-67, P-7 y U-68) con el cultivar: H-12 (segregante de IMC-67), la forma oblonga del fruto resultó ser la más frecuente. Es probable que algunas accesiones ‘Trinitario’ de fruto oblongo puedan haber heredado el gen (s) para este carácter procedente de un progenitor ‘Forastero del Bajo Amazonas’ procedente de alguna población ancestral domesticada de este grupo genético. Aunque no se conoce de reportes científicos sobre el control genético, el evidente polimorfismo genético en la expresión fenotípica de este carácter podría atribuirse a la presencia de alelos múltiples (García, 2010).

Con relación al descriptor CBF (constricción basal del fruto), 24 accesiones (52.2 por ciento) del total, mostraron el estado ligero: ICS-1, ICS-6, ICS-8, ICS-78, ICS-95, ICS-98, UF-650, UF-676 y GS-36, (Trinitario); SCA-6, SCA-12, IMC-67, NA-33, NA-727, EET-400 e IMC-51 (Forastero del Alto Amazonas); CAT x IMC-67 (Forastero híbrido); EET-19, EET-48 y EET-95 (Nacional); UF-29 (Nacional x desconocido); EET-233 (Venezolano amarillo x desconocido); CCN-51(IMC-67 x ICS-95 x Oriente-1) y TSH-565 (SCA-6 x ICS-1). Le sigue el estado intermedio con 12 accesiones (26.1 por ciento) del total: ICS-39, ICS-60, UF-296, UF-613, PAN, ROS-9 y SC-6 (Trinitario); PA-150, PA-167 y PA-310 (Forastero del Alto Amazonas), EET-103 (Nacional) y EET-228 (Nacional x desconocido); luego el estado ausente con 10 accesiones (21.7 por ciento) del total: UF-667, CC-42, LIT-1 (Trinitario); P-7, P-12 (Forastero del Alto Amazonas) y CAT-4 (Forastero del Bajo Amazonas); P-12 x CAT e IAC-1 (Forastero híbrido); EET-62 y EET-96 (Nacional).

Ninguna accesión de esta colección presentó el estado fuerte del descriptor CBF, quizá porque este fenotipo es raro o poco frecuente y en su control genético podría estar involucrado un gen (herencia monogénica) donde el estado “fuerte” se debería a la acción de un alelo recesivo suprimido en condición heterocigota tal como ha sido reportado por Pound (1932), citado por Engels (1984).

En las accesiones del grupo ‘Criollo’ no solo existe ausencia o ligera constricción basal, sino también en la mayoría de las accesiones ‘Trinitario’ clásicos que habrían heredado de un cultivar ‘Criollo’ ancestral. Sin embargo, éstos dos estados del descriptor CBF no

serían exclusivos para tales grupos genéticos puesto que también lo exhibe el CAT-4 (Catongo-4) del grupo ‘Forastero del Bajo Amazonas’ y algunos cultivares nativos de ‘Forastero del Alto Amazonas’, v.g. “Blanco” de Piura, “Criollo de montaña” de Junín y “Chuncho” del Cusco (Rojas *et al.*, 2014).

En cuanto al descriptor FAF (forma del ápice del fruto), 25 accesiones (54.3 por ciento) del total, exhibieron el estado obtuso: ICS-1, ICS-8, UF-296 y LIT-1 (Trinitario); P-7, P-12, NA-33, NA-727, PA-167, PA-310, EET-400 e IMC-51 (Forastero del Alto Amazonas) y CAT-4 (Forastero del Bajo Amazonas); CAT x IMC-67, P-12 x CAT e IAC-1 (Forastero híbrido); EET-19, EET-48, EET-62, EET-95, EET-96 y EET-103 (Nacional); EET-233; (Venezolano amarillo x desconocido); UF-29 (Nacional x desconocido) y TSH-565 (SCA-6 x ICS-1); le siguen 13 accesiones (28.3 por ciento) del total, que presentaron el estado agudo: ICS-39, ICS-60, ICS-78, ICS-95, ICS-98, UF-613, UF-650, UF-667, UF-676, ROS-9, GS-36 y SC-6 (Trinitario) y PA-150 (Forastero del Alto Amazonas), luego el estado atenuado con 6 accesiones (13.0 por ciento) del total: SCA-6, SCA-12 e IMC-67 (Forastero del Alto Amazonas); EET-228 (Nacional x desconocido); CCN-51 (IMC-67 x ICS-95 x Oriente-1) y PAN (Trinitario); y finalmente, 2 accesiones (4.3 por ciento) del total, con ápice apezonado: ICS-6 y CC-42 (Trinitario).

El ápice obtuso que predomina en la colección Internacional también es exhibido por muchas accesiones de los grupos genéticos: ‘Forastero del Alto Amazonas’ y ‘Nacional’. No obstante, se presenta también en las accesiones ‘Trinitario’ y en las progenies de sus cruces. Un caso inusual es la selección híbrida I-1,14 de ápice obtuso, cuyos progenitores ‘Trinitario’ (ICS-95 e ICS-6), no exhibían este fenotipo pues eran de ápice agudo y apezonado, respectivamente. Otro caso es la selección híbrida M-18,16 de ápice agudo cuyos progenitores ‘Forastero del Alto Amazonas’ (IMC-67 y U-68), eran de ápice atenuado y obtuso, respectivamente (García, 2010). No se conoce el tipo de herencia para este carácter pero se podría presumir que sea monogénico con polimorfismo alélico y grados de dominancia y/o digénico con interacciones epistáticas más la intervención de genes modificadores.

Con relación al descriptor RUF (rugosidad del fruto), 21 accesiones (45.6 por ciento) del total, mostraron rugosidad ligera: ICS-1, ICS-6, ICS-8, ICS-95, ICS-98, UF-296, UF-613, UF-650, PAN, CC-42, LIT-1 y SC-6 (Trinitario); SCA-6, SCA-12, IMC-67, PA-167, PA-310 e IMC-51 (Forastero del Alto Amazonas); EET-48, EET-62, EET-95 (Nacional); 21 accesiones (45.6 por ciento) del total, exhibieron rugosidad intermedia: ICS-39, ICS-60, ICS-78, UF-667, UF-676, ROS-9 y GS-36; (Trinitario); P-7, P-12, NA-33, NA-727, PA-150 y EET-400 (Forastero del Alto Amazonas); EET-19, EET-96 y EET-103 (Nacional); EET-233 (Venezolano amarillo x desconocido); UF-29 y EET-228 (Nacional x desconocido); TSH-565 (SCA-6 x ICS-1) e IAC-1 (Forastero híbrido); 3 accesiones (6,5 por ciento) del total, la rugosidad estuvo ausente : CAT-4 (Forastero del Bajo Amazonas); CAT x IMC-67 y P-12 x CAT (Forasteros híbridos), y 1 accesión (2.2 por ciento) del total, presentó rugosidad fuerte: CCN-51 (IMC-67 x ICS-95 x Oriente-1).

La rugosidad del fruto es un carácter variable y muy difícil de medir según Soria y Enríquez (1981). Pound (1932) citado por Engels (1984), reporta que el alelo dominante determina el fenotipo rugoso y el alelo recesivo el fenotipo liso. La ausencia de rugosidad de la selección híbrida M-17,18 segregante de la cruce (ICS-95 x U-68) con ligera rugosidad, no concordaría completamente con lo reportado por Pound (1932), y más bien, en el tipo de herencia monogénica estaría involucrado una serie alélica múltiple con diferentes grados de dominancia (García, 2010).

La variación encontrada en las accesiones de la colección Internacional y la carencia de estudios genéticos actualizados y más profundos, imposibilitaría determinar el tipo de segregación para este carácter. Es más, las observaciones de campo permitiría sostener que la variación en la rugosidad del fruto dependería del nivel de rugosidad que exhibieron los progenitores participantes en las cruces Trinitario x Trinitario, Trinitario x Forastero, Forastero x Criollo, etc.

En cuanto al descriptor SLF (separación de un par de lomos), 25 accesiones (54.3 por ciento) del total, exhibieron el estado intermedio: ICS-1, ICS-6, ICS-8, ICS-39, ICS-60, ICS-95, ICS-98, UF-296, UF-650, UF-676 (Trinitario); SCA-6, SCA-12, P-7, P-12, IMC-67, NA-33, PA-150, PA-167 e IMC-51 (Forastero del Alto Amazonas); EET-62 y

EET-96 (Nacional); EET-233 (Venezolano amarillo x desconocido); UF-29 (Nacional x desconocido); CCN-51 (IMC-67 x ICS-95 x Oriente-1) e IAC-1 (Forastero híbrido); 20 accesiones (43.5 por ciento) del total, mostraron el estado ligero: ICS-78, UF-667, PAN, CC-42, LIT-1, ROS-9, GS-36 y SC-6; (Trinitario); NA-727, PA-310 y EET-400 (Forastero del Alto Amazonas), CAT-4 (Forastero del Bajo Amazonas); CAT x IMC-67 y P-12 x CAT (Forasteros híbridos); EET-19, EET-48, EET-95, EET-103 (Nacional); EET-228 (Nacional x desconocido); TSH-565 (SCA-6 x ICS-1) y 1 accesión (2.2 por ciento) del total, el estado equidistante: UF-613 (Trinitario).

En la literatura científica no existen reportes sobre el tipo de herencia o control genético de este carácter; sin embargo, de forma análoga con ciertos caracteres morfológicos, se puede postular que el tipo de herencia sea monogénica con involucramiento de una serie de alelos múltiples que difieren en los grados de dominancia o monogénica con presencia de genes modificadores.

Con relación al descriptor PSF (profundidad de surcos primarios), 34 accesiones (73.9 por ciento) del total, presentaron el estado intermedio: ICS-1, ICS-6, ICS-39, ICS-60, ICS-78, ICS-95, ICS-98 UF-296, UF-613, UF-650, UF-676, ROS-9, GS-36 y SC-6 (Trinitario); SCA-6, SCA-12, P-7, P-12, NA-33, PA-150, PA-167, EET-400 e IMC-51 (Forastero del Alto Amazonas); EET-48, EET-62, EET-19, EET-95, EET-96 y EET-103 (Nacional); EET-233 (Venezolano amarillo x desconocido); UF-29 y EET-228 (Nacional x desconocido); TSH-565 (SCA-6 x ICS-1) e IAC-1 (Forastero híbrido); le siguen 11 accesiones (23.9 por ciento) del total, con surcos superficiales: ICS-8, UF-667, PAN, CC-42 y LIT-1 (Trinitario); IMC-67, NA-727 y PA-310 (Forastero del Alto Amazonas); CAT-4 (Forastero del Bajo Amazonas), CAT x IMC-67 y P-12 x CAT (Forastero híbridos) y 1 accesión (2.2 por ciento) del total que tuvo surcos profundos: CCN-51(IMC-67 x ICS-95 x Oriente-1).

La profundidad de los surcos primarios si bien es un carácter muy descriptivo, puede ser afectado por el ambiente (Pound, 1932 citado por Enríquez y Soria (1967). Como bien sabemos, todo carácter cualitativo es insensible a los factores ambientales siendo su heredabilidad completa o muy alta; de allí que, el control genético podría atribuirse a una herencia monogénica codominante, herencia *cuasi* cuantitativa o a un evento

epigenético que genera variación fenotípica al modificar la expresión genética del material hereditario alterado (ADN) o del genoma completo.

Por último, con respecto al descriptor CFI (color del fruto inmaduro), 23 accesiones (50 por ciento) del total, exhibieron el color verde: ICS-6, ICS-8, ICS-60, ICS-78, UF-676, CC-42 y LIT-1(Trinitario); SCA-6, SCA-12, P-7, P-12, IMC-67, NA-33, NA-727, PA-310, EET-400 e IMC-51 (Forastero del Alto Amazonas); CAT-4 (Forastero del Bajo Amazonas); CAT x IMC-67 y P-12 x CAT (Forasteros híbridos); EET-95 y EET-103 (Nacional) y UF-29 (Nacional x desconocido); le siguen 12 accesiones (26.1 por ciento) del total, que exhibieron color verde pigmentado: ICS-39, PAN, LIT-1 y ROS-9 (Trinitario); PA-150 y PA-167 (Forastero del Alto Amazonas); EET-19, EET-48, EET-62 y EET-96 (Nacional); EET-233 (Venezolano amarillo x desconocido) y EET-228 (Nacional x desconocido), y 11 accesiones (23.9 por ciento) del total, el color rojizo: ICS-1, ICS-95, ICS-98, UF-296, UF-613, UF-650, UF-667, GS-36 y SC-6 (Trinitario); CCN-51 (IMC-67 x ICS-95 x Oriente-1) y TSH-565 (SCA-6 x ICS-1).

Un estudio genético realizado por Soria (1978) citado por Engels (1984), reporta que un par de genes más genes modificadores estarían involucrados en la pigmentación del fruto inmaduro, siendo el rojo dominante sobre el verde. Progenies híbridas de cruces ‘Forasteros del Alto Amazonas’ (IMC-67 x SCA-6) de color verde, solo exhibieron frutos inmaduros verdes; mientras que progenies de cruces ‘Trinitario’ (ICS-95 y/o UF-613) de color rojo con ‘Forasteros del Alto Amazonas’ (IMC-67 y/o U-68) de color verde, exhibieron frutos que segregaron entre rojos y verdes para este carácter. Estos resultados corroboran lo reportado por Soria (1978) y Engels (1984); sin embargo, el estado “verde pigmentado” quedaría intermedio a los fenotipos contrastantes (rojo y verde) y que podría ser explicado por una herencia monogénica codominante o por otro mecanismo hereditario más complejo.

4.1.3. Caracteres morfo-organolépticos de la semilla

En el Cuadro 6 se presenta los resultados de la caracterización morfo-organoléptica de la semilla de nueve descriptores de 46 accesiones de cacao de la colección Internacional.

a. Caracteres morfológicos de la semilla seca

Con relación al descriptor FLS (forma de semilla en sección longitudinal), 28 accesiones (60.8 por ciento) del total, presentaron la forma elíptica: ICS-1, ICS-6, ICS-8, ICS-60, ICS-78, ICS-95 UF-613, UF-650, UF-667, UF-676, CC-42, LIT-1, ROS-9 y GS-36 (Trinitario); SCA-6, SCA-12, P-7, P-12, NA-33, NA-727, PA-150, PA-167, PA-310, EET-400 e IMC-51 (Forastero del Alto Amazonas); UF-29 (Nacional x desconocido); CCN-51 (IMC-67 x ICS-95 x Oriente-1); e IAC-1 (Forastero híbrido); le siguen 8 accesiones (17.4 por ciento) del total, de forma ovada: ICS-98 y UF-296 (Trinitario); CAT-4 (Forastero del Bajo Amazonas); CAT x IMC-67 y P-12 x CAT (Forasteros híbrido); EET-48 y EET-96 (Nacional); EET-233 (Venezolano amarillo x desconocido); 6 accesiones (13 por ciento) del total, de forma irregular: EET-19, EET-62, EET-95 y EET-103 (Nacional); PAN y SC-6 (Trinitario); y 4 accesiones (8.7 por ciento) del total, de forma oblonga: ICS-39 (Trinitario), IMC-67 (Forastero del Alto Amazonas); EET-228 (Nacional x desconocido) y TSH-565 (SCA-6 x ICS-1).

Estos resultados permiten señalar que la forma elíptica es común en las accesiones del grupo ‘Forastero del Alto Amazonas’ y grupo ‘Trinitario’; mientras que la forma irregular predomina en las accesiones del grupo ‘Nacional’. Observaciones de campo y laboratorio permiten postular una estrecha asociación entre la forma oblonga del fruto con su homóloga de la semilla en sección longitudinal (García, 2014). Si bien el control genético se desconoce se presume que sea similar al de la forma del fruto del cacao.

Cuadro 6. Resultados de la caracterización morfo-organoléptica de semillas de 46 accesiones de cacao de la colección Internacional.

ACCESION	Caracteres morfológicos			Caracteres organolépticos					
	FLS	FTS	CCS	DUL	ACI	AST	AMA	FLO	FRU
ICS1	Elíptica (3)	Intermedio (3)	Morado (5)	Intermedio (3)	Intermedio (3)	Bajo (2)	Intermedio (3)	Muy bajo (1)	Intermedio (3)
ICS6	Elíptica (3)	Aplanada (1)	Morado (5)	Intermedio (3)	Bajo (2)	Bajo (2)	Intermedio (3)	Muy bajo (1)	Intermedio (3)
ICS8	Elíptica (3)	Intermedio (3)	Morado (5)	Bajo (2)	Intermedio (3)	Bajo (2)	Intermedio (3)	Muy bajo (1)	Bajo (2)
ICS39	Oblongo (1)	Intermedio (3)	Violeta (3)	Bajo (2)	Alto (4)	Intermedio (3)	Intermedio (3)	Ausente (0)	Bajo (2)
ICS60	Elíptica (3)	Intermedio (3)	Violeta (3)	Bajo (2)	Intermedio (3)	Bajo (2)	Intermedio (3)	Muy bajo (1)	Intermedio (3)
ICS78	Elíptica (3)	Aplanada (1)	Morado (5)	Bajo (2)	Intermedio (3)	Intermedio (3)	Intermedio (3)	Ausente (0)	Bajo (2)
ICS95	Elíptica (3)	Intermedio (3)	Morado (5)	Bajo (2)	Bajo (2)	Bajo (2)	Bajo (2)	Muy bajo (1)	Bajo (2)
ICS98	Ovada (5)	Intermedio (3)	Morado (5)	Bajo (2)	Intermedio (3)	Bajo (2)	Intermedio (3)	Muy bajo (1)	Bajo (2)
UF29	Elíptica (3)	Intermedio (3)	Morado (5)	Intermedio (3)	Bajo (2)	Bajo (2)	Intermedio (3)	Muy bajo (1)	Intermedio (3)
UF296	Ovada (5)	Intermedio (3)	Morado (5)	Intermedio (3)	Bajo (2)	Bajo (2)	Intermedio (3)	Bajo (2)	Intermedio (3)
UF613	Elíptica (3)	Aplanada (1)	Morado (5)	Intermedio (3)	Intermedio (3)	Intermedio (3)	Alto (4)	Muy bajo (1)	Bajo (2)
UF650	Elíptica (3)	Intermedio (3)	Morado (5)	Bajo (2)	Intermedio (3)	Intermedio (3)	Intermedio (3)	Muy bajo (1)	Intermedio (3)
UF667	Elíptica (3)	Intermedio (3)	Morado (5)	Intermedio (3)	Intermedio (3)	Intermedio (3)	Intermedio (3)	Muy bajo (1)	Intermedio (3)
UF676	Elíptica (3)	Intermedio (3)	Morado (5)	Intermedio (3)	Bajo (2)	Muy bajo (1)	Bajo (2)	Muy bajo (1)	Intermedio (3)
SCA6	Elíptica (3)	Aplanada (1)	Morado (5)	Alto (4)	Muy bajo (1)	Muy bajo (1)	Bajo (2)	Intermedio (3)	Intermedio (3)
SCA12	Elíptica (3)	Aplanada (1)	Morado (5)	Alto (4)	Bajo (2)	Muy bajo (1)	Bajo (2)	Intermedio (3)	Intermedio (3)
P7	Elíptica (3)	Aplanada (1)	Morado (5)	Bajo (2)	Bajo (2)	Muy bajo (1)	Intermedio (3)	Ausente (0)	Bajo (2)
P12	Elíptica (3)	Aplanada (1)	Morado (5)	Intermedio (3)	Bajo (2)	Muy bajo (1)	Intermedio (3)	Ausente (0)	Bajo (2)
IMC51	Elíptica (3)	Aplanada (1)	Violeta (3)	Intermedio (3)	Bajo (2)	Intermedio (3)	Intermedio (3)	Bajo (2)	Intermedio (3)
IMC67	Oblongo (1)	Aplanada (1)	Morado (5)	Intermedio (3)	Bajo (2)	Intermedio (3)	Intermedio (3)	Bajo (2)	Intermedio (3)
NA33	Elíptica (3)	Aplanada (1)	Morado (5)	Intermedio (3)	Bajo (2)	Muy bajo (1)	Intermedio (3)	Muy bajo (1)	Intermedio (3)
NA727	Elíptica (3)	Intermedio (3)	Violeta (3)	Intermedio (3)	Bajo (2)	Muy bajo (1)	Bajo (2)	Muy bajo (1)	Intermedio (3)
PA150	Elíptica (3)	Intermedio (3)	Morado (5)	Intermedio (3)	Bajo (2)	Muy bajo (1)	Bajo (2)	Muy bajo (1)	Intermedio (3)

FLS= Forma longitudinal de semilla; FTS= Forma transversal de semilla; CCS= Color cotiledón de semilla;

DUL= Dulzura; ACI= Acidez; AST= Astringencia; AMA= Amargor; FLO= Floral; FRU= Frutal

Cuadro 6: “... continuación”

ACCESION	Caracteres morfológicos			Caracteres organolépticos					
	FLS	FTS	CCS	DUL	ACI	AST	AMA	FLO	FRU
PA167	Elíptica (3)	Intermedio (3)	Morado (5)	Bajo (2)	Intermedio (3)	Bajo (2)	Bajo (2)	Muy bajo (1)	Intermedio (3)
PA310	Elíptica (3)	Intermedio (3)	Morado (5)	Intermedio (3)	Bajo (2)	Bajo (2)	Bajo (2)	Muy bajo (1)	Intermedio (3)
CAT4	Ovada (5)	Aplanada (1)	Blanco (1)	Intermedio (3)	Intermedio (3)	Intermedio (3)	Bajo (2)	Ausente (0)	Intermedio (3)
CATxIMC67	Ovada (5)	Aplanada (1)	Morado (5)	Intermedio (3)	Bajo (2)	Bajo (2)	Bajo (2)	Bajo (2)	Intermedio (3)
P12xCAT	Ovada (5)	Aplanada (1)	Morado (5)	Intermedio (3)	Intermedio (3)	Bajo (2)	Bajo (2)	Ausente (0)	Bajo (2)
EET19	Irregular (7)	Intermedio (3)	Violeta (3)	Intermedio (3)	Bajo (2)	Bajo (2)	Intermedio (3)	Intermedio (3)	Bajo (2)
EET48	Ovada (5)	Intermedio (3)	Morado (5)	Intermedio (3)	Bajo (2)	Bajo (2)	Intermedio (3)	Intermedio (3)	Intermedio (3)
EET62	Irregular (7)	Intermedio (3)	Morado (5)	Intermedio (3)	Bajo (2)	Bajo (2)	Intermedio (3)	Intermedio (3)	Intermedio (3)
EET95	Irregular (7)	Aplanada (1)	Morado (5)	Bajo (2)	Intermedio (3)	Bajo (2)	Bajo (2)	Intermedio (3)	Bajo (2)
EET96	Ovada (5)	Intermedio (3)	Morado (5)	Intermedio (3)	Bajo (2)	Bajo (2)	Intermedio (3)	Intermedio (3)	Intermedio (3)
EET103	Irregular (7)	Intermedio (3)	Morado (5)	Intermedio (3)	Bajo (2)	Bajo (2)	Intermedio (3)	Muy bajo (1)	Intermedio (3)
EET228	Oblongo (1)	Intermedio (3)	Morado (5)	Bajo (2)	Intermedio (3)	Bajo (2)	Intermedio (3)	Muy bajo (1)	Bajo (2)
EET233	Ovada (5)	Aplanada (1)	Morado (5)	Intermedio (3)	Intermedio (3)	Bajo (2)	Bajo (2)	Muy bajo (1)	Bajo (2)
EET400	Elíptica (3)	Intermedio (3)	Morado (5)	Intermedio (3)	Bajo (2)	Bajo (2)	Intermedio (3)	Bajo (2)	Intermedio (3)
CCN51	Elíptica (3)	Aplanada (1)	Morado (5)	Bajo (2)	Intermedio (3)	Intermedio (3)	Alto (4)	Muy bajo (1)	Bajo (2)
TSH565	Oblongo (1)	Intermedio (3)	Violeta (3)	Bajo (2)	Intermedio (3)	Bajo (2)	Bajo (2)	Intermedio (3)	Intermedio (3)
PAN	Irregular (7)	Aplanada (1)	Violeta (3)	Intermedio (3)	Bajo (2)	Muy bajo (1)	Bajo (2)	Muy bajo (1)	Intermedio (3)
CC42	Elíptica (3)	Aplanada (1)	Violeta (3)	Bajo (2)	Bajo (2)	Bajo (2)	Bajo (2)	Ausente (0)	Bajo (2)
LIT1	Elíptica (3)	Intermedio (3)	Violeta (3)	Intermedio (3)	Bajo (2)	Bajo (2)	Intermedio (3)	Muy bajo (1)	Intermedio (3)
IAC1	Elíptica (3)	Aplanada (1)	Morado (5)	Intermedio (3)	Bajo (2)	Muy bajo (1)	Bajo (2)	Ausente (0)	Bajo (2)
ROS9	Elíptica (3)	Intermedio (3)	Morado (5)	Intermedio (3)	Intermedio (3)	Bajo (2)	Intermedio (3)	Muy bajo (1)	Intermedio (3)
GS36	Elíptica (3)	Intermedio (3)	Violeta (3)	Intermedio (3)	Bajo (2)	Muy bajo (1)	Intermedio (3)	Ausente (0)	Bajo (2)
SC 6	Irregular (7)	Aplanada (1)	Morado (5)	Intermedio (3)	Intermedio (3)	Bajo (2)	Intermedio (3)	Muy bajo (1)	Bajo (2)

FLS= Forma longitudinal de semilla; FTS= Forma transversal de semilla; CCS= Color cotiledón de semilla;

DUL= Dulzura; ACI= Acidez; AST= Astringencia; AMA= Amargor; FLO= Floral; FRU= Frutal

En cuanto al descriptor FTS (forma de semilla en sección transversal), 27 accesiones (58.7 por ciento) del total, presentaron la forma intermedia: ICS-1, ICS-8, ICS-39, ICS-60, ICS-95, ICS-98, UF-296, UF-650, UF-667, UF-676, LIT-1, ROS-9 y GS-36 (Trinitario); NA-727, PA-150, PA-167, PA-310 y EET-400 (Forastero del Alto Amazonas); EET-19, EET-48, EET-62, EET-96 y EET-103 (Nacional); UF-29 y EET-228 (Nacional x desconocido); CCN-51 (IMC-67 x ICS-95 x Oriente-1) y TSH-565 (SCA-6 x ICS-1); y 19 accesiones (41.3 por ciento) del total, la forma aplanada: ICS-6, ICS-78, UF-613, PAN, CC-42 y SC-6 (Trinitario); SCA-6, SCA-12, P-7, P-12, IMC-67, NA-33 e IMC-51 (Forastero del Alto Amazonas), CAT-4 (Forastero del Bajo Amazonas); CAT x IMC-67, P-12 x CAT e IAC-1 (Forasteros híbridos); EET-95 (Nacional) y EET-233 (Venezolano amarillo x desconocido).

Reportes científicos señalan que los cultivares ‘Criollo’ ancestrales de Venezuela (“Guasaré” y “Porcelana”), exhiben semillas de sección transversal redondeada; mientras que los cultivares ‘Trinitario’ son intermedios y los cultivares ‘Forastero’ del Alto y Bajo Amazonas son generalmente aplanados (Toxopeus, 1969; Arguello *et al.*, 2000).

Aunque se desconoce el tipo de herencia (mono o digénica) u otro tipo de control genético, es probable que la forma aplanada sea dominante a la forma redondeada (recesiva), y la forma intermedia corresponda al genotipo heterocigoto. Esta aseveración se corrobora en las selecciones híbridas: M-11,5 (ICS-39 x U-45) y M-17,18 (U-68 x ICS-95), que presentaron sección transversal aplanada atribuible a la dominancia de los genes para este carácter procedente de progenitores ‘Forastero del Alto Amazonas’: U-45 y U-68 (García, 2010). Los resultados encontrados en la colección Internacional se pueden atribuir tanto al origen morfogeográfico como a la diferente constitución genética de las accesiones de cacao.

Con relación al descriptor CCS (color de cotiledones de la semilla), 35 accesiones (76.1 por ciento) del total, mostraron el color morado: ICS-1, ICS-6, ICS-8, ICS-78, ICS-95, ICS-98, UF-296, UF-613, UF-650, UF-667, UF-676, ROS-9 y SC-6 (Trinitario); SCA-6, SCA-12, P-7, P-12, IMC-67, NA-33, PA-150, PA-167, PA-310 y EET-400 (Forastero del Alto Amazonas); CAT x IMC-67 y P-12 x CAT (Forastero híbridos); EET-48,

EET-62, EET-95, EET-96 y EET-103 (Nacional); EET-233 (Venezolano amarillo x desconocido); UF-29 y EET-228 (Nacional x desconocido); CCN-51 (IMC-67 x ICS-95 x Oriente-1) e IAC-1 (Forastero híbrido); le siguen 10 accesiones (21.7 por ciento) del total, de color violeta: ICS-39, ICS-60, PAN, CC-42, LIT-1 y GS-36 (Trinitario); IMC-51 y NA-727 (Forastero del Alto Amazonas); EET-19 (Nacional) y TSH-565 (SCA-6 x ICS-1). La única accesión (2.2 por ciento) del total, correspondió al CAT-4 (Forastero del Bajo Amazonas) que careció completamente de pigmentación (albino).

Si bien en la colección Internacional de cacao sólo fueron observados tres estados del descriptor CCS (color de cotiledones de la semilla), en las dos colecciones base (CATIE-Costa Rica e ICG-Trinidad), ha sido reportada mayor variación en la coloración oscilando desde ausente (blanco marfil) hasta el marrón oscuro, pasando por el blanco cremoso, rosado, violeta y morado. Pound (1932) y Vello (1965), citado por Engels (1984) postularon que un par de alelos controlaba la coloración de los cotiledones de la semilla siendo los coloreados (dominantes) a los no coloreados (recesivos), corroborándose la naturaleza monogénica del control hereditario.

Soria (1978) complementó lo reportado por Pound (1932) y Vello (1965) señalando que además de la herencia monogénica podrían intervenir uno o más genes modificadores para la intensidad del color. No obstante, dada la amplia variación del color y las intensidades del mismo, no se podría descartar que la herencia fuese monogénica y multialélica con grados de dominancia y/o codominancia intralélica.

Otro estudio sobre la herencia del color del cotiledón de las semillas y de los brotes foliares en progenies derivadas del cruce CC-42 x UF-613 o de la autofecundación del cultivar CC-42 concluye que un mismo gen A (dominante) es responsable de la formación de pigmentos antociánicos en ambos órganos de la planta (Engels, 1984). Si bien la ausencia o escasa presencia de antocianinas en los cotiledones de la semilla fresca es atributo típico de genotipos ‘Criollo’ (Amores *et al.*, 2009), esta no sería exclusiva ya que existen cultivares como “Catongo” (Forastero del Bajo Amazonas), “U-70” del Cusco y “Blanco” de Piura (Forastero del Alto Amazonas), con cotiledones completamente despigmentados (García, 2012); e incluso, en algunas colectas de cacao silvestre de la región Amazónica limítrofe entre Perú y Ecuador (Arguello *et al.*, 2000).

Estudios de caracterización morfológica realizados en los Bancos internacionales de germoplasma de cacao: CATIE (Costa Rica) e ICG (Trinidad), concluyen que los caracteres morfológicos cualitativos además de ser altamente heredables, son de alto valor taxonómico (Engels, 1986; Bekele y Bekele, 1994). La existencia de mayor variabilidad en la expresión de los caracteres de la flor comparada con la de frutos y hojas, le confiere un alto valor taxonómico si se usa con fines de clasificación de germoplasma de cacao (Bekele *et al.*, 1994).

Ante la demanda es creciente por este producto básico (“commodity”) y existe la necesidad de acceder a variedades mejoradas de cacao con buen nivel de productividad, resistentes a enfermedades y plagas; con superior calidad organoléptica y tolerancia a estrés climáticos, se hace necesario y urgente realizar bioprospecciones en todas zonas cacaoteras del país con fines de identificación y colecta de razas nativas, naturalizadas y silvestres; así como, estudios de caracterización, evaluación y conservación (*ex situ* e *in situ*) de estos recursos genéticos aún sub-utilizados con fines de pre-mejoramiento y mejoramiento genético futuro.

b. Caracteres organolépticos de la semilla fresca

En el Cuadro 6 se muestra también los resultados de la caracterización organoléptica de la semilla fresca de seis atributos de 46 accesiones de cacao de la colección Internacional. Como la literatura científica no reporta claramente de la naturaleza cualitativa y/o cuantitativa de los caracteres organolépticos, y habiendo pocas evidencias que reportan como caracteres cuantitativos (Argout *et al.*, 2011) o cuasi cuantitativos (Albornoz, 2014), fue la motivación para caracterizar estos atributos en la colección Internacional. Para ello se usaron estadísticos univariados de tendencia central y de dispersión, y complementariamente, la correlación lineal simple.

En el Cuadro 7 se muestra los resultados del análisis estadístico descriptivo univariado para seis caracteres (variables) organolépticas estudiados.

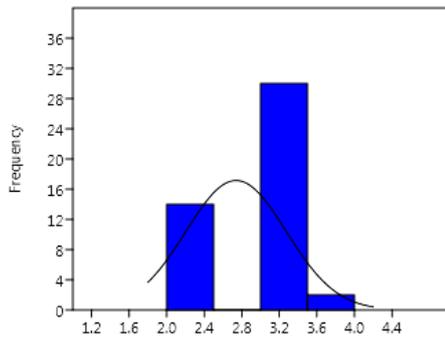
Cuadro 7. Estadísticos univariados de seis caracteres organolépticos de la semilla de 46 accesiones de cacao de la colección Internacional.

DESCRIPTORES (Variables)	ESTADÍSTICOS UNIVARIADOS					
	Moda	\bar{x}	s	C.V	Min. - Máx.	Rango
Sabores básicos						
Dulzura (DUL)	3	2.73	0.53	19.5	2 - 4	2
Acidez (ACI)	2	2.41	0.58	24.0	1 - 4	3
Astringencia (AST)	2	1.96	0.66	33.9	1 - 3	2
Amargor (AMA)	3	2.67	0.56	20.9	2 - 4	2
Sabores específicos						
Floral (FLO)	1	1.30	0.89	68.3	0 - 3	3
Frutal (FRU)	3	2.61	0.49	18,9	2 - 4	2

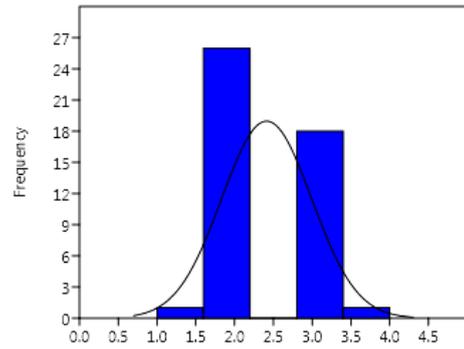
En el Cuadro 7 observamos que en la categoría de los sabores básicos, la dulzura osciló de baja a alta, siendo la moda intermedia. La acidez en cambio, tuvo una mayor variación oscilando de muy baja hasta alta, siendo la moda baja. La astringencia osciló de muy baja hasta intermedia, siendo la moda baja; mientras que el amargor osciló de bajo a alto, siendo la moda intermedia. En la categoría de los sabores específicos, el floral que fue de mayor variación que el resto de los caracteres, osciló de ausente hasta intermedio, siendo la moda muy baja; mientras que el frutal de menor variación, osciló de bajo a intermedio, siendo la moda intermedia.

Los coeficientes de variación de los caracteres organolépticos: floral y astringencia, fueron muy alto y alto, respectivamente. Dichos caracteres estarían explicando la mayor variabilidad del germoplasma de cacao de la colección Internacional. De allí que no sería irracional pensar que gran parte de esta variación sea inherente a dichos caracteres *per se*, y que responderían a diferentes orígenes genéticos y/o procedencias geográficas de este germoplasma, y en menor parte, a la existencia de errores aleatorios asociados con la evaluación sensorial del catador.

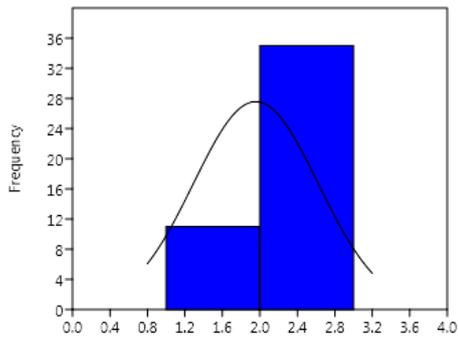
En la Fig. 11 se muestran los histogramas de frecuencia para seis caracteres organolépticos de 46 accesiones de cacao de la colección Internacional.



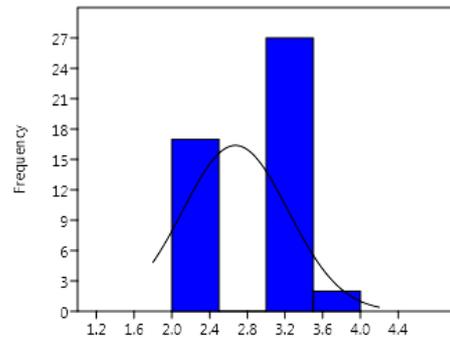
(a) Dulzura



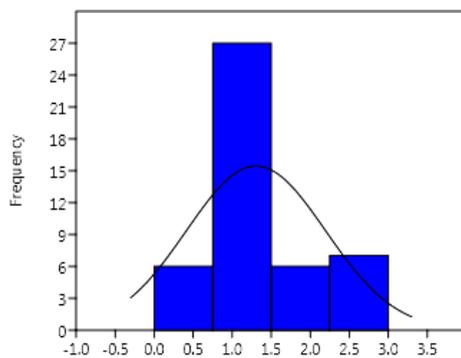
(b) Acidez



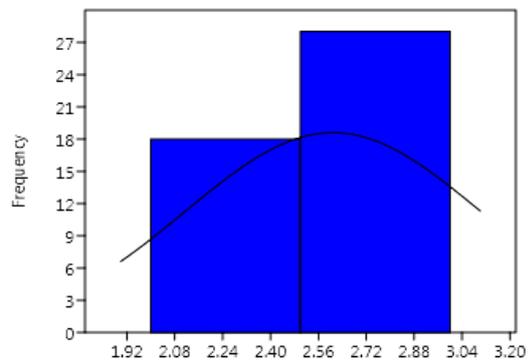
(c) Astringencia



(d) Amargor



(e) Floral



(f) Frutal

Figura 11. Histogramas de frecuencia con ajuste normal de seis caracteres organolépticos de semilla fresca de 46 accesiones de cacao de la colección Internacional.

Allí observamos que los caracteres: acidez (b) y floral (e) muestran una tendencia de aproximarse a una curva de distribución normal lo cual se interpretaría como caracteres de naturaleza *cuasi* cuantitativa; mientras que la dulzura (a), astringencia (c) y amargor (d), por el poco ajuste con la curva de distribución normal, estadísticamente no podrían ser considerados como caracteres *cuasi* cuantitativos.

A diferencia de otros caracteres biológicos que no varían o que varían muy poco en las accesiones de los Bancos de germoplasma, aquellos que solo muestran una amplia variabilidad y poder discriminativo, serían de importante valor taxonómico para estudios de clasificación biológica, tal como lo reporta Crisci y López (1983). En nuestro caso, los caracteres con variabilidad intermedia como la acidez, amargor, frutal y dulzura, podrían ser de moderado valor taxonómico; mientras que el floral, astringencia y acidez, serían de alto valor taxonómico.

Resultados similares fueron encontrados por Eskes *et al.* (2007) al evaluar 14 clones de cacao de diferente origen genético en la que la astringencia y dulzura de la pulpa fresca tuvieron el más alto y el más bajo valor discriminante, respectivamente. Al no encontrarse diferencias entre catadores se concluye que los caracteres fueron evaluados homogéneamente y que éstos estuvieron adecuadamente adiestrados.

Coincidentemente, Albornoz (2014) evaluando 60 accesiones de cacao de la colección Huallaga reporta que los caracteres organolépticos: astringencia (sabor básico) y floral (sabor específico), tuvieron la mayor variación postulando que estos caracteres organolépticos podrían ser utilizados para discriminar accesiones de cacao en las colecciones de germoplasma.

Las investigaciones orientadas a dilucidar el control genético de los caracteres organolépticos aún están en etapa inicial; sin embargo, hay un reporte que indica la existencia de dos familias de genes involucrados en el control genético de los caracteres de la calidad en cacao. Una de ellas: *linalool sintetasa* (monoterpeno) dirige la síntesis del aroma floral y está representada por siete genes agrupados en una región del cromosoma 6 (Argout *et al.*, 2011). Este reporte temprano apoyaría la hipótesis de que genes múltiples (herencia poligénica) estarían controlando la expresión de los caracteres

organolépticos del cacao y corroborarían los resultados mostrados en el Cuadro 7 y Figura 11[(b) y (e)], para la acidez y el floral, respectivamente.

En el Cuadro 8 se muestra los coeficientes de correlación de Pearson (r) y la significación estadística de seis caracteres organolépticos de la semilla fresca extraídos del Cuadro 9 (matriz de correlación lineal de 24 caracteres morfo-organolépticos). Aquí se observa una correlación positiva y altamente significativa entre la acidez y astringencia; correlaciones positivas y significativas entre la dulzura y frutal, y entre la astringencia y amargor; mientras que la correlación entre dulzura y floral no fue significativa. Además, hubo una correlación negativa y altamente significativa entre la dulzura y acidez, y una correlación negativa y significativa entre la acidez y floral. Correlaciones negativas no significativas se obtuvieron entre la acidez y frutal, y entre la dulzura y la astringencia.

La correlación positiva o directa indica la tendencia de accesiones con valores altos en una variable, a mantener valores altos en la otra variable. En cambio, si es negativa, a valores altos en una variable le corresponderá valores bajos en la otra, y viceversa (Franco e Hidalgo, 2003). Correlaciones muy bajas próximas a cero como la obtenida entre amargor y floral, y entre astringencia y frutal, se interpretan como independencia entre cada pareja de variables, o la inexistencia de una relación no lineal.

Cuadro 8. Matriz de coeficientes de correlación de seis caracteres organolépticos de la semilla de 46 accesiones de cacao de la colección Internacional.

CARACTER	DUL	ACI	AST	AMA	FLO	FRU
DUL	1					
ACI	-0,576**	1				
AST	-0,345	0,566**	1			
AMA	-0,142	0,219	0,438*	1		
FLO	0,357	-0,420*	-0,090	-0,064	1	
FRU	0,447*	-0,354	-0,053	-0,150	0,327	1

* Significativo ($\alpha \leq 0.05$)

** Altamente significativo ($\alpha \leq 0.01$)

DUL = Dulzura
AMA = Amargor

ACI = Acidez
FLO = Floral

AST = Astringencia
FRU = Frutal

Correlaciones positivas entre acidez y astringencia, y entre dulzura y frutal; similares a este estudio fue reportada por Albornoz (2014) en la colección Huallaga. Otra investigación señala que la acidez, astringencia y amargor, están positivamente correlacionados entre sí, pero correlacionados negativamente con la dulzura (Eskes *et al.*, 2007), siendo también estos resultados coincidentes con los encontrados en esta investigación.

La baja acidez y astringencia son típicas en las accesiones: SCA-6, NA-33, PA-150 ('Forastero del Alto Amazonas') y otras poblaciones poco estudiadas, como el "Chuncho" del Cusco, "Criollo de montaña" de Junín y el "Blanco" de Piura, y que además, poseen bajo amargor y acentuado sabor frutal y panela (Rojas *et al.*, 2014).

Las observaciones de campo parecen evidenciar una buena correlación entre la calidad de la pulpa de la semilla fresca con el licor del cacao. Si esta hipótesis es confirmada estadísticamente, se podría hacer una selección temprana de árboles de cacao con superior calidad organoléptica en campos de los productores (Eskes *et al.*, 2007).

Se ha postulado que un cultivar de superior calidad (fino de aroma y sabor) debe tener en su perfil sensorial bajas intensidades de los sabores básicos (acidez, astringencia y amargor) e intensidades intermedias o altas de los sabores específicos (floral, frutal, nueces, especias, etc.). Se ha reportado que una astringencia muy baja garantiza un excelente sabor de cacao puesto que los niveles altos de astringencia están asociados con una baja intensidad del sabor a chocolate (Clapperton *et al.*, 1994).

Como ya se señaló anteriormente, dos familias de genes son responsables del desarrollo de los compuestos aromáticos volátiles asociados con la calidad del cacao (Argout *et al.*, 2011). Kadow *et al.* (2013) han reportado que el cultivar EET-62 (Nacional) caracterizado por su fino aroma y sabor tuvo la más alta cantidad de compuestos volátiles comparados con el cultivar SCA-6 (Forastero del Alto Amazonas), y mucho más, que el clon híbrido CCN-51 (IMC-67 x ICS-1 x Oriente-1).

Además de los efectos genotípicos ya demostrados en la literatura científica, no se descarta que factores ambientales (edáficos, climáticos y manejo), puedan influenciar en la expresión fenotípica final de los perfiles organolépticos de los cultivares de cacao. Se ha reportado que el clon IMC-67 cultivado en Trinidad tuvo atributos significativamente superiores de acidez y frutal, que cuando es cultivado en Ecuador donde el sabor floral es más alto; mientras que el clon EET-400 tuvo más sabor a frutal y floral cultivado en Trinidad que más sabor a nueces cuando se cultivó en Ecuador (Sukha y Bultler, 2006).

De todo lo anterior se puede llegar a la conclusión que la variación en la expresión de los caracteres organolépticos de la calidad del cacao se deben principalmente a dos factores: (a) la diferente constitución genética de los cultivares de cacao de distinto origen genético y grado evolutivo, y (b) al manejo de post-cosecha (fermentado, secado y tostado). Un tercer factor que puede ser atribuido a los efectos ambientales (suelo, clima y manejo) que no se pueden descartar, son difíciles de medir o separar *per se*, principalmente debido a las complejas interacciones suelo-planta-clima.

4.2. De la clasificación infraespecífica

Antes de caracterizar la variabilidad genética de las 46 accesiones de cacao de la colección Internacional asociadas a sus variables con el fin de conocer cómo están estructuradas, cuáles están asociadas y cuáles caracterizan en un mismo sentido o en sentido contrario, en primer lugar se procedió a elaborar la matriz básica de datos (M.B.D) que se presenta en el Cuadro 9.

4.2.1. Análisis de correlación simple de Pearson

Como las variables fueron medidas en diferentes unidades se procedió a calcular los coeficientes de correlación de Pearson (Cuadro 10). De 276 coeficientes de correlación, solo 17 resultaron ser las más importantes, de los cuáles seis fueron altamente significativos ($\alpha \leq 0.01$) y solo 11 fueron significativos ($\alpha \leq 0.05$). Las correlaciones más importantes y en orden de importancia recaen en las flores, le sigue las semilla frescas (caracteres organolépticos) y finalmente, los frutos.

Cuadro 9. Matriz básica de datos de 24 caracteres morfo-organolépticos de 46 accesiones de cacao de la colección Internacional.

ACCESION	ABO	OSE	COP	ALP	AFE	ASO	NOO	COG	FBF	CBF	FAF	RUF	SLF	PSF	CIF	FLS	FTS	CCS	DUL	ACI	AST	AMA	FLO	FRU
ICS1	1	2	3	0	0	1	2	0	2	1	3	3	3	5	3	3	3	5	3	3	2	3	1	3
ICS6	1	2	1	1	0	0	2	0	2	1	5	3	3	5	1	3	1	5	3	2	2	3	1	3
ICS8	1	2	3	1	1	0	2	0	2	1	3	3	3	3	1	3	3	5	2	3	2	3	1	2
ICS39	0	2	3	0	0	0	1	1	1	2	2	5	1	5	2	1	3	3	2	4	3	3	0	2
ICS60	1	2	3	0	0	0	1	0	2	2	2	5	3	5	1	3	3	3	2	3	2	3	1	3
ICS78	1	1	2	0	0	1	1	0	1	1	2	5	1	5	1	3	1	5	2	3	3	3	0	2
ICS95	1	1	3	0	0	1	1	0	1	1	2	3	3	5	3	3	3	5	2	2	2	2	1	2
ICS98	1	2	3	1	0	1	1	0	1	1	2	3	3	5	3	5	3	5	2	3	2	3	1	2
UF29	1	1	2	1	1	0	2	0	2	1	3	5	3	5	1	3	3	5	3	2	2	3	1	3
UF296	1	2	3	1	0	1	1	0	2	2	3	3	3	5	3	5	3	5	3	2	2	3	2	3
UF613	1	1	3	1	1	1	2	1	2	2	2	3	5	5	3	3	1	5	3	3	3	4	1	2
UF650	1	2	3	1	0	1	1	0	2	1	2	3	3	5	3	3	3	5	2	3	3	3	1	3
UF667	1	2	3	1	0	0	1	1	2	0	2	5	1	3	3	3	3	5	3	3	3	3	1	3
UF676	1	2	2	0	0	0	1	0	2	1	2	5	3	5	1	3	3	5	3	2	1	2	1	3
SCA6	0	1	1	0	0	0	2	1	2	1	1	3	3	5	1	3	1	5	4	1	1	2	3	3
SCA12	0	1	1	0	0	0	2	1	2	1	1	3	3	5	1	3	1	5	4	2	1	2	3	3
P7	0	1	2	1	1	0	2	1	2	0	3	5	3	5	1	3	1	5	2	2	1	3	0	2
P12	0	1	2	1	1	0	2	1	1	0	3	5	3	5	1	1	1	5	3	2	1	3	0	2
IMC51	0	1	2	1	1	0	3	1	2	1	3	3	3	5	1	3	1	3	3	2	3	3	2	3
IMC67	1	1	2	1	1	0	3	1	1	1	1	3	3	3	1	1	1	5	3	2	3	3	2	3
NA33	1	1	2	0	1	0	2	1	2	1	3	5	3	5	1	3	1	5	3	2	1	3	1	3
NA727	0	1	2	1	0	1	2	1	2	1	3	5	1	3	1	3	3	3	3	2	1	2	1	3
PA150	0	2	1	1	1	0	2	1	2	2	2	5	3	5	2	3	3	5	3	2	1	2	1	3

ABF = antocianina en el botón floral, ALP = antocianina en la ligula del pétalo, AFE = antocianina en el filamento estaminal, ASO = antocianina en la parte superior del ovario, NOO = número óvulos/ovario, COG = compatibilidad genética, CIF = color del fruto inmaduro, FOF = forma del fruto, CBF = constricción basal del fruto, FAF = forma del ápice del fruto, RUF = rugosidad de la superficie del fruto, PSP = profundidad de surcos primarios, SPL = separación de un par de lomos, FLS = forma longitudinal de la semilla, FTS = forma transversal de la semilla, CCS = color del cotiledón de la semilla, DUL = dulzura, ACI = acidez, AST = astringencia, AMA = amargor, FLO = floral, FRU = frutal

Cuadro 9: "... continuación"

ACCESION	ABO	OSE	COP	ALP	AFE	ASO	NOO	COG	FBF	CBF	FAF	RUF	SLF	PSF	CIF	FLS	FTS	CCS	DUL	ACI	AST	AMA	FLO	FRU
PA167	0	1	2	1	0	0	2	1	2	2	3	3	3	3	2	3	3	5	2	3	2	2	1	3
PA310	0	1	2	0	1	0	1	0	2	2	3	3	1	5	1	3	3	5	3	2	2	2	1	3
CAT4	0	2	1	0	0	0	2	0	2	0	3	0	1	3	1	5	1	1	3	3	3	2	0	3
CATxIMC67	1	2	2	1	1	0	2	0	2	1	3	0	1	3	1	5	1	5	3	2	2	2	2	3
P12xCAT	0	2	2	1	1	0	2	1	2	0	3	0	1	3	1	5	1	5	3	3	2	2	0	2
EET19	1	1	3	1	1	0	1	0	2	1	2	5	1	5	2	7	3	3	3	2	2	3	3	2
EET48	1	1	2	1	1	0	2	0	2	1	3	3	1	5	2	5	3	5	3	2	2	3	3	3
EET62	1	1	2	1	1	0	2	1	2	0	3	3	3	5	2	7	3	5	3	2	2	3	3	3
EET95	1	1	2	1	1	0	2	0	2	1	3	3	1	5	1	7	1	5	2	3	2	2	3	2
EET96	1	1	2	1	1	0	2	0	2	0	3	5	3	5	2	5	3	5	3	2	2	3	3	3
EET103	1	1	2	1	1	0	1	0	2	2	3	5	1	5	1	7	3	5	3	2	2	3	1	3
EET228	1	1	3	0	1	0	2	0	1	2	1	5	1	5	2	1	3	5	2	3	2	3	1	2
EET233	0	1	2	0	0	0	2	1	3	1	3	5	3	5	2	5	1	5	3	3	2	2	1	2
EET400	0	1	1	0	0	0	2	1	2	1	3	5	1	5	1	3	3	5	3	2	2	3	2	3
CCN51	1	2	3	0	0	1	3	0	1	1	1	7	3	7	3	3	3	5	2	3	3	4	1	2
TSH565	1	2	3	0	0	1	2	1	1	1	3	5	1	5	3	1	3	3	2	3	2	2	2	3
PAN	1	1	3	1	1	0	2	0	1	2	1	3	1	3	2	7	1	3	3	2	1	2	1	3
CC42	1	1	2	1	1	0	1	0	2	0	5	3	1	3	1	3	1	3	2	2	2	2	1	2
LIT1	0	1	2	0	1	0	1	0	2	0	3	3	1	3	1	3	3	3	3	2	2	3	1	3
IAC1	0	2	3	1	0	0	2	1	1	0	3	5	3	5	2	3	1	5	3	2	1	2	1	2
ROS9	1	2	3	0	0	1	1	0	1	2	2	5	1	5	2	3	3	5	3	3	2	3	1	3
GS36	1	2	3	1	0	1	1	0	2	1	2	5	1	5	3	3	3	3	3	2	1	3	1	2
SC6	1	1	3	0	0	0	1	0	2	2	2	3	1	5	3	7	1	5	3	3	2	3	1	2

ABF = antocianina en el botón floral, ALP = antocianina en la lígula del pétalo, AFE = antocianina en el filamento estaminal, ASO = antocianina en la parte superior del ovario, NOO = número óvulos/ovario, COG = compatibilidad genética, CIF = color del fruto inmaduro, FOF = forma del fruto, CBF = constricción basal del fruto, FAF = forma del ápice del fruto, RUF = rugosidad de la superficie del fruto, PSP = profundidad de surcos primarios, SPL = separación de un par de lomos, FLS = forma longitudinal de la semilla, FTS = forma transversal de la semilla, CCS = color del cotiledón de la semilla, DUL = dulzura, ACI = acidez, AST = astringencia, AMA = amargor, FLO = floral, FRU = frutal

Con relación a las variables de la flor, la más alta correlación negativa y altamente significativa ($r=-0.592^{**}$) se observó entre la antocianina en el botón floral (ABO) y la compatibilidad genética (COG). Esta correlación negativa indica que la ABO tiende a ausentarse cuando se presenta la COG. La variable ABO que tiene una correlación positiva y significativa ($r=0.504^{*}$) con el color del pedúnculo floral (COP), se interpreta que al presentarse la ABO, también se presenta el COP. Asimismo, se encontró una correlación positiva y significativa ($r=0.481^{*}$) entre el COP y la antocianina en la parte superior del ovario (ASO).

En cuanto a las variables del fruto, la rugosidad (RUF) presenta una correlación positiva y altamente significativa ($r=0.551^{**}$) con la profundidad de surcos primarios (PSP). Esta correlación positiva indica una tendencia de tener surcos más profundos cuando éstos tienden a ser más rugosos. También se encontraron correlaciones positivas y altamente significativas ($r=0.678^{**}$) entre color del fruto inmaduro (CIF) y color del pedúnculo floral (COP), y $r=0.612^{**}$ entre CIF con ASO. Y con respecto a las variables organolépticas de la semilla fresca, las correlaciones más importantes ya fueron presentadas y discutidas en la sección 4.1.3 b.

4.2.2. Análisis de componentes principales (ACP)

En el Cuadro 11 se presenta los valores propios obtenidos a partir de la matriz de correlación de Pearson y la proporción de la variancia explicada por los 24 componentes principales transformados en la caracterización fenotípica de 46 accesiones de cacao de la colección Internacional.

El primer componente principal contribuye con 20.8 por ciento de la variancia total explicada, el segundo componente con 10.6 por ciento, el tercer con 9.9 por ciento, el cuarto con 8.4 por ciento y el quinto con 6.3 por ciento. Los cinco primeros componentes principales seleccionados retienen el 56.25 por ciento de la variancia total explicada (Figura 12).

Cuadro 10. Matriz de coeficientes de correlación de 24 caracteres morfo-organolépticos de 46 accesiones de cacao de la colección Internacional.

	ABO	OSE	COP	ALP	AFE	ASO	NOO	COG	FBF	CBF	FAF	RUF	SLF	PSP	CIF	FSL	FST	CCS	DUL	ACI	AST	AMA	FLO	FRU
ABO	1																							
OSE	0.149	1																						
COP	0.504*	0.300	1																					
ALP	0.129	-0.014	0.024	1																				
AFE	0.060	-0.450*	-0.142	0.450*	1																			
ASO	0.330	0.306	0.481*	-0.105	-0.470*	1																		
NOO	-0.224	-0.167	-0.330	0.167	0.275	-0.199	1																	
COG	-0.592**	-0.166	-0.283	0.076	-0.008	-0.197	0.436*	1																
FBF	-0.176	-0.135	-0.396	0.135	0.116	-0.326	-0.027	0.051	1															
CBF	0.178	0.011	0.251	-0.203	-0.123	0.178	-0.183	-0.181	-0.101	1														
FAF	-0.086	0.004	-0.283	0.297	0.175	-0.184	-0.029	-0.046	0.403	-0.360	1													
RUF	0.090	-0.069	0.232	-0.174	-0.170	0.148	-0.070	0.113	-0.225	0.138	-0.209	1												
SLF	0.004	0.021	-0.021	0.143	-0.035	0.112	0.340	0.268	0.104	-0.008	-0.072	0.086	1											
PSP	0.150	0.012	0.126	-0.299	-0.209	0.279	-0.003	-0.083	-0.138	0.234	-0.203	0.551**	0.319	1										
CIF	0.380	0.321	0.678**	0.002	-0.386	0.612**	-0.211	-0.110	-0.216	0.212	-0.294	0.158	0.137	0.310	1									
FSL	0.230	-0.169	-0.009	0.275	0.199	-0.173	-0.153	-0.327	0.361	0.013	0.094	-0.305	-0.217	-0.042	0.061	1								
FST	0.222	0.255	0.348	-0.076	-0.169	0.297	-0.361	-0.283	-0.051	0.245	-0.105	0.373	-0.104	0.179	0.380	-0.095	1							
CCS	0.171	-0.095	-0.040	0.095	0.066	0.013	0.103	0.087	0.012	0.099	-0.089	0.112	0.398	0.328	0.102	-0.005	0.004	1						
DUL	-0.274	-0.171	-0.459*	0.004	0.061	-0.269	0.165	0.247	0.358	-0.088	-0.081	-0.179	0.060	-0.054	-0.207	0.193	-0.247	0.074	1					
ACI	0.128	0.396	0.480*	-0.242	-0.310	0.263	-0.144	-0.065	-0.196	0.229	-0.126	0.019	-0.122	0.011	0.368	-0.100	0.142	-0.081	-0.576**	1				
AST	0.229	0.123	0.222	-0.055	-0.069	0.190	0.022	-0.146	-0.103	0.052	-0.036	-0.168	-0.053	-0.031	0.221	-0.053	0.079	-0.103	-0.345	0.566**	1			
AMA	0.394	0.016	0.360	0.064	0.092	0.260	0.029	-0.144	-0.131	0.094	-0.142	0.353	0.254	0.403	0.292	-0.099	0.224	0.169	-0.142	0.219	0.438*	1		
FLO	0.200	-0.290	-0.180	0.139	0.163	-0.149	0.222	0.011	0.226	-0.022	-0.093	-0.072	0.050	0.162	0.020	0.338	0.089	0.135	0.357	-0.420*	-0.090	-0.064	1	
FRU	-0.024	0.039	-0.387	-0.039	-0.035	-0.132	0.116	0.039	0.253	0.115	0.071	-0.139	0.014	-0.184	-0.201	-0.007	0.232	-0.064	0.447*	-0.354	-0.053	-0.150	0.327	1

* Significativo ($\alpha \leq 0,05$)

** Altamente significativo ($\alpha \leq 0,01$)

Cuadro 11. Valores propios y proporción de la variancia explicada del análisis de componentes principales de la colección Internacional de cacao.

COMPONENTE PRINCIPAL	VALOR PROPIO	PROPORCION DE LA VARIANZA TOTAL EXPLICADA	
		Absoluta (%)	Acumulada (%)
1	5.00641	20.860	20.860
2	2.54886	10.620	31.480
3	2.39025	9.959	41.439
4	2.02347	8.431	49.870
5	1.53175	6.382	56.252
6	1.34669	5.611	61.863
7	1.26872	5.286	67.149
8	1.17558	4.898	72.047
9	0.94825	3.951	75.998
10	0.93511	3.896	79.894
11	0.73146	3.048	82.942
12	0.6496	2.707	85.649
13	0.62553	2.606	88.255
14	0.50339	2.097	90.352
15	0.44066	1.836	92.188
16	0.37341	1.556	93.744
17	0.34898	1.454	95.198
18	0.30012	1.251	96.449
19	0.21913	0.913	97.362
20	0.1977	0.824	98.186
21	0.15509	0.646	98.832
22	0.12026	0.501	99.333
23	0.10218	0.426	99.759
24	0.05741	0.239	99.998

La interpretación de los vectores propios o coeficientes (Cuadro 12) y la correlación entre las variables originales y componentes principales (Cuadro 13), se centró en los vectores propios de cada variable asociada (grado de contribución al componente). Cuando más altos sean éstos, independientemente del signo, más eficientes serán en la discriminación de las accesiones del germoplasma (Franco e Hidalgo, 2003). Para este propósito se usó la “regla del pulgar” identificándose como los más importantes aquellos que superaban el valor de 0.3

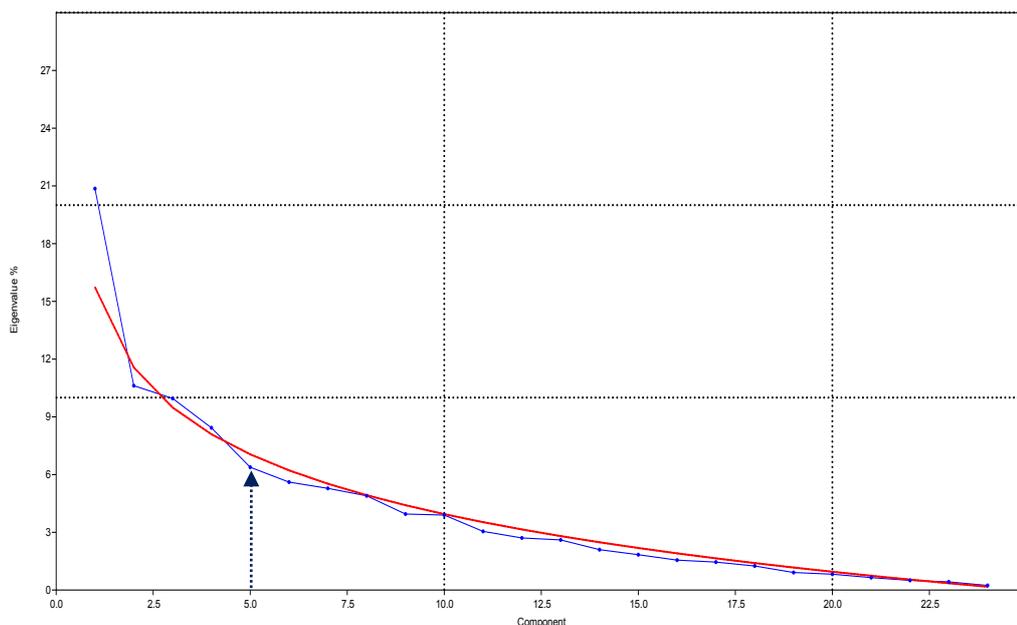


Figura 12. Proporción de la variancia explicada por los componentes principales en la caracterización de 46 accesiones de cacao de la colección Internacional.

Como las variancias son unitarias en la matriz de correlación (Cuadro 10), el cálculo de la primera correlación para la primera variable (ABO) del primer componente principal usando los datos del Cuadro 11 y Cuadro 12, es: $r = 0.226 \times (5.00641)^{1/2} = 0.506$. La correlación ($r=0.506$) representa el grado de asociación entre la variable: antocianina en el botón floral (ABO) con el primer componente principal. Igual procedimiento se siguió para calcular las correlaciones entre las demás variables con los cinco componentes principales.

La interpretación de los resultados de los valores propios (Cuadro 11), vectores propios (Cuadro 12) y la correlación de las variables originales con los cinco componentes principales seleccionados (Cuadro 13), se presenta a continuación.

Aunque el primer componente principal contribuye con casi el 21 por ciento de la variancia total explicada (Cuadro 11), la distribución de los coeficientes del primer vector propio y los coeficientes de correlación indican que el color del pedúnculo floral (COP), color del fruto inmaduro (CIF), antocianina en la parte superior del ovario (ASO) y la acidez (ACI), fueron las variables que más contribuyeron en forma positiva a dicho componente. De forma secundaria lo hicieron la antocianina en el botón floral

(ABO) y forma de semilla en sección transversal (FTS). Por el contrario, la dulzura (DUL) y la forma básica del fruto (FBF) fueron las variables que más contribuyeron en forma negativa.

Estos resultados indican que el primer componente principal permitió distinguir las accesiones por la pigmentación de los verticilos florales y frutos. Asimismo, las contribuciones positivas del COP, CIF y ASO indican que el cacao no solo se puede diferenciar por estos caracteres de fruto; sino también, por la ACI que correlaciona negativamente con la DUL, FBF y COG.

Cuadro 12. Vectores propios (coeficientes) de 24 variables de cinco primeros componentes principales de la colección Internacional de cacao.

VARIABLE	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
ABO	0,226	-0,021	0,421	0,101	0,003
OSE	0,197	-0,155	-0,110	-0,125	0,428
COP	0,357	-0,065	0,103	0,114	-0,045
ALP	-0,108	-0,060	0,255	0,367	0,193
AFE	-0,198	-0,022	0,233	0,373	-0,274
ASO	0,307	0,058	-0,004	-0,070	0,223
NOO	-0,172	0,242	-0,131	0,294	0,184
COG	-0,163	0,237	-0,360	0,108	0,154
FBF	-0,216	-0,050	0,191	-0,098	0,243
CBF	0,165	0,098	0,088	-0,218	-0,137
FAF	-0,156	-0,238	0,053	0,135	0,154
RUF	0,167	0,329	-0,084	-0,058	-0,331
SLF	0,002	0,388	-0,036	0,213	0,348
PSF	0,174	0,412	0,059	-0,051	-0,126
CIF	0,321	0,087	0,120	-0,022	0,251
FLS	-0,082	-0,158	0,443	-0,019	-0,028
FTS	0,219	0,033	0,163	-0,263	0,019
CCS	0,015	0,340	0,126	0,144	0,063
DUL	-0,261	0,194	0,098	-0,261	0,157
ACI	0,287	-0,213	-0,192	0,134	0,097
AST	0,178	-0,160	0,003	0,233	0,218
AMA	0,213	0,204	0,143	0,283	0,018
FLO	-0,131	0,218	0,374	-0,115	0,075
FRU	-0,152	0,064	0,127	-0,365	0,303

Cuadro 13. Correlación lineal entre 24 variables originales con los cinco primeros componentes principales en la colección Internacional de cacao.

CARÁCTER	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
ABO	0,506	-0,033	0,651	0,144	0,004
OSE	0,440	-0,247	-0,170	-0,178	0,530
COP	0,799	-0,104	0,159	0,162	-0,056
ALP	-0,241	-0,096	0,394	0,522	0,239
AFE	-0,443	-0,035	0,360	0,530	-0,339
ASO	0,687	0,092	-0,006	-0,099	0,276
NOO	-0,385	0,386	-0,202	0,418	0,228
COG	-0,365	0,378	-0,556	0,045	0,191
FBF	-0,051	0,079	0,295	-0,139	0,301
CBF	0,369	0,156	0,136	-0,310	-0,170
FAF	-0,349	-0,380	0,082	0,192	0,191
RUF	0,374	0,525	-0,130	-0,082	-0,410
SLF	0,004	0,619	-0,056	0,303	0,431
PSF	0,389	0,657	0,091	-0,072	-0,156
CIF	0,718	0,139	0,185	-0,031	0,311
FLS	-0,183	-0,252	0,685	-0,027	-0,035
FTS	0,489	0,053	0,252	-0,374	0,004
CCS	0,033	0,543	0,195	0,205	0,078
DUL	-0,584	0,310	0,151	-0,371	0,194
ACI	0,642	-0,340	-0,297	0,190	0,120
AST	0,398	-0,255	0,005	0,331	0,270
AMA	0,476	0,325	0,221	0,402	0,022
FLO	-0,293	0,348	0,578	-0,163	0,093
FRU	-0,340	0,102	0,196	-0,519	0,375

El segundo componente principal contribuye con casi el 11 por ciento (Cuadro 11) y de acuerdo con los coeficientes del segundo vector propio (Cuadro 12) y las correlaciones (Cuadro 13), las variables que más contribuyeron en forma positiva fueron la profundidad de surcos del fruto (PSF), separación de lomos del fruto (SLF), color del cotiledón de la semilla (CCS) y la rugosidad del fruto (RUF). De forma secundaria lo hicieron el número de óvulos por ovario (NOO), compatibilidad genética (COG) y el floral (FLO). Por el contrario, la forma del ápice del fruto (FAF) y la acidez (ACI), fueron las variables que más contribuyeron en forma negativa.

Los resultados anteriores indican que el segundo componente principal permitió distinguir las accesiones a nivel de frutos con la PSF, SLF, CCS y la RUF, las mismas que correlacionaron negativamente con la FAF y la ACI de la semilla fresca.

El tercer componente principal contribuyó con casi el 10 por ciento (Cuadro 11). De acuerdo con los coeficientes del segundo vector propio (Cuadro 12) y de la correlación (Cuadro 13), las variables que más contribuyeron en forma positiva fueron la forma de la semilla en sección longitudinal (FLS), la antocianina en el botón floral (ABO) y el floral (FLO). De forma secundaria lo hicieron la antocianina en la lígula del pétalo (ALP), la antocianina en el filamento estaminal (AFE) y la forma básica del fruto (FBF). Por el contrario, la compatibilidad genética (COG) y la acidez (ACI) fueron las variables que más contribuyeron en forma negativa.

Estos resultados permiten señalar que el tercer componente principal posibilitó distinguir las accesiones de cacao con relación a FLS, ABO y FLO, y en menor grado, con la ALP, AFE y la FBF que correlacionan negativamente con la COG y la ACI.

El cuarto componente principal contribuyó con un poco más del 8 por ciento (Cuadro 11). Analizando los vectores propios (Cuadro 12) y las correlaciones (Cuadro 13) indican que la antocianina en el filamento estaminal (AFE), antocianina en la lígula del pétalo (ALP) y el amargor del cotiledón (AMA), fueron las variables que más contribuyeron en forma positiva. De forma secundaria lo hicieron el número de óvulos por ovario (NOO) y la astringencia (AST); mientras que el sabor frutal (FRU), forma de la semilla en sección transversal (FST) y dulzura (DUL), lo hicieron en forma negativa. En consecuencia, este componente permitió diferenciar las accesiones de cacao con presencia de AFE, ALP y AMA, las cuáles correlacionaron negativamente con el FRU, FTS y la DUL.

Finalmente, el quinto componente principal contribuyó con un poco más del 6 por ciento (Cuadro 11). De acuerdo con los coeficientes del quinto vector propio (Cuadro 12) y de las correlaciones (Cuadro 13), las variables que más contribuyeron en forma positiva fueron la orientación de los sépalos (OSE), separación de lomos del fruto (SLF) y el frutal (FRU). De forma secundaria lo hicieron la antocianina en la parte

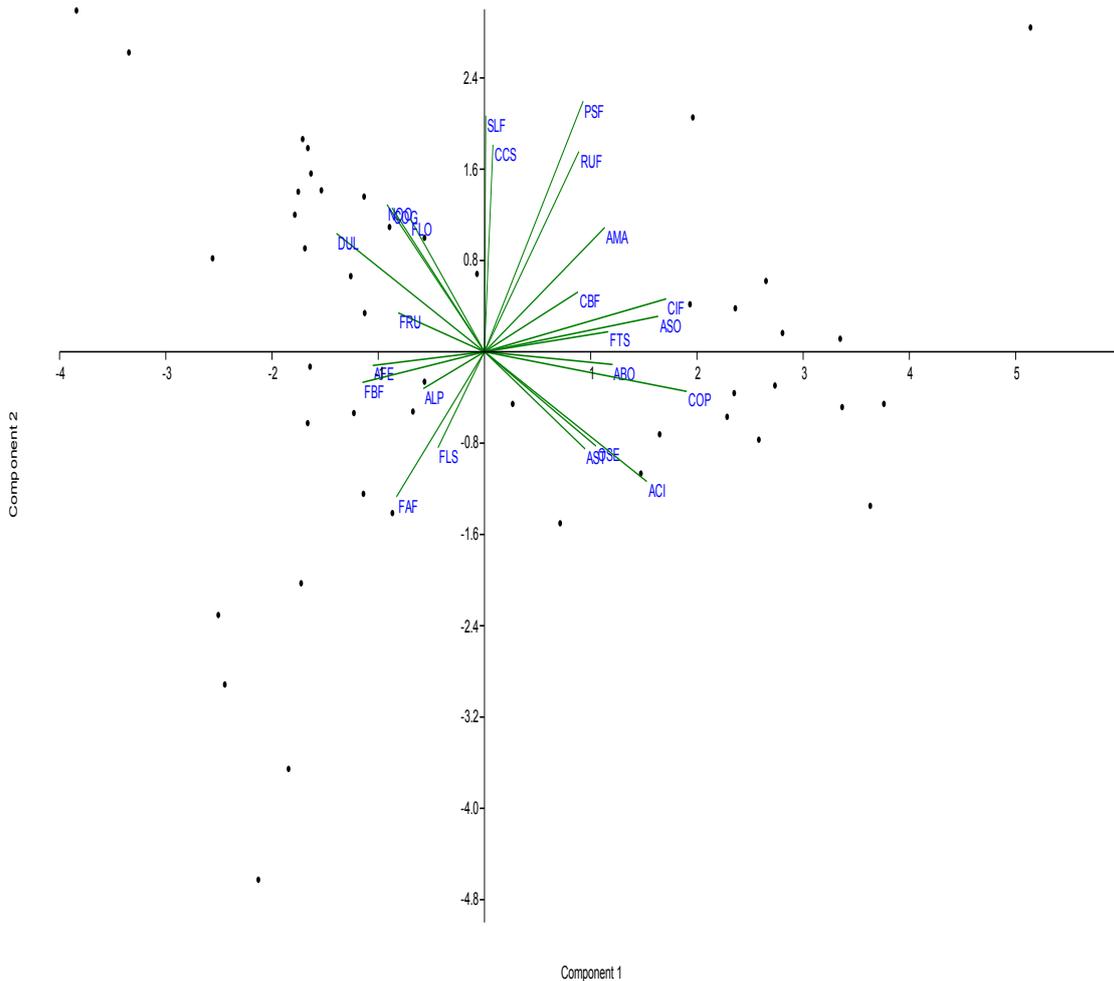
superior del ovario (ASO), forma básica del fruto (FBF), color del fruto inmaduro (CIF) y la astringencia (AST). De forma negativa lo hicieron la rugosidad del fruto (RUF) y la antocianina en el filamento estaminal (AFE). En conclusión, este quinto componente principal permitió distinguir accesiones de cacao en cuanto a la OSE, SLF y el FRU, los cuales correlacionan negativamente con la RUF y la AFE.

Como se trata de un análisis normalizado con datos estandarizados, las coordenadas (X, Y) sobre cada componente principal son iguales a la correlación lineal entre las variables originales y los componentes principales (Cuadro 13). En consecuencia, se puede representar la proyección o distribución de las variables originales sobre los dos primeros ejes principales (Fig. 13). A manera de ilustración se ofrecen dos ejemplos, el primero: antocianina en la parte superior del ovario (ASO), proyectamos 0.687 en el primer eje y 0.092 en el segundo eje, y la segunda, dulzura (DUL), proyectamos -0.584 en el primer eje y 0.310 en el segundo eje y así sucesivamente, hasta completar el círculo de correlaciones.

En la Fig. 13 se observa que las variables más vinculadas en sentido positivo con el primer eje son el color del fruto inmaduro (CIF), antocianina en la parte superior del ovario (ASO) y la forma de la semilla en sección transversal (FTS), y en sentido negativo, el color del pedúnculo floral (COP) y la antocianina en el botón floral (ABO). Las variables más vinculadas al segundo eje en sentido positivo son: la separación de lomos del fruto (SLF) y el color del cotiledón de las semillas (CCS), y en sentido negativo, la forma del ápice del fruto y la forma de la semilla en sección longitudinal (FLS).

La proyección opuesta de la antocianina en la parte superior del ovario (ASO) sobre el primer eje con relación a otras variables afines se interpreta que las accesiones de cacao a medida que tienen mayor intensidad de ASO, desarrollan menor intensidad de antocianina en el filamento estaminal (AFE). La proyección opuesta del color del cotiledón sobre el segundo eje con relación a las otras variables afines se interpreta que las accesiones de cacao que poseen mayor intensidad antociánica, desarrollan menores formas de semilla en sección longitudinal. También en la Fig. 13 se puede observar el grado de asociación entre las variables de acuerdo a su separación angular que forma

sus proyecciones, y también las distancias, siendo la contribución mayor cuando menos distantes se encuentran entre cada una de estas a partir del origen. De acuerdo a la separación angular, la mejor asociación está constituida por el número de óvulos por ovario (NOO) y la compatibilidad genética (COG), seguida por la acidez (ACI) y la orientación de los sépalos (OSE) y, la antocianina en la parte superior del ovario (ASO) y la forma de semilla en sección transversal (FTS). La distancia al origen indican que las variables de fruto y flor son las más importantes seguidas por las organolépticas y de las semillas.



FLOR (ABF = antocianina en el botón floral, ALP = antocianina en la lígula del pétalo, AFE = antocianina en el filamento estaminal, ASO = antocianina en la parte superior del ovario, NOO = número óvulos/ovario, COG = compatibilidad genética); FRUTO (CFI = color del fruto inmaduro, FOF = forma del fruto, CBF = constricción basal del fruto, FAF = forma del ápice del fruto, RUF = rugosidad de la superficie del fruto, PSP = profundidad de surcos primarios, SPL = separación de un par de lomos); SEMILLA (FLS = forma longitudinal de la semilla, FTS = forma transversal de la semilla, CCS = color del cotiledón de la semilla); ORGANOLEPTICO (DUL = dulzura, ACI = acidez, AST = astringencia, AMA = amargor, FLO = floral, FRU = frutal)

Figura 13. Distribución de 24 variables originales sobre el primer y segundo componente principal en la colección Internacional de cacao.

Para la determinación del grado de discriminación de las variables para identificar las de mayor o de menor variación dentro del germoplasma de cacao de la colección Internacional, se cuantificó la proporción de la varianza explicada por cada variable original sobre los cinco componentes principales seleccionados.

Como los componentes principales no están correlacionados entre sí (Plá, 1986 citado por Franco e Hidalgo, 2003), se procedió a efectuar la suma al cuadrado de la correlación que forma cada variable original con los cinco primeros componentes. Así, para la variable antocianina en el botón floral (ABO) sería: $(0.506)^2 + (-0.033)^2 + (0.651)^2 + (0.144)^2 + (0.004)^2 = 0.702$; siendo similar el procedimiento de cálculo para las demás variables (Cuadro 14).

Cuadro 14. Proporción de la varianza explicada por cada variable original sobre los cinco primeros componentes principales en la colección Internacional de cacao.

VARIABLE	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	VARIANZA EXPLICADA (%)
AFE	0.196	0.001	0.130	0.281	0.115	0.723
COP	0.638	0.011	0.025	0.026	0.003	0.703
ABO	0.256	0.001	0.424	0.021	0.000	0.702
CIF	0.515	0.019	0.034	0.001	0.097	0.666
ACI	0.412	0.116	0.088	0.036	0.014	0.666
SLF	0.000	0.383	0.003	0.092	0.186	0.664
DUL	0.341	0.096	0.023	0.138	0.038	0.636
COG	0.133	0.143	0.309	0.002	0.036	0.623
PSF	0.151	0.432	0.008	0.005	0.024	0.620
RUF	0.140	0.276	0.017	0.007	0.168	0.608
OSE	0.194	0.061	0.029	0.032	0.281	0.597
FLO	0.086	0.121	0.334	0.026	0.009	0.576
FRU	0.116	0.010	0.038	0.269	0.141	0.574
FLS	0.033	0.063	0.469	0.001	0.001	0.567
ASO	0.472	0.008	0.000	0.010	0.076	0.566
NOO	0.148	0.149	0.041	0.175	0.052	0.565
ALP	0.058	0.009	0.155	0.272	0.057	0.551
AMA	0.226	0.106	0.049	0.162	0.000	0.543
FTS	0.239	0.003	0.063	0.140	0.000	0.445
AST	0.158	0.065	0.000	0.109	0.073	0.405
CCS	0.001	0.295	0.038	0.042	0.006	0.382
FAF	0.122	0.144	0.007	0.037	0.036	0.346
CBF	0.136	0.024	0.018	0.096	0.029	0.303
FBF	0.003	0.006	0.087	0.019	0.091	0.206

En el Cuadro 14 las variables morfo-organolépticas originales y la proporción de la variancia explicada (%) en los cinco componentes principales se presentan en forma descendente. Las variables más importantes y discriminantes que ocuparon los 10 primeros lugares correspondieron al de las FLORES: antocianina en el filamento estaminal (AFE), color del pedúnculo (COP), antocianina en el botón (ABO) y la compatibilidad genética (COG), al de los FRUTOS: color inmaduro del fruto (CIF), separación de lomos del fruto (SLF), profundidad de surcos del fruto (PSF) y rugosidad del fruto (RUF), y a nivel de las variables organolépticas de las SEMILLAS frescas: acidez (ACI) y dulzura (DUL). Las variables organolépticas: floral y frutal, son también importantes y discriminantes como las variables de frutos pero inferior al de las flores; aunque posibilitan discriminar suficientemente el germoplasma de cacao de la colección Internacional.

A similar conclusión llegaron Bekele y Bekele (1996) quienes le atribuyeron a la mayor presión de selección y control genético sobre los caracteres reproductivos del cacao ocurridos durante la evolución. Engels (1993) citado por Bekele y Butler (1999) caracterizando germoplasma de cacao reportaron cuatro caracteres morfológicos cualitativos: AFE, SLF, ALP y RUF por orden de importancia taxonómica, que también fueron confirmados en esta investigación.

Finalmente, para poder interpretar las relaciones fenéticas entre las accesiones de cacao de la colección Internacional; así como, su ordenación y separación en grupos (Fig. 14), se tuvo el soporte del diagrama de árbol de recorrido mínimo (A.R.M.) de la Fig. 15, para cada diagrama de dispersión o nube de puntos generada entre componentes 1 x 2 y 1 x 3, de acuerdo a la matriz de correlación de Pearson.

La Figura 14 muestra un gráfico bidimensional de 46 accesiones de cacao en el primer y segundo componente principal donde se puede observar cuatro agrupamientos bien definidos basados en su proximidad fenética y que corresponden a grupos genéticos convencionales, híbridos simples y complejos, con genealogía conocida o parcialmente conocida; de origen natural o artificial.

El primer grupo (A) está conformado por accesiones del grupo genético ‘Trinitario’ compuesto por dos sub-grupos que incluye accesiones de las series ICS, UF, TSH y otras menos conocidas internacionalmente pero que muestran relaciones fenéticas importantes. En el sub-grupo A₁ se encuentran las accesiones ICS-39, ICS-60 e ICS-78; UF-667, TSH-565, GS-36 y EET-228, y en el sub-grupo A₂, las accesiones UF-296, UF-613 y UF-650; ICS-1 e ICS-98. La mayor o menor proximidad fenética intra o inter sub-grupos se explicaría por su origen genético, procedencia geográfica y/o grado evolutivo. Las accesiones ICS-98 e UF-650 (Trinitario) se encuentran próximas y conectadas con la accesión ICS-95 que pertenece al mismo grupo genético.

El segundo grupo (B) lo conforman accesiones de la serie EET del grupo ‘Nacional’ clásico y accesiones de las series del grupo genético ‘Forastero del Alto Amazonas’ y unas pocas accesiones de las series ICS, UF, EET e IAC. Las accesiones EET del grupo ‘Nacional’ por ejemplo, la accesión EET-19 (sinónimo ‘Tenguel 15’) reportado como un ‘Nacional’ x ‘Trinitario’ (Loor y Amores, 2003) se conecta lejanamente con la accesión SC-6 del grupo ‘Trinitario’. La accesión EET-96 (sinónimo ‘Porvenir 10’) de la provincia de Los Ríos está más relacionado a las accesiones: EET-62 (sinónimo ‘Porvenir 7’) y EET-48 (sinónimo ‘Santa Rosa 34’), ambas de la provincia de Los Ríos del grupo ‘Nacional’ clásico, que a la accesión EET-95 (sinónimo ‘Tenguel 33’) de la provincia Guayas (Soria y Enríquez, 1981) estando un poco distante pero vinculada a este grupo, y confirmando que es una accesión perteneciente al grupo ‘Nacional’. El parecido fenético no siempre es evidencia del parecido genético o parentesco puesto que pueden haber factores como la evolución convergente; i.e, plantas que llegan a tener fenotipos parecidos sin estar relacionados, ya que el ambiente a través de la selección natural hace que las poblaciones no emparentadas sean parecidas porque se adaptan a condiciones ambientales ecológicamente similares (Mayr, 1974).

En el tercer grupo (C) de accesiones del grupo ‘Forastero del Alto Amazonas’, encontramos accesiones de la serie P (Pound), SCA (Scavina), PA (Parinari), NA (Nanay), IMC (Iquitos mezclado con Calabacillo) y otras accesiones de

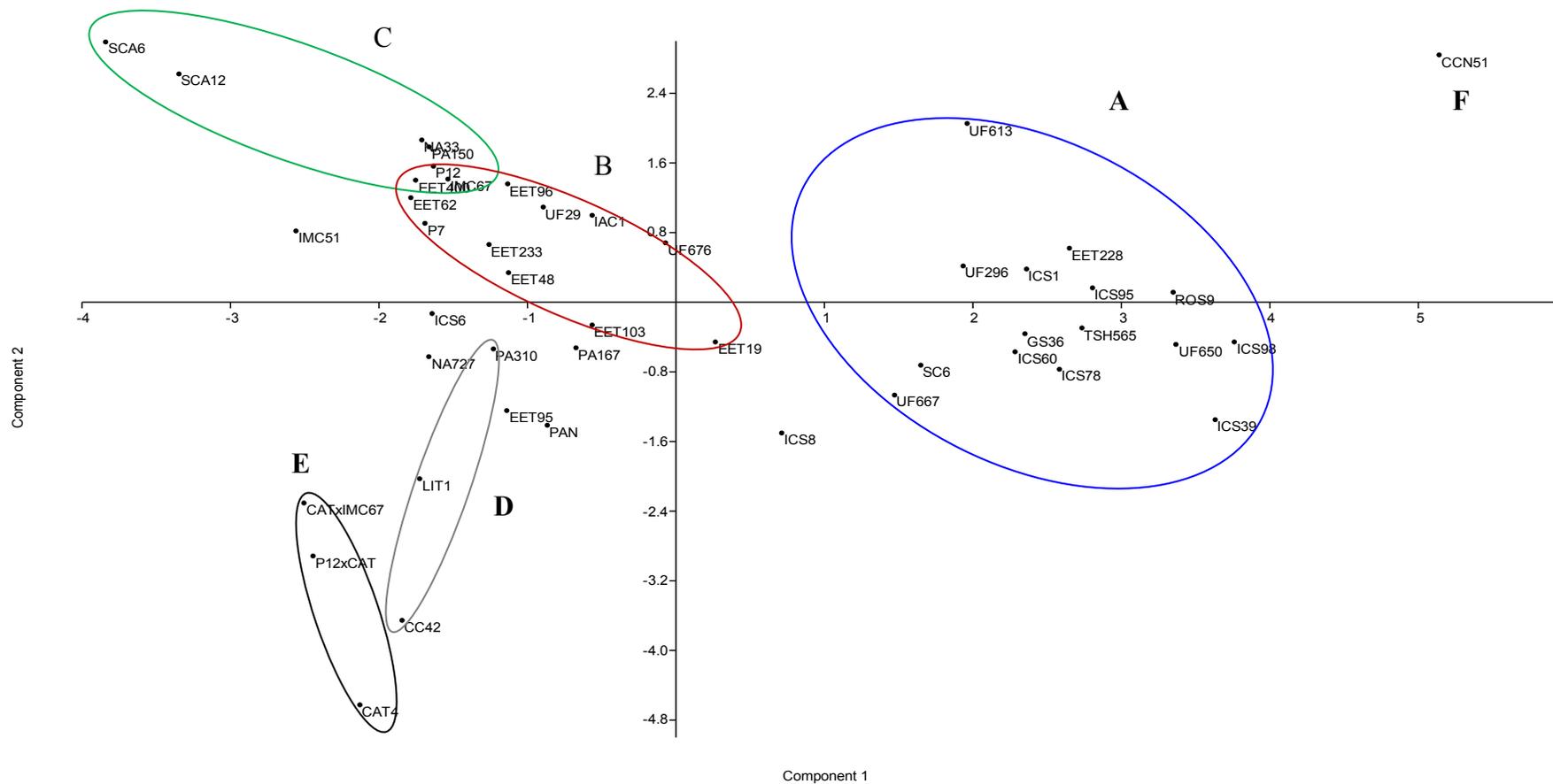


Figura 14. Dispersión de 46 accesiones de cacao sobre el primer y segundo componente principal de la colección Internacional basado en la matriz de correlación de Pearson.

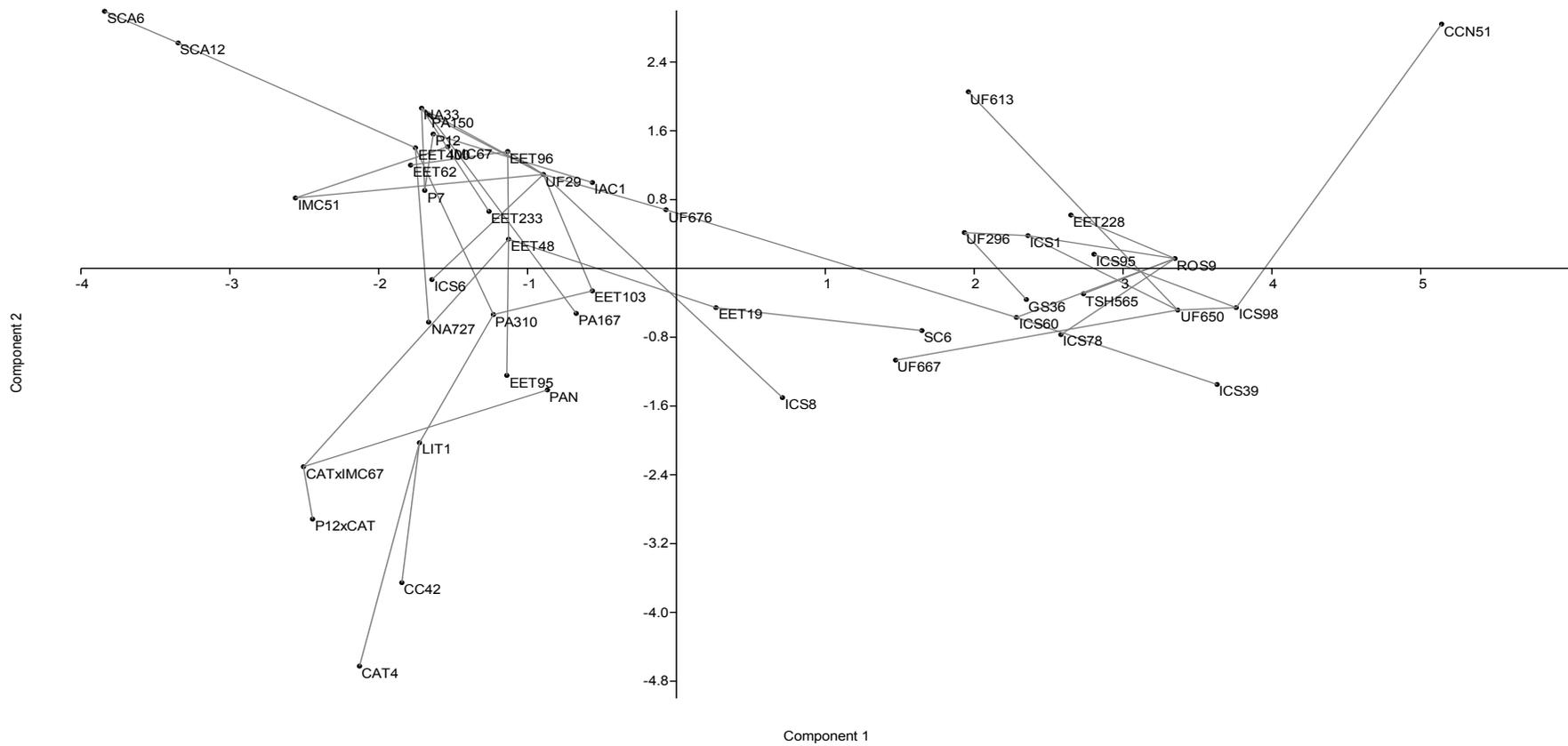


Figura 15. Árbol de recorrido mínimo de 46 accesiones de cacao sobre el primer y segundo componente principal de la colección Internacional basado en la matriz de correlación de Pearson.

origen genético conocido como ICS-8 e ICS-6 (Trinitario) o parcialmente conocido como IAC-1 (Forastero híbrido).

La accesión EET-233 (Venezolano amarillo x desconocido) ubicado en el segundo cuadrante y con lejana proximidad a NA-33 ('Forastero del Alto Amazonas'), se explicaría porque el "Venezolano amarillo", uno de los progenitores de EET-233 sería del grupo 'Trinitario' y el otro progenitor desconocido muy emparentado con NA-33 se explicaría por la introgresión genética que diluye la pureza de las variedades nativas.

Aunque la mayoría las accesiones proceden de diferentes poblaciones y cuencas hidrográficas de la Amazonía alta, la acentuada similaridad entre las series NA, P, IMC, y en menor grado con la serie SCA, se explicaría por la compartición de alelos comunes que pudo originarse mediante la dispersión del flujo genético interpoblacional, la actividad antropogénica y el estar sometidos a similares presiones evolutivas. La mayor o menor proximidad fenética de las accesiones del grupo 'Forastero del Alto Amazonas' con sus homólogas del grupo 'Nacional' se explicaría por el origen amazónico ancestral, el aislamiento geográfico causado por la formación de la cordillera de los andes en el periodo cuaternario (Lachenaud *et al.*, 1997), la selección natural y otras presiones evolutivas. La correlación entre las relaciones fenéticas y genéticas de las accesiones de un banco de germoplasma es de relevancia práctica para investigaciones evolucionarias y/o filogenéticas (Engels, 1983c)

El cuarto grupo (D) muy pequeño está conformado por tres accesiones LIT-1 y CC-42 (Costa Rica) y PA-310 (Perú). Las dos primeras muy vinculadas pertenecen al grupo 'Trinitario'; mientras que LIT-1 se vincula más con PA-310 ('Forastero del Alto Amazonas'), pero lejanamente con CAT-4 (Catongo-4), una accesión mutante del grupo 'Forastero del Bajo Amazonas'. De las accesiones: LIT-1 y CC-42 del grupo 'Trinitario' solo se conoce el origen genético de CC-42 reportado como segregante de UF-676 ('Trinitario') de libre polinización (Engels, 1986).

El quinto grupo (E) también muy pequeño y conformado por dos accesiones híbridas: CAT x IMC-67 y P-12 x CAT, están muy emparentadas entre sí pero vinculadas lejanamente con PAN ('Trinitario'), probablemente porque en su genealogía existe un

progenitor ‘Forastero del Alto Amazonas’ desconocido. La ausencia vínculo aparente con CAT-4 se puede explicar porque éste sea un segregante de autofecundación del CAT original (sinónimo CEPEC-1) reportado por Soria y Enríquez (1981).

La accesión CCN-51 (IMC-67 x ICS-95 x Oriente-1) por su lejano parentesco con las accesiones ROS-9 y GS-36 (‘Trinitario’), y otras de la series UF e ICS, particularmente el ICS-95, que se señala como uno de los progenitores putativos, y también la lejana proximidad a IMC-67 (el otro progenitor putativo), se infiere que sería un segregante del auténtico CCN-51 vinculado lejanamente con ICS-98 e ICS-95 (‘Trinitario’)

En el diagrama de dispersión bidimensional (Fig. 16) se ubican y ordenan las 46 accesiones de cacao de la colección Internacional en el primer y tercer componente principal y el árbol de recorrido mínimo (Fig. 17). Allí también se observan cinco conglomerados similares a la Fig. 15 en base a su proximidad fenética y relación de parentesco (cercano o lejano) entre ellos según el árbol de recorrido mínimo (A.R.M).

En la Fig. 18 se presenta la distribución biplot de 24 variables originales de las 46 accesiones de cacao de la colección Internacional sobre el primer y segundo componente principal. Allí se puede visualizar en el primer eje que las variables: color del fruto inmaduro (CIF) y antocianianina en la parte superior del ovario (ASO), están muy vinculadas en sentido positivo con las accesiones UF-296 e ICS-1 (‘Trinitario’); mientras que las variables: profundidad de surcos del fruto (PSF) y rugosidad del fruto (RUF), no lo están. En sentido negativo, las variables: compatibilidad genética (COG), número de óvulos por ovario (NOO) y sabor floral (FLO), están más vinculadas a UF-29 (‘Nacional’ x desconocido), EET-96 (‘Nacional’) e IAC-1 (‘Forastero’ híbrido); mientras que la variable dulzura (DUL) se vincula más a las accesiones EET-233, EET-400, EET-62, IMC-67 y P-7. En el segundo eje y en sentido positivo se visualiza las variables: separación de lomos del fruto (SLF) y color del cotiledón de la semilla (CCS), muy vinculadas a la accesión UF-676 (‘Trinitario’). En sentido negativo destaca la variable: forma del ápice del fruto (FAF) que se vincula a PAN, EET-95 y PA-167.

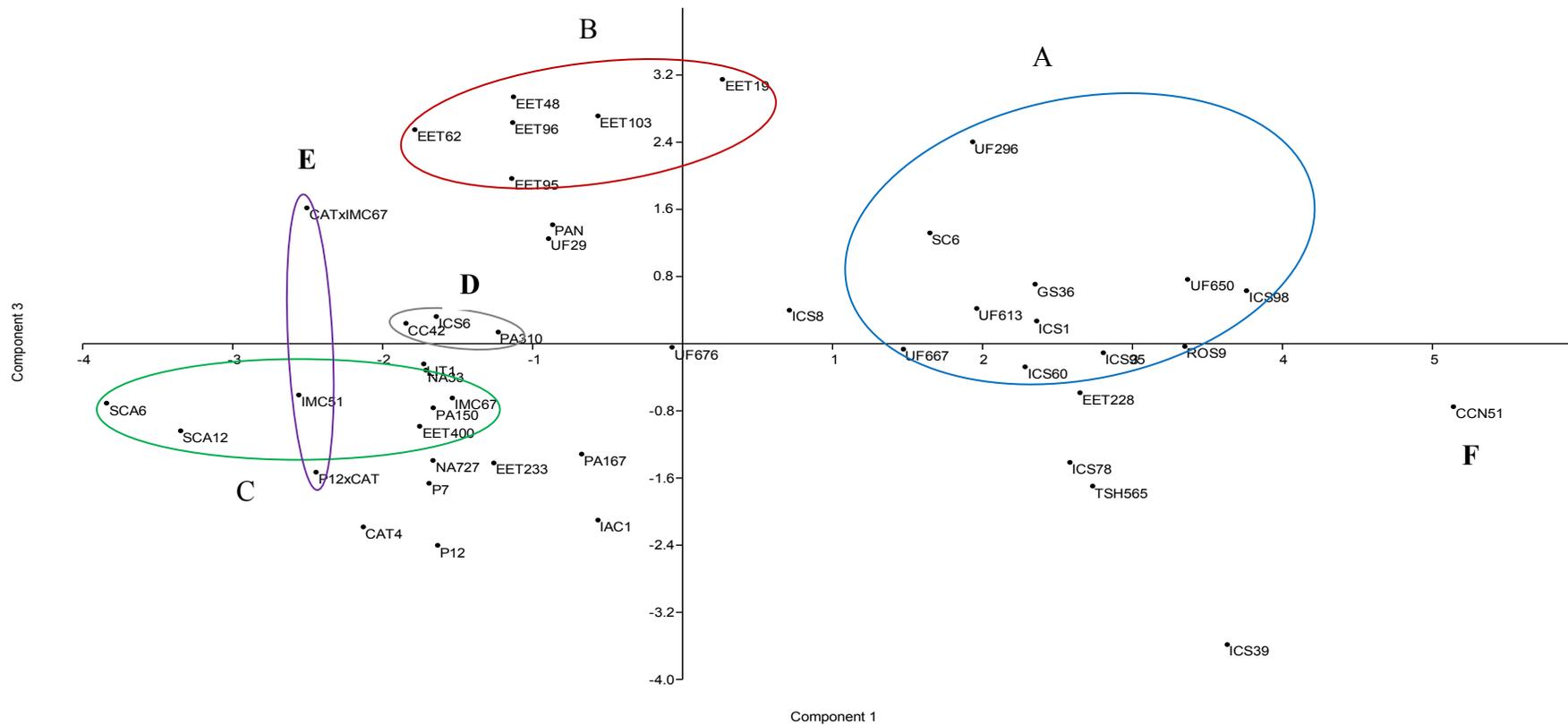


Figura 16. Dispersión de 46 accesiones de cacao sobre el primer y tercer componente principal de la colección Internacional basado en la matriz de correlación de Pearson.

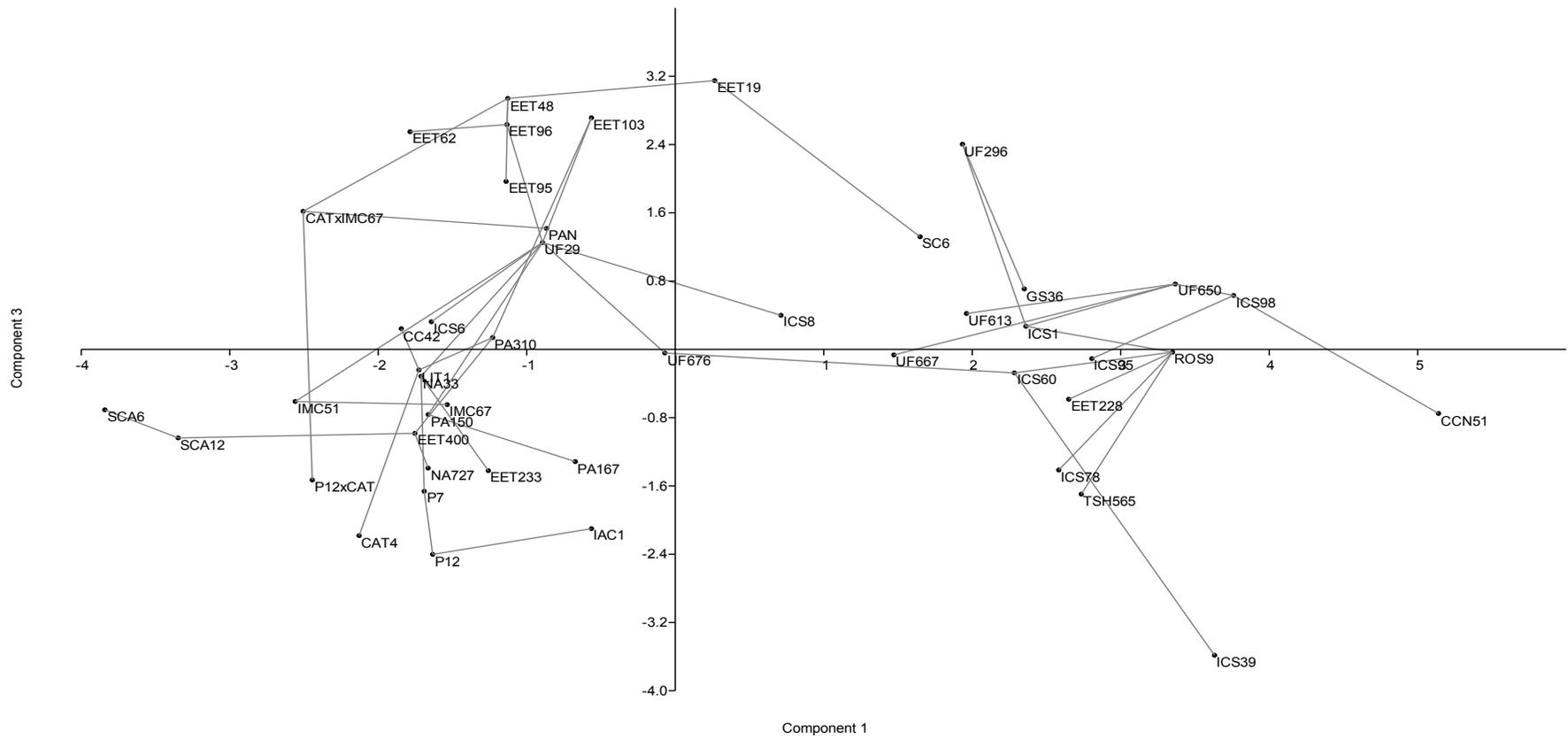


Figura 17. Árbol de recorrido mínimo de 46 accesiones de cacao sobre el primer y tercer componente principal de la colección Internacional basado en la matriz de correlación de Pearson.

Finalmente, las variables: acidez (ACI), orientación de sépalos (OSE) y astringencia (AST), están más vinculadas a UF-667, SC-6 ('Trinitario') y EET-19 ('Nacional'). Una discusión más amplia y profunda de las relaciones de parentesco o proximidad fenética de las accesiones (dentro y entre agrupamientos); así como, la probable genealogía con fines de clasificación intraespecífica, se realizará con el análisis de conglomerados (AC).

4.2.3. Análisis de agrupamientos (AC)

El dendrograma de disimilaridad generado por el método del ligamiento promedio y la distancia Euclidiana en el análisis de conglomerados (AC), refleja la congruencia de los resultados obtenidos por el análisis de componentes principales (ACP). En la Fig. 19, a una distancia taxonómica de 3.2 se visualizan siete conglomerados pequeños A, B, C, D, E, F y G muy relacionados intracluster; mientras que a una distancia taxonómica de 4,2 solo cinco conglomerados grandes: I, II, III, IV y V, y dos conglomerados pequeños VI y VII.

En el conglomerado A se ubican tres accesiones del grupo 'Nacional' clásico EET-48, EET-96 y EET-62; en el conglomerado B, tres accesiones: UF-29 (Nacional x desconocido), UF-676 ('Trinitario') y PA-150 ('Forastero del Alto Amazonas') que compartirían genes comunes de un progenitor 'Forastero' emparentado. En el conglomerado C, cuatro accesiones P-7, P-12, NA-33 e IAC-1 ('Forastero del Alto Amazonas'), siendo los tres primeros muy afines debido a la procedencia geográfica y relacionados con IAC-1 ('Forastero' híbrido), probablemente un NA o P desconocido.

En el conglomerado D existen cinco accesiones: ICS-95, UF-650, ICS-1, ICS-98 y UF-296 del grupo 'Trinitario', y en el conglomerado E, dos accesiones: ICS-8 ('Trinitario') y PA-167 ('Forastero del Alto Amazonas?'). En el conglomerado F, dos accesiones: SCA-6 y SCA-12 ('Forastero del Alto Amazonas') muy emparentadas entre sí y lejanamente con IMC-67 y algunas accesiones 'Nacional' (Fig. 15) que se corrobora con los resultados obtenidos por Cruzillat *et al.* (2001) con marcadores microsatélites. Finalmente, en el conglomerado G aparecen dos accesiones muy relacionadas CAT x IMC-67 y P-12 x CAT ('Forastero' híbridos).

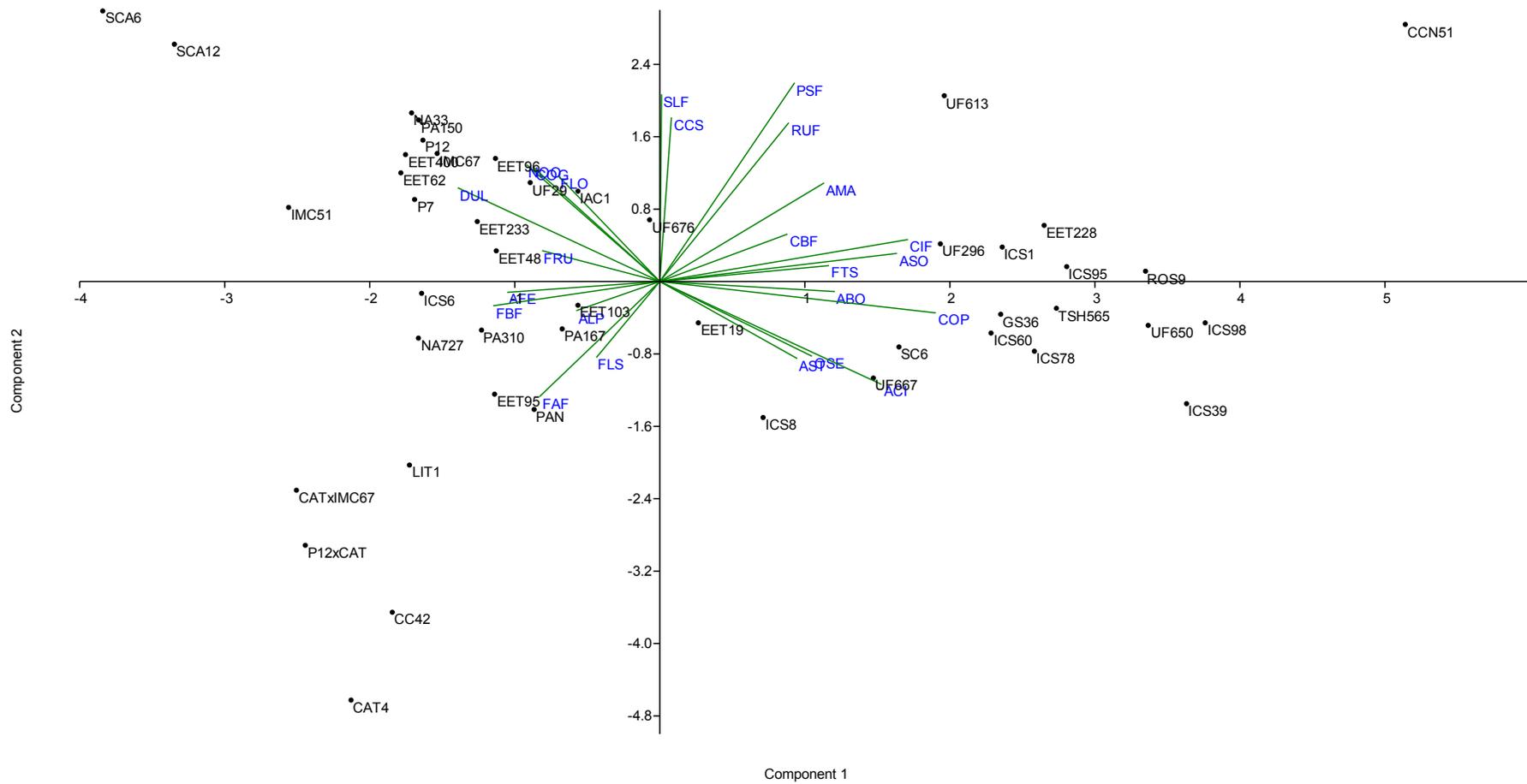


Figura 18. Distribución biplot de 24 variables originales de 46 accesiones de cacao sobre el primer y segundo componente principal de la colección Internacional basado en la matriz de correlación de Pearson.

Con respecto a los conglomerados grandes, el conglomerado I, sub-conglomerado (I.1), agrupa a casi todas las accesiones de la serie EET ('Nacional') excepto la accesión EET-95 que está relacionada con la accesión SC-6 ('Trinitario') en el sub-conglomerado (I.2); no obstante, EET-95 a una distancia mayor se relaciona con las demás accesiones de ese grupo, probablemente porque en su genealogía habría participado algún ancestro 'Nacional' y/o un cultivar 'Trinitario' introducido. Estudios moleculares reportan que el cacao 'Nacional' es genéticamente más cercano a los cacaos 'Forastero' que a los cacaos 'Criollo' (Lerceteau *et al.*, 1997). La accesión PAN ('Trinitario') más alejado de este grupo se encuentra vinculada a una distancia de 5.4.

En particular, la estrecha relación entre las accesiones: EET-48 y EET-96, coincide con lo reportado por Amores *et al.* (2009). Según estos investigadores, las accesiones del grupo 'Nacional' se habrían originado de cruzamientos entre cultivares tradicionales de este grupo con cultivares de Venezuela introducidos al Ecuador alrededor de 1890 vía unas pocas mazorcas de Trinidad a donde previamente fueron introducidos (Pound 1945, citado por Lanaud *et al.*, 2001), o importadas directamente de Trinidad a inicios del siglo XX (Lerceteau *et al.*, 1997).

El conglomerado II incluye dos accesiones CC-42 y LIT-1 ('Trinitario') y una accesión NA-726 ('Forastero del Alto Amazonas'). Es probable que NA-726 haya infiltrado genes a una población de 'Forastero del Bajo Amazonas' emparentada con CC-42 y LIT-1. Sin embargo, se reporta que algunas accesiones NA (Nanay) y PA (Parinari), identificadas como "fuera de tipo" y confirmadas por marcadores SNP (Polimorfismos de nucleótidos únicos), son de origen distinto. De allí que Boccara (2006) citado por Boccara *et al.*, 2010 reportaron que en la serie NA se conformaron dos clusters: NA-I y NA-II.

El conglomerado III se dividió en tres sub-conglomerados, el primero (III.1) formado por las accesiones: ICS-60 y GS-36 ('Trinitario'), el segundo (III.2) por ICS-78, ROS-9 ('Trinitario') y EET-228 ('Nacional' x desconocido) y el tercero formado por ICS-39 ('Trinitario') y TSH-565 (SCA-6 x ICS-1). En la Fig. 15, si bien EET-228 está próximo

a ICS-95 ('Trinitario') que pertenece al conglomerado V, con marcadores ISSR también se demostró esta estrecha proximidad (Chía, 2009).

Los resultados de análisis con marcadores RAPD y RFLP han demostrado que grupos de cacao morfológicamente diferentes no son necesariamente genéticamente diferentes (Lerceteanu, 1997; N' Goran *et al.*, 2000). La accesión UF-667 perteneciente al grupo 'Trinitario' posee menor afinidad con accesiones de este conglomerado. En conclusión, se puede señalar que el origen de una accesión no siempre puede estar correlacionado con los grupos morfo-geográficos esperados debido al movimiento de germoplasma regional y el flujo genético entre y dentro de estos grupos.

El conglomerado IV incluye tres sub-conglomerados, el primero (IV.1) formado por las accesiones UF-29, UF-676, PA-150, PA-310 y EET-400. Con excepción de UF-676 que no parece ser un 'Trinitario' auténtico y UF-29 ('Nacional' x desconocido), todos los demás pertenecen al grupo 'Forastero del Alto Amazonas'. La accesión PA-150 que aparece más vinculada a UF-29 y UF-676 ('Trinitario') que a PA-310 y EET-400 ambos 'Forastero del Alto Amazonas'), por la proximidad con NA-33, P-7 y P-12 (Fig. 15) del mismo grupo, se trataría de una accesión auténtica. La accesión EET-400 por su afinidad con PA-310 compartiría alelos privados heredados de un ancestro de la serie PA colectada en la Amazonía peruana.

El segundo sub-conglomerado (IV.2) está formado por: P-7, P-12, NA-33 ('Forastero del Alto Amazonas'), IAC-1('Forastero' híbrido) y EET-233 (Venezolano amarillo x desconocido) más alejado de los demás. La relación de parentesco entre los tres primeros ha sido corroborada por estudios moleculares (Bekele *et al.*, 2005; July, 2007), y su vinculación con IAC-1 ('Forastero' híbrido) confirmaría su afinidad o parentesco genético. Finalmente, el tercer sub-conglomerado (IV.3) lo forma IMC-51 ('Forastero del Alto Amazónico') e ICS-6 ('Trinitario'). Su relativa afinidad se explicaría porque ICS-6 se originó de cruces entre cultivares 'Criollo' x 'Forastero del Bajo Amazonas', este último muy relacionado con el IMC-51. Es más, el conglomerado IV en su mayoría agrupa a accesiones tradicionales del grupo 'Forastero del Alto Amazonas'.

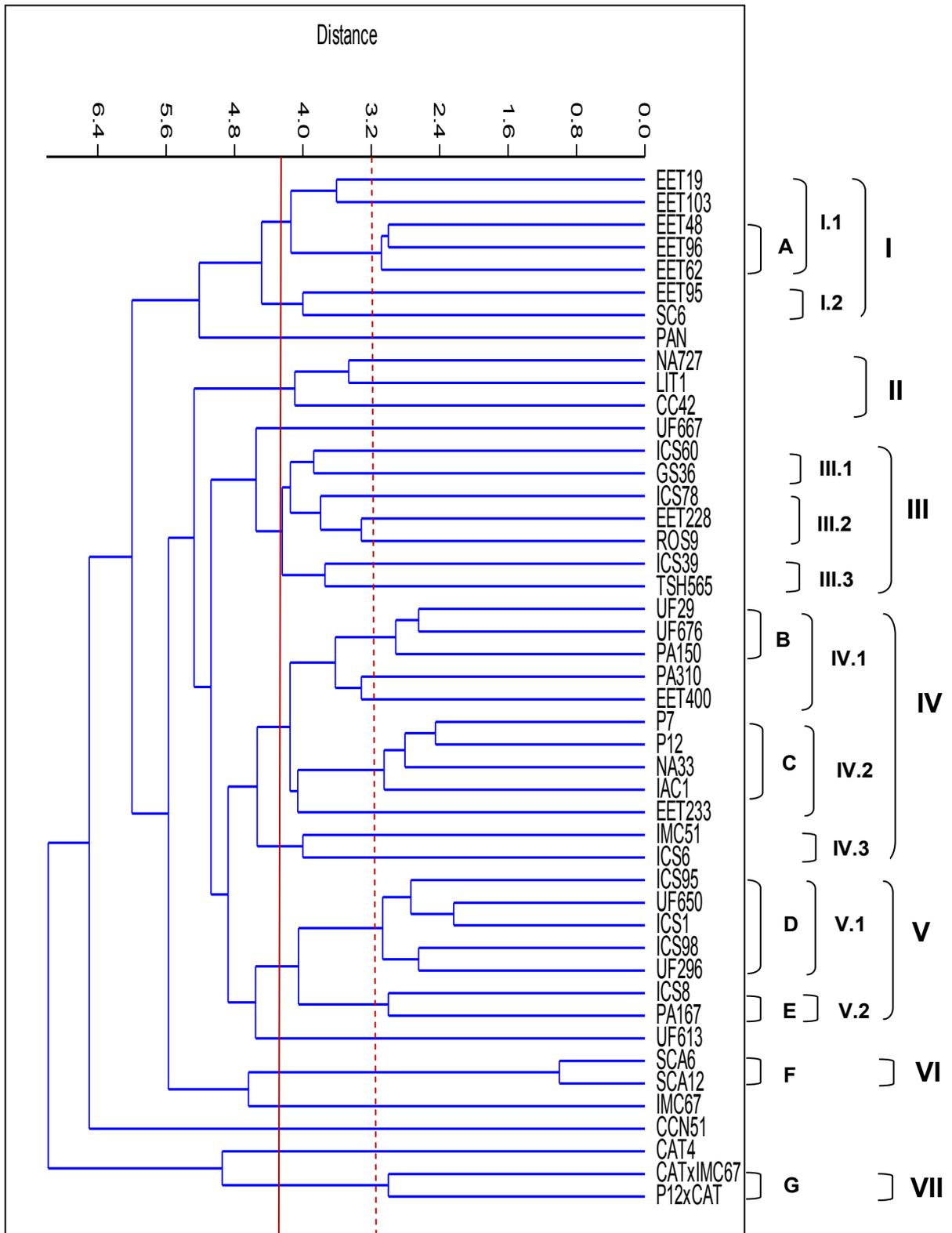


Figura 19. Dendrograma de disimilaridad de 46 accesiones de cacao de la colección Internacional basado en la distancia euclidiana y el método del ligamiento promedio.

En el conglomerado V se visualizan dos sub-conglomerados, el primero (V.1) agrupa a las accesiones ICS-95, UF-650 e ICS-1 con el ICS-98 y el UF-296 todos del grupo ‘Trinitario’. En el segundo (V.2) se agruparon las accesiones ICS-8 y PA-167. La afinidad entre estas dos accesiones implicaría que PA-167 no pertenecería al grupo ‘Forastero del Alto Amazonas’ sino al grupo ‘Trinitario’. A esta misma conclusión llegaron Boccara y Zhang (2006) al evaluar la identidad de la población PA mediante marcadores microsatélites. Una hipótesis alternativa sería que PA-167 estaría relacionado con alguna población del grupo ‘Amelonado’ de la Guyana francesa (‘Forastero del Bajo Amazonas’) propuesto por Motamayor *et al.*, (2008) y que un ancestro sería uno de los progenitores del cultivar ICS-8 (‘Trinitario’).

La accesión UF-613 del grupo ‘Trinitario’ vinculada a este conglomerado se encuentra mucho más alejada. La mayoría de los clones ICS comparten ancestros en común y exhiben una gran diversidad de caracteres morfológicos de mazorca que van desde un parecido al grupo ‘Criollo’ hasta el ‘Forastero’; no obstante, el ‘Trinitario’ original tuvo mayor diversidad genética (Johnson *et al.*, 2004). Sobre el origen del grupo ‘Trinitario’, se reporta que resultó de la hibridación entre cultivares ‘Criollo’ x ‘Forastero del Bajo Amazonas’ y que este proceso habría tomado al menos tres eventos de introducción original (Laurent, 1993; Zhang y Motilal, 2016).

El conglomerado VI lo conforman las accesiones SCA-6 y SCA-12 (‘Forastero del Alto Amazonas’). La estrecha afinidad entre SCA-6 y SCA-12 se explica porque se tratarían de hermanos completos que comparten muchos genes en común puesto que procedieron de mazorcas colectadas de un solo árbol y cuya progenie (22 árboles), fueron clonados y sembrados en la finca Marper (Pound, 1943, citado por Bekele *et al.*, 2005). La accesión IMC-67 del mismo grupo genético se vincula más lejanamente con estas dos accesiones. Si bien SCA-6 y SCA-12 fueron colectadas en Contamaná (Ucayali), la menor afinidad con la accesión IMC-67 colectada en una población cercana a Iquitos (Loreto) se atribuiría a la distancia geográfica, pero que por la actividad antropogénica y el flujo genético interpoblacional, no lo excluye de pertenecer al mismo grupo ‘Forastero del Alto Amazonas’ (Pound, 1938; 1943, citado por July, 2007). Los resultados mostrados en las Fig. 15 y Fig. 19 coinciden con los reportes de Cruzillat *et al.* (2001) y Bekele *et*

al. (2005), quienes observaron que los clones IMC tienden a agruparse juntos y separadamente de los clones SCA y NA.

Finalmente, el conglomerado VII conformado por las accesiones híbridas CAT x IMC-67 y P-12 x CAT del grupo 'Forastero' que si bien poseen un vínculo muy lejano con PAN ('Trinitario') ya visualizado y discutido en la Fig. 15, el parentesco poco lejano con la accesión CAT-4 (Fig. 19) del grupo 'Forastero del Bajo Amazonas' se explicaría porque CAT-4 es un segregante de autofecundación. Los caracteres morfológicos de la accesión original CAT (Catongo) estudiado por Arciniegas y Phillips-Mora (2007) muy similares a CAT-4 corroboran su disimilaridad con los grupos genéticos 'Trinitario', 'Nacional', 'Forastero del Alto Amazonas' y 'Criollo'. A nivel molecular se ha confirmado la naturaleza altamente homocigótica del clon CAT y la naturaleza altamente heterocigota del clon SCA-12 (Bartley, 1994; Cruzillat *et al.*, 1994).

La accesión CCN-51 (híbrido complejo), aparece como una entidad independiente a una distancia de 6,4 y vinculada muy lejanamente con los grupos genéticos tradicionales. De Castro (1981) citado por Boza *et al.* (2014) reporta que el CCN-51 fue obtenido de la cruce [(ICS-95 x IMC-67) x Oriente-1], éste último progenitor de la Amazonía ecuatoriana pertenecería al grupo 'Forastero del Alto Amazonas'. La carencia de afinidad del CCN-51 con sus progenitores putativos se puede explicar por el hecho de que no sea una accesión auténtica sino más bien un segregante con fenotipo muy parecido. Recientes análisis filogenéticos han reportado el parentesco de CCN-51 con los grupos genéticos actuales: 'Iquitos', 'Criollo' y 'Amelonado'. Siete loci SSR mitocondriales han revelado que CCN-51 heredó maternalmente el citotipo de IMC-67 (Boza *et al.*, 2014). Además, el parentesco inconspicuo se puede atribuir al evidente polimorfismo y alto grado de heterocigosidad de esta accesión.

Los diferentes ríos tributarios y rutas que convergen hacia el Amazonas; así como, la subsecuente dispersión de mazorcas y semillas mediada por la actividad antropogénica, los hábitos de alimentación de los frugívoros y la introgresión alélica en las poblaciones locales, entre otros, han sido factores que han contribuido a generar variabilidad intra e interpoblacional bajo la presión de la selección natural.

Para la validación del análisis de agrupamientos de tipo jerárquico se necesita analizar la concordancia entre el dendrograma generado y la matriz de afinidad mediante la prueba estadística “prueba de bondad de ajuste” que estima un coeficiente de correlación cofenética (C.C.C). Esta herramienta permite ajustar el dendrograma a los valores de afinidad y/o determinar la medida de la distorsión puesto que las relaciones de afinidad son necesariamente distorsionadas cuando son llevadas a una representación bidimensional (Crisci y López, 1983).

El valor del coeficiente de correlación cofenético (C.C.C = 0.74) obtenido en esta investigación, refleja una correlación relativamente alta y poca distorsión pudiéndose calificarse como bueno según la escala propuesta por Sneath y Sokal (1973) e interpretándose como que hubo una adecuada representación de la matriz de afinidad por parte del dendrograma. Un valor alto del coeficiente de correlación cofenético es solo una medida de la poca distorsión en la técnica empleada y no necesariamente determina una buena o mala clasificación (Crisci y López, 1983).

Cuando no existe suficiente correlación entre los datos morfológicos se puede deber a: (a) un número reducido de caracteres morfoagronómicos, y (b) al bajo poder discriminante de muchos de ellos; por consiguiente, se debería emplear un mayor número de caracteres morfo-agro-organolépticos seleccionados por su buen poder discriminante.

Los programas de mejoramiento genético del cacao de los países de América latina y el Caribe, han partido de una base genética estrecha por el uso de cultivares ‘Trinitario’ y ‘Forastero del Alto Amazonas’, seleccionados principalmente por su productividad y resistencia a las enfermedades, respectivamente. Por otra parte, la recombinación y la segregación genética sumada a los grados de auto-incompatibilidad (mecanismo de selección pre-cigótica), han generado un espectro amplio de genotipos que se expresan en una mayor diversidad de fenotipos.

A nivel de Perú si bien la colección Internacional del Banco de genes de cacao de la UNAS incluye accesiones de origen nativo de la Amazonía peruana de las series: IMC,

SCA, P, NA y PA (‘Forastero del Alto Amazonas’) e introducido (‘Trinitario’, ‘Nacional’ y ‘Forastero del ajo Amazonas’), sumada a las accesiones de las colecciones Huallaga y Ucayali, no representa la diversidad genética del cacao peruano pues hay recientes colectas regionales que han identificado y caracterizado en forma parcial otras poblaciones nativas tales como: “Blanco” de Piura, “Criollo de montaña” de Junín y “Chuncho” del Cusco (García, 2000; García, 2011; García, 2014); existiendo otras poblaciones nativas y silvestres en áreas poco accesibles o inaccesibles de la selva peruana en riesgo latente de erosión genética y que esperan ser caracterizadas y utilizadas en los programas de mejoramiento genético (Zhang y Motilal, 2016).

V. CONCLUSIONES

1. La caracterización morfológica permitió identificar y diferenciar accesiones de cacao según el grupo genético que coinciden con los reportes de análisis moleculares; así como, la identificación de dos accesiones putativas: PA-167 y CCN-51.
2. El análisis de componentes principales (ACP) determinó que los caracteres de flores (AFE, COP, ABO y COG), frutos (CIF, SLF, PSF y RUF), y organolépticos de semillas (ACI y DUL), fueron los más discriminantes taxonómicamente.
3. El análisis de agrupamientos (AC) mostró un dendrograma con cinco conglomerados grandes y dos pequeños a un nivel de afinidad de 4.2, congruente con el ACP y un coeficiente de correlación cofenético de 0.7; siendo el agrupamiento IV, el más concentrado y diverso genéticamente.
4. En general, los sets de datos morfológicos y organolépticos fueron eficaces en caracterizar y clasificar infraespecíficamente la diversidad genética de las 46 accesiones de cacao de la colección Internacional de la UNAS-Tingo María.

VI. RECOMENDACIONES

1. Planificar y ejecutar otro estudio en la colección Internacional de cacao que complemente la caracterización morfo-organoléptica con la caracterización molecular usando marcadores microsatélites (SSR) y/o polimorfismos de nucleótidos únicos (SNP).
2. Para verificar la identidad genética de las accesiones de la colección Internacional y colecciones Huallaga y Ucayali del Banco de genes de cacao de la UNAS-Tingo María, se podría solicitar la colaboración del Servicio de Investigación Agrícola (ARS)/USDA en la caracterización molecular de estas tres colecciones.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Albornoz, E. 2014. Clasificación intraespecífica de 60 cultivares (clones) de cacao (*Theobroma cacao* L.) de la colección Huallaga basado en caracteres organolépticos. Tesis Ing. Agrónomo. Tingo María, Perú. UNAS. 58 p.

Allen, J; Lass, A. 1983. London cocoa trade amazon project: final report, phase I. Cocoa Growers' Bulletin, 34: 1-71 p.

Amores, F; Palacios, A; Jiménez, J; Zhang, D. 2009. Entorno ambiental, genética, atributos de calidad y singularización del cacao en el nor-orienté de la provincia de Esmeraldas. Bol. Téc. n.º 135. INIAP/EET-Pichilingue. Quevedo, Los Ríos, Ecuador. 120 p.

Arciniegas, A; Phillips-Mora, W. 2007. Comprehensive characterization of superior cacao genotypes selected by CATIE breeding program based on yield and/or moniliasis resistance. *In* Proceedings 15th International Cocoa Research Conference, 1: 111-123.

Argout, X; Salse, J; Aury, JM; Guitinan, MJ; Droc G; Gouzy, J; Alegre, M; Chaparro, C; Legavre, T; Maximova, S; Abrouk, M; Murat, F; Fouet, O; Poulain, J; Ruiz, M; Roguet, Y; Rodier-Goud, M; Fernández, J; Sabot, F; Kudrna, D; Silva, J; Schuster, S; Carlson, J; Sallet, E; Schiex, T; Dievert, A; Kramer, M; Gelley, L; Shi, Zi; Bérard, A; Viot, C; Boccara, M; Risterucci, AM; Guignon, V; Sabau, X; Axtell, M; Ma, Z; Zhang, Y; Brown, S; Bourge, M; Golser, W; Song, X; Clement, D; Rivallan, R; Tahí, M; Moroh, J; Pitollat, B; Gramacho, K; D'hont, A; Brunel, D; Infante, D; Kebe, I; Costet, P; Wing, R; McCombie, WR; Guiderdon, E; Quetier, F; Panaud, O; Wincker, P; Bocs, S; Lanaud, C. 2011. The genome of *Theobroma cacao* L. *Nature Genetics*, 43 (2): 101-109.

Arguello, O; Mejía, A; Palencia, G. 2000. Clasificación de especies cultivadas de *Theobroma cacao* L. Mejía, A; Arguello, O. (comps.). Tecnología para el mejoramiento del sistema de multiplicación del cacao. CORPOICA, Colombia. p. 11.

Aycachi, M. 2008. Caracterización botánico-agronómica *ex situ* de 21 clones de cacao (*Theobroma cacao* L.), de la colección Introducida-B en Tingo María. Tesis Ing. Agrónomo. Tingo María, Perú. UNAS. 66 p.

Bartley, BGD. 2005. The genetic diversity of cacao and its utilization. CABI, Wallingford. U.K. 341 p.

Bartley, BGD. 1994. A review of cacao germplasm: fundamentals, methods and results. *In Proceedings of the International Workshop on Cocoa Breeding Strategies*, Kuala Lumpur, Malaysia.

Bekele, F; Kennedy, AJ; McDavid, C; Lauckner, B. 1994. Numerical taxonomic studies on cacao (*Theobroma cacao* L.) in Trinidad. *Euphytica* 75: 231-240.

Bekele, F; Bekele, I. 1996. A sampling of the phenetic diversity of cacao in the International Cocoa Genebank of Trinidad. *Crop Science* 76 (1): 57-64.

Bekele, F; Butler, D. 1999. Proposed short list of cacao descriptors for characterization. Working Procedures and Recording Sheets for the CFC/ICCO/IPGRI Project. Eskes, B. (ed.). Co-ordination Unit-CFC/ICCO/IPGRI Cocoa Project. Montpellier, March, 1999. p. 22-32.

Bekele, F; Bidaisee, GG; Persad, N; Bhola, J. 2006. Examining phenotypic relationships among upper amazon Forastero clones. Annual report 2005. Cocoa Research Unit. The University of West Indies. St. Augustine, Trinidad and Tobago. p. 27-42.

Bekele, F; Bidaisee, G; Bhola, J. 2010. Examining phenotypic relationships among Trinitario and Refractario cacao clones in the international cocoa genebank of Trinidad. Annual report 2009. Cocoa Research Unit. The University of West Indies. p. 36-44.

Boccaro, M; Allegre, M; Fouet, O; Thevenin, JM; Brunel, D; Berard, A; Zhang, D; Butler, DR; Lanaud, C. 2010. New insight of genetic diversity and genotype identification using SNP-gene based markers. Annual report 2009. Cocoa Research Unit. The University of West Indies. St. Augustine, Trinidad and Tobago. p. 50-59.

Boccaro, M; Zhang, D. 2006. Progress in resolving identity issues among the Parinari accessions held in Trinidad: the contribution of the collaborative USDA/CRU project. Annual report 2005. Cocoa Research Unit. The University of West Indies. St. Augustine, Trinidad and Tobago. p. 25-37.

Boza, E; Motamayor, JC; Amores, F; Cedeño, S; Tondo, C; Livingstone, D; Schnell, R; Gutiérrez, O. 2014. Genetic characterization of the cacao cultivar CCN-51, its impact and significance on global cacao improvement and production. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 139 (2): 219-229.

Bramardi, SJ. 2002. Análisis multivariado: su aplicación en la caracterización de recursos genéticos. Facultad de Ciencias Agrarias. Univ. Conahue, Estación Exp. INTA, Argentina. 60 p.

Bryant, P; Kaltenhauser, J; Rawal, KM; Snyder, MJ. 1997. Finding duplicates in genetic resources collections. Information sciences/genetic resources program. University of Colorado, Boulder, Colorado. USA. 35p.

CacaoNet. 2012. A global strategy for the conservation and use of cacao genetic resources, as the foundation for a sustainable cocoa economy. Laliberté, B. (comp.). Bioversity International, Montpellier, France. 175 p.

Cassia, R; Correa, RX; Carvalho, R; Reboucas, R; Newman, ED; Santos, I; Anher, D. 2013. Inheritance of the number of ovules per ovary and selection of cacao genotypes. American Journal of Plant Sciences 4: 1387-1392.

Cheesman, E. 1944. Notes on the nomenclature, classification and possible relationships of cocoa populations. Trop. Agric. 21: 144-159.

Chía, J. 2009. Caracterización molecular mediante marcadores ISSR de una colección de 50 árboles clonales e híbridos de cacao (*Theobroma cacao* L.) de la UNAS-Tingo María. Tesis Mag. Sc. en Biología Molecular. Lima, Perú. UNMSM. 135 p.

Clapperton, JF; Lockwood, G; Yow, STK; Lim, DHK. 1994. Effects of planting materials on flavour. *Cocoa Grower's Bulletin* 48: 47-63.

Clement, CR; de Cristo-Araujo, M; D'Eeckenbrugge, AA; Pereira, J; Picanco-Rodríguez, D. 2010. Origin and domestication of native amazonian crops. *Diversity* 2: 72-106.

Crisci, JV; López, MF. 1983. Introducción a la teoría y práctica de la taxonomía numérica. Secretaria general de la Organización de los Estados Americanos (OEA). Monografía n.º 26. Serie Biología. Washington, D.C. 132 p.

Cross, J; Basford, K; Taba, S; Delacy, I; Silva, E. 1995. Three mode analyses of maize using morphological and agronomics attributes measured in multilocation trials. *Crop Science* 35: 1483-1491.

Crouzillat, D; Bellanger, L; Rigoreau, M; Bucheli, P; Pétiard, V. 2001. Genetic structure, characterization and selection of Nacional cocoa compared to other genetic groups. *In* Proceeding of the International Workshop on New Technologies and Cocoa Breeding, 16th-17th October, 2000. Kota Kinabau, Sabath, Malaysia. p. 47-64.

Crouzillat, D; Lerceteau, E; Petiard, V; Morena, J; Rodríguez, H; Walker, D; Phillips-Mora, W; Ronning, R; Schnell, R; Osei, R; Fritz, P. 1994. *Theobroma cacao* L: a genetic linkage map and quantitative trait loci analysis. *Theoretical and Applied Genetics* 93: 205-214.

Cuatrecasas, J. 1964. Cacao and its allies: a taxonomic revision of the genus *Theobroma*. *Contribution from the US. National Herbarium* 35 (6): 379-614.

De Castro, CT; Bartley, BGD. 1989. Caracterizado dos recursos genéticos de cacauero: folha, fruto y semente de selecoes da Bahía dos series SIC y SIAL. Rev. Theobroma 13 (3): 263- 273.

De la Cruz, M; Whitkus, M; Gómez-Pompa, R; Mota-Bravo, A. 1995. Origins of cacao cultivation. Nature 375: 542-543.

Días, LAS; Kageyama, PY. 1997. Multivariate genetic divergence and hybrid performance of cacao (*Theobroma cacao* L.). Brazilian Journal of Genetics, 20(1): 63-70.

Días, LAS; Souza, SG; Augusto, PR; Siqueira, M; Muller, M. 1996. Evaluation of cacao cultivars in Linhares, Brasil: distinctness analysis. Brazilian Journal of Genetics 20 (1): 26.

Días, LAS (ed.). 2006. Genetic improvement of cacao. Editora da Univ. Fed. Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brazil. 578 p.

Engels, JMM; Bartley, BGD; Enríquez, GA. 1980. Cacao descriptors, their states and *modus operandi*. Turrialba 30 (2): 209-218.

Engels, JMM. 1983a. A systematic description of cacao clones. 1. The discriminative value of quantitative characteristic. Euphytica 32: 377-385.

Engels, JMM. 1983b. A systematic description of cacao clones. 2. The discriminative value of qualitative characteristic and the practical compatibility of the discriminative value of quantitative and qualitative descriptors. Euphytica 32: 387-396.

Engels, JMM. 1983c. A systematic description of cacao clones. 3. Relationships between clones, between characteristics and some consequences for the cacao breeding. Euphytica 32: 719-733.

Engels, JMM. 1984. Descripción sistemática de clones de cacao. 4. Algunas evidencias de herencia tetraploide. *Café, Cacao, Thé* 28(2): 95-102.

Engels, JMM. 1986. The systematic description of cacao clones and its significance for taxonomy and plant breeding. These Ph.D. Agricultural University, Wageningen, Pay-Bas. 125 p.

Engels, JMM. 1993. The use of botanic descriptors-CATIE experiences. *In* Proceeding Workshop on the Conservation, Characterization and Utilization on Cocoa Genetic Resources in the 21st Century. Port of Spain, Trinidad, September 13th - 17th. 1992. The Cocoa Research Unit. Port of Spain, Trinidad. p. 69-76.

Enríquez, GA; Soria, J. 1967. Selección y estudio de los caracteres útiles de la flor para la identificación y descripción de cultivares de cacao. *Cacao (Costa Rica)* 12: 8-16.

Enríquez, GA; Quiroz, S; López, O. 1987. Caracterización y relación fitogenética de frutos y almendras de cacao de cultivares de la colección de Turrialba, Costa Rica. *In* Anales de la 10^a Conferencia Internacional de Investigación en Cacao. s.p.

Enríquez, GA. 1992. Characteristic of Nacional cocoa of Ecuador. *In* Proceeding of the International Workshop of Conservation, Characterization and Utilization of Cocoa Genetic Resources in the 21st Century. CRU. The University of the West Indies, Port Spain, Trinidad and Tobago. p. 13-17.

Eskes, B; Lanaud, C. 2001. Cocoa. Tropical plant breeding. Charrier, A; Jacquot, M; Hamon, S; Dominique, N. (eds.). Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD), France. Science Publishers, Inc. UK. p. 78-105.

Eskes, B; Guarda, D; García, LF; García, PV. 2007. Is genetic variation for sensory traits of cocoa pulp related to fine flavor cocoa traits? *INGENIC Newsletter*, issue n.º11: 22-28.

Esquivel, O; Soria, J. 1967. Algunos datos sobre la variabilidad de algunos componentes del rendimiento en poblaciones de híbridos interclonales de cacao. *Cacao (Costa Rica)* 12 (4): 1-7.

Franco, T; Hidalgo, R. (eds.). 2003. Análisis estadístico de datos de caracterización morfológica de recursos fitogenéticos. Boletín técnico n.º 8. Instituto Internacional para los Recursos Fitogenéticos (IPGRI). Cali, Colombia. 89 p.

García, LF. 2000. Grupos y variedades de cacao. En: cultivo del cacao en la Amazonía peruana. Arca, M. (ed.). INIA, Lima, Perú. p. 16-26.

García, LF. 2011. Recopilación y análisis de información científica para la elaboración de la hoja botánica del cacao (*Theobroma cacao* L.) cv. “Porcelana” de Piura. GIZ/PDRS. Piura. 15p.

García, LF. 2010. Catálogo de cultivares de cacao del Perú. 1 ed. Ministerio de Agricultura/DEVIDA. Lima. 112 p.

García, LF. 2014. Caracterización morfológica-sensorial y molecular de tres variedades de cacaos nativos de Piura, Junín y Cusco. Informe final de consultoría. APPCACAO/UPCH/UNAS. FINCYT. Lima. 47 p.

García, PV. 2010. Clasificación intraespecífica de 14 árboles híbridos seleccionados de cacao (*Theobroma cacao* L.), mediante análisis de conglomerados en la Estación Tulumayo. Tesis Ing. Agrónomo, Tingo María, Perú. UNAS. 86 p.

Gondard, JE. 2000. Análisis cluster. Consultado el 13 octubre, 2012. Disponible en: <http://www.Estadistico.com./crets.html>.

González-Andrés, F. 2001. La caracterización vegetal: objetivos y enfoques. En: Conservación y caracterización de recursos fitogenéticos. González-Andrés, F; Pita, R. (eds.). p. 189-198.

Hoenisberg, R. 1992. Genética de poblaciones. Ed. Geminis. Universidad de los Andes. Santa Fé de Bogotá, Colombia. s.p.

Hurst, W; Tarka, SM; Powis, TG; Valdez, F; Hester, RT. 2002. Cacao usage by the earliest Maya civilization. *Nature* 418: 289-290.

International cocoa germplasm database (ICGD).1999. University of Reading. Reading, UK. s.p.

Jain, SK. 1979. Biosystematics studies of populations in germplasm collections. In: Broadening the genetic base of crops. Zeven, AC; van Harten, AM. (eds.). Pudoc, Wageningen. p. 103-110.

Jeffers, JHR. 1962. Principal components analysis of designed experiments. *The Statistician* 12: 230-242.

Johnson, E; Bekele, F; Schnell, R. 2004. Field guide to the ICS clones of Trinidad. CRU-University of West Indians. Trinidad and Tobago. 32 p.

Johnson, E; Bekele, F; Brown, S; Zhang, D; Meinhardt, L; Schnell, R. 2009. Population structure and population and genetic diversity of the Trinitarian cacao (*Theobroma cacao* L.). *Crop Science* 49: 564-572.

July, W. 2007. Caracterización morfológica y molecular del cacao “Nacional” Boliviano y de selecciones de cacaos élites del Alto Beni, Bolivia. Tesis Mg. Scientiae, CATIE, Turrialba, Costa Rica. 88 p.

Kadow, D; Bohlmann, J; Phillips-Mora, W; Lieberei, R. 2013. Identification of main fine or flavor components in two genotypes of the cocoa tree (*Theobroma cacao* L.). *Journal of Applied Botany and Food Quality* 86: 90-98.

Lachenaud, P. 1997. Genetic/taxonomic structuring of the *Theobroma cacao* L. species - fresh hypothesis. *Ingenic Newsletter*, issue n.º 3: 10-11.

Lanaud, C; Motamayor, JC; Risterucci, AM. 2000. Implications of new insight into the genetic structure of *Theobroma cacao* L. for breeding strategies. In Proceeding of the International Workshop on New Technologies and Cocoa Breeding, 16th-17th October, 2000. Kota Kinabau, Sabath, Malaysia. p.47-64.

Laurent, V; Risterucci, A; Lanaud, C. 1993. Genetic diversity in cocoa reveled by cDNA probes. Theoretical and Applied Genetics 88: 193-198.

León, J. 1987. Botánica de los cultivos tropicales. 2 ed. IICA, San José, Costa Rica. 445 p.

Lerceteau, E; Crouzillat, D; Pétiard, V. 1993. Use of random polymorphism DNA (RAPD) and restriction fragment length polymorphism (RFLP) to evaluate to genetic variability with the *Theobroma* genus. In International Workshop on Conservation, Characterization and Utilization on Cocoa. Saint Augustine, Trinidad. p. 332-334.

Lerceteau, E; Robert, T; Pétiard, V; Crouzillat, D. 1997. Evaluation of the extent of genetic variability among *Theobroma cacao* L. accessions using RAPD and RFLP markers. Theor. Appl. Genet. 95: 10-19.

Loor, R; Amores, F. 2003. Explorando la variabilidad del cacao tipo Nacional para identificar clones elite. Revista Sabor Arriba 2 (4): 18-19.

López, O; Enríquez, G; Soria, J. 1988. Herencia del número de óvulos por ovario en *Theobroma cacao* L. Rev. Turrialba, Costa Rica, 38 (3): 163-167.

López de Castilla, C; Porras, J. 2002. Análisis multivariado con MINITAB. Vice Rectorado Académico. UNA-La Molina. Lima. 49 p.

M y O Consulting. 2008. Estudio del potencial genético del cacao en el Perú. Informe final de consultoría. Proyecto de Cooperación UE-Perú en Materia de Asistencia Técnica Relativa al Comercio - Apoyo al Programa Estratégico Nacional de Exportaciones (PENX 2003-2013). Lima. 132 p.

Marcano, M; Morales, S; Hoyer, M; Courtois, B; Glaszmann, JC; Engels, JMM; Phillips-Mora, W; Astorga, C; Risterucci, AM; Fouet, O; González, V; Rosemberg, K; Vallat, I; Dagert, M; Lanaud, C. 2009. A genome wide admixture mapping study for yield factors and morphological traits in a cultivated cocoa (*Theobroma cacao* L.) population. *Tree Genetics & Genomes* 5: 329-337.

Mayr, CE. 1974. Population species and evolution. Harvard University Press. Cambridge, Mass., USA. s.p.

Morrison, DF. 1967. Multivariate statistical methods. Mc-Graw-Hill, New York, 338 p.

Motamayor, JC; Risterucci, AM; Heath, A; Lanaud, C. 2003. Cacao domestication. 2. Progenitor germplasm of the Trinitario cacao cultivars. *Heredity* 91: 322-330.

Motamayor, JC; Lachenaud, P; da Silva e Mota, JW; Looor, R; Kuhn, D; Brown, JS; Schnell, R. 2008. Geographic and genetic population differentiation of the Amazonian chocolate tree (*Theobroma cacao* L.). *PloS One* 3(10): 1-8.

Motilal, L; Zhang, D; Umaharan, P; Boccara, M; Mischke, S; Sankar, A; Meinhardt, L. 2012. Elucidation of genetic identity and population structure of cacao germplasm within an international cacao genebank. *Plant Genetic Resources: characterization and utilization*, 10 (3): 232-241.

Norma Técnica Peruana (NTP). 2009. Análisis sensorial. NTP-ISO 6564. Indecopi. Lima. Perú. s.p.

N' Goran, JA; Laurent, V; Risterucci, A; Lanaud, C. 2000. The genetic structure of cocoa populations (*Theobroma cacao* L.) revealed by RFLP analysis. *Euphytica* 115: 83-90.

N' Goran, JA; Laurent, V; Risterucci, A; Lanaud, C. 1994. Comparative genetic diversity studies of *Theobroma cacao* L. using RFLP and RAPD markers. *Heredity* 73: 589-597.

Nosti, J. 1969. Cacao, café y té. Salvat. Barcelona, España.

Paoletti, R; Poli, A; Conti, A; Visioli, F. (eds.). 2009. The angiosperm phylogeny group: an update of the angiosperm phylogeny group classification for the orders and families of flowering plants. APG 2. Chocolate and health. Bot. J. Linn. Soc. 161:105-121.

Palaeontological Statistics (PAST). 2001. version 2.1c. s.p.

Phillips-Mora, W; Enríquez, G. 1988. Catálogo de cultivares de cacao. Programa de Mejoramiento de Cultivos Tropicales. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Boletín Técnico n.º 18. Turrialba, Costa Rica. 60 p.

Statistics Analysis System (SAS). 2013. Multivariate methods. JMP® version 11. Cary, NC, USA. 158 p.

Sneath, P; Sokal, R. 1973. Numerical taxonomy. The principles and practice of numerical classification. W.H. Freeman and Co. San Francisco, California, U.S. 573 p.

Snedecor, GW; Cochran, WG. 1967. Statistical methods. 6 ed. Iowa State University Press. Ames. Iowa. US.

Sokal, R; Sneath, P. 1963. Principles of numerical taxonomy. W.H. Freeman and Co. San Francisco. California. US. 359 p.

Soria, J; Enríquez, G. 1981. International cacao cultivar catalogue. Soria, J; Enríquez, G. (eds.). CATIE, Perennial Plants Program. Technical Bulletin. CATIE, Turrialba, Costa Rica, n.º 6. s.p.

Soria, J; Esquivel, O. 1969. Algunos resultados del programa de mejoramiento genético del cacao en el IICA-Turrialba. 2 ed. *In* International Cocoa Research Conference. Bahía, Brazil. p. 35-42

Soria, J. 1978. Principal varieties of cacao cultivated in tropical America. Cocoa Grower's Bulletin, n.º 15: 12-21.

Sukha, DA; Butler, DR. 2006. Trends on flavor profiles of the common clones for the CFC/ICCO/INIAP flavor project. Annual report, 2005. Cocoa Research Unit. The University of West Indies. St. Augustine. Trinidad and Tobago. p. 55-61.

Sukha, DA; Butler, DR; Umaharan, O; Boulton, E. 2008. The use of an optimized assessment protocol to describe and quantify different flavor attributes of cocoa liquors made from Ghanaian and Trinitarian beans. *Journal of European Food Research and Technology* 226 (3): 405-413.

Toxopeus, H. 1969. Cacao. *Theobroma cacao* L. In: Outlines of perennial crop breeding in the tropics. Ferwerda y Wit. (eds.). Wageningen, Pay-Bas. Veenman and Zonen. p. 79-109.

Wood, GA; Lass, R. 1985. Cacao. 4 ed. Londres. Royaume-Uni, Logman. 620 p.

Zhang, D; Bocara, M; Lambert, M; Butler, DR; Umaharan, P; Mischke, S; Meinhardt, L. 2008. Microsatellite variation and population structure in the Refractario cacao of Ecuador. *Conserv. Génét.* 9 : 327-337.

Zhang, D; Motilal, L. 2016. Origin, dispersal, and current global distribution of cacao genetic diversity. Chapter 1. Bailey, BA; Meinhardt, LW. (eds.). Cacao diseases. Switzerland. Springer International Publishing. p. 3-31.

VIII. ANEXOS

ANEXO 1.

Croquis del Banco de genes de cacao de la Universidad Nacional Agraria de la Selva-Tingo María.



ANEXO 2.

Formato de evaluación sensorial usado para la caracterización organoléptica de la semilla fresca de cacao.

SABORES BÁSICOS	INTENSIDAD DEL ATRIBUTO				
	Muy bajo(1)	Bajo (2)	Intermedio (3)	Fuerte (4)	Muy fuerte(5)
Dulzura					
Acidez					
Astringencia					
Amargor					
SABORES ESPECIFICOS	INTENSIDAD DEL ATRIBUTO				
	Muy bajo(1)	Bajo (2)	Intermedio (3)	Fuerte (4)	Muy fuerte(5)
Floral					
Frutal					

ANEXO 3.

Resultados de la caracterización morfológica de flores de 46 accesiones de cacao de la colección Internacional.

CLON	ABO	OSE	COP	ALP	AFE	ASO	NOO	COG
ICS1	1	2	3	0	0	1	2	0
ICS6	1	2	1	1	0	0	2	0
ICS8	1	2	3	1	1	0	2	0
ICS39	0	2	3	0	0	0	1	1
ICS60	1	2	3	0	0	0	1	0
ICS78	1	1	2	0	0	1	1	0
ICS95	1	1	3	0	0	1	1	0
ICS98	1	2	3	1	0	1	1	0
UF29	1	1	2	1	1	0	2	0
UF296	1	2	3	1	0	1	1	0
UF613	1	1	3	1	1	1	2	1
UF650	1	2	3	1	0	1	1	0
UF667	1	2	3	1	0	0	1	1
UF676	1	2	2	0	0	0	1	0
SCA6	0	1	1	0	0	0	2	1
SCA12	0	1	1	0	0	0	2	1
P7	0	1	2	1	1	0	2	1
P12	0	1	1	1	1	0	2	1
IMC51	0	1	2	1	1	0	3	1
IMC67	1	1	2	1	1	0	3	1
NA33	1	1	2	0	1	0	2	1
NA727	0	1	2	1	0	1	2	1
PA150	0	2	1	1	1	0	2	1
PA167	0	1	2	1	0	0	2	1
PA310	0	1	2	0	1	0	1	0
CAT	0	2	1	0	0	0	2	0
CATxIMC67	1	2	2	1	1	0	2	0
P12xCAT	0	2	2	1	1	0	2	1
EET19	1	1	3	1	1	0	1	0
EET48	1	1	2	1	1	0	2	0
EET62	1	1	2	1	1	0	2	1
EET95	1	1	2	1	1	0	2	0
EET96	1	1	2	1	1	0	2	0
EET103	1	1	2	1	1	0	1	0
EET228	1	1	3	0	1	0	2	0
EET233	0	1	2	0	0	0	2	1
EET400	0	1	1	0	0	0	2	1
CCN51	1	2	3	0	0	1	3	0
TSH565	1	2	3	0	0	1	2	1
PAN1	1	1	3	1	1	0	2	0
CC42	1	1	2	1	1	0	1	0
LIT1	0	1	2	0	1	0	1	0
IAC1	0	2	3	1	0	0	2	1
ROS9	1	2	3	0	0	1	1	0
GS36	1	2	3	1	0	1	1	0
SC6	1	1	3	0	0	0	1	0

ABF = Antocianina en el botón floral.

COP= Color del pedúnculo floral

AFE = Antocianina en el filamento estaminal

NOO = Número óvulos por ovario

OSE= Orientación de los sépalos

ALP = Antocianina en la lígula del pétalo.

ASO = Antocianina en la parte superior del ovario

COG = Compatibilidad genética

ANEXO 4.

Resultados de la caracterización morfológica de frutos de 46 accesiones de cacao de la colección Internacional.

CLON	FBF	CBF	FAF	RUF	SLF	PSF	CIF
ICS1	2	1	3	3	3	5	3
ICS6	2	1	5	3	3	5	1
ICS8	2	1	3	3	3	3	1
ICS39	1	2	2	5	1	5	2
ICS60	2	2	2	5	3	5	1
ICS78	1	1	2	5	1	5	1
ICS95	1	1	2	3	3	5	3
ICS98	1	1	2	3	3	5	3
UF29	2	1	3	5	3	5	1
UF296	2	2	3	3	3	5	3
UF613	2	2	2	3	5	5	3
UF650	2	1	2	3	3	5	3
UF667	2	0	2	5	1	3	3
UF676	2	1	2	5	3	5	1
SCA6	2	1	1	3	3	5	1
SCA12	2	1	1	3	3	5	1
P7	2	0	3	5	3	5	1
P12	1	0	3	5	3	5	1
IMC51	2	1	3	3	3	5	1
IMC67	1	1	1	3	3	3	1
NA33	2	1	3	5	3	5	1
NA727	2	1	3	5	1	3	1
PA150	2	2	2	5	3	5	2
PA167	2	2	3	3	3	3	2
PA310	2	2	3	3	1	5	1
CAT	2	0	3	0	1	3	1
CATxIMC67	2	1	3	0	1	3	1
P12xCAT	2	0	3	0	1	3	1
EET19	2	1	2	5	1	5	2
EET48	2	1	3	3	1	5	2
EET62	2	0	3	3	3	5	2
EET95	2	1	3	3	1	5	1
EET96	2	0	3	5	3	5	2
EET103	2	2	3	5	1	5	1
EET228	1	2	1	5	1	5	2
EET233	3	1	3	5	3	5	2
EET400	2	1	3	5	1	5	1
CCN51	1	1	1	7	3	7	3
TSH565	1	1	3	5	1	5	3
PAN1	1	2	1	3	1	3	2
CC42	2	0	5	3	1	3	1
LIT1	2	0	3	3	1	3	1
IAC1	1	0	3	5	3	5	2
ROS9	1	2	2	5	1	5	2
GS36	2	1	2	5	1	5	3
SC6	2	2	2	3	1	5	3

FBF = Forma básica del fruto
 FAF = Forma del ápice del fruto
 SPL = Separación de un par de lomos
 CFI = Color del fruto inmaduro

CBF = Constricción de la base del fruto
 RUF = Rugosidad de la superficie del fruto
 PSP = Profundidad de los surcos primarios

ANEXO 5.

Resultados de la caracterización morfo-organoléptica de semillas de 46 accesiones de cacao de la colección Internacional.

CLON	FLS	FTS	CCS	DUL	ACI	AST	AMA	FLO	FRU
ICS1	3	3	5	3	3	2	3	1	3
ICS6	3	1	5	3	2	2	3	1	3
ICS8	3	3	5	2	3	2	3	1	2
ICS39	1	3	3	2	4	3	3	0	2
ICS60	3	3	3	2	3	2	3	1	3
ICS78	3	1	5	2	3	3	3	0	2
ICS95	3	3	5	2	2	2	2	1	2
ICS98	5	3	5	2	3	2	3	1	2
UF29	3	3	5	3	2	2	3	1	3
UF296	5	3	5	3	2	2	3	2	3
UF613	3	1	5	3	3	3	4	1	2
UF650	3	3	5	2	3	3	3	1	3
UF667	3	3	5	3	3	3	3	1	3
UF676	3	3	5	3	2	1	2	1	3
SCA6	3	1	5	4	1	1	2	2	3
SCA12	3	1	5	3	2	1	2	1	3
P7	3	1	5	2	2	1	3	0	2
P12	1	1	5	3	2	1	3	0	2
IMC51	3	1	3	3	2	2	3	1	3
IMC67	1	1	5	3	2	2	3	1	3
NA33	3	1	5	3	2	1	3	1	3
NA727	3	3	3	3	2	1	2	1	3
PA150	3	3	5	3	2	1	2	1	3
PA167	3	3	5	2	3	2	2	1	3
PA310	3	3	5	3	2	2	2	1	3
CAT	7	1	1	3	3	3	2	0	3
CATxIMC67	5	1	5	3	2	2	2	1	3
P12xCAT	5	1	5	3	3	2	2	0	2
EET19	7	3	3	3	2	2	3	3	2
EET48	5	3	5	3	2	2	3	3	3
EET62	7	3	5	3	2	2	3	3	3
EET95	7	1	5	2	3	2	2	3	2
EET96	5	3	5	3	2	2	3	3	3
EET103	7	3	5	3	2	2	3	1	3
EET228	1	3	5	2	3	2	3	1	2
EET233	5	1	5	3	3	2	2	1	2
EET400	3	3	5	3	2	2	3	2	3
CCN51	3	3	5	2	3	3	4	1	2
TSH565	1	3	3	2	3	2	2	2	3
PAN1	7	1	3	3	2	1	2	1	3
CC42	3	1	3	2	2	2	2	1	2
LIT1	3	3	3	3	2	2	3	1	3
IAC1	3	1	5	3	2	1	2	1	2
ROS9	3	3	5	3	3	2	3	1	3
GS36	3	3	3	3	2	1	3	1	2
SC6	7	1	5	3	3	2	3	1	2

FLS = Forma de la semilla en sección longitudinal
 CCS = Color de cotiledones de la semilla
 ACI = Acidez
 AMA = Amargor
 FRU = Frutal

FTS = Forma de la semilla en sección transversal
 DUL = Dulzura
 AST = Astringencia
 FLO = Floral

ANEXO 6.

Resultados del conteo del número de óvulos por ovario de 46 accesiones de cacao de la colección Internacional.

CLON	Flor 1	Flor 2	Flor 3	Flor 4	PROMEDIO
ICS1	46	48	47	45	47
ICS6	52	47	50	48	49
ICS8	48	49	47	45	47
ICS39	45	42	43	45	44
ICS60	44	47	43	45	45
ICS78	45	44	41	41	43
ICS95	42	42	44	39	42
ICS98	45	43	43	46	44
UF29	49	45	46	49	47
UF296	44	42	43	47	44
UF613	47	45	46	48	46
UF650	40	41	38	43	40
UF667	42	45	39	43	42
UF676	46	42	44	45	44
SCA6	57	54	58	54	56
SCA12	56	53	52	57	54
P7	53	56	54	57	55
P12	52	53	55	54	54
IMC51	56	58	60	55	57
IMC67	63	59	65	60	62
NA33	52	47	47	49	49
NA727	47	49	48	45	47
PA150	46	51	47	49	48
CLON	Flor 1	Flor 2	Flor 3	Flor 4	PROMEDIO
PA167	50	47	46	49	48
PA310	36	40	38	34	37
CAT	47	52	48	45	48
CATxIMC67	50	47	49	53	50
P12xCAT	51	53	55	52	53
EET19	41	42	45	39	42
EET48	45	49	49	46	47
EET62	52	50	47	49	50
EET95	49	53	52	55	52
EET96	52	49	51	50	50
EET103	41	45	44	43	43
EET228	38	50	53	53	51
EET233	55	56	52	58	55
EET400	50	47	49	46	48
CCN51	56	58	61	55	57
TSH565	52	49	53	53	52
PAN1	54	52	52	56	54
CC42	42	45	39	42	42
LIT1	38	42	43	40	41
IAC1	51	48	47	53	50
ROS9	44	42	40	45	43
GS36	45	38	44	40	42
SC6	47	44	45	44	45

ANEXO 7.

Matriz de coeficientes de similaridad y de distancia euclidiana de 46 accesiones de cacao de la colección Internacional.

ACCESION	ICS1	ICS6	ICS8	ICS39	ICS60	ICS78	ICS95	ICS98	UF29	UF296	UF613	UF650	UF667	UF676	SCA6	SCA12	P7	P12	IMC51	IMC67	NA33	NA727	PA150
ICS1	0,000	4,359	3,606	5,385	4,123	5,000	2,828	3,162	3,742	3,000	4,123	2,236	4,359	3,873	5,568	5,292	5,000	5,385	4,796	5,568	4,359	5,292	4,359
ICS6	4,359	0,000	4,472	6,928	5,477	5,292	5,385	5,568	3,873	4,899	5,477	5,099	6,164	4,690	5,292	5,196	4,243	4,690	4,000	5,657	3,742	5,568	4,899
ICS8	3,606	4,472	0,000	5,657	4,243	5,099	4,123	4,123	3,606	4,472	4,899	3,742	4,472	4,243	6,000	5,745	4,472	5,099	4,690	4,690	4,472	4,796	4,690
ICS39	5,385	6,928	5,657	0,000	4,000	4,472	5,385	6,083	5,568	6,782	6,633	5,099	4,899	5,477	7,616	7,280	6,000	5,657	6,164	6,481	6,000	5,385	5,657
ICS60	4,123	5,477	4,243	4,000	0,000	4,472	4,359	4,583	3,606	4,690	5,477	4,000	4,899	3,162	6,000	5,745	4,899	5,477	4,899	6,000	4,243	4,583	4,243
ICS78	5,000	5,292	5,099	4,472	4,472	0,000	4,583	5,000	4,359	5,831	5,831	4,690	4,690	4,472	6,164	5,916	4,243	4,690	5,477	5,657	4,243	5,196	5,292
ICS95	2,828	5,385	4,123	5,385	4,359	4,583	0,000	2,828	4,243	3,606	4,583	2,646	4,796	3,873	5,385	5,292	5,000	5,385	5,385	5,568	4,796	5,477	4,583
ICS98	3,162	5,568	4,123	6,083	4,583	5,000	2,828	0,000	4,690	2,646	4,583	2,646	4,796	4,583	6,245	6,000	5,385	6,403	5,745	6,557	5,385	6,000	5,000
UF29	3,742	3,873	3,606	5,568	3,606	4,359	4,243	4,690	0,000	4,359	5,000	4,123	4,583	2,646	5,000	4,899	3,317	3,873	4,123	5,000	2,646	4,243	3,000
UF296	3,000	4,899	4,472	6,782	4,690	5,831	3,606	2,646	4,359	0,000	4,690	3,162	5,099	4,472	5,657	5,568	5,831	6,782	5,292	6,633	5,099	5,745	4,690
UF613	4,123	5,477	4,899	6,633	5,477	5,831	4,583	4,583	5,000	4,690	0,000	4,000	6,164	5,831	6,000	5,745	5,292	5,657	4,690	5,099	4,899	7,141	5,477
UF650	2,236	5,099	3,742	5,099	4,000	4,690	2,646	2,646	4,123	3,162	4,000	0,000	4,000	4,243	6,000	5,745	5,292	5,831	5,099	5,477	5,099	5,745	4,690
UF667	4,359	6,164	4,472	4,899	4,899	4,690	4,796	4,796	4,583	5,099	6,164	4,000	0,000	4,690	6,633	6,403	5,477	5,831	6,000	5,657	5,292	4,583	5,099
UF676	3,873	4,690	4,243	5,477	3,162	4,472	3,873	4,583	2,646	4,472	5,831	4,243	4,690	0,000	4,472	4,359	4,000	4,472	5,292	5,657	3,162	4,359	2,828
SCA6	5,568	5,292	6,000	7,616	6,000	6,164	5,385	6,245	5,000	5,657	6,000	6,000	6,633	4,472	0,000	1,000	5,292	5,477	4,472	4,690	4,243	5,745	4,472
SCA12	5,292	5,196	5,745	7,280	5,745	5,916	5,292	6,000	4,899	5,568	5,745	5,745	6,403	4,359	1,000	0,000	5,196	5,385	4,359	4,583	4,123	5,657	4,359
P7	5,000	4,243	4,472	6,000	4,899	4,243	5,000	5,385	3,317	5,831	5,292	5,292	5,477	4,000	5,292	5,196	0,000	2,450	4,472	5,477	2,450	4,796	4,000
P12	5,385	4,690	5,099	5,657	5,477	4,690	5,385	6,403	3,873	6,782	5,657	5,831	5,831	4,472	5,477	5,385	2,450	0,000	4,899	4,899	3,162	5,196	4,472
IMC51	4,796	4,000	4,690	6,164	4,899	5,477	5,385	5,745	4,123	5,292	4,690	5,099	6,000	5,292	4,472	4,359	4,472	4,899	0,000	4,243	4,000	5,000	4,899
IMC67	5,568	5,657	4,690	6,481	6,000	5,657	5,568	6,557	5,000	6,633	5,099	5,477	5,657	5,657	4,690	4,583	5,477	4,899	4,243	0,000	4,899	5,916	5,477
NA33	4,359	3,742	4,472	6,000	4,243	4,243	4,796	5,385	2,646	5,099	4,899	5,099	5,292	3,162	4,243	4,123	2,450	3,162	4,000	4,899	0,000	4,583	3,464
NA727	5,292	5,568	4,796	5,385	4,583	5,196	5,477	6,000	4,243	5,745	7,141	5,745	4,583	4,359	5,745	5,657	4,796	5,196	5,000	5,916	4,583	0,000	4,359
PA150	4,359	4,899	4,690	5,657	4,243	5,292	4,583	5,000	3,000	4,690	5,477	4,690	5,099	2,828	4,472	4,359	4,000	4,472	4,899	5,477	3,464	4,359	0,000

ANEXO 7.

“... continuación”

ACCESION	PA167	PA310	CAT	CATxIMC67	P12xCAT	EET19	EET48	EET62	EET95	EET96	EET103	EET228	EET233	EET400	CCN51	TSH565	PAN	CC42	LIT1	IAC1	ROS9	GS36	SC6
ICS1	3,742	4,123	7,416	6,000	6,245	6,403	4,359	5,385	6,325	4,472	6,000	4,899	4,583	4,690	5,477	4,583	6,782	5,916	4,899	4,359	3,606	4,243	5,477
ICS6	4,583	4,472	6,928	5,385	5,831	7,349	4,899	5,831	5,916	5,000	6,083	6,708	4,690	4,583	7,550	6,325	7,416	4,472	5,196	4,472	5,657	6,083	6,557
ICS8	3,000	4,243	7,071	5,196	5,292	6,481	4,690	5,657	5,916	4,796	5,916	5,000	5,099	5,000	6,856	5,657	6,403	4,690	4,123	4,690	4,690	5,196	6,245
ICS39	5,568	5,292	8,367	8,660	8,246	7,616	7,071	8,718	8,426	7,280	7,550	3,606	6,481	5,385	5,745	3,742	8,185	6,633	5,568	5,831	4,000	4,583	7,550
ICS60	4,583	4,472	7,746	7,416	7,746	5,657	5,477	6,481	6,708	5,000	5,568	4,359	4,899	4,583	5,196	4,472	6,557	6,000	4,796	4,899	3,464	3,873	6,245
ICS78	5,385	4,472	7,746	7,000	6,782	6,481	5,657	7,071	6,083	5,745	5,568	4,123	4,690	4,359	5,385	5,292	6,708	5,477	5,196	4,690	3,464	4,796	5,568
ICS95	4,000	4,123	7,810	6,325	6,557	6,245	4,796	5,745	6,325	4,899	6,164	4,472	5,000	5,099	5,657	4,796	6,481	5,916	5,099	4,359	3,873	4,243	5,477
ICS98	4,472	5,000	7,550	6,000	6,083	5,196	4,359	4,583	5,292	4,472	5,099	5,657	4,796	5,657	5,657	5,916	5,657	6,403	5,657	4,796	4,123	4,472	4,243
UF29	4,000	3,606	8,185	6,633	7,000	5,745	4,123	5,196	6,000	3,162	4,690	4,472	4,123	3,162	5,292	5,196	6,782	5,385	4,472	3,873	3,873	4,472	6,325
UF296	4,359	4,472	7,746	5,568	6,481	4,899	3,464	4,000	5,196	3,873	4,583	6,245	4,690	5,196	6,403	6,000	5,745	6,325	5,568	5,099	4,243	4,583	4,359
UF613	5,000	6,164	8,602	7,141	7,211	7,483	6,164	6,325	7,141	5,745	7,280	6,083	5,099	6,557	6,083	6,782	7,416	7,211	6,856	5,292	5,831	6,245	6,245
UF650	3,873	4,472	7,616	6,245	6,481	6,325	4,690	5,657	6,403	4,796	6,083	4,796	5,099	5,196	5,385	4,899	6,856	6,164	5,196	4,899	3,742	4,359	5,568
UF667	4,583	5,099	8,000	6,856	6,782	6,000	5,099	6,325	6,856	5,000	5,916	4,796	5,292	4,583	6,083	4,690	6,708	5,831	4,583	4,899	3,742	4,123	6,083
UF676	4,359	3,742	8,246	6,856	7,211	6,000	4,899	5,831	6,403	4,123	5,196	4,583	4,243	3,606	5,568	5,099	6,708	6,000	4,796	3,742	3,464	4,123	6,245
SCA6	5,385	4,899	7,874	5,916	6,782	6,928	5,099	5,831	6,245	5,196	6,856	6,403	5,099	4,583	7,681	6,782	6,708	6,782	5,745	4,899	6,000	6,245	6,708
SCA12	5,099	4,796	7,681	5,831	6,557	6,856	5,000	5,745	6,000	5,099	6,782	6,164	4,796	4,472	7,483	6,557	6,633	6,708	5,657	4,796	5,745	6,164	6,481
P7	4,796	4,899	8,124	7,000	6,481	6,782	5,657	6,164	6,245	4,796	5,916	5,385	3,742	4,359	6,083	6,000	7,000	5,099	5,196	2,828	5,292	5,196	6,557
P12	5,385	5,292	8,832	7,810	7,349	8,124	6,633	7,616	7,810	5,916	7,416	5,000	5,292	4,796	6,403	5,657	8,185	5,657	5,568	3,162	5,477	5,568	7,937
IMC51	4,583	4,690	6,164	5,568	6,000	6,325	4,690	5,477	5,745	4,796	6,403	6,083	4,690	4,583	7,000	5,657	6,403	4,899	4,583	4,690	5,831	5,745	6,557
IMC67	4,796	5,657	8,000	6,245	6,782	8,246	6,164	7,349	7,550	6,245	8,062	5,196	6,481	5,568	7,416	6,164	7,416	6,325	5,568	5,477	6,000	6,708	7,937
NA33	4,583	4,243	8,124	6,557	6,782	6,325	4,899	5,657	5,916	4,123	5,385	5,000	3,464	3,606	5,916	5,477	6,557	5,292	5,000	3,162	4,472	5,000	6,083
NA727	4,243	4,359	7,000	6,633	6,708	5,916	5,196	6,557	6,633	5,292	5,657	5,477	5,196	3,742	7,349	4,583	6,000	4,583	3,464	4,796	4,583	4,000	6,928
PA150	3,873	4,000	8,485	7,000	7,211	6,325	4,899	5,831	6,557	4,359	5,385	4,796	4,243	3,606	5,745	5,292	6,708	6,481	5,385	4,000	4,243	4,583	6,557

ANEXO 7.

“... continuación”

ACCESION	PA167	PA310	CAT	CATxIMC67	P12xCAT	EET19	EET48	EET62	EET95	EET96	EET103	EET228	EET233	EET400	CCN51	TSH565	PAN	CC42	LIT1	IAC1	ROS9	GS36	SC6
PA167	0,000	3,873	7,000	5,477	5,568	6,856	4,796	5,745	6,164	5,099	6,000	5,292	4,583	4,472	7,211	5,385	6,325	5,196	4,472	4,796	4,796	5,477	6,164
PA310	3,873	0,000	6,928	5,196	5,657	6,000	3,742	5,831	5,568	5,000	4,796	4,583	4,899	3,317	7,141	5,292	6,245	4,899	3,606	5,099	3,742	4,796	5,568
CAT	7,000	6,928	0,000	5,196	4,690	8,124	7,211	7,746	7,141	8,426	8,185	9,327	7,616	7,937	10,817	8,485	6,403	5,657	5,385	8,246	8,367	7,937	7,280
CATxIMC67	5,477	5,196	5,196	0,000	3,000	7,000	4,583	5,568	4,690	6,481	6,481	8,000	6,557	6,633	10,000	8,062	5,292	5,196	5,292	6,856	7,000	7,349	5,657
P12xCAT	5,568	5,657	4,690	3,000	0,000	7,746	5,831	6,325	5,568	7,280	7,000	8,185	6,325	7,000	10,050	8,367	5,916	5,292	5,385	6,633	7,349	7,550	5,916
EET19	6,856	6,000	8,124	7,000	7,746	0,000	4,000	4,243	4,359	4,123	3,606	7,141	5,477	5,745	7,141	7,071	4,796	6,782	5,916	6,481	5,657	5,000	4,583
EET48	4,796	3,742	7,211	4,583	5,831	4,000	0,000	3,162	3,606	3,000	3,873	5,916	4,899	3,873	7,000	6,000	5,385	5,477	4,583	5,477	4,690	5,000	4,583
EET62	5,745	5,831	7,746	5,568	6,325	4,243	3,162	0,000	3,873	3,000	4,359	7,937	4,899	5,568	7,681	7,746	5,745	6,782	6,083	6,000	6,481	6,557	5,000
EET95	6,164	5,568	7,141	4,690	5,568	4,359	3,606	3,873	0,000	4,690	4,243	7,616	4,796	5,831	8,246	7,810	4,899	5,916	6,325	6,245	6,403	6,782	4,000
EET96	5,099	5,000	8,426	6,481	7,280	4,123	3,000	3,000	4,690	0,000	4,243	6,164	4,123	4,000	5,831	6,083	6,325	6,083	5,292	4,583	5,000	5,099	5,657
EET103	6,000	4,796	8,185	6,481	7,000	3,606	3,873	4,359	4,243	4,243	0,000	6,928	4,796	4,899	7,211	7,550	5,099	6,557	5,831	6,245	5,000	5,657	4,243
EET228	5,292	4,583	9,327	8,000	8,185	7,141	5,916	7,937	7,616	6,164	6,928	0,000	6,245	4,690	4,899	4,123	7,616	6,856	5,657	5,385	3,317	4,472	7,071
EET233	4,583	4,899	7,616	6,557	6,325	5,477	4,899	4,899	4,796	4,123	4,796	6,245	0,000	4,359	6,083	6,325	6,083	5,831	5,745	3,742	5,099	5,385	4,583
EET400	4,472	3,317	7,937	6,633	7,000	5,745	3,873	5,568	5,831	4,000	4,899	4,690	4,359	0,000	6,000	4,796	7,071	5,568	4,243	4,583	3,873	4,690	6,325
CCN51	7,211	7,141	10,817	10,000	10,050	7,141	7,000	7,681	8,246	5,831	7,211	4,899	6,083	6,000	0,000	5,745	8,832	9,000	8,000	5,745	4,796	5,477	7,483
TSH565	5,385	5,292	8,485	8,062	8,367	7,071	6,000	7,746	7,810	6,083	7,550	4,123	6,325	4,796	5,745	0,000	7,937	6,000	5,385	5,099	4,000	3,873	7,681
PAN	6,325	6,245	6,403	5,292	5,916	4,796	5,385	5,745	4,899	6,325	5,099	7,616	6,083	7,071	8,832	7,937	0,000	6,557	6,000	6,708	6,403	6,164	4,243
CC42	5,196	4,899	5,657	5,196	5,292	6,782	5,477	6,782	5,916	6,083	6,557	6,856	5,831	5,568	9,000	6,000	6,557	0,000	3,606	5,477	6,325	5,745	6,856
LIT1	4,472	3,606	5,385	5,292	5,385	5,916	4,583	6,083	6,325	5,292	5,831	5,657	5,745	4,243	8,000	5,385	6,000	3,606	0,000	5,568	5,000	4,690	6,481
IAC1	4,796	5,099	8,246	6,856	6,633	6,481	5,477	6,000	6,245	4,583	6,245	5,385	3,742	4,583	5,745	5,099	6,708	5,477	5,568	0,000	4,690	4,583	6,245
ROS9	4,796	3,742	8,367	7,000	7,349	5,657	4,690	6,481	6,403	5,000	5,000	3,317	5,099	3,873	4,796	4,000	6,403	6,325	5,000	4,690	0,000	3,317	5,385
GS36	5,477	4,796	7,937	7,349	7,550	5,000	5,000	6,557	6,782	5,099	5,657	4,472	5,385	4,690	5,477	3,873	6,164	5,745	4,690	4,583	3,317	0,000	5,831
SC6	6,164	5,568	7,280	5,657	5,916	4,583	4,583	5,000	4,000	5,657	4,243	7,071	4,583	6,325	7,483	7,681	4,243	6,856	6,481	6,245	5,385	5,831	0,000

ANEXO 8.

Fotografías de los frutos de las 46 accesiones de cacao de la colección Internacional.



ICS1

ICS6

ICS8

ICS39

ICS60

ICS78

ICS95

ICS98



UF29

UF296

UF613

ICS650

UF667

UF676

SCA6

SCA12

ANEXO 8.

“... continuación”



P7



P12



IMC51



IMC67



NA33



NA727



PA150



PA167



PA310



CAT4



CATxIMC67



P12xCAT



EET19



EET48



EET62



EET95

ANEXO 8.

“... continuación”



EET96



EET103



EET228



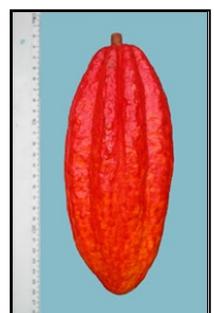
EET233



EET400



CCN51



TSH565



PAN



CC42



LIT1



IAC1



ROS9



GS36



SC6