

**International Symposium on Cocoa Research (ISCR),  
Lima, Perú, 13-17 November 2017**

**CLASIFICACIÓN INTRAESPECÍFICA DE 14 ÁRBOLES HÍBRIDOS SELECCIONADOS DE  
CACAO (*Theobroma cacao* L.) MEDIANTE ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS EN  
TULUMAYO.**

**P.V. García<sup>1</sup> y L.F. García<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Consultor de Cacao, Lima-Perú.

<sup>2</sup> Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María-Perú.

### **RESUMEN**

Con el objeto de caracterizar morfológicamente y clasificar taxonómicamente 14 árboles híbridos de cacao mediante el análisis de conglomerados, se llevó a cabo un ensayo en el Centro de Investigación y Producción Tulumayo, perteneciente a la Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María-Perú. Se estudió 14 genotipos de cacao usando 15 descriptores morfológicos de flores, frutos y semillas (14 cualitativos y 1 cuantitativo), de la lista de descriptores de la Universidad de las Indias Occidentales (Trinidad y Tobago). Sólo para el número de óvulos/ovario (NOO), se utilizó la media, desviación estándar y el coeficiente de variación. Para el análisis de conglomerados, se eligió la distancia euclidiana, el método del ligamiento promedio, y la correlación cofenética, utilizando el programa PAST, v. 1.43. La caracterización morfológica de flores mostró una variación fenotípica de ligera a moderada; en cambio, para el NOO, la variación fue amplia. En los caracteres morfológicos de frutos y semillas se observó una mayor variabilidad cuyo polimorfismo dependió del carácter evaluado. Se formaron 3 grupos (I, II y III) y 1 entidad independiente a un nivel de afinidad de 1.0; siendo los grupos: ICS 95 x POUND 7, 20 con ICS 95 x ICS 6, 14; ICS 95 x U 58, 16 con U 68 x ICS 6, 11; IMC 67 x ICS 95, 1 con H 12 x ICS 6, 6; quienes exhibieron las menores distancias y mayores similitudes taxonómicas. Se sugiere complementar la clasificación taxonómica con una técnica de ordenación.

**Palabras claves:** Cacao, árboles híbridos, caracterización morfológica, análisis de conglomerados, clasificación intraespecífica.

### **INTRODUCCIÓN**

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es una especie originaria de los bosques tropicales húmedos de América del Sur, que se caracteriza por su amplia diversidad genética a nivel silvestre como cultivado. La estrecha base genética con que se iniciaron los programas de mejoramiento genético del cacao, constituyó un serio obstáculo para el desarrollo de germoplasma élite, caracterizado y evaluado. La identificación y utilización de genotipos genéticamente divergentes es una estrategia eficaz para ampliar su base genética. La caracterización morfológica ha sido usada para evaluar la variabilidad fenotípica entre cultivares de cacao. Los caracteres cuantitativos, tienen la desventaja de que se expresan a la madurez y son influenciados por el ambiente. En cambio, los caracteres cualitativos, por ser muy discriminativos y altamente heredables, facilitan la identificación y diferenciación de cultivares. La taxonomía numérica a través del análisis de conglomerados, facilita el manejo de una gran cantidad de datos permitiendo la clasificación intra e interespecífica del germoplasma; así como, una mejor orientación en el planeamiento de cruzamientos futuros. Vista la necesidad de obtener información sobre la expresión fenotípica y similitud fenética entre genotipos promisorios de cacao en Tulumayo, se planteó el presente estudio con el objetivo de caracterizar morfológicamente y agrupar taxonómicamente 14 árboles híbridos de cacao.

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

Se utilizaron 14 muestras (árboles híbridos seleccionados): I-1,14; I-6,13; I-8,18; I-12,12; I-14,20; I-15,1; I-17,1; M-1,6; M-6,16; M-8,11; M-11,5; M-17,18; M-18,16 y M-18,18.

Se registraron 15 descriptores morfológicos de flores, frutos y semillas (14 cualitativos y 1 cuantitativo), con sus estados y codificación. Sólo para el carácter cuantitativo se utilizaron estadísticos de tendencia central (promedio) y de dispersión (desviación estándar y coeficiente de variación).

#### **Descriptores de flores (6)**

Antocianina en el botón floral (ABF):	0 = ausente, 1 = presente
Antocianina en la lígula del pétalo (ALP):	0 = ausente, 1 = presente
Antocianina en el filamento estaminal (AFE):	0 = ausente, 1 = presente

Antocianina en la parte superior del ovario (ASO): 0 = ausente, 1 = presente  
Compatibilidad genética (COG): 0 = autocompatible, 1 = autoincompatible  
Número de óvulos/ovario (NOO):  
1 = bajo (< 50 óvulos/ovario), 2 = intermedio (51 - 55 óvulos/ovario), 3 = alto (> 55 óvulos/ovario).

### **Descriptores de fruto (7)**

Color del fruto inmaduro (CFI):  
0 = verde, 2 = verde pigmentado, 3 = rojo  
Forma del fruto (FOF):  
1 = oblongo, 2 = elíptico, 3 = abovado, 4 = esférico, 5 = otro.  
Forma del ápice del fruto (FAF):  
1 = atenuado, 2 = agudo, 3 = obtuso, 4 = redondeado, 5 = apezonado, 6 = dentado.  
Rugosidad del fruto (RUF):  
0 = ausente, 3 = ligero, 5 = intermedio, 7 = fuerte.  
Constricción basal del fruto (CBF):  
0 = ausente, 1 = ligera, 2 = intermedia, 3 = fuerte, 4 = muy fuerte.  
Profundidad de surcos primarios (PSP):  
3 = superficial, 5 = intermedio, 7 = profundo.  
Separación de un par de lomos (SPL):  
0 = fusionados, 3 = ligera, 5 = intermedia, 7 = separados.

### **Descriptores de semilla (2)**

Forma de la semilla en sección longitudinal (FSL): 1 = oblonga, 2 = elíptica, 3 = ovada.  
Forma de la semilla en sección transversal (FST): 1 = aplanada, 3 = intermedia, 5 = redondeada.

### **Análisis de conglomerados**

Con los resultados obtenidos en cada descriptor se elaboró una matriz básica de datos (MBD) de 14 x 15 (UTOs x variables), respectivamente. Luego, los datos fueron estandarizados; se eligió la distancia euclidiana como medida de disimilaridad; el método del promedio aritmético no ponderado de grupos pareados (UPGMA, en inglés), para generar el dendrograma, y la correlación cofenética (CCC). El procesamiento automatizado de datos se realizó con el software PAST (PALaeontological STatistics, ver. 1.43, 2006).

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **De las flores.**

Con relación al carácter: presencia/ausencia de antocianina, se observó que para el descriptor ABF, los progenitores Trinitarios (ICS 95 y UF 613) y sus cruza, estarían aportando el alelo(s) para la pigmentación; más no así los progenitores Forasteros Alto Amazónicos (IMC 67, POUND 7 y U 68), deduciéndose una supuesta dominancia de la pigmentación sobre la no pigmentación. Este mismo carácter en el descriptor ALP, tampoco estaría ligado al origen o grupo genético de los progenitores, atribuyéndose su segregación a interacciones interalélicas u otros mecanismos genéticos que controlan la expresión de este carácter. De modo similar sucedería con el descriptor AFE, con excepción de los árboles híbridos: IMC 67 x ICS 95; 1, H 12 x ICS 6; 6, e IMC 67 x U 68; 18, que sí exhibieron la pigmentación antociánica. En el resto de los árboles híbridos estuvo ausente, independientemente del origen genético de los progenitores (Trinitarios, Forasteros Alto Amazónicos, segregantes del grupo Nacional, etc). La predominancia de la ausencia de antocianinas en los genotipos estudiados, se atribuiría por un lado, a un control genético independiente de otras partes florales, y en segundo lugar, a la probable dominancia de la ausencia sobre la presencia de antocianinas. La aseveración anterior también puede aplicarse al descriptor ASO, donde la presencia/ausencia de antocianinas, no parece depender del origen o grupo genético de los progenitores.

El descriptor COG, las respuestas: autocompatible o autoincompatible, se podría atribuir, además del origen genético de los progenitores, al sistema genético combinado (alelismo múltiple + genes complementarios y otros genes) que controlarían este carácter. Si bien se reporta que existen muchos clones Trinitarios (ICS 1, ICS 6, ICS 95, etc) autocompatibles y clones Forasteros Alto Amazónicos (IMC 67, POUND 7, SCA 6, etc) que son autoincompatibles; es posible encontrar genotipos autoincompatibles y autocompatibles en éstos grupos germoplásmicos.

La amplia variabilidad de los resultados con el descriptor NOO, se puede atribuir por un lado, al origen de sus progenitores y por otro, a la acción aditiva de sus genes. Aunque este carácter es cuantitativo, su estabilidad se debe a su alta heredabilidad.

Los árboles híbridos: I-8,18 (IMC 67 x UF 613; 18) y M-18,18 (IMC 67 x U 68; 18) que tienen como progenitor femenino al clon IMC 67 (Forastero Alto Amazónico) y el árbol híbrido M-17,18 (U 68 x ICS 95; 18) cuyo progenitor femenino (U 68) es también Forastero Alto Amazónico, mostraron los más altos valores de NOO en las cruces: Forasteros x Forasteros y Forasteros x Trinitarios. Estos resultados se apoyan de lo reportado por Esquivel y Soria, 1962 citado por LÓPEZ *et al.* 1988, quienes confirmaron que los valores más altos del NOO corresponden a clones del grupo Forastero Alto Amazónico y los más bajos, a clones del grupo Criollo.

### **De los frutos.**

Con relación al descriptor CFI, con excepción de los árboles híbridos M - 18,16 (IMC 67 x U 68; 16) y M-18,18 (IMC 67 x U 68; 18) que tuvieron frutos verdes y que son hermanos completos, en los demás cruzamientos, donde participa un progenitor Trinitario (ICS 95 ó UF 613), los frutos fueron de color rojo. ENGELS (1986), señala que por lo menos 2 genes dominantes están involucrados en la pigmentación del fruto inmaduro, siendo el color rojo dominante sobre el color verde.

El descriptor FOF, la forma oblonga es muy común en los cruces donde participan los clones Forasteros Alto Amazónicos: IMC 67, U 45, U 58, U 68 y POUND 7; así como, el clon H 12, que es un segregante de este grupo germoplásmico. Sobre su control genético no existen reportes científicos sobre la herencia de este carácter; sin embargo, por el polimorfismo de su expresión se puede deducir el involucramiento de una serie de alelos múltiples.

El descriptor CBF, los 2 únicos estados observados: ausente y ligero, permiten inferir que los alelos se habrían heredado de modo fiel a sus progenitores. Esta aseveración se ve apoyada en el hecho de que tanto los progenitores como sus cruces, o bien tienen constricción basal ligera ó ausente. Una excepción es el árbol híbrido M-11,5 (ICS 39 x U 45; 5) cuyo progenitor materno (ICS 39) es de constricción basal intermedia. Según Pound, 1932 citado por ENGELS (1986), señalan que la ausencia de éste carácter se debe a un gen recesivo.

El descriptor FAF, la forma obtusa es predominante, siendo una condición muy común en los progenitores Forasteros Alto Amazónicos; ya que al menos uno participa en estas cruces. Sin embargo, este estado también se presentó en cruces entre progenitores Trinitarios, como es el caso del árbol híbrido I-1,14 (ICS 95 x ICS 6; 14). Una excepción a esta regla lo tuvieron los árboles híbridos M-18,16 (IMC 67 x U 68; 16) y M-18,18 (IMC 67 x U 68; 18), procedentes de progenitores Forasteros Alto Amazónicos, que exhibieron un ápice agudo, un rasgo no muy común en este grupo germoplásmico que se debería a un marcado polimorfismo respecto a otros grupos germoplásmicos. Esta aseveración se ve corroborada por MARITA *et al.*, (2001), quienes utilizando marcadores moleculares RAPDs, encontraron mayor variabilidad morfológica en los Forasteros Alto Amazónicos respecto a los Trinitarios y Criollos.

Con respecto al descriptor RUF, la variación encontrada (de liso hasta intermedio), se correspondería con el grado de rugosidad que exhiben los progenitores que participaron en las cruces (Trinitarios x Trinitarios, Trinitarios x Forasteros y Forasteros x Forasteros). Pound, 1932 citado por ENGELS (1986), señala que el alelo dominante determina el fenotipo rugoso y el alelo recesivo, el fenotipo liso del fruto.

Con relación al descriptor SPL, solamente se encontró 2 estados: ligero e intermedio, con predominancia del primero. Sobre el tipo de herencia para éste carácter no se encontró ningún reporte en la literatura científica revisada que nos permita precisar su control genético.

### **De las semillas.**

Con respecto al descriptor FSL, los resultados muestran que, con excepción de los árboles híbridos: M-18,16 (IMC 67 x U 68; 16) y M-18,18 (IMC 67 x U 68; 18) que tuvieron semilla de forma oblonga, los demás exhibieron las formas: ovada y elíptica, independientemente de quiénes fueran sus progenitores. De observaciones realizadas en algunos clones: Forasteros, Trinitarios y Complejos, es probable que exista una correspondencia entre la forma (oblonga o elíptica) del fruto con la forma (oblonga o elíptica) de la semilla en sección longitudinal, respectivamente (GARCÍA, L. comunicación personal).

Con relación al descriptor FST, casi todos los árboles híbridos exhibieron una sección transversal intermedia, excepto los árboles híbridos M-11,5 (ICS 39 x U 45; 5) y M-17,18 (U 68 x ICS 95; 18), que presentaron una sección transversal aplanada. Muchos reportes científicos señalan que la mayoría de los cultivares de cacao del grupo germoplásmico Criollo, exhiben semillas de sección transversal redondeada, y los Forasteros del Alto y Bajo Amazonas, semillas de sección transversal aplanada o intermedia. No se conoce con precisión sobre el control genético; sin embargo, por los resultados encontrados se puede aseverar que éste carácter dependería del origen o constitución genética de los progenitores.

**Del análisis de conglomerados.**

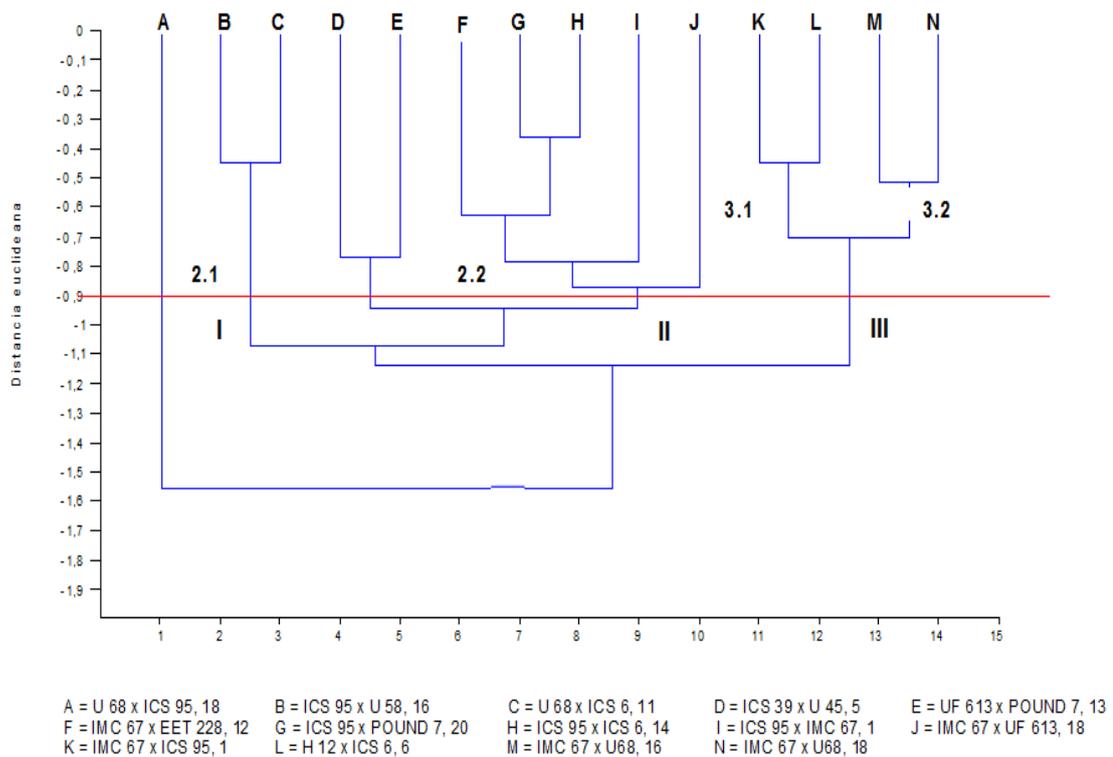
A un nivel de afinidad de 1.0, se determinó 3 conglomerados: Grupo I, Grupo II y Grupo III, y una entidad independiente (Figura 1).

El Grupo I, formado por los árboles híbridos: ICS 95 x U 58; 16 y U 68 x ICS 6; 11, se observa una corta distancia (mayor similitud). Esto se explica porque ambos genotipos comparten progenitores Trinitarios y Forasteros Alto Amazónicos que están estrechamente relacionados genéticamente. Los clones ICS 95 e ICS 6 fueron seleccionados de progenies provenientes de cruces entre Criollos y Forasteros. De igual modo, los clones Forasteros: U 58 y U 68, están muy relacionados ya que fueron colectados en fincas cercanas del distrito de Echarate (Cusco).

El Grupo II, subconglomerado 2.1, formado por los árboles híbridos: ICS 39 x U 45; 5 y UF 613 x POUND 7; 13, si bien se forma a una distancia mayor que el anterior conglomerado, no exige que exista una cierta similitud entre ellos toda vez de que provienen de progenitores Trinitarios cruzados con Forasteros Alto Amazónicos. El subconglomerado 2.2 formado por los árboles híbridos: IMC 67 x EET 228; 12, ICS 95 x POUND 7; 20, ICS 95 x ICS 6; 14, ICS 95 x IMC 67; 1 e IMC 67 x UF 613; 18, con excepción de los genotipos IMC 67 x EET 228; 12; e IMC 67 x UF 613; 18, casi todos los genotipos tienen como progenitor común al clon ICS 95 (Trinitario) o que derivan de él.

El Grupo III, subconglomerado 3.1 formado por los árboles híbridos: IMC 67 x ICS 95; 1 y H 12 x ICS 6; 6, su corta distancia es fiel reflejo de la evidente semejanza o parecido genético entre ellos, puesto que los clones IMC 67 y H 12 poseen muchos caracteres morfológicos similares que le confieren una estrecha afinidad. Además, entre los clones ICS 95 e ICS 6 existe una estrecha relación filogenética por la compartición de genes idénticos por descendencia. El subconglomerado 3.2 que forman los árboles híbridos: IMC 67 x U 68;16 e IMC 67 x U 68;18; su buen grado de similitud se explica porque ambos son hermanos completos que provienen del mismo cruce (IMC 67 x U 68) y que compartirían muchos genes en común. El árbol híbrido U 68 x ICS 95; 18, que fue la única entidad independiente, sólo se vincula con el resto a un nivel lejano de afinidad (1.55), lo que se deduciría tenga un marcado polimorfismo alélico y/o alto grado de heterocigosidad.

El valor del coeficiente de correlación cofenética (CCC= 0.87) resultó muy bueno, según la escala de SNEATH y SOKAL (1973) lo cual indicaría una buena representación de la matriz de afinidad por parte del dendrograma.



**Figura 1.** Dendrograma de disimilaridad de 14 árboles híbridos de cacao según el método del ligamiento promedio.

## CONCLUSIONES

La caracterización morfológica de flores mostró una ligera a moderada variación fenotípica, excepto el número de óvulos /ovario que fue amplia. La caracterización morfológica de frutos y semillas, produjo respuestas variables, según el carácter estudiado. Se hallaron 3 conglomerados y una entidad independiente a un nivel de afinidad de 1.0. En los grupos II y III, la mayor o menor disimilaridad dependió del origen genético de los progenitores. Los conglomerados formados por los árboles híbridos: (ICS 95 x P 7; 20 con ICS 95 x ICS 6; 14), (ICS 95 x U 58; 16 con U 68 x ICS 6; 11) e (IMC 67 x ICS 95; 1 con H 12 x ICS 6; 6), alcanzaron las menores distancias euclidianas y por consiguiente, las mayores similitudes fenotípicas.

## BIBLIOGRAFÍA

BEKELE, F.L. & D. BUTLER. 2000. Proposed list of cocoa descriptors for characterisation. In: Working procedures for cocoa germplasm evaluation and selection of the CFC/ICCO/IPGRI project workshop (A.B. Eskes, J.M. Engels & R.A. Lass, Eds.) 1-6 February, 1998. Montpellier, France. IPGRI, 41-48 p.

CROSSA, J., H.I. DE LACY y S. TABA. 1995. The use of multivariate methods in developing a core collection. P. 77 – 92. En: T. Hopkin; H. Brown and E. Morales (Ed.) Core Collection of Plant Genetic Resources, John Willey and Son. U.K.

DE CASTRO, C. T. G. e D.B. BARTLEY, G. 1989. Caracterizado dos recursos genéticos de cacauero. Folha, fruto e semente de selecciones de Bahía dos series SIC e SIAL. *Theobroma* (B) 13 (3): 263-273.

ENGELS, M. M. 1986. The systematic description of cacao clones and its significance for taxonomy and plant breeding. Doctoral thesis. Agricultural University. Wageningen. The Netherlands. 125p.

GARCÍA, C. L. 2009. Catálogo de cultivares de cacao del Perú. Ministerio de Agricultura y Riego - DEVIDA. Lima. 108 p.

GONDAR, N.J. 2000. Análisis cluster (En línea) ([www.estadistico.com/crets.html](http://www.estadistico.com/crets.html))

GUERRERO, C.J. 2005. Estudio taxonómico intraespecífico de 48 genotipos de cacao (*Theobroma cacao* L) de la colección Ucayali-Urubamba de la UNAS en la selva central del Perú. Tesis Ing. Agrónomo. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María-Perú. 83 p

LÓPEZ, O.; ENRIQUEZ, G. y SORIA, J. 1988. Herencia del número de óvulos por ovario en *Theobroma cacao* L. Turrialba, Costa Rica.38 (3):163- 167.

MARITA, J.M.; NIENHUIS, J.; PIREX, J. Y AITKEND, W.M. 2001. Analysis of genetic diversity in *Theobroma cacao* L, with emphasis on witches broom disease resistance. Crop Science. Volumen 41 pp. 1305 – 1316. Crop Science Society of América.

SNEATH, P. H. A. SOKAL, R. R. 1973. Numerical Taxonomy: The principle and practice of numerical classification. Freeman, San Francisco, California. USA, 573p.