

## PARÁMETROS GENÉTICOS EN FRUTOS PARA LA OBTENCIÓN DE PROGENITORES HÍBRIDOS F<sub>1</sub> CACAO (*THEOBROMA CACAO LIN.*)

### GENETIC PARAMETERS IN FRUITS FOR OBTAINING F<sub>1</sub> HYBRID PARENTS OF COCOA (*THEOBROMA CACAO LIN.*)

YANIXA MORA RIVERO\*, FELIPE MARTÍNEZ SUÁREZ

Unidad de Ciencia y Técnica de Base Tercer Frente, Santiago de Cuba, Cuba

\*Autor para correspondencia: [yanixamora26@gmail.com](mailto:yanixamora26@gmail.com)

#### RESUMEN

La producción mundial de cacao enfrenta desafíos relacionados con la variabilidad genética y la necesidad de mejorar la calidad y el rendimiento de los cultivos. Este estudio tuvo como objetivo determinar los parámetros genéticos en frutos y semillas de cacao (*Theobroma cacao L.*) para seleccionar progenitores en cruzamientos híbridos F<sub>1</sub>. Se utilizaron cuatro clones de cacao, realizándose 12 combinaciones de cruzamientos, que incluyeron autofecundaciones, cruzas simples y reciprocas. Los frutos se caracterizaron mediante mediciones de masa, tamaño y número de semillas, entre otros parámetros. Se evaluaron 16 genotipos en un diseño completamente al azar con dos repeticiones. Los resultados mostraron patrones de herencia aditiva y de dominancia, con efectos maternos y reciprocos significativos en caracteres como la masa de cacao pulpa, el número de semillas y la masa media de una semilla. Los genotipos 'UF-650' y 'GS-29' destacaron como progenitores masculinos para mejorar la masa de cacao pulpa y del fruto, mientras que 'IMC-67' fue óptimo para aumentar el número de semillas. Las combinaciones híbridas 'GS-29 x Pound-12' y 'UF-650 x Pound-12' mostraron alto potencial debido a los valores de heterosis. Se concluyó que la selección adecuada de progenitores y combinaciones híbridas es crucial para maximizar el rendimiento y la calidad del cacao. Los genotipos 'UF-650', 'GS-29' e 'IMC-67' son prometedores para programas de mejoramiento genético, que destaca la importancia de los efectos maternos y reciprocos en la expresión fenotípica.

**Palabras clave:** herencia, heterosis, progenitores, cruzamientos, selección

#### INTRODUCCIÓN

La producción promedio mundial de cacao en grano en los últimos años se ha mantenido alrededor de 5 024 000 toneladas, cultivadas en un área de 1,8 millones de hectáreas. Este cultivo genera un ingreso aproximado de 1,65 billones de dólares y beneficia a más de 350 mil familias

#### ABSTRACT

Global cocoa production faces challenges related to genetic variability and the need to improve crop quality and yield. This study aimed to determine the genetic parameters in cocoa fruits and seeds (*Theobroma cacao L.*) to select parents in F<sub>1</sub> hybrid crosses. Four cocoa clones were used, performing 12 combinations of crosses, including self-fertilization, simple and reciprocal crosses. The fruits were characterized by measurements of mass, size and number of seeds, among other parameters. 16 genotypes were evaluated in a completely randomized design with two replications. The results showed additive and dominance inheritance patterns, with significant maternal and reciprocal effects on traits such as cocoa pulp mass, number of seeds and average mass of a seed. The genotypes 'UF-650' and 'GS-29' stood out as male parents to improve cocoa pulp and fruit mass, while 'IMC-67' was optimal to increase the number of seeds. Hybrid combinations 'GS-29 x Pound-12' and 'UF-650 x Pound-12' showed high potential due to heterosis values. It was concluded that proper selection of parents and hybrid combinations is crucial to maximize cocoa yield and quality. Genotypes 'UF-650', 'GS-29' and 'IMC-67' are promising for genetic improvement programs, highlighting the importance of maternal and reciprocal effects on phenotypic expression.

**Keywords:** inheritance, heterosis, parents, crosses, selection

y a 1,7 millones de personas directamente vinculadas a su producción en América Latina. En total, participan más de 57 países, y el 86% de la producción global proviene de solo siete de ellos. África contribuye con el 72,5% de la producción mundial, América con el 18%, y Asia y Oceanía con el 9,5% (ICCO, 2022).

Recibido: 21/6/2023

Aceptado: 18/9/2023

**Conflictos de Intereses:** Los autores declaran no tener conflictos de interés



Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0). <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



En los programas de mejoramiento genético, es fundamental conocer el tipo de acción génica involucrada en la expresión de caracteres de interés económico para desarrollar nuevas variedades. Los análisis dialélicos son una herramienta útil para caracterizar y estimar los parámetros genéticos de progenitores y sus cruzas, mediante la aptitud combinatoria general (ACG) y la aptitud combinatoria específica (ACE). Estos análisis permiten definir el método de mejoramiento genético más adecuado, predecir cruzas superiores y seleccionar plantas individuales que combinan las mejores características de los progenitores (Estrada, 2017).

El cacao es una planta halófaga, cuya polinización se ve favorecida por la estructura de la flor y por los sistemas de incompatibilidad presentes en las diferentes poblaciones (Vanegas Yanangomez, 2021). Debido a esto, es común observar una gran variabilidad de caracteres en poblaciones de árboles provenientes de semillas (Ramírez-Guillermo et al., 2018). Esta alta variabilidad representa una ventaja para los trabajos de selección, ya que permite un mayor diferencial de selección, lo que facilita el aislamiento de genotipos superiores y la modificación de la frecuencia de ciertos genes mediante procesos de selección e hibridación (Sotomayor Cantos et al., 2017).

Como resultado de los programas de investigación desarrollados en la Estación Experimental Agro-Forestal de Baracoa, se ha logrado seleccionar una cantidad importante de germoplasmas, que incluyen clones e híbridos con buena producción y resistencia a las principales enfermedades. Estos cultivares se obtuvieron mediante trabajos de selección de tipo práctico, aunque se prestó poca atención a los mecanismos genéticos involucrados en la transmisión de las características de producción y calidad de las semillas de los progenitores masculinos a sus descendientes.

El propósito de este trabajo es realizar investigaciones que contribuyan a la creación de una base científico-metodológica para el programa de mejoramiento genético del cacao en Cuba. Esta base busca dar respuesta a las necesidades apremiantes del sistema productivo, de integrar aspectos relacionados con el aprovechamiento del germoplasma, el conocimiento del comportamiento genético de los progenitores y la influencia de los nuevos materiales en el desempeño productivo.

Tomando en consideración los antecedentes expuestos, el objetivo de este trabajo fue determinar parámetros genéticos en frutos y semillas para la selección de progenitores en cruzamientos híbridos  $F_1$  de cacao (*Theobroma cacao* Lin.).

## MATERIALES Y MÉTODOS

La fase de cruzamiento se llevó a cabo en áreas del banco de semillas híbridas de cacao de la finca Santa Rosa, perteneciente a la UCTB Estación Experimental Agroforestal Tercer Frente, en Santiago de Cuba (Figura 1).

El estudio se realizó sobre un suelo Pardo sin Carbonato (Hernández et al., 2015), caracterizado por un pH KCl de 5,64, lo que indica una ligera acidez. Además, se observó un contenido bajo de  $P_2O_5$  (mg/100g), un nivel alto de  $K_2O$  (mg/100g) y un porcentaje elevado de materia orgánica (6,58 %).



**Figura 1.** Áreas del banco de semillas híbridas de cacao en la UCTB Estación Experimental Agroforestal Tercer Frente, en Santiago de Cuba.

Durante el período de 2019 a 2023, el clima se caracterizó por una precipitación media anual de 2570 mm. En los meses más secos, la pluviometría superó los 39 mm. La temperatura media fue de 24,8 °C, con una humedad relativa del 82 %. Para la plantación, se utilizó una distancia de 3 m x 3 m, junto con sombra permanente proporcionada por *Leucaena leucocephala* Lam de Witt.

Como material vegetal, se emplearon cuatro clones de *Theobroma cacao* L., seleccionados al azar dentro de la colección de trabajo. Para los cruzamientos, se eligieron cuatro plantas por cada genotipo, de las cuales tres se utilizaron como progenitores femeninos y una como donador de polen. La zona de polinización se marcó en el tallo principal hasta una altura de 1,50 m. Las polinizaciones se realizaron de manera manual, aislada y controlada, iniciándose en 2018. Se emplearon 12 combinaciones entre los progenitores, que incluyeron cuatro autofecundaciones, seis cruzas simples y seis cruzas recíprocas.

Los frutos se cosecharon entre los 120 y 150 días posteriores a la polinización. Para la caracterización de frutos y semillas, se siguió la siguiente metodología: se pesó el fruto, se midió su largo y ancho, y se abrió la mazorca para pesar la masa de almendras húmedas. Luego, se desprendió la placenta central de la mazorca y se pesó, se contó el número de semillas por mazorca, se pesó la cáscara y se midió su grosor. El mucílago de la semilla se eliminó con aserrín de madera y agua corriente, y las semillas se secaron brevemente al ambiente para escurrir el agua antes de pesarlas. Se seleccionó al azar una muestra de cinco semillas, se tuvo en cuenta el largo, ancho y grosor. Estas semillas se secaron en una estufa durante 24 horas a 105 °C y se pesaron individualmente con y sin testa. La masa del mucílago se calculó por diferencia entre la masa de las semillas con y sin mucílago.

Para obtener una estimación confiable de las características estudiadas, se ajustó una muestra de 12 mazorcas por cruzamiento. Se evaluaron 16 genotipos: cuatro progenitores autofecundados, seis híbridos de cruce directa y seis de cruce recíproca. El diseño experimental fue completamente al azar, con dos repeticiones y seis datos por cada una.

En la evaluación del comportamiento de los híbridos y los progenitores, se consideró un grupo fijo de progenitores, que incluyó a los progenitores, la F<sub>1</sub> y los cruzamientos recíprocos. En la Tabla 1 se presentan los valores fenotípicos de los cruzamientos, donde se tomaron en cuenta los valores de g<sub>i</sub> y m<sub>i</sub> de los progenitores. Estos valores dependen de las contribuciones de los cruces recíprocos cuando el progenitor se utiliza como femenino o masculino. Por ejemplo, el cruce 'UF-650' x 'Pound-12' produjo un valor fenotípico de -27,43, mientras que el cruce 'Pound-12' x 'UF-650' resultó en un valor fenotípico de 13,25, lo que indica que esta última combinación es más ventajosa para este carácter. Estas diferencias se deben a las variaciones significativas entre cruces recíprocos.

Los genotipos 'UF-650' y 'GS-29' mostraron los mayores valores fenotípicos en la descendencia cuando se utilizaron como aportadores de polen. Por el contrario, el genotipo 'Pound-12' presentó valores altos pero negativos. El efecto de los genotipos como progenitor femenino no mostró particularidades específicas, sino que se observaron individualidades en función del donador de polen utilizado.

**Tabla 1.** Valores fenotípicos de los cruzamientos para el carácter peso de cacao pulpa.

	UF - 650	Pound -12	IMC - 67	GS - 29
<b>UF - 650</b>	-----	-27.438	10.875	11.188
<b>Pound -12</b>	13.250	-----	-0.188	0.125
<b>IMC - 67</b>	39.750	-12.000	-----	26.625
<b>GS - 29</b>	29.188	-22.563	15.750	-----

En la tabla 2 se observa que el genotipo 'Pound-12' modifica los valores fenotípicos, incluyendo el signo, cuando se utiliza como progenitor masculino o femenino. Por esta razón, se recomienda su uso como portador de polen en lugar de femenino para este carácter específico. El genotipo 'IMC-67', empleado como masculino, resulta ser el más adecuado para mejorar este carácter, ya que muestra un valor fenotípico promedio de 4.87 en sus tres posibles combinaciones con otros progenitores femeninos. Este valor sugiere la presencia de genes dominantes para el carácter en este genotipo. En contraste, el 'Pound-12', que también presenta un buen comportamiento como proveedor de polen, alcanza un valor fenotípico de 2.95, el cual es significativamente inferior al del 'IMC-67'.

**Tabla 2.** Valores fenotípicos de los cruzamientos para el carácter número de semilla por mazorcas

	UF - 650	Pound -12	IMC - 67	GS - 29
<b>UF - 650</b>	-----	-0.250	4.875	-6.938
<b>Pound -12</b>	-10.375	-----	1.813	-10.000
<b>IMC - 67</b>	-0.750	6.313	-----	-0.375
<b>GS - 29</b>	-4.250	2.813	7.938	-----

Cuando se utiliza como progenitor femenino, el desempeño de las descendencias depende del masculino seleccionado. En este ensayo, destacan los genotipos 'GS-29' y 'UF-29' al cruzarse con el 'IMC-67'. Además, el 'IMC-67' también muestra un buen desempeño como progenitor femenino al combinarse con el 'Pound-12', ya que en ambos casos los valores fenotípicos superan el valor de seis. Estos resultados indican que la elección del productor de polen influye significativamente en el rendimiento fenotípico de las descendencias.

En la tabla 3 se presentan los valores fenotípicos de los cruzamientos para la masa media de una semilla seca. Los genotipos 'Pound-12' y 'IMC-67' muestran efectos negativos y valores fenotípicos inferiores en las descendencias cuando se utilizan como progenitores masculinos. Sin embargo, ambos genotipos presentan mejores resultados cuando se emplean como progenitores femeninos, en dependencia del productor de polen seleccionado. La combinación más favorable fue 'GS-29 x UF-650', y en general, los cruzamientos con 'UF-650' y 'GS-29' como progenitores masculinos resultaron ser los más adecuados para mejorar este carácter.

**Tabla 3.** Valores fenotípicos de los cruzamientos para la masa media de una semilla seca.

	UF - 650	Pound -12	IMC - 67	GS - 29
<b>UF - 650</b>	-----	-0.191	-0.135	0.312
<b>Pound -12</b>	0.405	-----	-0.133	0.314
<b>IMC - 67</b>	0.400	-0.195	-----	0.309
<b>GS - 29</b>	0.411	-0.185	-0.128	-----

Se comprobó que los genotipos 'UF-650' y 'GS-29' generan los valores más altos y positivos de g<sub>i</sub>, lo que sugiere que su participación en cruzamientos contribuirá al aumento de la masa del fruto. En la tabla 4, que proporciona un estimado de los valores fenotípicos, se observa que ambos progenitores, cuando se usan como progenitores masculinos, producen los valores fenotípicos más altos. Por otro lado, los valores de sus cruzas inversas tienden a disminuir y, en algunos casos, cambian de signo. Esto refuerza la importancia de seleccionar adecuadamente el rol de cada progenitor en los cruzamientos.

**Tabla 4.** Valores fenotípicos de los cruzamientos para el carácter masa del fruto

	<b>UF- 650</b>	<b>Pound -12</b>	<b>IMC - 67</b>	<b>GS - 29</b>
<b>UF- 650</b>	-----	-67.750	-38.500	56.563
<b>Pound -12</b>	95.813	-----	-43.313	51.750
<b>IMC - 67</b>	125.750	-42.625	-----	81.688
<b>GS - 29</b>	126.813	-41.563	-12.313	-----

Los valores fenotípicos de los cruzamientos para el grosor de la cáscara se presentan en la **tabla 5**, donde se destacan las diferencias entre cruces recíprocos. Se observa que el progenitor ‘UF-650’ altera significativamente los valores fenotípicos, incluyendo el signo, en dependencia de si se utiliza como progenitor masculino o femenino. Los valores más altos se obtienen cuando ‘UF-650’ actúa como portador de polen, especialmente en los apareamientos con el progenitor ‘GS-29’. Por otro lado, los efectos menores y más deseables para la selección se logran cuando se utiliza el IMC-67 como proveedor de polen, ya que su cruce con los progenitores ‘UF-650’ (-0.094), ‘Pound-12’ (-0.041) y ‘GS-29’ (-0.038) produce descendencia con una corteza más fina o delgada.

**Tabla 5.** Valores fenotípicos de los cruzamientos para el carácter grosor de la cáscara

	<b>UF- 650</b>	<b>Pound -12</b>	<b>IMC - 67</b>	<b>GS - 29</b>
<b>UF- 650</b>	-----	-0.028	-0.094	-0.018
<b>Pound -12</b>	0.174	-----	-0.041	0.035
<b>IMC - 67</b>	0.161	0.012	-----	0.022
<b>GS - 29</b>	0.177	0.028	-0.038	-----

## RESULTADOS

Los caracteres evaluados, como la masa de cacao pulpa por mazorca, el número promedio de semillas y la masa media de una semilla, mostraron patrones de herencia aditiva y de dominancia, con efectos maternos y recíprocos significativos. En contraste, el grosor de la cáscara y la masa del fruto presentaron una baja aditividad, pero con efectos de dominancia, maternos y recíprocos importantes y significativos. Estos resultados indican que los mecanismos genéticos que controlan estos caracteres son complejos y varían según el rasgo analizado.

Los coeficientes de heredabilidad en sentido estrecho fueron bajos para el grosor de la cáscara, lo que sugiere una mayor influencia ambiental en este carácter. Por el contrario, se observaron valores altos de heredabilidad para la masa de cacao pulpa, el número promedio de semillas por mazorca y la masa promedio de una semilla, lo que indica un mayor control genético sobre estos rasgos. Estos hallazgos son relevantes para la selección y mejora genética del cacao.

Los genotipos con mayor valor fenotípico y más deseables en los cruzamientos fueron identificados. ‘UF-650’ y ‘GS-29’ destacaron como progenitores masculinos para la masa de cacao pulpa, mientras que ‘IMC-67’ fue el más adecuado para el número promedio de semillas. Para la masa media de una semilla y la masa del fruto, ‘UF-650’ y ‘GS-29’ también mostraron los mejores resultados cuando se utilizaron como suministradores de polen. Estos genotipos representan opciones valiosas para programas de mejoramiento genético.

Los estimados del grado de dominancia revelaron la presencia de sobredominancia para el número medio de semillas y la masa del fruto. Por otro lado, se observó dominancia incompleta para la masa de cacao pulpa y la masa de una semilla. Estas relaciones de dominancia son fundamentales para comprender el control genético de los caracteres evaluados y su impacto en la expresión fenotípica.

Los genotipos ‘UF-650’ y ‘GS-29’ se recomiendan como progenitores femeninos en cruzamientos, mientras que ‘Pound-12’ es más adecuado como suministrador de polen. El genotipo ‘IMC-67’ puede utilizarse indistintamente en ambos roles. Las combinaciones híbridas ‘GS-29 x Pound-12’, ‘GS-29 x UF-650’, ‘IMC-67 x Pound-12’ y ‘UF-650 x Pound-12’ demostraron un potencial significativo para la generación de cultivares superiores, basado en los valores de heterosis obtenidos para los componentes evaluados. Estas combinaciones representan una estrategia prometedora para el mejoramiento genético del cacao.

## CONCLUSIONES

1. Los genotipos ‘UF-650’ y ‘GS-29’ destacan como progenitores prometedores para mejorar la masa de cacao pulpa, la masa media de una semilla y la masa del fruto, mientras que ‘IMC-67’ es recomendable para aumentar el número promedio de semillas. Las combinaciones híbridas como ‘GS-29 x Pound-12’, ‘GS-29 x UF-650’, ‘IMC-67 x Pound-12’ y ‘UF-650 x Pound-12’ muestran un alto potencial para generar cultivares superiores debido a los valores de heterosis observados.
2. Estos resultados resaltan la importancia de seleccionar adecuadamente los progenitores y las combinaciones híbridas para maximizar el rendimiento y la calidad del cacao en programas de mejoramiento genético.

## BIBLIOGRAFÍA

- Estrada, B. C. (2017). *Mejoramiento genético de maíz ante el complejo mancha de asfalto en el sureste de México. Revista Mexicana de Fitopatología*, 35, S16-S20 ref. 16. [https://www.smf.org.mx/rmf/suplemento/docs/Volumen352017/simposia/Simposio\\_Maiz\\_B\\_Coutino\\_Estrada.pdf](https://www.smf.org.mx/rmf/suplemento/docs/Volumen352017/simposia/Simposio_Maiz_B_Coutino_Estrada.pdf)

- Hernández, A., Pérez, J. M., Bosch, D., & Castro, N. (2015). *Clasificación de los Suelos de Cuba*. INCA.
- Ramírez-Guillermo, M. Á., Lagunes-Espinoza, L. C., Ortiz-García, C. F., Gutiérrez, O. A., & Rosa-Santamaría, R. de la. (2018). Variación morfológica de frutos y semillas de cacao (*Theobroma cacao* L.) de plantaciones en Tabasco, México. *Revista fitotecnia mexicana*, 41(2), 117-125.
- Sotomayor Cantos, I. A., Tarqui Freire, O. M., Loor Solorzano, R. G., Amores Puyutaxi, F. M., & Motamayor, J. C. (2017). Phenotypic variation and selection of high performance cocoa genotypes in Ecuador. *Revista Espacio Ciencia*, 8(2), 23-33.
- Vanegas Yanangomez, O. F. (2021). *Incompatibilidad sexual en el cultivo de cacao (*theobroma cacao* l.) y su incidencia en la producción*.