

ACCION GENICA, HEREDABILIDAD Y CORRELACIONES GENETICAS PARA ALGUNOS CARACTERES CUANTITATIVOS DEL AJI, *Capsicum chinense* Jacq.

Franco Alirio Vallejo C*; Cyro Paulino Da Costa**

COMPENDIO

En una población dialélica, compuesta de cinco líneas endocriadas y todos los posibles híbridos F_1 , sin incluir los recíprocos, se estimó la acción génica, heredabilidad y correlaciones genéticas para algunos caracteres relacionados con el fruto y la planta de *Capsicum chinense* Jacq. El análisis genético estadístico fue realizado utilizando el modelo 2, método 2 propuesto por Griffing (1956). Los efectos génicos no aditivos fueron más importantes para los caracteres producción por planta, días a floración, días a maduración y altura de planta. Para los caracteres número de frutos por planta, peso promedio de fruto y número de lóculos por fruto, tanto los efectos génicos no aditivos como aditivos fueron importantes. Se encontró correlación positiva entre producción por planta y número de frutos por planta. La producción por planta estuvo correlacionada negativamente con peso promedio por fruto y días a floración. El número de frutos por planta estuvo correlacionado negativamente con el peso promedio de fruto. Se discuten algunos métodos de mejoramiento que se pueden usar en esta especie con base en los parámetros genéticos obtenidos.

ABSTRACT

This paper reports the results of a study on gene action, heritability and genotypic and phenotypic correlation among traits of fruit and plant in *Capsicum chinense* Jacq. The experimental material consisted of five inbred lines and all possible F_1 's from these lines (not including reciprocals). Statistical and genetic analysis were made by model 2, method 2 of Griffing (1956). Non-additive gene effects were considerable higher than the additive gene effects which in turn were also highly significant for the characters yield/plant, days to flowering, days to maturity and plant height. Both non-additive gene effects and additive gene effects were highly significant for characters such as number of fruit/plant, average fruit weight and number of locules/fruit. A positive correlation was found between yield/plant and number of fruits/plant. Yield/plant was negatively correlated with average fruit weight and days to flowering. The number of fruits/plant was negatively correlated with average fruit weight. In as much as non-additive effects are important in yield/plant, days to flowering, days to maturity and plant height a program exploiting heterosis should prove effective in improving these characters. A program designed for simultaneous improvement for both additive and non-additive gene action should provide improvement in numbers of fruits/plant, average fruit weight and number of locules/fruit. Either reciprocal recurrent selection or reciprocal full-sib selection are designed to accomplish this type of simultaneous improvement within populations.

* Profesor Asociado. Universidad Nacional de Colombia, A. A. 237, Palmira.

** Profesor Titular. Universidad de Sao Paulo, Caixa Postal 83, 13400 Piracicaba, Brasil.

1. INTRODUCCION

En el género *Capsicum* se presentan dos importantes cultivos olerícolas: ajíes y pimentones (Vallejo Cabrera, 1984). La mayoría de las variedades comerciales de ajíes y pimentones se formaron a partir de *C. annuum* tratando de resolver los problemas de los grandes productores localizados en las regiones templadas del mundo (Vallejo Cabrera, 1985a). Por lo tanto, *C. annuum* es la especie más conocida y explorada del género (Vallejo Cabrera, 1985a).

Las variedades de ajíes y pimentones para las regiones tropicales se deberán formar para las condiciones de cultivo propias de estas regiones (Casali e Couto, 1984). En Colombia, y en la mayoría de los países tropicales, se tiende a cultivar plantas con porte alto, con período de cosecha prolongado, resistencia a virus, a *Phytophthora capsici*, a *Xanthomonas campestris*, y a quemadura de sol, además de buena calidad de frutos y altos rendimientos (Casali e Couto, 1984). Para alcanzar esos propósitos, los mejoradores deben conocer y aprovechar la variabilidad presente en las especies domesticadas y silvestres del género (Vallejo Cabrera, 1985b).

La especie *C. chinense* es probablemente la especie cultivada más promisoriosa, teniendo en cuenta su amplia adaptación a las condiciones tropicales de América del Sur, especialmente su resistencia a las enfermedades. Se encuentra distribuida desde el sur de Brasil hasta América Central. La zona de mayor diversidad está localizada en la Cuenca Amazónica (Pickersgill, 1969b).

En la sección de Hortalizas del Departamento de Genética de la Universidad de Sao Paulo, Campus de Piracicaba, existe gran interés para producir cultivares superiores de pimentón a partir de especies diferentes a *C. annuum* o basados en el aprovechamiento simultáneo de la variabilidad presente en las especies domesticadas del género *Capsicum*, especialmente *C. chinense*.

La mayoría de los estudios genéticos sobre caracteres cuantitativos en el género *Capsicum* están relacionados con la especie *C. annuum*. Existe falta de información sobre la genética de caracteres de fruto y planta en *C. chinense*.

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar las propiedades genéticas de una población dialélica, estimando los tipos principales de acciones génicas responsables por los caracteres de fruto y planta, la heredabilidad en sentido amplio y estrecho y las correlaciones genéticas y fenotípicas entre los caracteres considerados.

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

El trabajo se realizó en el Departamento de Genética de la Universidad de Sao Paulo, Campus de Piracicaba, en un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones; cada parcela estuvo constituida por un surco de ocho plantas espaciadas 1 metro entre surcos y 0.50 metros entre plantas. El material experimental estuvo constituido por cinco progenitores no seleccionados y los diez híbridos F_1 posibles. Los datos se tomaron de cuatro plantas individuales por parcela, utilizando la técnica de muestreo sistemático. Los caracteres evaluados fueron: producción por planta, número de frutos por planta, peso promedio de fruto, número de lóculos por fruto, días a floración, días a maduración y altura de planta.

Se realizó el análisis de varianza, con base en los datos individuales, considerando como aleatorios los efectos de genotipos (padres e híbridos), bloques, interacción genotipo por bloque y error experimental. Cuando los cuadrados medios de los genotipos presentaron diferencias significativas, estos se dividieron en habilidad combinatoria general (h c g) y habilidad combinatoria específica (h c e) usando los valores promedios de los genotipos y el método 2, modelo 2 propuesto por Griffing (1956).

El método 2 incluye los cinco progenitores y los diez híbridos F_1 y el modelo 2 supone que

el material experimental es una muestra al azar de una población.

A partir de los componentes de varianza se estimó la heredabilidad en sentido amplio y en sentido estrecho. Las correlaciones genéticas y fenotípicas, a nivel individual, se estimaron con las metodologías propuestas por Falconer (1964) y Queiroz (1969).

3. RESULTADOS Y DISCUSION

Los valores y significancia de los cuadrados medios y coeficientes de variación, de los caracteres de fruto y planta en *C. chinense* se presentan en el Cuadro 1. Para la fuente de variación genotipo se presentaron diferencias altamente significativas lo cual demuestra la considerable variación genética existente en el material experimental, que es esencial para determinar los estimativos del control genético de esos caracteres.

En el Cuadro 2 se presentan los estimativos de los componentes de la varianza individual. Para todos los caracteres estudiados, excepto para altura de planta, los estimativos genéticos presentaron valores altos en comparación con los valores de los otros componentes de la varianza fenotípica total. Los valores relativamente altos del componente genético tienen como causa principal la gran variabilidad presente entre los progenitores y los híbridos F_1 utilizados. Los componentes genéticos, realmente corresponden a los coeficientes de heredabilidad en sentido amplio, a nivel individual, de los caracteres de fruto y planta.

Los coeficientes de heredabilidad en sentido amplio miden toda la varianza genética (aditiva y no aditiva) dentro de la variación fenotípica total; por lo tanto, esos estimativos se utilizan poco para decidir sobre la selección del método de mejoramiento más adecuado o para definir el genotipo ideal en términos de expresión máxima de un carácter determinado.

Los valores y significancias de los cuadrados medios del análisis de varianza de la habilidad

combinatoria de los caracteres de fruto y planta se presentan en el Cuadro 3. Las diferencias genéticas entre los genotipos, para los caracteres producción por planta, días a floración, días a maduración y altura de planta fueron explicadas significativamente por los efectos de la habilidad combinatoria específica (h_{ce}). El predominio de los efectos génicos no aditivos se debió posiblemente a la gran diferencia genética de los progenitores usados en la población dialélica (Burker, 1963).

Las diferencias genéticas entre los genotipos, para los caracteres número de frutos por planta, peso promedio de fruto y número de lóculos por fruto fueron explicados significativamente por los efectos simultáneos de la habilidad combinatoria general (h_{cg}) y habilidad combinatoria específica (h_{ce}).

Whitehead (1962), citado por Kambal y Webster (1965), considera a los efectos de h_{ce} como los responsables de que padres superiores originen híbridos inferiores o padres inferiores originen híbridos superiores. Cuando padres superiores originen híbridos superiores, la h_{cg} es más importante que la h_{ce} .

En el Cuadro 4 se presentan los coeficientes de heredabilidad en sentido amplio (h^2_a) y en sentido estrecho (h^2_r) para los caracteres de fruto y planta, obtenidos a partir de los componentes del análisis de varianza de la habilidad combinatoria a nivel de valores promedios de los genotipos.

El coeficiente de heredabilidad, en sentido estrecho, para el carácter producción por planta fue muy bajo, indicando que los efectos no aditivos de genes fueron más importantes en el control de este carácter. Debido a la presencia de este tipo de acción génica y a la h_{cg} no significativa, es conveniente pensar en la utilización de la heterosis tratando de aumentar la producción por planta. Este hecho, asociado con la relativa facilidad de producir semillas híbridas F_1 de *C. chinense* y al pequeño gasto de semillas por unidad de área, permite admitir la posibilidad de usar económicamente semillas

Cuadro 1

Valores y significancias de los cuadrados medios y coeficientes de variación del análisis de varianza, a nivel de individuos, de los caracteres de fruto y planta en *C. chinense* Jacq. Piracicaba, SP. 1986

Fuentes de Variación	GL	CARACTERES						
		Producción por planta	No. de frutos por planta	Peso promedio de fruto	No. de lóculos por fruto	días a floración	días a maduración	altura de planta
Genotipos	14	3 504 769.800**	297.619.420**	316.390**	2.610**	473.780**	1 290 010**	858.980**
Bloques	3	1 039 475.300	48 603.020	4.110	0.030	40.240	41.730	1 206.670
Genotipos x bloques	42	278 893.920**	12 603.110**	2.490**	0.110 ^{ns}	27.630**	32.630**	257.530**
Error	180	28 190.280	1 236.710	0.420	0.080	9.270	9.550	18 390
Media		1 414.24	371.31	5.81	3.52	73.80	117.79	96.39
Coefficiente de variación entre parcela		37.34	30.23	27.16	9.42	7.12	4.85	16.65
Coefficiente de variación dentro de parcelas		11.87	9.47	11.17	8.04	4.13	2.62	4.45

** = Significativo a nivel del 1 o/o por la prueba de F.

ns = No significativo a nivel del 1 o/o por la prueba de F.

Cuadro 2

Estimativos de componentes de la varianza de caracteres de fruto y planta de *C. chinense* Jacq., a nivel de individuos, en una población dialélica. Piracicaba, SP. 1986

Carácter	Estimativos de los componentes de la varianza			
	$\hat{\sigma}^2_v$	$\hat{\sigma}^2_b$	$\hat{\sigma}^2_{bv}$	$\hat{\sigma}^2_e$
Producción por planta	201 617.240 (66.07 o/o)	12 676.360 (4.15 o/o)	62 675.910 (20.54 o/o)	28 190.280 (9.24 o/o)
No. de frutos por planta	17 813.520 (77.20 o/o)	599.990 (2.67 o/o)	2 841.600 (12.63 o/o)	1 236.710 (5.50 o/o)
Peso promedio por fruto	19.620 (95.29 o/o)	0.030 (0.15 o/o)	0.520 (2.53 o/o)	0.420 (2.03 o/o)
No. de lóculos por fruto	0.156 (63.93 o/o)	0.000 (0.00 o/o)	0.008 (3.28 o/o)	0.080 (32.79 o/o)
Días a floración	27.880 (66.46 o/o)	0.210 (0.50 o/o)	4.590 (10.94 o/o)	9.270 (22.10 o/o)
Días a maduración	78.590 (83.55 o/o)	0.152 (0.17 o/o)	5.770 (6.13 o/o)	9.550 (10.15 o/o)
Altura de planta	37.590 (29.23 o/o)	12.820 (9.97 o/o)	59.790 (46.50 o/o)	18.390 (14.30 o/o)

$\hat{\sigma}^2_v$ = Varianza genética a nivel de individuos;

$\hat{\sigma}^2_b$ = Varianza debido a bloques

$\hat{\sigma}^2_{bv}$ = Varianza debido a interacción genotipo por bloques

$\hat{\sigma}^2_e$ = Varianza ambiental entre plantas dentro de parcelas.

Cuadro 3

Valores y significancias de los cuadrados medios del análisis de varianza de la habilidad combinatoria, basada en los valores medios genotípicos, de los dos caracteres de fruto y planta de *C. chinense* Jacq, en una población dialélica. Piracicaba, SP., 1986.

Fuentes de variación	GL	CARACTERES						
		producción por planta	No. de frutos por planta	Peso promedio fruto	No. de lóculos por fruto	Días a floración	Días a maduración	Altura de planta
Habilidad combinatoria general (h c g)	4	42 150.000 ^{ns}	46 193.71 ^{**}	59.090 ^{**}	0.480 ^{**}	40.020 ^{ns}	184.370 ^{ns}	54.750 ^{ns}
Habilidad combinatoria específica (h c e)	10	289 613.400 ^{**}	7 564.610 ^{**}	4.070 ^{**}	0.040 ^{**}	26.110 ^{**}	39.160 ^{**}	52.050 ^{**}
Residuo	42	17 431.410	787.690	0.160	0.007	1.730	2.040	16.100

** = Significativo a nivel de 1 o/o, por la prueba de F.

ns = No significativo a nivel de 1o/o, por la prueba de F.

Cuadro 4

Estimativos de los coeficientes de heredabilidad, basados en los valores medios genotípicos, de los caracteres de fruto y planta de *C. chinense* Jacq. en una población dialélica. Piracicaba, SP, 1986

Carácter	\hat{h}^2_a (o/o)	\hat{h}^2_r (o/o)
Producción por planta	90.61	0.00
No. de frutos por planta	93.51	57.93
Peso promedio de fruto	97.91	78.41
No. de lóculos por fruto	66.27	53.71
Días a floración	75.36	10.56
Días a maduración	89.17	47.06
Altura de planta	67.15	2.92

\hat{h}^2_a = Coeficiente de heredabilidad, en sentido amplio, obtenido a partir de los componentes del análisis de varianza de la habilidad combinatoria a nivel de valores medios genotípicos.

\hat{h}^2_r = Coeficiente de heredabilidad en sentido estrecho obtenido a partir de los componentes del análisis de varianza de la habilidad combinatoria a nivel de valores medios genotípicos.

F_1 . Para el aprovechamiento del vigor híbrido en esta hortaliza, el mejorador debe preocuparse por identificar pares específicos de progenitores dentro de la población dialélica básica.

El carácter número de frutos por planta presentó un coeficiente de heredabilidad, en sentido estrecho, de 57.93 o/o, mostrando que tanto los efectos génicos aditivos como los no aditivos fueron importantes en el control de este carácter. Además de esto, la variabilidad genética de este carácter fue explicada significativamente por la presencia simultánea de la hcg y hce . La selección recurrente recíproca sería la mejor alternativa para tratar de maximizar los efectos génicos aditivos y no aditivos y de esta manera aumentar el carácter número de frutos por planta.

El carácter peso promedio de fruto presentó un coeficiente de heredabilidad, en sentido estrecho, de 78.41 o/o indicando que los efectos aditivos de genes fueron más importantes en el control de este carácter. Sin embargo, la variabilidad genética de este carácter fue explicado significativamente por la presencia simultánea de la hcg y hce indicando la posibilidad de utilizar la selección recurrente recíproca para tratar de aumentar el peso promedio de fruto, sin embargo parece que la mejor alternativa para mejorar este carácter sería el uso de la selección masal o individual porque posiblemente daría mayor progreso por unidad de tiempo y de dinero invertido.

Los caracteres días a floración y altura de planta presentaron coeficientes de heredabilidad, en sentido estrecho, de 10.56 o/o y 2.92 o/o, indicando una mayor contribución de los efectos génicos no aditivos en la manifestación de estos caracteres. Además, la variabilidad genética fue explicada solamente por la presencia de hce . En el mejoramiento de estos caracteres, se debe aprovechar la heterosis de los híbridos F_1 .

En los Cuadros 5 y 6 se encuentran los estimativos de coeficientes de correlación genética y fenotípica para algunos pares de caracteres de

fruto y planta. Las correlaciones genéticas, de modo general, presentan mayores valores en comparación con las correlaciones fenotípicas, pero conservando una misma tendencia. Este análisis muestra que la selección para uno de los componentes primarios de la producción por planta, necesariamente afectará al otro componente de la producción: la selección para alto número de frutos por planta, generalmente resultará en frutos con bajo peso promedio. Debido a la correlación negativa entre número de frutos por planta y peso promedio de fruto, sería difícil la selección para mayor producción por planta. Probablemente, la mejor solución para aumentar la producción, en el inmediato futuro, sería el uso de la heterosis.

Las correlaciones genéticas muestran valores altos y negativos para la producción por planta y días a floración. De acuerdo con estos resultados, las plantas más productivas serán también las más tardías, esto puede ser un obstáculo cuando se pretenda obtener materiales precoces. También, las plantas más productivas presentarán alturas mayores; esto puede favorecer el volcamiento de las plantas y reducir la producción.

Los resultados del presente trabajo pueden ser utilizados en los programas de mejoramiento de *C. chinense* teniendo en cuenta las siguientes limitaciones:

1. Las líneas parentales usadas en el presente estudio, no fueron consideradas como una muestra al azar de líneas seleccionadas y por lo tanto no pueden ser utilizadas inmediatamente en los programas de mejoramiento. En esta investigación, las líneas parentales fueron escogidas teniendo en cuenta sus grandes diferencias genotípicas para formar la población dialélica y facilitar de esta manera, el análisis genético.
2. Los parámetros genéticos obtenidos en el presente estudio serán válidos para esta población formada por las líneas parentales y sus híbridos F_1 , donde la mayoría de los genotipos están emparentados. El material experi-

Cuadro 5

Estimativos del coeficiente de correlación genética y fenotípica entre la producción por planta, y sus componentes primarios, a nivel de individuos, en una población dialélica de *C. chinense* Jacq, Piracicaba, SP, 1986

	Producción por planta y No. de frutos por planta	Producción por planta y Peso promedio de frutos	No. de frutos por planta y Peso promedio de frutos
	Coeficiente de correlación genética (\hat{r}_v)	0.30**	-0.32**
Coeficiente de correlación fenotípica (\hat{r}_f)	0.43**	0.26**	0.55**

** = Indica diferencia de cero, a nivel de 1o/o de probabilidad, por la prueba de t.

Cuadro 6

Estimativos de coeficiente genética y fenotípica entre la producción por planta y algunos caracteres de planta, a nivel de individuos, en una población dialélica de *C. chinense* Jacq, Piracicaba, SP, 1986

	Producción por planta y días a floración	producción por planta y altura de planta	Días a floración y altura de planta
	Coeficiente de correlación genética (\hat{r}_v)	-0.62*	0.57*
Coeficiente de correlación fenotípica (\hat{r}_f)	(a)	0.43**	-0.25**

(a) = Valor obtenido 1; relacionado, posiblemente a estimativos errados debido a muestreo no satisfactorio para uno de los caracteres.

** = Indica diferencia de cero, a nivel de 1 o/o de probabilidad, por la prueba de t.

mental fue una muestra al azar de esta población.

3. Condiciones ambientales diferentes pueden alterar los valores de los parámetros genéticos obtenidos en el presente estudio.

4. CONCLUSIONES

- 4.1. Las diferencias genéticas entre los genotipos para los caracteres producción por planta, días para el inicio de la floración, días para el inicio de la maduración y altura de planta, se explicaron principalmente por los efectos génicos no aditivos.
- 4.2. Las diferencias genéticas entre los genotipos para los caracteres número de frutos por planta, peso medio de fruto y número de lóculos por fruto, se explicaron, en forma significativa y simultánea, por los efectos génicos aditivos y no aditivos.
- 4.3. La magnitud de la heredabilidad en sentido amplio fue mayor que la magnitud de la heredabilidad en sentido estrecho para todos los caracteres evaluados, especialmente para los caracteres producción por planta, días para el inicio de la floración, días para el inicio de la maduración, altura de planta, teniendo en cuenta la prevalencia de la varianza genética no aditiva.
- 4.4. La mayor producción por planta presentó correlación genética positiva ($r_v = 0.30^{**}$) con el número de frutos por planta y correlación genética negativa ($r_v = -0.32^{**}$) con el peso medio de fruto. Entre el número de frutos por planta y el peso medio de fruto se presentó correlación genética negativa ($r_v = -0.77^{**}$). Por causa de esta correlación, la selección para mayor producción por planta será difícil.
- 4.5. La mayor producción por planta presentó correlación genética negativa ($r_v = -0.62^*$) con el carácter días para el inicio de la floración y correlación genética positiva ($r_v = 0.57^*$) con la altura de planta. De acuerdo

con estos resultados, las plantas más productivas serán también las más tardías; esto puede constituir una dificultad, cuando se pretenda obtener materiales precoces. También las plantas más productivas serán de porte alto; lo cual puede favorecer el volcamiento y reducir la producción.

- 4.6. La mejor estrategia inmediata para aumentar la producción por planta será el aprovechamiento de las plantas F_1 , teniendo en cuenta la presencia de los efectos génicos no aditivos, el coeficiente de heredabilidad en sentido estrecho muy bajo y la correlación negativa entre sus componentes primarios (número de frutos por planta y peso medio del fruto).
- 4.7. La selección masal será la mejor estrategia para aumentar el peso medio de fruto teniendo en cuenta la magnitud alta de la heredabilidad en sentido estrecho para este carácter. Para aumentar el número de frutos por planta, la selección recíproca será la mejor opción, teniendo en cuenta la presencia significativa y simultánea de la h_{cg} y h_{ce} en la variación genética total de este carácter.
- 4.8. La exploración comercial de la heterosis también puede ser la mejor estrategia para aumentar la precocidad de la floración y maduración y aumentar la altura de la planta.

5. BIBLIOGRAFIA

1. BURKER, R. J. General and specific combining ability in alfalfa. Lafayette, Indiana, Purdue University, 1963. (Ph.D. Thesis).
2. CASALI, V. W. D. e COUTO, F. A. A. Origen e botânica de Capsium. Informe Agropecuario 19 (113): 8-10. 1984.
3. FALCONER, D. S. Introduction to quantitative genetics. 3a. ed. New York, Ronald, 1964. 365 p.

4. GRIFFING, B. Analysis of tomato yield components in terms of genotypic and environmental effects. Ames, Agric. Exp. St., Res. Bull. 397, p. 324-380. 1953.
 5. GRIFFING, B. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. Aust. J. Biol. Sci., 9(4): 463-493. 1956.
 6. KAMBAL, A. E. and WEBSTER, O. U. Estimate of general and specific combining ability in grain sorghum (*Sorghum vulgare* Pers.) Crop Science, 5: 521-526. 1965.
 7. PICKERSGILL, B. The domestication of chilli peppers. In: UCKO, P. J. and DIMBLEBY, G. M., (eds). The domestication and exploitation of plants and animals. London, Duckworth abd, p. 443-450. 1969.
 8. QUEIROZ, M. A. Correlacoes genéticas e fenotípicas em progenies de meios irmãos de milho (*Zea mays* L.) e suas implicacoes com o melhoramento. Piracicaba, ESALQ/USP, 71 p. 1969. (Dissertacao de Mestrado).
 9. VALLEJO CABRERA, F. A. Genética e Melhoramento de Capsicum. Piracicaba, ESALQ/USP. 61 p. 1984. (trabalho apresentado á disciplina Tópicos Especiais de Melhoramento).
 10. VALLEJO CABRERA, F. A. Genética de caracteres quantitativos relacionados com o rendimento e a qualidade do fruto em Capsicum sp. Piracicaba, ESALQ/USP, 33 p. 1985 a. (Trabalho apresentado á disciplina Tópicos Especiais de Genética).
 11. VALLEJO CABRERA, F. A. Origem e evolucao do género Capsicum. Piracicaba, ESALQ/ USP. 62 p. 1985 b.
-