

# Correlaciones fenotípicas, genéticas y ambientales en *Cucurbita moschata* Duch. Ex Poir

[M. Espitia Camacho\\*](#) [F. A. Vallejo Cabrera\\*\\*](#) [D. Baena García\\*\\*\\*](#)

[Compendio](#) | [Abstract](#) | [Introducción](#) | [Materiales y Métodos](#)  
[Resultados y Discusión](#) | [Conclusiones](#) | [Bibliografía](#)

## COMPENDIO

El estudio estimó las correlaciones fenotípicas, genéticas y ambientales entre doce caracteres agronómicos en dos dialélicos de zapallo (uno entre cinco variedades y otro entre cinco líneas S1, originadas de las anteriores). Se usó un diseño en bloques completos al azar con 15 tratamientos (5 progenitores + 10 cruzamientos F1) para cada dialélico y cinco repeticiones. Los resultados señalaron mayor estimación de las correlaciones (en magnitud y significancia estadística) a favor del dialélico de líneas S1. Las correlaciones genéticas fueron superiores a las fenotípicas y las ambientales. La producción por planta (PPF) presentó las correlaciones parciales fenotípicas y genéticas más altas con el peso por fruto (PPF) y el número de frutos por planta (NFP) ( $r_{PF}$  y  $r_{PG} > 0.80$ ). El PPF y NFP pueden usarse como criterios de selección para la obtención de cultivares de altos rendimientos en *C. moschata*.

**Palabras claves:** Calabaza (cucurbita), correlación genética, características agronómicas.

## ABSTRACT

**Phenotypic, genotypic and environmental correlations in *Cucurbita moschata* Duch. Ex Poir.** The study evaluated phenotypic, genotypic and environmental correlations among 12 agronomy characters, in two set diallelic from five parents each one. The first set from five open pollinated varieties and the second one from five self-pollinated lines S1, obtained from the previous varieties. The two experiments were in completely randomized blocks with five replications. A higher estimation of correlation (in magnitude and statistical significance) was observed in favor of the S1 lines diallelic. The genetic correlations were higher than the phenotypic and environmental correlations. The plant yield (PPF) showed the highest partial phenotypic and genetic correlations with the fruit weight (PPF) and fruits per plant (NFP) ( $r_{PF}$  and  $r_{PG} > 0.80$ ). It is suggested to use the PPF and NFP as selection criteria for breeding of *C. moschata* for development of high yield cultivars.

**Key words:** Calabaza (cucurbita), genetic correlation, agronomic characteristics.

## INTRODUCCIÓN

En el mundo el área sembrada en zapallo o ahuyama (*C. moschata*) se incrementó en 94% en el periodo de 1994 al 2001, al pasar de 564.000 a 1.297.000 hectáreas (Le Buanec, 2002). En Colombia se reconoce la importancia de la ahuyama por: área de siembra (3000 ha: FAO, 2002; Corpoica, 2001), producción (30 t / ha), versatilidad en consumo directo, alimento saludable, materia prima para la agroindustria, artesanías, decoración, calidad nutricional (alto contenido de betacaroteno, ácido ascórbico, calcio, hierro, fósforo, tiamina y niacina) (Caicedo, 1993;

Vallejo y Mosquera, 1998); además es un cultivo rústico, tiene potencial de exportación (Hernández, 2001); los cultivos son propios y ligados a pequeños agricultores (Toro, 2001). No obstante la investigación en Colombia es muy escasa, siendo la más importante la que realiza la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira en el "Programa de Mejoramiento Genético, Agronomía y Producción de Semillas de Hortalizas" desde hace 17 años.

El trabajo del fitomejorador para identificar los individuos o cultivares que reúnan simultáneamente las características deseables no es fácil, dado que muchos se encuentran asociados positiva o negativamente. La herramienta estadística que permite estimar el grado y naturaleza de tales asociaciones es el coeficiente de correlación ( $r$ ). Las correlaciones entre los caracteres de interés en el fitomejoramiento se evalúan por medio de correlaciones fenotípicas, genotípicas y ambientales. La correlación fenotípica se estima directamente de valores medios de campo, siendo resultante de causas genéticas y ambientales. La correlación genotípica corresponde a la porción genética de la correlación fenotípica; se emplea para orientar programas de mejoramiento por ser la única de naturaleza heredable (Ceballos, 2003; Cruz, 2001; Cruz y Regazzi, 1997; Falconer y Makay, 1996; Vencovsky y Barriga, 1992; Mariotti, 1986; Hallauer y Miranda, 1981 y Falconer, 1972).

Las correlaciones se han utilizado para los siguientes objetivos: **a)** realizar selección indirecta para una característica X, a través de otra Y, mucho más fácil de medir, identificar o de mayor heredabilidad para lograr mayor progreso genético; **b)** estimar el cambio y predecir el nivel de respuesta correlacionada con la selección, cuando se realiza selección en una característica X sobre otra Y, asociada genéticamente; **c)** desarrollar índices de selección simultánea para varios caracteres; **d)** obtener información básica para otros análisis, como el de sendero o ruta (path analysis) y **e)** realizar análisis de correlación no paramétrica, en estudios de interacción genotipo x ambiente, para selección de genotipos de buen comportamiento agronómico, estabilidad y adaptabilidad (Falconer, 1972; Hallauer y Miranda, 1981; Mariotti, 1986; Vencovsky y Barriga, 1992; Falconer y Makay, 1996; Cruz y Regazzi, 1997; Cruz, 2001; Ceballos, 2003)

Los coeficientes de correlación, a pesar de ser de gran utilidad en la cuantificación de la magnitud y dirección de las influencias de factores en la determinación de caracteres complejos, no indican la exacta importancia de los efectos directos e indirectos de esos factores (Singh y Chaudhary, 1977; Cruz y Regáis, 1997; Vencovsky y Barriga, 1992).

El análisis de la literatura sobre correlaciones para rendimiento / planta, componentes primarios, caracteres relacionados con las propiedades del fruto y la semilla, en el género Cucurbita (Sudhakar *et al.*, 2002; Mohanty, 2001; Devadas *et al.*, 1999; Gwanama *et al.*, 1998; Kumaran *et al.*, 1998; Vinasco *et al.*, 1998; Cui *et al.*, 1996; Amaral *et al.*, 1994; Singh *et al.*, 1992; Wessel y Carbonell, 1989; Pandita *et al.*, 1989; Doijode y Sulladmath, 1986; Rana *et al.*, 1985) se puede resumir en las siguientes conclusiones:

1. Existen correlaciones diferenciales entre los caracteres agronómicos en cuanto a sentido (directo e inverso) y magnitud.
2. Las correlaciones genéticas generalmente son mayores que las fenotípicas para muchas de las combinaciones de caracteres.

3. A pesar de lo anterior, existe buena coincidencia en la detección de correlación positiva y significativa entre el rendimiento de fruto / planta con sus componentes primarios: número de frutos / planta y el peso / fruto, fundamentalmente en las correlaciones genéticas.
4. Con base en lo anterior la mayoría de los autores sugiere en los programas de mejoramiento genético para estas especies, seleccionar por peso / fruto o número de frutos / planta, para obtener genotipos de alto rendimiento. Cuando el interés es la obtención de genotipos de frutos pesados, se sugiere la selección de plantas con frutos de mayores índices de tamaño (largo x ancho), mayor peso de semilla / fruto o buen grosor de pulpa.

El estudio tuvo como objetivo específico estimar las correlaciones fenotípicas, genéticas y ambientales, entre 12 caracteres relacionados con floración, rendimiento, componentes del rendimiento, propiedades del fruto y propiedades de la semilla, en dos estudios dialélicos de zapallo (uno entre cinco variedades y otro entre cinco líneas S1, originadas de las anteriores).

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

El trabajo se realizó durante 2002 y 2003 en el Centro Experimental de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira - CEUNP. (3° 24' latitud norte y 76° 26' longitud oeste). Se encuentra a 980 m sobre el nivel del mar, tiene 24.6°C de temperatura promedio anual, 1100 mm de precipitación promedio anual y 69% de humedad relativa media. Según la clasificación de Holdridge la zona pertenece a la formación Bosque Seco Tropical (BS-T)

Los datos utilizados en el estudio se obtuvieron de la evaluación agronómica de dos estudios dialélicos de zapallo de cinco progenitores. Uno entre cinco variedades de libre polinización (Bolo Verde: BV; Soler: SO; Accesión 88: A88; Accesión 34: A34 y Accesión 126: A126) y otro entre cinco líneas endogámicas S1 (LBV; LSO; LA88; LA34 y LA126), obtenidas de las anteriores variedades. En cada dialélico se evaluaron 15 genotipos (5 progenitores + 10 cruzamientos directos). Se estimaron los caracteres: 1) días a floración masculina (DFM), 2) días a floración femenina (DFF), 3) producción / planta (PFP: kg), 4) frutos / planta (NFP), 5) peso / fruto (PPF: kg), 6) diámetro longitudinal del fruto (DLF: cm), 7) diámetro ecuatorial del fruto (DEF: cm), 8) grosor de la pulpa (GPF: cm), 9) diámetro de la cavidad de la semilla (DCS: cm), 10) peso / 100 semillas (PCS: g), 11) peso de semilla / fruto (PSF: g), y 12) número de semillas / fruto (NSF).

La evaluación se realizó mediante diseño experimental de bloques completos al azar con cinco repeticiones. La distancia de siembra utilizada fue de 3 m x 3 m en cuadro. La unidad experimental consistió de un surco de ocho plantas, de la cual se tomaron las seis plantas centrales como parcela efectiva. A pesar de que los datos se tomaron sobre plantas individuales, los análisis se realizaron con base en los promedios por unidad experimental. El lote experimental tuvo el manejo recomendado por el Programa de Mejoramiento Genético, Agronomía y Producción de Semillas de Cultivos Tropicales, con énfasis en Hortalizas de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira (2001).

La estimación de los coeficientes de correlación fenotípicos ( $r_F$ ), genéticos ( $r_G$ ) y ambientales ( $r_A$ ), para cada par de caracteres, se realizó mediante el uso del programa computacional GENES versión Windows (2004.2.1), desarrollado por Cruz (2004).

El programa aplica las fórmulas clásicas de correlación:

1. Correlación fenotípica ( $r_{F(XY)}$ );  $r_{F(XY)} = \text{COV}_{F(XY)} / S_{F(X)} \cdot S_{F(Y)}$
2. Correlación genética ( $r_{G(XY)}$ );  $r_{G(XY)} = \text{COV}_{G(XY)} / S_{G(X)} \cdot S_{G(Y)}$
3. Correlación ambiental ( $r_{E(XY)}$ );  $r_{E(XY)} = \text{COV}_{E(XY)} / S_{E(X)} \cdot S_{E(Y)}$

En donde:  $r(XY)$  y  $\text{COV}(XY)$  son las correlaciones y covarianzas fenotípicas, genéticas y ambientales entre los caracteres X e Y, respectivamente;  $S(x)$  y  $S(y)$  son la desviaciones estándar fenotípicas, genéticas y ambientales de X e Y, respectivamente.

Una vez estimados los coeficientes de correlación se confirmó la significancia estadística para cada "r", planteando la hipótesis nula:  $H_0: r = 0$ , versus la hipótesis alterna:  $H_a: r \neq 0$ , mediante una prueba de T, dada por la siguiente fórmula:

$$T_c = [r \sqrt{(n-2)}] / [\sqrt{(1-r^2)}]$$

La "T" calculada ( $T_c$ ) se comparó con una T tabla ( $T_t$ ), al nivel de significancia seleccionado 0.05 y 0.01 y con  $(n - 2)$  grados de libertad. La regla de decisión fue sí  $T_c \geq T_t$ , entonces el valor de "r" es estadísticamente diferente de cero.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Existieron correlaciones diferenciales entre los caracteres estudiados en cuanto a su sentido (positivo o negativo) y magnitud, para las correlaciones fenotípicas, genéticas y ambientales ([Tabla 1](#)).

**Tabla 1. Correlaciones fenotípicas ( $r_P$ ), genéticas ( $r_G$ ) y ambientales ( $r_A$ ), para el dialélico entre variedades (arriba de la diagonal) y entre líneas S1 (debajo de la diagonal) de zapallo (*C. moschata*).**

		DFM	DFP	NFP	PPF	PPF	DLP	DEF	GPF	DCS	PCS	PSF	NSF
DFM	$r_P$		<b>0.62*</b>	0.05	-0.30	-0.17	-0.20	-0.06	-0.01	-0.17	-0.36	-0.46	-0.13
	$r_G$		<b>0.72*</b>	0.10	-0.35	-0.21	-0.22	-0.05	0.00	-0.20	-0.43	<b>-0.60*</b>	-0.14
	$r_A$		0.34	-0.14	-0.17	0.04	-0.07	-0.08	-0.05	-0.01	-0.12	-0.21	-0.11
DFP	$r_P$	<b>0.88**</b>		-0.16	-0.20	0.00	-0.31	0.34	0.51	0.13	-0.14	-0.43	-0.26
	$r_G$	<b>0.91**</b>		-0.16	-0.24	-0.01	-0.43	0.47	<b>0.72**</b>	0.19	-0.18	<b>-0.69**</b>	-0.45
	$r_A$	<b>0.62*</b>		-0.16	-0.10	0.07	0.08	-0.11	-0.13	-0.05	-0.07	-0.03	0.05
NFP	$r_P$	-0.08	-0.14		0.32	<b>-0.65**</b>	-0.30	-0.45	-0.49	-0.36	-0.30	-0.32	-0.11
	$r_G$	-0.05	-0.12		0.18	<b>-0.74**</b>	-0.39	<b>-0.54*</b>	<b>-0.65**</b>	-0.42	-0.37	<b>-0.55*</b>	-0.23
	$r_A$	-0.24	-0.29		<b>0.64*</b>	-0.26	0.04	-0.05	0.09	-0.12	-0.12	0.09	0.13
PPF	$r_P$	<b>-0.73**</b>	<b>-0.68**</b>	<b>0.53*</b>		0.47	-0.14	0.47	0.13	<b>0.64*</b>	-0.46	-0.10	0.25
	$r_G$	<b>-0.77**</b>	<b>-0.72**</b>	<b>0.52*</b>		0.49	-0.26	0.50	0.02	<b>0.74**</b>	<b>-0.62*</b>	-0.30	0.24
	$r_A$	-0.31	-0.31	<b>0.62*</b>		0.50	0.25	0.41	0.45	0.39	-0.10	0.19	0.27
PPF	$r_P$	<b>-0.84**</b>	<b>-0.76**</b>	-0.22	<b>0.67**</b>		0.12	<b>0.80**</b>	<b>0.58*</b>	<b>0.84**</b>	-0.19	0.22	0.39
	$r_G$	<b>-0.92**</b>	<b>-0.84**</b>	-0.20	<b>0.70**</b>		0.10	<b>0.82**</b>	<b>0.58*</b>	<b>0.87**</b>	-0.23	0.27	0.49
	$r_A$	-0.11	0.00	-0.31	0.43		0.25	<b>0.62*</b>	<b>0.58*</b>	<b>0.61*</b>	-0.01	0.15	0.19
DLP	$r_P$	-0.21	-0.33	-0.17	0.02	0.17		-0.38	-0.40	-0.32	0.14	0.25	0.16
	$r_G$	-0.24	-0.39	-0.23	-0.02	0.16		-0.43	-0.51	-0.37	0.15	0.24	0.12
	$r_A$	-0.04	0.13	0.19	0.32	0.22		-0.12	0.12	-0.05	0.10	0.33	0.30
DEF	$r_P$	<b>-0.73**</b>	<b>-0.60*</b>	0.17	<b>0.79**</b>	<b>0.81**</b>	-0.25		<b>0.88**</b>	<b>0.94**</b>	-0.11	0.10	0.21
	$r_G$	<b>-0.79**</b>	<b>-0.65**</b>	0.23	<b>0.84**</b>	<b>0.83**</b>	-0.29		<b>0.91**</b>	<b>0.95**</b>	-0.15	0.08	0.23
	$r_A$	0.01	0.01	-0.30	0.26	<b>0.60*</b>	0.12		<b>0.74**</b>	<b>0.91**</b>	0.07	0.20	0.18
GPF	$r_P$	<b>-0.69**</b>	<b>-0.55*</b>	0.14	<b>0.62*</b>	<b>0.70**</b>	-0.31	<b>0.90**</b>		<b>0.70**</b>	0.09	0.10	0.04
	$r_G$	<b>-0.80**</b>	<b>-0.63*</b>	0.21	<b>0.68**</b>	<b>0.73**</b>	-0.42	<b>0.95**</b>		<b>0.73**</b>	0.13	0.08	-0.01
	$r_A$	-0.07	-0.02	-0.16	0.30	<b>0.53*</b>	<b>0.18</b>	<b>0.64*</b>		0.51	-0.05	0.17	0.19
DCS	$r_P$	<b>-0.74**</b>	<b>-0.65**</b>	0.18	<b>0.84**</b>	<b>0.85**</b>	-0.20	<b>0.97**</b>	<b>0.80**</b>		-0.21	0.13	0.31
	$r_G$	<b>-0.80**</b>	<b>-0.70**</b>	0.24	<b>0.90**</b>	<b>0.89**</b>	-0.21	<b>0.99**</b>	<b>0.88**</b>		-0.30	0.08	0.35
	$r_A$	-0.01	-0.07	-0.34	0.12	0.36	-0.09	<b>0.75**</b>	0.29		0.11	0.28	0.25
PCS	$r_P$	-0.38	-0.33	0.17	0.42	0.34	<b>0.56*</b>	0.36	0.26	0.31		<b>0.52*</b>	-0.30
	$r_G$	-0.44	-0.37	0.20	0.44	0.34	<b>0.62*</b>	0.38	0.26	0.34		<b>0.57*</b>	-0.36
	$r_A$	0.20	0.12	-0.09	0.22	0.35	0.14	0.13	0.29	-0.05		0.44	-0.18
PSF	$r_P$	<b>-0.62*</b>	<b>-0.57*</b>	0.34	<b>0.63*</b>	0.44	0.47	0.40	0.20	0.47	<b>0.75**</b>		<b>0.66**</b>
	$r_G$	<b>-0.73**</b>	<b>-0.65**</b>	0.38	<b>0.68**</b>	0.47	0.54*	0.44	0.21	<b>0.55*</b>	<b>0.83**</b>		<b>0.56*</b>
	$r_A$	0.02	-0.05	0.15	0.34	0.29	0.16	0.14	0.15	-0.06	0.30		<b>0.79**</b>
NSF	$r_P$	-0.40	-0.41	0.27	0.39	0.21	-0.01	0.10	-0.08	0.28	-0.21	0.48	
	$r_G$	-0.50	-0.50	0.29	0.46	0.26	-0.04	0.13	-0.10	0.37	-0.21	0.37	
	$r_A$	-0.13	-0.15	0.22	0.22	0.07	0.09	0.01	-0.03	-0.07	-0.30	<b>0.80**</b>	

\* y \*\*: significativos al 5% y 1% respectivamente.

La mayoría de las estimaciones de los coeficientes de correlaciones fenotípicas y genéticas resultaron con valores más altos en el estudio dialélico de líneas que en el de variedades. De las 66 correlaciones posibles, para cada tipo de correlación, sólo 11 fenotípicas (16.7%), 18 genéticas (27.3%) y 7 ambientales (10.6%), resultaron significativas ( $p < 0.01$  ó  $p < 0.05$ ) en el dialélico entre variedades; mientras que en el dialélico entre líneas S1 fueron 27 (40.9%), 29 (43.9%) y 7 (10.6%), respectivamente.

Con pocas excepciones, las correlaciones genéticas resultaron ser mayores en magnitud y significancia que las fenotípicas y las ambientales, en ambos tipos de dialélicos; permitiendo detectar asociaciones significativas en algunos casos, que no había sido posible mediante las correlaciones fenotípicas (por ejemplo: DFM con PSF; DFF con GPF y PSF; NFP con DEF, GPF y PSF, en el dialelo varietal y PSF con DLF y DCS, en el de líneas). Lo anterior se explica por la influencia de factores ambientales y / o genéticos no aditivos (incluidos en las correlaciones ambientales), los cuales afectan negativamente la expresión del nivel de correlación entre las variables. No obstante, según Falconer y Mackay (1996) los factores ambientales afectaron a las variables en estudio a través de un mismo mecanismo fisiológico, ya que el signo de los coeficientes de correlación genético y ambiental para un mismo par de variables fue similar.

Los resultados concordaron con los reportados por los investigadores en Cucurbita (Sudhakar *et al.*, 2002; Mohanty, 2001; Amaral *et al.*, 1994). De la misma manera corroboran lo reportado por varios autores (Ceballos, 2003; Cruz, 2001; Cruz y Regazzi, 1997; Falconer y Mackay, 1996; Vencovsky y Barriga, 1992; Mariotti, 1986; Hallauer y Miranda, 1981) en el sentido que las correlaciones fenotípicas tienen poco valor práctico, son riesgosas y pueden conllevar a errores, pues incluyen la asociación entre caracteres tanto de naturaleza genética como ambiental. Por lo anterior en este estudio de aquí en adelante se hará mayor énfasis en la presentación y discusión de las correlaciones genéticas.

## **Floración**

El nivel de asociación fenotípica y genética entre DFM y DFF fue significativa y positiva ( $r > 0.60$ ) en ambos dialelos, sugiriendo que los DFM aumentaron o disminuyeron paralelamente con los DFF. Lo anterior puede ser una ventaja en el mejoramiento de la especie, ya que permite identificar genotipos precoces en floración masculina y femenina simultáneamente; resultados similares fueron reportados por Rana *et al.* (1985), Cui *et al.* (1996) y Kumaran *et al.* (1998). Caso contrario se detectó para la asociación entre DFM con PFP, PPF, DEF, GPF, DCS y PSF ( $r_G$ : -0.60 y -0.92), lo que da a entender que una selección por menores días a floración masculina generará un incremento simultáneo en tales caracteres y viceversa. Por lo anterior sería posible en el grupo de genotipos evaluados identificar cultivares con alta PFP, GPF y con menores DFM.

El carácter DFF mostró un nivel de asociación genético similar al detectado para con DFM, pero inferiores en magnitud y nivel de significancia estadística; especialmente en el dialelo de líneas S1. Con base en tales resultados es posible identificar genotipos precoces de buen PFP y con buen GPF, dada la correlación genética inversa y altamente significativa. Este tipo de cultivares

es muy atractivo para una agricultura competitiva, en razón a que lo que interesa es obtener cultivares de altos rendimientos, precoces y con buen grosor de la pulpa. Resultados similares fueron encontrados por Singh *et al.* (1992), Kumaran *et al.* (1998) y Mohanty (2001).

### **Rendimiento / planta y componentes primarios**

El NFP en el dialelo varietal exhibió correlación genética inversa y significativa con el PPF (- 0.74), DEF (- 0.54), GPF (- 0.65) y PSF (- 0.55). En el estudio del dialelo de líneas sólo se presentó asociación genética positiva y significativa ( $p < 0.05$ ) con la producción de frutos / planta (PPF), pero con correlación ambiental también estadísticamente significativa ( $r_A = 0.62^*$ ), lo cual permite suponer un efecto positivo de los factores ambientales y los factores genéticos no aditivos, sobre el nivel real de expresión de la correlación en tales caracteres.

Lo anterior señala que la selección de plantas con mayor NFP incrementará la PFP, pero también llevará a la reducción indirecta en el PPF, DEF, GPF y PSF. Este tipo de asociación es interesante en el mejoramiento genético de la especie para el mercado de fruto fresco, el cual prefiere frutos pequeños. En este aspecto, la mayoría de los autores han reportado resultados semejantes trabajando en el género Cucurbita (Rana *et al.*, 1985; Doijode y Sulladmath, 1986; Pandita *et al.*, 1989; Wessel y Carbonell, 1989; Singh *et al.*, 1992; Amaral *et al.*, 1994; Cui *et al.*, 1996; Vinasco *et al.*, 1998; Gwanama *et al.*, 1998; Kumaran *et al.*, 1998; Devadas *et al.*, 1999; Mohanty, 2001 y Sudhakar *et al.*, 2002).

La no correlación entre el NFP y PFP presentada en el dialelo varietal, posiblemente se deba a los efectos individuales o interacciones de dos fenómenos: a) la existencia de correlación ambiental directa y significativa entre ellas ( $r_A = 0.64^*$ ), lo cual da a entender que los factores ambientales y / o genéticos no aditivos afectaron positivamente la expresión de los dos caracteres en mención, y b) la presencia de efectos indirectos enmascaradores que tienen otras variables, sobre el nivel de asociación real entre tales caracteres, ya que las correlaciones parciales ([Tabla 2](#)) detectaron asociaciones altas, positivas y altamente significativas en ambos tipos de interrelación: parcial fenotípica ( $r_{FP} = 0.88^{**}$ ) y parcial genética ( $r_{GP} = 0.90^{**}$ ).



**Tabla 2. Correlaciones parciales para el dialélico entre cinco variedades y el dialélico entre cinco líneas S1, mediante el uso de correlaciones fenotípicas y genéticas.**

Pares de Variables	Dialélico entre variedades				Dialélico entre líneas S1			
	$r_F$	$r_{FP}$	$r_G$	$r_{GP}$	$r_F$	$r_{FP}$	$r_G$	$r_{GP}$
NFP x PFP	0.32	<b>0.88**</b>	0.18	<b>0.90**</b>	<b>0.53*</b>	<b>0.87**</b>	<b>0.52*</b>	<b>0.80**</b>
NFP x PPF	<b>-0.65**</b>	<b>-0.88**</b>	<b>-0.74**</b>	<b>-0.93**</b>	-0.22	<b>-0.91**</b>	-0.20	<b>-0.94**</b>
NFP x GPF	-0.49	0.11	-0.65	-0.22	0.14	0.49	0.21	0.47
NFP x PSF	-0.32	-0.03	-0.55	-0.26	0.34	0.28	0.38	<b>0.64*</b>
PFP x PPF	0.47	<b>0.75**</b>	0.49	<b>0.95**</b>	<b>0.67**</b>	<b>0.75**</b>	<b>0.70**</b>	0.58
PFP x GPF	0.13	-0.37	0.02	-0.02	<b>0.62*</b>	-0.42	<b>0.68**</b>	<b>-0.75**</b>
PFP x PSF	-0.10	-0.10	-0.30	-0.02	<b>0.63*</b>	-0.02	<b>0.68**</b>	-0.55
PPF x GPF	<b>0.58*</b>	0.05	<b>0.58*</b>	0.05	<b>0.70**</b>	0.48	<b>0.73**</b>	0.21
PPF x PSF	0.22	0.06	0.27	-0.04	0.44	0.33	0.47	0.54
GPF x PSF	0.10	-0.13	0.08	-0.41	0.20	-0.41	0.21	<b>-0.69*</b>
GPF x DCS	<b>0.70**</b>	<b>0.69*</b>	<b>0.73**</b>	<b>0.76**</b>	<b>0.80**</b>	0.43	<b>0.88**</b>	<b>0.67*</b>

\* , \*\*: significativos al 5% y 1% de probabilidad respectivamente.

El PPF en el dialélico varietal, además de la correlación genética inversa y significativa con el NFP, también mostró un nivel de asociación genético positivo y significativo con los caracteres DEF ( $r_G = 0.82^{**}$ ), GPF ( $r_G = 0.58^{**}$ ) y DCS ( $r_G = 0.87^{**}$ ). Asociaciones similares también se presentaron en el dialélico de líneas, más las dos correlaciones inversas detectadas anteriormente con DFM y DFF.

No obstante se percibe en las poblaciones evaluadas que los factores ambientales y / o genéticos no aditivos afectaron de manera significativa y en forma negativa (subestimando) el nivel de correlación entre ellos, dado que los coeficientes de correlación ambiental ( $r_A$ ) resultaron ser significativos ( $p < 0.05$ ), con valores que oscilaron entre  $0.53^*$  y  $0.62^*$ . Las correlaciones parciales (Tabla 2) detectaron que la correlación fenotípica y genética entre el PPF con GPF desapareció en los dos dialélicos, tanto en la correlación parcial fenotípica, como en la parcial genética ( $r_{FP} = r_{GP} < 0.48$ ). Por lo anterior es necesario tener cuidado al realizar selección de plantas con frutos de mayor peso promedio, ya que ello no siempre se reflejará en mayor grosor de pulpa en los frutos.

Sin embargo, el sentido y magnitud de las correlaciones genética ( $r_G$ ), parcial fenotípica ( $r_{FP}$ ) y parcial genética ( $r_{GP}$ ), entre PPF con el NFP en ambos dialélicos, mostraron consistencia en la asociación altamente significativa e inversa (Tabla 2); ello permite deducir que cualquier selección que se realice para aumentar el número de frutos / planta conducirá a la disminución en el peso promedio de los frutos y viceversa. Lo anterior puede ser atractivo para el mejoramiento genético de zapallo para el mercado de fruto fresco, el cual prefiere frutos pequeños (2 a 3 kg / fruto).

El carácter más importante en la mayoría de los programas de fitomejoramiento de zapallo PPF, en el dialélico de variedades, exhibió correlaciones genéticas significativas sólo con DCS y PCS, siendo para con la primera positiva y significativa ( $r_G = 0.74^{**}$ ), mientras que con la segunda



fue inversa y significativa ( $r_G = -0.62^*$ ). En el dialélico entre líneas S1, la PFP además de las asociaciones genéticas significativas enunciadas anteriormente, con DFM ( $r_G = -0.77^{**}$ ), DFF ( $r_G = 0.72^{**}$ ), NFP ( $r_G = 0.52^*$ ) y PPF ( $r_G = 0.70^{**}$ ); también exhibió coeficientes de correlaciones genéticas estadísticamente mayores de cero ( $p < 0.01$ ), con DEF (0.84), GPF (0.68), DCS (0.90) y PSF (0.68).

Lo anterior permite deducir que la selección de plantas con mayor DFF, NFP, PPF o DCS llevaría al aumento de PFP y la reducción en el PCS, pero posiblemente los frutos serían grandes por su mayor DCS. Esta última clase y tipo de correlación de la PFP no es muy interesante para el fitomejorador, cuyo interés es la selección de genotipos de altos rendimientos y frutos pequeños.

La diferencia en los dos dialelos, en cuanto a la magnitud y el número de correlaciones estadísticamente significativas entre PFP y las otras variables, se refleja por la diferencia en la constitución genética en los dos grupos de poblaciones evaluados, como consecuencia de una generación de autofecundación en las variedades para obtener las líneas S1, las cuales, al actuar como progenitoras y junto con sus cruzamientos F1, permitieron detectar mayor número de asociaciones estadísticamente significativas, en comparación con el dialélico varietal. Lo anterior tiene su explicación en la mayor expresión promedio en los caracteres estudiados en los diez híbridos entre líneas (mayor heterosis) en comparación con los híbridos entre variedades. Lo cual permitió a su vez mayor covarianza entre las variables y menor varianza dentro de cada carácter, facilitando detectar mayor número de asociaciones significativas en el dialelo de líneas S1, en comparación con el dialelo de variedades, además de ausencias de correlaciones ambientales estadísticamente diferentes de cero. Situación parecida encontraron Vinasco *et al.* (1998), quienes detectaron correlaciones altas y significativas entre el rendimiento y los componentes primarios, en los progenitores, en la generación F1, mas no en las generaciones segregantes de *C. maxima*.

Es de resaltar aquí la extraña y no muy común ausencia de correlación fenotípica y genética, detectada entre la PFP y el PPF, en el dialelo varietal, la cual es opuesta a lo reportado por varios estudios en las diferentes especies del género *Cucurbita* (Sudhakar *et al.*, 2002; Mohanty, 2001; Devadas *et al.*, 1999; Kumaran *et al.*, 1998; Gwanama *et al.*, 1998; Vinasco *et al.*, 1998; Cui *et al.*, 1996; Amaral *et al.*, 1994; Singh *et al.*, 1992; Wessel y Carbonell, 1989; Pandita *et al.*, 1989; Doijode y Sulladmath, 1986; y Rana *et al.*, 1985).

La situación detectada es de interés si se tiene en cuenta que el carácter PPF junto con el NFP, constituyen los componentes primarios de la PFP en zapallo. No obstante es posible que ello se deba a algunos efectos enmascaradores indirectos que tienen otras variables, sobre el real nivel de asociación entre ellas, dado que además los tres tipos de correlaciones ( $r_F$ ,  $r_G$  y  $r_A$ ) presentaron valores positivos que oscilaron entre 0.47 - 0.50, los cuales son cercanos al nivel de significancia estadística mínimo detectado ( $r_F = 0.52^*$ : PCS con PSF). El coeficiente de correlación parcial fenotípico ( $r_{FP} = 0.75^{**}$ ) y el parcial genético ( $r_{GP} = 0.95^{**}$ ) mostraron un nivel de asociación real alto, positivo y altamente significativo entre los dos caracteres ([Tabla 2](#)) ratificando lo encontrado en los trabajos antes mencionados.

Con base en la integración de los resultados obtenidos en la magnitud y sentido de la asociación dada por  $r_F$ ,  $r_G$ ,  $r_{FP}$  y  $r_{GP}$ , entre PFP con el NFP y el PPF, se puede deducir que la selección de plantas basada en NFP, PPF, o en ambas, lleva a un incremento en la PFP. Los resultados coinciden con los reportados en el género Cucurbita (Sudhakar *et al.*, 2002; Mohanty, 2001; Devadas *et al.*, 1999; Kumaran *et al.*, 1998, entre otros).

### Propiedades del fruto

El DLF parece ser un carácter muy poco asociado con las otras características estudiadas, ya que no presentó ningún tipo de correlación significativa en el dialelo varietal, mientras que en el dialelo de líneas sólo lo hizo con PCS y PSF. Ello sugiere que la longitud de los frutos en este estudio no resultó ser carácter importante en el proceso de selección. Tales resultados son contrarios a los encontrados por algunos investigadores (Sudhakar *et al.*, 2002; Mohanty, 2001; Devadas *et al.*, 1999; Kumaran *et al.*, 1998; Cui *et al.*, 1996; y Amaral *et al.*, 1994), quienes reportaron correlaciones importantes de esta variable para con PFP y el PPF principalmente. Ello puede explicarse por la diferencia en los genotipos empleados en los estudios.

El DEF presentó cuatro y seis correlaciones genéticas estadísticamente diferentes de cero, en el dialelo varietal y en el de líneas S1 respectivamente. Las correlaciones más altas de DEF ocurrieron con las variables DCS ( $r_G = 0.95$  a  $0.99$ ) y GPF ( $r_G = 0.91$  a  $0.95$ ) en ambos dialelos. Resultados similares han reportado Amaral *et al.* (1994), Cui *et al.* (1996); Kumaran *et al.* (1998); Devadas *et al.* (1999); Mohanty (2001) y Sudhakar *et al.* (2002).

Las correlaciones anteriores deben tomarse con cierta reserva dado que presentan igualmente correlaciones ambientales positivas y significativas; dando a entender que el verdadero nivel de asociación de tales caracteres está afectado negativamente (subestimado) por los factores ambientales y / o los factores genéticos no aditivos, que incluyen las correlaciones ambientales. No obstante, teniendo en cuenta la coincidencia en los resultados obtenidos en los dos dialelos, en otros estudios y además realizando un análisis biológico de este tipo de relación, se pueden aceptar como funcionales tales correlaciones, dado que es de esperarse que en la medida que los frutos tengan mayor DEF, éstos presenten mayor PPF, GPF, DCS y tamaño, conllevando a su vez a menor NFP. Por ello se puede mejorar por mayor GPF, a través de la selección basada en plantas con frutos de mayor DEF.

El carácter GPF además de presentar correlaciones genéticas estadísticamente diferentes de cero con otras variables (DFM, DFF, NFP, PPF, PFP y DEF) también mostró asociación genética directa y altamente significativa con DCS, con valores de 0.73 y 0.88 en el dialelo varietal y de líneas S1 respectivamente. Algunas de las correlaciones del GPF con las otras variables ([Tabla 2](#)) pueden cambiar en magnitud o sentido, como lo muestran las correlaciones parciales fenotípicas ( $r_{FP}$ ) y parciales genéticas ( $r_{GP}$ ), para GPF con NFP, PPF y PFP; por lo que se puede deducir que el nivel de asociación antes detectado se debía a efectos indirectos a través de otros caracteres; excepto para la correlación fenotípica y genética con el DCS, la cual mantuvo la magnitud, sentido y significancia estadística, en ambos tipos de poblaciones.

El DCS no presentó asociaciones genéticas significativas adicionales a las ya enunciadas con las variables DFM, DFF, PFP, PPF, DEF y GPF ( $r_G > 0.70$  en valores absolutos); excepto en el dialelo de líneas, donde presentó asociación adicional con PSF ( $r_G = 0.55^*$ ). Aunque biológicamente se podría esperar una asociación significativa entre el DCS con el PCS o con el PSF, ello no ocurrió en el estudio, siendo contrario a lo reportado por algunos autores (Doijode y Sulladmath, 1986; Kumaran *et al.*, 1998 y Devadas *et al.*, 1999).

Adicional a la asociación genética inversa ( $r_G = -0.62^*$ ) entre el PCS con PFP en el dialelo varietal y con el DLF ( $r_G = 0.62^*$ ) en el dialelo de líneas, detectadas y relacionadas antes, el PCS exhibió correlación genética directa y significativa con el PSF, en ambos tipos de poblaciones, con coeficientes de correlación genética de  $0.57^*$  y  $0.83^{**}$ , para el dialélico varietal y de líneas S1 respectivamente. Ello permite deducir que en la definición del mayor PSF el peso de las semillas juega un papel importante.

En el dialélico de variedades, el nivel de correlación fenotípica entre PSF y NSF ( $r_F = 0.66^{**}$ ), resultó positivo y altamente significativo; mientras que la correlación genética ( $r_G = 0.56^*$ ) resultó ser del mismo sentido, pero menor que la correspondiente correlación fenotípica. Ello se explica por la presencia de una correlación ambiental significativa entre ellas ( $r_A = 0.79^{**}$ ), lo cual indica alta influencia de los factores ambientales y / o genéticos no aditivos, que afecta positivamente (sobreestima) el nivel de asociación real de los dos caracteres en estudio. Situación similar, en cuanto a la relación  $r_F > r_G$  e importancia de la correlación ambiental ( $r_A = 0.80^{**}$ ), se detectó en el dialélico entre líneas S1, pero sin ser las dos primeras estadísticamente diferentes de cero. Ello demuestra que la relación entre este par de caracteres estuvo influida por los efectos de la correlación ambiental. La correlación entre este par de variables no se ha considerado en los estudios revisados, quizás por la poca importancia que tiene en la selección por alto rendimiento en pulpa.

El PSF, aun cuando mostró cinco y seis correlaciones genéticas significativas en los dos dialelos, varias desaparecieron en las correlaciones fenotípicas parciales y genéticas parciales ([Tabla 2](#)), lo cual sugiere que la asociación estaba explicada por los efectos indirectos de otras variables. Por todo lo anterior las correlaciones del PSF con las otras variables se deben tomar con cuidado.

## CONCLUSIONES

1. Las correlaciones fueron mayores, en magnitud y significancia estadística, en el dialelo de líneas S1.
2. Con pocas excepciones las correlaciones genéticas fueron mayores en magnitud y significancia estadística en ambos tipos de dialélicos.
3. El mayor número de correlaciones genéticas significativas los presentó la PFP con ocho. Las correlaciones parciales fenotípicas y parciales genéticas más altas fueron con el PPF y el NFP.
4. El peso promedio / fruto (PPF) y el número de frutos / planta (NFP) se pueden usar como criterios de selección en el mejoramiento genético de *C. moschata* para la obtención de cultivares de altos rendimientos.

5. Para la obtención de genotipos de altos rendimientos para el mercado de fruto fresco se debe hacer énfasis además en frutos pesados y pequeños, aprovechando el nivel de correlación genética alta, significativa e inversa entre el NFP y el PPF.

## BIBLIOGRAFÍA

- Amaral Junior, A. T.; Casali, V. W. D.; Cruz, C. D.; Da Silva, D. J. H. and Da Silva, L. F. C. 1994. Estimativas de correlações fenotípicas, genotípicas e de ambiente entre sete caracteres morfoagronômicos em oito acessos de moranga. *Bragantia*, Campinas. 53: 2, 163-166.
- Caicedo, L. A. 1993. *Horticultura*. 6ª. Ed. Palmira. Universidad Nacional de Colombia.
- Ceballos, H. 2003. *Genética Cuantitativa y Fitomejoramiento*. Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. 524 p.
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - Corpoica. 2001. Plan de modernización de la horticultura colombiana. Disponible en internet: <http://www.corpoica.org.co/html/planes/hortiuclutra/texto/horticultura.html> Septiembre 10 de 2002.
- Cruz, C. D. and Regazzi, A. J. 1997. *Modelos Biométricos Aplicados ao Melhoramento Genético*. 2ª. ed. UFV. Brasil. 390 p.
- Cruz, C. D. 2001. Programa Genes Versao Windows: Aplicativo Computacional em Genética e Estatística. Universidade Federal de Vicosa. 648 p.
- Cruz, C. D. 2004. Programa Genes. Versao Windows. Aplicativo Computacional em Genética e Estatística. Universidade Federal de Vicosa. <http://www.ufv.br/dbg/genes/genes.htm>
- Cui, S. M., Chen, Y. M., Xue, H. R., and Zhao, Q. Y. 1996. Analysis of seeds per fruit and effective factors in Indian Pumpkin. *Acta Agric Boreali Sinica*. 11: 1: 114 - 117.
- Devadas, V. S.; Kuriakose, K. J.; Rani, T. G.; Gopalakrishnan, T. R. and FAIR, S. R. 1999. Influence of fruit size on seed content and quality in pumpkin (*Cucurbita moschata* Poir). *Seed Res*. 27: 1, 71-73.
- Doijode, S. D. and Sulladmath, U. V. 1986. Genetic variability and correlation studies in pumpkin (*C. moschata* Poir). *Mysore J. Agric. Sci*. 20: 1: 59- 61.
- Falconer, D. S. and Mackay, T. 1996. *Introduction to Quantitative Genetics*. 4th ed Prentice Hall. 464 p.
- FAO. 2002. *Estadísticas Agrícolas Mundiales*. Disponible: <http://www.fao.org/> Febrero 10 de 2003.
- Gwanama, C., Mwala, M.S., and Nichterlein, K. 1998. Path analysis of fruit yield components of *Cucurbita moschata* Duch. *Trop Agric Res Ext*. 1: 1: 19 - 22.
- Hallauer, A. R. and J. B. Miranda. 1981. *Quantitative Genetics in Maize Breeding*. Iowa State University. 468 p.
- Hernández C. J. M. 2001. Programa nacional de recursos genéticos. Disponible en internet. [http://fwl.inifap.conacyt.mx/proqs\\_a/agricola/proq\\_rec\\_fitoge.html](http://fwl.inifap.conacyt.mx/proqs_a/agricola/proq_rec_fitoge.html) Febrero 10 de 2003.
- Kumaran, S. S.; Natarajan, S. and Thamburaj, S. 1998. Correlation and path analysis studies in pumpkin (*Cucurbita moschata* Poir). *South Ind Hortic*. 46: 138-142.
- Le Buanec, B. 2002. The world seed trade. In: Seminario Panamericano de Semillas, 18, Memorias. Santa Cruz - Bolivia. 1 - 13 de Julio, 2002.
- Mariotti, J. A. 1986. *Fundamentos de Genética Biométrica. Aplicaciones al Mejoramiento Genético Vegetal*. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos. Washington, D. C. 152 p.
- Miyatake, T. 2002. Genetic quality control in mass-reared melon flies. *Scient Rep Faculty Agric, Okayama Univ*. Vol. 91, pp. 61-69.
- Mohanty, B. K. 2001. Studies on correlation and path analysis in pumpkin (*Cucurbita moschata*). *Haryana J Hort Sci*. Vol. 30, No. 1/2, pp. 86-89.
- Pandita, M. L.; Dahiya, M. S. and Vashistha, R. N. 1989. Studies on correlation and path analysis in summer squash (*Cucurbita pepo* L.): (a note). *Haryana J Hort Sci*. 18: 3-4, 295-298.
- Programa de Investigación en Hortalizas. 2001. *El cultivo de zapallo: Unapal - Bolo Verde y Unapal - Mandarino*. 9 p.

- Rana, T. K., Vashistha, R. N. and Pandita, M. L. 1985. Correlations and path coefficient studies in Pumpkin (*Cucurbita moschata* Poir). Haryana J Horti Sci. 14: 1-2: 108 - 113.
- Singh, J.; Kumar, J. C. and Sharma, J. R. 1992. Correlation and path coefficient analysis in pumpkin. J Res Punjab Agric Univ (India). v. 29(2) p. 207-212.
- Singh, R. K. and Chaudhary, B. D. 1977. Biometrical Methods in Quntitative Genetic Analysis. Kaliani Publishers. New Delhi. 304 p.
- Sudhakar Pandey, Jagdish Singh, Upadhyay, A. K. and RAM, D. 2002. Genetic variability for antioxidants and yield components in pumpkin (*Cucurbita moschata* Duch. ex Poir.). Veg Sci. Vol. 29, No. 2, pp. 123-126.
- Toro S. S. 2001. Heterosis y habilidad combinatoria entre poblaciones seleccionadas de *Cucurbita moschata* Poir. Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. I. 39p.
- Vallejo, F. A. y Mosquera, S. E. 1998. Transferencia del gen Bu a poblaciones de zapallo, *Cucurbita* sp. con crecimiento postrado. Acta Agron. Vol. 48: 7-18.
- Vencovsky, R. and Barriga, P. 1992. Genética Biométrica no Fitomelhoramento. Sociedad Brasileira de Genética. 496 p.
- Vinasco, L. E., Baena, G. D. y García, M. 1998. Análisis genético de caracteres que afectan el hábito de crecimiento de zapallo *Cucurbita maxima* (Duch. Ex Lam). Acta Agron. Vol. 48. No. 3-4: 12-18.
- Wessel, B. L. and Carbonell, M. W. 1989. *Cucurbita moschata* half sib families collected in Puerto Rico and the Dominican Republic. Report Cucurbit Genetics Coop. No. 12: 68-69.@1

---

\* Profesor - Investigador de la Universidad de Córdoba. Montería, Colombia.

\*\* Profesor titular. Universidad Nacional de Colombia. Palmira, Colombia.

\*\*\* Profesor Asociado. Universidad Nacional de Colombia. Palmira, Colombia.