

Estimación de algunos parámetros genéticos y respuesta correlacionada de la selección en merey (*Anacardium occidentale* L.)

Estimates of some genetic parameters and correlated responses to selection in cashew

J.R. Méndez-Natera

Departamento de Agronomía, Escuela de Ingeniería Agronómica, Universidad de Oriente. (UDO) Maturín, 6201, Monagas.

Resumen

El objetivo del presente trabajo fue determinar componentes de varianza, coeficientes de variación y correlaciones entre caracteres a nivel fenotípico, genético y ambiental, así como heredabilidad amplia y ganancia por selección directa e indirecta en cinco caracteres en el cultivo de merey. Los datos se obtuvieron de un ensayo con 18 cultivares en un diseño de bloques al azar con tres repeticiones. Se encontraron diferencias significativas entre cultivares para rendimiento de nueces. árbol⁻¹ (RNA), altura de planta (AP) y expansión Este-Oeste del dosel (EEOD), no así para circunferencia del tallo (CT) y expansión Norte-Sur del dosel (ENSD). RNA sólo estuvo relacionado significativa y negativamente con ENSD a nivel genético. El resto de los caracteres estuvieron asociados significativa y positivamente entre sí a excepción de ENSD con AP y CT a nivel fenotípico. La selección directa del RNA garantiza el mayor avance genético en un programa de mejoramiento para incrementar los rendimientos. **Palabras clave:** Merey, *Anacardium occidentale*, selección, componentes de varianza.

Abstract

The objective of this research was to determine variance components, variation coefficients and correlations among characters at phenotypic, genetic and environment levels and broad heritability and genetic gain by direct and indirect selection among five characters in cashew trees. Data were obtained

Recibido el 6-7-2004 • Aceptado el 15-9-2004

Autor para correspondencia correo electrónico: jmendezn@cantv.net

from a trial conducted with 18 cashew cultivars grown in a randomized complete block design with three replications. Significant differences were found for cultivars for nut yield.tree⁻¹, plant height and East-West canopy spread but stem girth and North-South canopy spread were similar among cultivars. Nut yield.tree⁻¹ was only associated significantly and negatively with North-South canopy spread at genetic level, but not at phenotypic and environment levels. Remainder traits were associated significantly and positively among them, excepting North-South canopy spread with plant height and stem girth at phenotypic level. Direct selection of nut yield.tree⁻¹ guarantee the biggest genetic gain in a breeding program to booster nut yield.

Key words: Cashew, *Anacardium occidentale*, selection, variance components.

Introducción

En Venezuela, el merey (*Anacardium occidentale* L.) crece ampliamente disperso sobre una gran parte del país. Las principales áreas de concentración son la parte norte del estado Bolívar, la parte sur de los estados Anzoátegui y Monagas y la parte suroeste del estado Guárico, así como en el estado Zulia. En estas regiones se usa el pseudofruto y la almendra de la nuez para la preparación de dulces; con esta última se confeccionan dulces como el mazapán y el turrón (8).

Brito da Costa *et al.* (2) han señalado que el caucho es una especie perenne con un ciclo largo de mejoramiento (25-30 años son requeridos hasta la selección final de clones). Este largo proceso ha conducido a una inversión considerable en estudios de parámetros genéticos para maximizar el progreso de la selección, de particular interés a los mejoradores, los cuales son la varianza genética, la heredabilidad y las ganancias provis-

tas por diferentes métodos de selección, lo cual también es aplicable al merey por ser una especie perenne.

Existen pocos estudios sobre los componentes de varianza genética, coeficientes de variación genética, heredabilidad y ganancias genéticas en el cultivo de merey. Azevedo *et al.* (1) trabajaron con 27 progenies de merey en Brasil y encontraron que los caracteres altura de planta y número de ramas secundarias mostraron, respectivamente, los estimados de varianza genética mas altos y mas bajos relativo a las medias poblacionales correspondientes. El objetivo del presente trabajo fue determinar a nivel fenotípico, genético y ambiental, los componentes de varianza, los coeficientes de variación y las correlaciones entre caracteres, estimar la heredabilidad amplia y la ganancia por selección directa e indirecta en cinco caracteres en el cultivo de merey.

Materiales y métodos

El trabajo se realizó en la Estación para la Investigación del Mery de la Universidad Agrícola de Kerala, en Maddakhatara, Thrissur, Kerala, India. Todas las prácticas agronómicas y las medidas de protección de plantas se dieron a los árboles de acuerdo al paquete de recomendaciones de prácticas de la Universidad de Kerala (5). La descripción del experimento con las 18 variedades de mery, así como las características geográficas, edáficas y climáticas de la Estación Experimental fueron previamente señaladas por Méndez-Natera y Abdul-Salam (6) entre estas están: latitud 10°52', longitud 76°22', altitud 30 m.s.n.m., suelo: composición química: carbono orgánico: 0,72 a 1,01%, P_2O_5 disponible: 6,0 a 12,6 $kg \cdot ha^{-1}$, K_2O disponible: 186 a 345 $kg \cdot ha^{-1}$, clima: precipitación normal: 3170 mm, temperatura máxima: 29,1 a 36,5°C, temperatura mínima: 21,2 a 25,1°C y humedad relativa: 68,94%. Las variedades de mery de la India utilizadas en este estudio fueron: H-2/15, Tree N.129, Tree N. 40 y H-2/16 provenientes de la Estación Experimental de Bapatla; Anakkayam-1, H-1608, H-1600, H-1610 y H-1598 provenientes de Madakkhatara; H 24 (V5), Vengurla 3, Vengurla 4 y Vengurla 2 provenientes de Vengurla;

Vth 30/4 y Vth 59/2 provenientes de Vittal y M-26/2, M-44/3 y M-33/3 provenientes de la Estación Experimental de Vridhachalam.

Los caracteres rendimiento de nueces ($kg \cdot árbol^{-1}$), altura de planta (m), circunferencia del tallo (cm), expansión Este-Oeste del dosel (m) y expansión Norte-Sur del dosel (m) fueron analizados mediante los análisis de varianza y covarianza (10). En el cuadro 1 se muestran las ecuaciones para el cálculo de los componentes de varianza, heredabilidad amplia, coeficientes de variación genética, ambiental y fenotípica, correlaciones fenotípica, genética y ambiental entre caracteres de acuerdo al procedimiento descrito por Singh y Chaudhary (10) y Vencovsky y Barriga (12). También en el cuadro 1 se muestran las ecuaciones para calcular la ganancia genética mediante la selección directa e indirecta (4). Los caracteres se consideraron de heredabilidad alta si esta fue mayor de 50%, de heredabilidad media entre 20 y 50% y de heredabilidad baja si esta fue menor de 20% de acuerdo a Stansfield (11). Todos los análisis estadísticos se realizaron con el programa GENES (3). El nivel de significación obtenido fue al 1 y 5%.

Resultados y discusión

Se encontraron diferencias significativas entre los cultivares de mery para el rendimiento de nueces $árbol^{-1}$, altura de planta y expansión

Este-Oeste del dosel, no así para la circunferencia del tallo y la expansión Norte-Sur del dosel, indicando una mayor variabilidad genética para los

Cuadro 1. Ecuaciones para el cálculo de los componentes de varianza, coeficientes de variación genético, ambiental y fenotípico, correlaciones fenotípica, genética y ambiental entre caracteres (rendimiento de nueces, altura de planta, circunferencia del tallo, expansión Este-Oeste del dosel y expansión Norte-Sur del dosel y efecto directo (respuesta o ganancia genética) e indirecto de la selección de cinco caracteres de 18 cultivares de merrey (*Anacardium occidentale* L.).

$$\text{Varianza Genética } (\sigma_g^2) = \frac{\text{CMc} \cdot \text{CMe}}{r}$$

CMc = Cuadrado medio de los cultivares CMe
= Cuadrado medio del error experimental
r = Número de repeticiones
(a nivel de medias de los cultivares)

$$\text{Varianza Ambiental } (\sigma_a^2) = \frac{\text{CMe}}{r}$$

$$\text{Varianza Ambiental } (\sigma_a^2) = \text{CMe}$$

$$\text{Varianza Fenotípica } (\sigma_f^2) = \sigma_g^2 + \frac{\sigma_a^2}{r}$$

$$\text{Varianza Fenotípica } (\sigma_f^2) = \sigma_g^2 + \sigma_a^2$$

$$\text{Heredabilidad Amplia } (H_m^2) = \frac{\sigma_g^2}{\sigma_g^2 + \frac{\sigma_a^2}{r}}$$

$$\text{Heredabilidad Amplia } (H_p^2) = \frac{\sigma_g^2}{\sigma_g^2 + \sigma_a^2}$$

$$\text{Coeficiente de Variación Fenotípico } (CV_f) = \frac{\sqrt{\sigma_f^2}}{X} \cdot 100$$

(donde X = Promedio del carácter)

Donde i = Diferencial de selección (i = 1,2088 con intensidad de selección de 16,67 %).
De acuerdo a Singh y Chaudhary (10); Vencovsky y Barriga (12) y Falconer (4)

Cuadro 1. Ecuaciones para el cálculo de los componentes de varianza, coeficientes de variación genético, ambiental y fenotípico, correlaciones fenotípica, genética y ambiental entre caracteres (rendimiento de nueces, altura de planta, circunferencia del tallo, expansión Este-Oeste del dosel y expansión Norte-Sur del dosel y efecto directo (respuesta o ganancia genética) e indirecto de la selección de cinco caracteres de 18 cultivares de merey (*Anacardium occidentale* L.) (Continuación).

Coefficiente de Variación Genético (CV _g) = $\frac{\sqrt{\sigma_g^2}}{X} \cdot 100$	(donde X = Promedio del carácter)
Coefficiente de Variación Ambiental (CV _a) = $\frac{\sqrt{\sigma_a^2}}{X} \cdot 100$	(donde X = Promedio del carácter)
Coefficiente de Correlación Fenotípico (r _p) = $\frac{\text{Cov}_r(x, y)}{\sqrt{\sigma_f^2(x)} \cdot \sqrt{\sigma_f^2(y)}}$	
Coefficiente de Correlación Genético (r _g) = $\frac{\text{Cov}_g(x, y)}{\sqrt{\sigma_g^2(x)} \cdot \sqrt{\sigma_g^2(y)}}$	
Coefficiente de Correlación Ambiental (r _a) = $\frac{\text{Cov}_a(x, y)}{\sqrt{\sigma_a^2(x)} \cdot \sqrt{\sigma_a^2(y)}}$	
Respuesta Directa o Ganancia Genética (RD) = $i \cdot \sqrt{H^2} \cdot \sqrt{\sigma_g^2}$	
Respuesta Correlacionada (RC _y) = $i \cdot \sqrt{H_x^2} \cdot \sqrt{H_y^2} \cdot r_g \cdot \sqrt{\sigma_{p_y}^2}$	
Ganancia por Selección (%) (GS%) = $\frac{RD \cdot 100}{X}$	(Selección directa)
Ganancia por Selección (%) (GS%) = $\frac{RC \cdot 100}{X}$	(Selección indirecta)

Donde i = Diferencial de selección (i = 1,2088 con intensidad de selección de 16,67 %).
De acuerdo a Singh y Chaudhary (10); Vencovsky y Barriga (12) y Falconer (4)

tres primeros caracteres, como lo indica el coeficiente de variación genética de los mismos y la relación entre los coeficientes genético y ambiental (cuadro 2). El coeficiente de variación fue bajo para la expansión Este-Oeste del dosel, lo cual indicó una buena precisión experimental. Los coeficientes de variación ambiental fueron menores para las expansiones Norte-Sur y Este-Oeste del dosel y la altura de la planta a aquellos indicados por Azevedo *et al.* (1) quienes trabajaron con 27 progenies de merey. Por otra parte, estos autores indicaron coeficientes de variación genéticos mayores a los encontrados en este ensayo para los tres caracteres anteriores. Estas diferencias pudieron deberse a la utilización de diferentes cultivares y/o a las condiciones de crecimiento de los mismos tanto a nivel climático como de manejo del cultivo.

Los estimados de heredabilidad amplia a nivel de medias de los cultivares fueron altos para el rendimiento de nueces.árbol¹, altura de planta y expansión Este-Oeste del dosel y bajos para la circunferencia del tallo y la expansión Norte-Sur del dosel, mientras que de acuerdo a la heredabilidad a nivel de parcelas, sólo el carácter rendimiento de nueces.árbol¹ tuvo una heredabilidad alta; la altura de planta y la expansión Este-Oeste del dosel tuvieron una heredabilidad intermedia y para los dos caracteres restantes fue baja (cuadro 2). Vencovsky y Barriga (12) indicaron que una selección basada en medias de los cultivares está en un nivel más elevado de precisión que de aquel basado en parcelas o plantas

individuales. Esto deriva en una disminución de la influencia de los errores experimentales cuando se utilizan las medias en lugar de individuos como criterio de selección; de hecho, solamente la heredabilidad a nivel de medias de los cultivares interesa para considerar las expectativas de selección, visto que no se seleccionaran cultivares o clones en base a las parcelas, la heredabilidad a nivel de parcelas sólo tiene validez para fines de comparación con otros, puesto que este es independiente del número de repeticiones.

En relación a las asociaciones entre los caracteres evaluados, el rendimiento de nueces.árbol¹ sólo estuvo relacionado significativa y negativamente con la expansión Norte-Sur del dosel a nivel genético, no así a nivel fenotípico y ambiental (cuadro 3). Dasarathi citado por Nambiar (7) indicó que los árboles de merey con un crecimiento vegetativo excesivo y largos internudos son menos productivos que aquellos dentro del promedio o con bajos valores. El resto de los cuatro caracteres relacionados con el desarrollo del árbol estuvieron asociados significativa y positivamente entre sí a excepción de la expansión Norte-Sur del dosel con la altura de la planta y la circunferencia del tallo a nivel fenotípico, las cuales fueron positivas pero no significativas. Resultados similares fueron indicados por Azevedo *et al.* (1) para los caracteres vegetativos y señalaron que los altos valores de los estimados de correlación hace evidente que la selección para incrementar la media de cualquiera de los caracteres vegetativos

Cuadro 2. Análisis de varianza, componentes de varianza, heredabilidad amplia y coeficientes de variación de cinco caracteres de 18 cultivares de meroy (*Anacardium occidentale* L.).

Cuadrados medios observados						
Fuente de variación	g.l.	Rendimiento de nueces (kg.árbol ⁻¹)	Altura de planta (m)	Circunferencia del tallo (cm)	Expansión Este-Oeste del dosel (m)	Expansión Norte-Sur del dosel (m)
Repetición	2	1,5643 ns	0,5896 ns	35,9074 ns	1,7563 ns	6,5406**
Cultivares	17	43,6736**	1,0559*	162,8976 ns	1,6843**	1,5518 ns
Error Exp.	34	3,2079	0,4759	156,0643	0,6879	1,3804
Promedio		6,862	6,341	84,70	8,630	8,678
CV (%)		26,10	10,88	14,79	8,88	13,54
Parámetro						
$\hat{\sigma}_f^2$ †		14,56	0,352	54,30	0,561	0,517
$\hat{\sigma}_f^2$ ‡		1,07	0,159	52,02	0,196	0,460
$\hat{\sigma}_a^2$ †		13,49	0,193	2,28	0,365	0,057
H ² (%) †		92,65	54,93	4,10	65,10	11,05
$\hat{\sigma}_f^2$ ‡		16,70	0,669	158,34	0,953	1,437
$\hat{\sigma}_f^2$ †		3,21	0,476	156,06	0,588	1,380
$\hat{\sigma}_a^2$ ‡		13,49	0,193	2,28	0,365	0,057
H ² (%) ‡		80,79	28,89	1,44	38,34	3,97
CV ² f (%) ‡		59,54	12,90	14,86	11,31	13,82
CVg (%) ‡		53,52	6,94	1,78	7,01	2,76
CVa (%) ‡		26,10	10,88	14,75	8,88	13,54
CVg/CVa ‡		2,05	0,64	0,12	0,79	0,20

** : Significativo ($P \leq 0,01$); * : Significativo ($P \leq 0,05$); ns : No significativo ($P > 0,05$); g.l. : Grados de libertad; $\hat{\sigma}_f^2$ = Varianza fenotípica; $\hat{\sigma}_a^2$ = Varianza ambiental; $\hat{\sigma}_g^2$ = Varianza genética; H² = Heredabilidad; CV²f = Coeficiente de variación fenotípico; CVg = Coeficiente de variación genético; CVa = Coeficiente de variación ambiental; CVg/CVa † Parámetros calculados a nivel de medias de cultivares ‡ Parámetros calculados a nivel de parcelas

Cuadro 3. Coeficientes de correlación fenotípica, genética y ambiental entre pares de caracteres y estimados de las respuestas directas (entre paréntesis) y correlacionadas predichas (porcentaje de cambio) para los caracteres basados en una intensidad de selección de 16,67 % (j = 1,5029) de 18 cultivares de merrey (*Anacardium occidentale* L.).

	Rendimiento de nueces (kg.árbol ⁻¹)	Altura de planta (m)	Circunferencia del tallo (cm)	Expansión Este-Oeste del dosel (m)
Altura de planta (m)	- 0,010 † ns 0,018 ‡ ns - 0,128 ¥ ns	—		
Circunferencia del tallo (m)	0,052 ns - 0,217 ns	0,573* 1,000*	—	
Expansión Este-Oeste del dosel (m)	0,358 ns 0,057 ns 0,098 ns	0,306 ns 0,653** 0,946**	0,550* 1,000**	—
Expansión Norte-Sur del dosel (m)	- 0,120 ns - 0,239 ns - 0,673** - 0,093 ns	0,220 ns 0,450 ns 1,000** 0,131 ns	0,261 ns 0,438 ns 0,704** 0,423 ns	0,581* 1,000** 0,381 ns

** : Significativo (P£0,01); * : Significativo (P£0,05); ns : No significativo (P>0,05)
 Coeficientes de correlación: †: Fenotípico; ‡: Genético ¥: Ambiental

Cuadro 3. Coeficientes de correlación fenotípica, genética y ambiental entre pares de caracteres y estimados de las respuestas directas (entre paréntesis) y correlacionadas predichas (porcentaje de cambio) para los caracteres basados en una intensidad de selección de 16,67 % ($i = 1,5029$) de 18 cultivares de merey (*Anacardium occidentale* L.) (Continuación).

Caracteres correlacionados	Caracteres seleccionados: Porcentaje de cambio					
	Rendimiento de nueces (kg.árbol ⁻¹)	Altura de Planta (m)	Circunferencia del tallo (m)	Expansión Oeste del dosel (m)	Expansión Este-Sur del dosel (m)	Expansión Norte-Sur del dosel (m)
Rendimiento de nueces (kg.árbol ⁻¹)	(77,42)	1,09	- 3,58	6,38	- 17,99	
Altura de planta (m)	0,18	(7,72)	2,13	7,95	3,46	
Circunferencia del tallo (m)	- 0,56	1,99	(0,55)	2,16	0,63	
Expansión Norte-Sur del dosel (m)	1,00	7,38	2,16	(8,49)	3,50	
Expansión Este-Oeste del dosel (m)	- 2,68	3,07	0,60	3,34	(1,38)	

evaluados tendría repercusión en los tres caracteres vegetativos restantes, causando un incremento indirecto en sus medias.

Cuando se realiza una selección directa del rendimiento de nueces, el porcentaje de incremento con respecto a la media del ensayo es de 77,42%, el cual es relativamente alto con respecto al incremento que se produciría si se selecciona alguno de los caracteres restantes e inclusive el rendimiento disminuiría en 17,99% si se seleccionara para una mayor expansión Norte-Sur del dosel, igual sucede con una selección directa de la expansión Este-Oeste del dosel, peso si se obtendría una mayor ganancia por selección indirecta para la altura de la planta, circunferencia del tallo y expansión Norte-Sur del dosel cuando se selecciona para una mayor expansión Este-Oeste del dosel (cuadro 3). Al respecto, Azevedo *et al.* (1) indicaron que los valores de la ganancia genética esperada en varios caracteres, cuando la selección se aplica a

otros caracteres son importantes porque a veces se puede requerir la selección de un carácter complejo con baja heredabilidad, en este caso, la selección puede comenzar con los caracteres más simples, pero con mayor heredabilidad puesto que ellos están relacionados con el carácter principal. En este experimento el mayor porcentaje de avance se obtiene con la selección directa del rendimiento de frutos. Dicha selección no afectaría marcadamente las medias de los otros cuatro caracteres (respuestas correlacionadas entre -2,68 y 1,00%). Ramadas y Thatham (9) estudiaron el rendimiento y siete caracteres de la nuez y del pseudofruto en 38 entradas de merey en la colección ubicada en Vridhhalam, India en 1980-81 y encontraron que el rendimiento no estuvo significativamente asociado con los otros caracteres y concluyeron que el rendimiento individual de un árbol ofrece el mejor alcance para la selección de rendimientos mejorados.

Conclusiones

Se encontró una alta variabilidad genética y una alta heredabilidad para el rendimiento de nueces. árbol¹, expansión Este-Oeste del dosel y la altura de la planta, no así para la circunferencia del tallo y la expansión Nor-

te-Sur del dosel. La selección directa del rendimiento de nueces. árbol¹ garantiza el mayor avance genético en un programa de mejoramiento para incrementar los rendimientos de nueces.

Literatura citada

1. Azevedo, D.M.P., J.R. Crisóstomo, F.C.G. Almeida y A.G. Rosetti. 1998. Estimates of genetic correlations and correlated

responses to selection in cashew (*Anacardium occidentale* L.) Genetics and Molecular Biology 21(3):399-402.

2. Brito da Costa, R., M.D.V. Resende, A.J. Araujo, P. de S. Goncalves y H.R. Higa. 2000. Selection and genetic gain in rubber tree (*Hevea*) populations using a mixed mating system. *Genetics and Molecular Biology* 23(3):671-679.
3. Cruz, C.D. 1998. Programa GENES - Aplicativo Computacional em Estatística Aplicada à Genética. *Genetics and Molecular Biology* 21 (1):135-138.
4. Falconer, D.S. 1975. *Introducción a la genética cuantitativa*. 5^{ta} Reimpresión. Traducido por F. Márquez Sánchez. Editorial Continental S.A. México. D.F. 430p.
5. Kerala Agricultural University (KAU). 1993. Package of practices recommendations 'Crops' 1993. Directorate of Extension, Mannuthy, Thrissur, Kerala, India. 237p.
6. Méndez-Natera. J.R. y M. Abdul Salam. 1997. Comportamiento agronómico de 18 cultivares de merey (*Anacardium occidentale* L.) en la Estación para la Investigación del Merey, en Madakkathara, Estado de Kerala, India, en el periodo 1995-96. *Oriente Agropecuario* 22: 115-129.
7. Nambiar, M.C. 1977. Cashew. p.461-477. En: *Ecophysiology of Tropical Crops*. Elvins, P. de T. and T.T., Kozlovsky, (Eds.) Academic Press, New York, USA.
8. Ohler, J.G. 1979. Cashew. Communication 71. Department of Agricultural Research. Amsterdam, The Neertherlands. 219p.
9. Ramadas, S. y D.V. Thatham. 1982. Variability and correlation of certain characters in cashewnut. *Genetics, Plant Breeding and Horticulture. Proceedings of the fourth annual symposium on plantation crops (Placrosym IV), Mysore 3-5 December 1981* (edited by Vishveshwara, S). 1982, p.229-236.
10. Singh, R.K. y B.D. Chaudhary. 1977. *Biometrical methods in quantitative genetics analysis*. Kalyani Publishers, Ludhiana, India 304p.
11. Stansfield, W.D. 1971. *Teoría y problemas de genética*. Serie de Compendios Schaum. Edición Revisada. Traducido por S. Armendares y E. Brostein de Ranen. McGraw-Hill, México D. F. México. 298p.
12. Vencovsky, R. y P. Barriga. 1992. *Genética biométrica no fitomelhoramento*. Riberão Preto. *Revista Brasileira de Genética* 496p.