

## Genética y mejoramiento

# Análisis de la capacidad combinatoria en cultivares de cacao (*Theobroma cacao* L.) a través de cruzamientos dialélicos<sup>1</sup>

Felipe Martínez-Suárez\*, Antonio Sigarroa-González\*\*, Carlos C. Moya-López\*\*\*, Miguel Menéndez-Grenot\*\*\*\*, Ramón Antonio Ramos-Navas\*, Eliosmar Vázquez-López\* y Miriam Rodríguez-Terrero\*\*\*\*

### Resumen

El trabajo se desarrolló en áreas de la finca La Fidelina, perteneciente a la Estación de Investigaciones de Cacao ubicada en el municipio de Baracoa, provincia de Guantánamo. Se evaluaron 64 genotipos: ocho progenitores autofecundados, 28 híbridos de cruce directa y 28 de cruce recíproca en un diseño completamente al azar. El comportamiento de los híbridos y progenitores se basó en el análisis dialélico. Los datos se procesaron según programa MATGEM para cruzamiento dialélico. Los caracteres masa de cacao pulpa por mazorca, número de semillas y masa de una semilla presentaron herencia de tipo aditiva y de dominancia con efectos maternos y recíprocos significativos, así como un valor del coeficiente de heredabilidad en sentido estrecho alto. Los genotipos UF-650, GS-29 y EICB-107 se indican para su uso como progenitores femeninos en cruzamientos, el Pound-12, UF-29 y Sca-6 como masculino y el IMC-67 y UF-613 indistintamente para ambos casos. Las combinaciones híbridas GS-29 x UF-29, UF-650 x UF-29 y GS-29 x Pound-12 tienen potencial para la generación de cultivares superiores.

Palabras clave: parámetros genéticos, cruces dialélicas, habilidad combinatoria, cacao.

### Abstract

The work was developed in areas of the property "La Fidelina" belonging to the Estación de Investigaciones de Cacao, located in the Baracoa municipality, Guantánamo province. 64 genotypes were evaluated: eight progenitor's auto fecund, 28 hybrid of it crosses direct and 28 of it cross reciprocal in a design totally at random. The behavior of the hybrid ones and progenitors were based on the analysis diallelic. The data were processed according to program MATGEM for diallelic crossing. The characters: mass of cocoa pulp for ear, number of seeds and mass of a seed presented inheritance of type additive and of dominance with significant maternal and reciprocal effects, as well as a value of the heritability coefficient in high narrow sense. The genotypes 'UF-650', 'GS-29' and 'EICB-107' they are indicated for their use as feminine progenitors in crossing, the 'Pound-12', 'UF-29' and 'Sca-6' as masculine and the 'IMC-67' and 'UF-613' indistinctly, for both cases. The hybrid combinations 'GS-29 x UF-29', 'UF-650 x UF-29' and 'GS-29 x Pound-12' they have potential for the generation of superior cultivars.

Key words: genetic parameters, diallelic cross, blending ability, cocoa.

<sup>1</sup> Recibido: 24/12/2010

Aprobado: 2/5/2011.

\* Estación Experimental Agro-Forestal UCTB Tercer Frente, Santiago de Cuba, direccion@tercerfrente.inaf.co.cu

\*\* Universidad de La Habana

\*\*\* Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas

\*\*\*\* Estación Experimental Agro-Forestal UCTB Baracoa

## Introducción

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es un cultivo de gran importancia económica en diversos países del mundo, como Costa de Marfil, Ghana, Camerún, Indonesia, Colombia, Venezuela, Ecuador, entre otros. La producción promedio mundial de cacao en los últimos años está alrededor de 3 609 000 t, participan cerca de 60 países y el 90 % de la producción total proviene de 12 de ellos. América contribuye con un 13 %, Asia con un 17 % y África con un 71 % (ICCO, 2010).

El rendimiento promedio de las plantaciones en América Latina es de 300 kg/ha/año, en tanto en África es de 400 kg/ha/año. Estos bajos niveles de producción en gran parte se deben al gran impacto que tiene el ataque de enfermedades y plagas, que reducen los rendimientos en un 50 % y un 21 %, respectivamente.

Por esta razón los programas de mejoramiento genético de cacao están básicamente orientados a conseguir cultivares resistentes a enfermedades y altamente productores (Arciniegas, 2005).

Entre los métodos existentes para estudiar las cualidades de un conjunto de progenitores se encuentran los diseños dialélicos propuestos por Griffing (1956a), que permiten identificar las combinaciones superiores y auxilian al mejoramiento en la selección de progenitores, con base en la capacidad de combinación relacionada con la productividad y otras características fitotécnicas en poblaciones segregantes.

El cruzamiento dialélico permite conocer el control genético de las características, lo que orienta el método de mejoramiento a ser adoptado (De la Cruz, 2005).

El estudio de la capacidad combinatoria en cultivares de cacao (*Theobroma cacao* L.) a través de cruzamientos dialélicos constituye el objetivo del presente trabajo.

## Materiales y métodos

El trabajo experimental se desarrolló en áreas de la finca La Fidelina a 28 msnm, perteneciente a la Estación de Investigaciones de Cacao, ubicada en el municipio de Baracoa, provincia de Guantánamo.

El clima se comportó favorable durante el período de desarrollo de la investigación, caracterizado por una precipitación media anual de 2570 mm. La pluviometría en los meses más secos alcanzó un valor superior a los 39 mm. La temperatura media fue de 24,8 °C y la humedad relativa del 82 %.

Como material vegetal se utilizaron ocho clones de *Theobroma cacao* L. (UF-650, Pound-12, IMC-67, UF-613, EICB-107, Sca-6, GS-29 y UF-29), escogidos al azar dentro de la colección, establecida a una distancia de plantación de 3 m x 3 m, bajo sombra permanente de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wilt., sobre un suelo Aluvial Húmico Gleysado (Minag, 1999). Para la realización de los cruzamientos se efectuaron polinizaciones manuales, aisladas y controladas, según la metodología establecida por Torres y Ocampo (1983), citados por Nariño y col. (2001), para un modelo tipo 1 de Griffing (1956a), que utiliza  $n^2$  combinaciones entre los progenitores. Cuando los frutos estuvieron fisiológicamente maduros se cosecharon, y para su caracterización se utilizó la metodología propuesta por Menéndez y col. (2003).

Se evaluaron 28 híbridos de cruce directa, 28 de cruce recíproca y ocho clones o progenitores autofecundados, que totalizaron 64 genotipos ubicados en un diseño completamente al azar con dos repeticiones y seis datos por cada una.

El comportamiento de los híbridos y progenitores se basó en el análisis dialélico propuesto por Griffing (1956a), modelo 1, el cual considera un grupo fijo de progenitores, método 1, que incluye los progenitores, las cruza directas  $F_1$  y las cruza recíprocas (Tabla 1).

Modelo aditivo lineal:

$$Y_{ijk} = \mu + g_i + g_j + s_{ij} + m_i - m_j + r_{ij} + e_{ijk} \quad i, j = 1, \dots, p; k = 1, \dots, r$$

donde:

$Y_{ijk}$ : Valor observado de la cruce con progenitores  $i, j$  en la repetición  $k$

$\mu$ : Efecto de todas las observaciones

$g_i, g_j$ : Efecto de habilidad combinatoria general del progenitor  $i, j$

$s_{ij}$ : Efecto de habilidad combinatoria específica de la cruce  $i, j$

$m_i - m_j$ : Efecto materno

$r_{ij}$ : Efecto recíproco del cruce  $i, j$

$e_{ijk}$ : Efecto ambiental aleatorio correspondiente a la observación  $k$  dentro del cruce  $i, j$ .

Las cantidades  $g_i, g_j, s_{ij}, r_{ij}$  y  $e_{ijk}$  se consideran variables aleatorias no correlacionadas entre sí con media cero y componentes de varianza  $\sigma_g^2, \sigma_s^2, \sigma_r^2, \sigma_e^2$ .

Tabla 1. Análisis de varianza y cuadrados medios esperados para el diseño dialéctico 1

| Fuente de variación | Grado de libertad | Valores esperados de los cuadrados medios                    |
|---------------------|-------------------|--------------------------------------------------------------|
| Repeticiones        | $r - 1$           |                                                              |
| Cruzas              | $p^2 - 1$         |                                                              |
| HCG                 | $p - 1$           | $\sigma_e^2 + \frac{2r(p-1)}{p} \sigma_s^2 + 2rp \sigma_g^2$ |
| HCE                 | $p(p-1)/2$        | $\sigma_e^2 + \frac{r(p^2-p+1)}{p^2} \sigma_s^2$             |
| EM                  | $p - 1$           | $\sigma_e^2 + 2r \sigma_r^2 + 2rp \sigma_m^2$                |
| ER                  | $(p-1)(p-2)/2$    | $\sigma_e^2 + 2r \sigma_r^2$                                 |
| Error               | Diferencia        | $\sigma_e^2$                                                 |
| Total               | $rp(q+p-1)$       |                                                              |

Para determinar la significación de los efectos de HCG, HCE recíprocos se utilizó la prueba de F, con el error estándar apropiado de acuerdo con el método 1, modelo 1 de Griffing (1956a).

El análisis de los datos generados en la investigación se realizó sobre la base del programa MATGEM para cruzamiento dialéctico, desarrollado por Sigarra (1985), el cual estima los componentes de habilidad combinatoria general (HCG), habilidad combinatoria específica (HCE), efectos maternos (EM) y efectos recíprocos (ER).

Para conocer el valor fenotípico que transmiten los distintos progenitores se determinó el comportamiento esperado con las diferentes combinaciones híbridas.

Para obtener los valores de  $g_i$  se utilizó la expresión:

$$g_i = \frac{G_i}{2r(2q+p-2)} - \frac{2(Y_{...})}{2rp(2q+p-2)}$$

Los valores de  $m_i$  vienen dados por:

$$M_i = \frac{H_i}{2rp}$$

donde:

p: Número de progenitores utilizados

q: Número de veces que se presentan los progenitores en cada bloque

r: Número de réplicas  $Y_{...}$  = gran total;  $G_i$  = suma de los recíprocos ( $Y_{ij} - Y_{ji}$ ) para cada cruce del progenitor i con el resto de los progenitores y

$H_i$ : Resta de los recíprocos ( $Y_{ij} - Y_{ji}$ ) para cada cruce del progenitor i con el resto de los progenitores.

El valor fenotípico de un cruzamiento entre los progenitores se calculó según Griffing (1956b), que establece:

$$\text{Cruce (1 x 2)} = g_1 + g_2 + m_1 - m_2$$

$$\text{Cruce (2 x 1)} = g_2 + g_1 + m_2 - m_1$$

A partir de la tabla 1 del análisis de varianza se pudo estimar la heredabilidad en sentido estrecho ( $h_n^2$ ).

$$H_n^2 = \frac{\sigma^2 A}{\sigma^2 P}$$

## Resultados y discusión

El análisis de varianza de la tabla dialéctica del método I, modelo I para los caracteres masa de cacao, pulpa por mazorca, número de semillas y masa de una semilla, según Griffing (1956b) (Tabla 2), mostró diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,001$ ) para la Habilidad Combinatoria General (HCG), lo cual indica que existe una transmisión aditiva en estos cuatro caracteres. Igualmente se encontraron diferencias estadísticas ( $p < 0,001$ ) para la Habilidad Combinatoria Específica (HCE), las cuales sugieren que en la variación genética para estos caracteres no solo influye la aditividad, sino que además no se deben perder de vista los efectos atribuibles a la dominancia, lo que confirma la heterosis manifestada en los híbridos de cacao, señalada por Días y Resende (2002).

**Tabla 2. Análisis de varianza de la tabla dialélica para caracteres de frutos y semillas**

| Fuentes de variación | gl | Masa de cacao pulpa | Número de semillas mazorcas | Masa media de una semilla seca |
|----------------------|----|---------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| Cruces               | 63 | 2020,53             | 7679,17                     | 0,2626                         |
| HCG                  | 7  | 6145,36             | 270,56                      | 0,8520                         |
| HCE                  | 28 | 587,12              | 49,02                       | 0,1053                         |
| Dialelo              | 35 | 1698,76             | 93,33                       | 0,2547                         |
| EM                   | 7  | 5783,06             | 143,38                      | 0,7784                         |
| ER                   | 21 | 1302,63             | 27,02                       | 0,1040                         |
| Error                | 63 | 189,75              | 6,98                        | 0,0112                         |

Significativo  $p < 0,05$  Significativo  $p < 0,01$  Significativo  $p < 0,001$ 

Lo anterior indica que para estos caracteres no solo importa el comportamiento promedio de un genotipo en las combinaciones híbridas que se logren, sino que habrá ciertas combinaciones que se expresan mejor o peor sobre la base del comportamiento promedio de los otros genotipos involucrados. Días y Kageyama (1995) demostraron la existencia de dominancia alélica en los *locis* que controlan algunos componentes de producción de cacao, como son el número de frutos cosechados y sanos y la masa de semillas húmedas por planta, en base a las medias de los cuadrados de los efectos.

Se obtuvieron igualmente diferencias altamente significativas para los Efectos Maternos (EM) que permiten afirmar que el valor fenotípico del cruce  $i_x j$  difiere del de  $j_x i$ , o sea, que un mismo genotipo no puede ser utilizado como progenitor femenino o masculino, ya que altera el valor fenotípico de la descendencia. Los Efectos Recíprocos (ER) también fueron significativos ( $p < 0,001$ ), lo que evidencia que el efecto materno que se pudiera atribuir a un progenitor en específico puede variar por efecto de la variación del progenitor masculino que se elija.

Para el análisis de los valores fenotípicos de los cruzamientos se consideraron los valores de efecto de habilidad combinatoria general y los efectos maternos de los progenitores, los cuales dependen de las contribuciones que ejercen los cruces recíprocos cuando el progenitor se utiliza como madre o como padre. El cruce UF-650 x Sca-6 para el carácter masa de cacao pulpa por mazorca, por ejemplo, produce un valor fenotípico de -44,18, mientras que con el cruce inverso,

Sca-6 x UF-650, se obtiene un valor de 29,18, por lo cual resulta más ventajosa esta última combinación para este carácter. Esto se debe a las diferencias significativas entre cruces recíprocos. Otra combinación preferible es la de Pound-12 x UF-650, con respecto a la de UF-650 x Pound-12 con valores de 13,25 y -27,43, respectivamente. Los genotipos UF-650, EICB-107 y GS-29 producen como progenitores masculinos los mayores valores fenotípicos en la descendencia, teniendo un comportamiento inverso el Sca-6, UF-29 y Pound-12, con valores altos, pero negativos.

El efecto de los genotipos como madre no mostró particularidad alguna, sino que se presentaron individualidades en dependencia del progenitor masculino utilizado.

Los estimados de los parámetros genéticos para los caracteres estudiados se presentan en la tabla 3, donde la heredabilidad en sentido estrecho mostró valores de 0,58; 0,62 y 0,62. Ramírez y Egaña (2003) señalan que valores superiores al 50 % se consideran caracteres de alta heredabilidad. Nótese que la varianza aditiva para la masa de cacao pulpa, por ejemplo, es 1,5 veces mayor que la de dominancia; no obstante, se debe tener en cuenta que la HCE en el análisis de varianza fue significativa, indicando que la varianza de dominancia tiene también importancia, por lo que la selección específica de progenitores para la realización de apareamiento no debe ser ignorada. Almeida y col. (2001) obtuvieron valores de baja magnitud para este carácter, al ser comparados con los resultados de otras investigaciones (Días y Resende, 2002).

**Tabla 3. Componentes de varianza y covarianza y estimado de heredabilidad en sentido estrecho para caracteres de frutos y semillas de cacao**

| Componentes estimados       | Masa de cacao pulpa | Número de semillas mazorcas | Masa media de una semilla seca |
|-----------------------------|---------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| Varianza del error          | 189,7460            | 6,9841                      | 0,0112                         |
| Varianza ER                 | 278,2220            | 5,0107                      | 0,0232                         |
| Varianza EM                 | 140,0134            | 3,6362                      | 0,0211                         |
| Varianza HCE                | 111,5425            | 11,0808                     | 0,0264                         |
| Varianza HCG                | 173,9129            | 6,9461                      | 0,0234                         |
| Varianza fenotípica         | 1207,3630           | 44,9602                     | 0,1497                         |
| Covarianza medio hermanos   | 173,9129            | 6,9461                      | 0,0234                         |
| Covarianza hermano completo | 459,3683            | 25,6930                     | 0,0732                         |
| Varianza aditiva            | 695,6515            | 27,7844                     | 0,0935                         |
| Varianza dominancia         | 446,1699            | 47,2033                     | 0,1057                         |
| Varianza genética           | 1141,8210           | 74,9877                     | 0,1992                         |
| Heredabilidad ( $h_n^2$ )   | 0,58                | 0,62                        | 0,62                           |

### Conclusiones

- Los caracteres masa de cacao pulpa por mazorca, número de semillas y masa de una semilla presentaron herencia de tipo aditiva y de dominancia con efectos maternos y recíprocos significativos.
- Los coeficientes de heredabilidad en sentido estrecho fueron altos para los caracteres masa de cacao pulpa por mazorca, número de semillas y masa de una semilla, con valores de 0,58; 0,62 y 0,62, respectivamente.
- Los genotipos UF-650, GS-29 y EICB-107 se indican para su uso como progenitores femeninos en cruza-mientos, el Pound-12, UF-29 y Sca-6 como masculino, y el IMC-67 y UF-613 indistintamente para ambos casos. Las combinaciones híbridas GS-29 x UF-29, UF-650 x UF-29 y GS-29 x Pound-12 tienen potencial para la generación de cultivares superiores a partir de los valores de heterosis obtenidos en los componentes evaluados.

### Bibliografía

Almeida, C. M. V. C. e L. A. S. Días: Recursos genéticos. In: *Melhoramento genéticos do cacoeiro*. (L. A. S. Días, ed.) L. A. S. Días, Vicosá, Cap. 5, pp. 163-216, Brazil, 2001.

Arciniegas, Leal: Caracterización de árboles superiores de cacao (*Theobroma cacao* L.) seleccionados por el programa de mejoramiento genético del CATIE. [inédito], tesis de candidatura, Programa de Educación para

el desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza CATIE Turrialba, Costa Rica 2005.

De la Cruz, L. E.; Rodríguez, S. A. H.; Estrada, M. A. B.; Mendoza, J. D. P. y N. P. M. Brito: Análisis dialélico para líneas de maíz QPM para características forrajeras. *Universidad y Ciencia*, 21 (41): 19-26, 2005.

Dias, L. A. S. and P. Y. Kageyama: Combining-ability for cacao (*Theobroma cacao* L.) yield components under southern Bahia conditions. *Theoretical Applied Genetics*, 90: 534-541, 1995.

Dias, L. A. S. and M. D. V. Resende: Estimation of genetic parameters and prediction of breeding values by mixed model in the cacao improvement. In: *International Cocoa Research Conference*, pp. 189-413, Proceedings. Cocoa Producers' Alliance, Lagos, 2002.

Griffing, B: Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing system. *Australian Journal of Biological Science*, 9 (4): 463-493, 1956a.

Griffing, B. A. Generalized treatment of use of diallel crosses in quantitative inheritance. *Heredity*, 10: 31-50, 1956b.

ICCO (International Cocoa Organization): Quarterly Bulletin of Cocoa Statistics, Issue No. 4 - Volume XXXVI - *Cocoa year*. November, 2010.

Menéndez, M.; Lambertt, W.; Columbie, A.; Matos, G.; Oliveros, A.; Rodríguez, M. y E. Sánchez: Selección de clones de *Theobroma cacao* L. con alto potencial

productivo y de calidad industrial. *Café Cacao*, 3(1): 64-66, 2003.

Minag, Ministerio de la Agricultura, Cuba: Instituto de Suelo. Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba, p. 46, Agrinfor, La Habana, 1999.

Nariño, A.; Menéndez, M.; Matos, G.; Martínez, F. y P. Pérez: Determinación de la compatibilidad genética

en 23 genotipos de *Theobroma cacao* L. *Café Cacao*, 2(2): 15-19, 2001.

Ramírez, L. y B. Egaña: Guía de conceptos de genética cuantitativa. Universidad Pública de Navarra, 12 p. 2003.

Sigarroa, A.: *Biometría y diseño experimental*. La Habana. Pueblo y Educación. 743 pp., 1985.

### La UCTB Experimental Agro-Forestal Tercer Frente cuenta con un vivero de tecnología de avanzada en lo relacionado con el umbráculo para la producción de posturas de café, cacao y frutales



- Capacidad de producción: 120 000 plantas.
- Se dispone de la ficha de costo.
- Se posee la proforma de contrato con las entidades.
- Las plantas obtenidas tienen garantía fitosanitaria.