

EFFECTOS GENETICOS EN HIBRIDOS DE MAIZ TROPICAL (*Zea mays* L.) I Rendimiento

Gaspar Martínez Zambrano ¹

RESUMEN

Se evaluaron 42 híbridos simples de maíz (*Zea mays* L.) provenientes de las cruzas de seis líneas de trópico seco y siete de trópico húmedo, mediante el diseño II de Carolina del Norte. Las localidades donde se realizó el estudio fueron: Ursulo Galván, Veracruz (trópico húmedo) y Los Mochis, Sinaloa (transición), en el verano de 1984; y Río Bravo, Tamaulipas, (trópico seco) en la primavera de 1985. Los caracteres estudiados fueron: rendimiento de grano, altura, pudrición, mala cobertura, floración y cuateo de mazorca; así como antesis, y acame de tallo y raíz. Los objetivos del trabajo fueron: a) estudiar los efectos genéticos involucrados en la expresión de los nueve caracteres considerados en las cruzas y sus progenitores, y b) analizar el comportamiento de estos efectos a través de los ambientes de prueba.

En el presente escrito se reportan los resultados relativos al rendimiento, los cuales indican que, en la expresión de este carácter, estuvieron involucrados efectos genéticos del tipo aditivo únicamente, siendo más grandes en las hembras que en los machos. Los efectos aditivos de los progenitores macho fueron más estables que los de las hembras a través de localidades.

INTRODUCCION

Los programas de mejoramiento de maíz que contemplen la producción de híbridos, tendrán necesariamente que evaluar las líneas endocriadas que generen, para conocer adecuadamente su potencial genético antes de ser utilizadas no sólo en la formación de los híbridos, sino también en la formación de sintéticos y otro tipo de variedades de polinización libre, ya sea para uso comercial, o como reserva de germoplasma disponible para el mejoramiento.

1. Ing. M.C. Maestro-Investigador. Depto. Fitomejoramiento. Div. de Agronomía UAAAN.

El concepto de aptitud combinatoria es útil para conocer el comportamiento de líneas endocriadas en cruzas, y para estudiar la importancia relativa de los tipos de acción de los genes involucrados en ese comportamiento.

En el presente trabajo se evaluaron 42 híbridos simples en tres regiones de trópico mexicano, con los objetivos de: a) estudiar los efectos genéticos involucrados en la expresión de nueve caracteres de planta y mazorca en las cruzas y sus progenitores, y b) analizar el comportamiento de estos efectos a través de los ambientes de prueba.

REVISION DE LITERATURA

El éxito de un programa de endocría e hibridación, depende del procedimiento de prueba para identificar las líneas que producen híbridos superiores (Hallauer y López, 1979); sin embargo, los efectos de aptitud combinatoria de las líneas progenitoras es uno de los factores básicos de la heterosis de los híbridos (Pesev, 1978).

El concepto de aptitud combinatoria ha sido ampliamente utilizado por los mejoradores de maíz en nuestros días. Sprague y Tatum (1942) delinearon en su dimensión cabal el significado de la aptitud combinatoria, al equiparlo con efectos genéticos: la varianza de la aptitud combinatoria general da una indicación de la importancia de los efectos génicos aditivos, y la varianza de la aptitud combinatoria específica de los efectos génicos no- aditivos.

Sprague y Tatum (1942), Gamble (1962a) y Hallauer (1975) concuerdan al afirmar que los efectos genéticos del tipo aditivo son relativamente más importantes que los del tipo no aditivo para el rendimiento. Sin embargo, esto es válido sólo cuando las líneas han sido endocriadas sin selección (Gamble, 1962a; Sprague y Tatum, 1942).

Las estimaciones de efectos genéticos, tanto aditivos como no- aditivos, pueden ser ambientalmente inconsistentes cuando se calculan de experimentos individuales. Esto es confirmado por los reportes de Rojas y Sprague (1952), Lonnquist y Gardner (1961) y Gamble (1962c), en los cuales se coincide en que los efectos aditivos son menos influenciados por los ambientes de prueba que los no-aditivos.

Matzinger *et al* (1959) explican que esto ocurre cuando se usan líneas endocriadas bajo selección en las cruzas evaluadas, lo cual reduce la varianza aditiva y probablemente su interacción con los ambientes. Estos investigadores evaluaron cruzas entre líneas endocriadas sin selección y encontraron que los efectos aditivos son más influenciados por los ambientes que los no- aditivos.

MATERIALES Y METODOS

Las líneas utilizadas para producir los híbridos de cruce simple son de pedigree cerrado y con un nivel de endocria de S₂ a S₅. Las siete líneas macho fueron obtenidas en la región de trópico húmedo a partir de germoplasma de Tuxpeño Crema -1, y las siete líneas hembra se obtuvieron en la región de trópico seco del noreste de México a partir de germoplasma Tuxpeño y del Caribe.

Las 42 progenies estudiadas se formaron mediante el diseño de apareamiento II de Carolina del Norte y fueron evaluadas en condiciones de riego bajo un diseño en bloques al azar, en tres localidades representativas del Trópico mexicano: Ursulo Galván, Veracruz, en el trópico húmedo; Los Mochis, Sinaloa, en el trópico de transición húmedo-seco; y Río Bravo, Tamaulipas, en el trópico seco.

La parcela experimental fue de un surco de 20 plantas espaciadas entre sí a 22 centímetros y con 75 centímetros entre surcos, lo cual equivale a 60 mil plantas por hectárea.

La fecha de siembra y la fertilización varió con la localidad: cinco de julio de 1984, con 120-80-00 (NPK), para Ursulo Galván, Ver.; 30 de agosto de 1984, con 160-40-00 (NPK), para Los Mochis, Sin.; y 15 de marzo de 1985, con 120-80-00 (NPK), para Río Bravo, Tamps. En los tres sitios se dio un riego de siembra y cuatro posteriores, cubriéndose apropiadamente el ciclo del cultivo hasta antes.

Los caracteres medidos fueron: días a floración masculina y femenina, porcentaje de mala cobertura de mazorca, porcentaje de mazorcas podridas, altura de mazorca, porcentaje de acame de raíz y tallo, mazorcas en cien plantas y el rendimiento de mazorca.

Se realizaron análisis en base a medias de parcela para cada carácter considerado y para cada localidad, mediante el modelo siguiente:

Y_{ijk}	=	$\mu + M_i + H_j + (MH)_{ij} + R_k + E_{ijk}$; donde:
Y_{ijk}	=	Valor observado en la parcela ijk
μ	=	Efecto promedio de los híbridos en el experimento.
M_i	=	Efecto del macho i ($i = 1, 2, \dots, m$).
H_j	=	Efecto de la hembra j ($j = 1, 2, \dots, h$).
$(MH)_{ij}$	=	Efecto de la interacción entre el macho i y la hembra j
R_k	=	Efecto de la repetición k ($k = 1, 2 = r$).
E_{ijk}	=	Efectos del error experimental.

Se efectuó también un análisis de varianza combinado en las tres localidades para cada carácter, mediante el modelo siguiente:

$$Y_{ijkl} = \mu + Li + R(i)j + Mk + HI + (MH)kl + (LM)ik + (LH)il + (LMH)ikl + E_{ijkl}$$

Donde:

- Y_{ijkl} = Valor observado de la parcela $ijkl$
 μ = Efecto promedio de los híbridos en los experimentos
 Li = Efecto de la localidad i
 $R(i)j$ = Efecto de la repetición j dentro de la localidad i
 Mk = Efecto del progenitor macho k
 HI = Efecto del progenitor hembra l
 $(MH)kl$ = Efecto de interacción del macho k con la hembra l
 $(LM)ik$ = Efecto de interacción de la localidad i con macho k
 $(LH)il$ = Efecto de interacción de la localidad i con la hembra l
 $(LMH)ikl$ = Efecto de interacción de la localidad i con el macho k y la hembra l
 E_{ijkl} = Efectos del error experimental

La estimación de los efectos genéticos se realizó utilizando la información de las esperanzas de cuadrados medios de los análisis de varianza individuales, de tal forma que:

- a) Varianza aditiva debido a machos:
 $\sigma^2_{Am} = 4\sigma^2_m = \frac{4 CMm - CMmh}{rh}$
- b) Varianza aditiva debido a hembras:
 $\sigma^2_{Ah} = 4\sigma^2_h = \frac{4 CMh - CMmh}{rm}$
- c) Varianza no aditiva debido a la interacción machos por hembras
 $\sigma^2_D = 4\sigma^2_{mh} = \frac{4 CMmh - CMe}{r}$

Del análisis de varianza combinado se hizo otra estimación de tal manera que:

- a) Varianza aditiva debido a machos:
 $\sigma^2_{Am} = 4\sigma^2_m = \frac{4 CMm - CMmh - CMml + CMhl}{rhl}$
- b) Varianza aditiva debido a hembras:
 $\sigma^2_{Ah} = 4\sigma^2_h = \frac{4 CMh - CMmh - CMhl + CMhl}{rml}$

- c) Varianza no aditiva debido a la interacción machos por hembras

$$\sigma^2_D = 4\sigma^2_{mh} = \frac{4 \text{ CMmh} - \text{CMmhI}}{rI}$$

Los efectos de aptitud combinatoria general y específica para los dos grupos de líneas y sus cruzas, respectivamente, se estimaron para cada carácter mediante la metodología descrita por Griffing (1956), y su significancia estadística se probó mediante una prueba de t simple, descrita por Chaudhary y Singh (1977).

RESULTADOS Y DISCUSION

Los análisis de varianza por localidad revelaron (Cuadro 1) que las diferencias entre híbridos fueron altamente significativas en Ursulo Galván, Veracruz y Los Mochis, Sinaloa, y no significativas en Río Bravo, Tamaulipas, indicando también que éstas fueron debidas primeramente a las diferencias entre machos, luego a las de las hembras y finalmente a las de la interacción entre éstos, tanto en Ursulo Galván como en Río Bravo, Tamaulipas. En el caso de Los Mochis, esta jerarquía se invierte entre machos y hembras. Lo anterior se deduce de la magnitud de sus respectivos cuadrados medios.

En el mismo Cuadro 1 se muestra también que las diferencias, tanto entre machos como entre hembras, fueron estadísticamente significativas en las tres localidades, a excepción de las observadas entre hembras en Río Bravo, Tamps. En ninguna localidad resultaron estadísticamente significativas las diferencias debidas a la interacción machos por hembras. Si estos valores se equi-

Cuadro 1. Cuadrados medios de los análisis de varianza para rendimiento de 42 híbridos de maíz evaluados en tres regiones del trópico mexicano, en 1984 y 1985.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Ursulo G., Ver.	Los Mochis, Sin.	Río Bravo, Tamps.
Repeticiones	1	3.70*	5.80	0.03
Híbridos	41	1.85**	4.11**	0.60
Machos	6	4.67**	7.64**	2.49**
Hembras	5	2.29*	16.50**	0.45
M x H	30	1.21	1.35	0.37
Error	41	0.89	1.69	0.50
C.V. (%)		13.9	1.4	9.1

*, ** Significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente.

paran con sus esperanzas de cuadrados medios puede inferirse que los efectos genéticos debidos a la aptitud combinatoria específica, que surgen de la interacción machos por hembras, no son importantes para el rendimiento en ninguna de las localidades probadas, concordando con lo encontrado por Hallauer (1975) y Sprague y Eberhart (1977) y que los efectos genéticos debido a la aptitud combinatoria de machos y hembras resultan estadísticamente importantes en todas las localidades, excepto en Río Bravo, Tamaulipas; en donde sólo la de machos fue significativa. Lo anterior queda de manifiesto con las estimaciones de los efectos genéticos que se muestran en el Cuadro 2.

El análisis de varianza combinado reveló, como se muestra en el Cuadro 3, que las diferencias entre localidades, híbridos, progenitores macho y hembra, y aquéllas debidas a su interacción con localidades, fueron altamente significativas. Esto indica que las diferencias entre híbridos son debidas principalmente a las observadas entre hembras, luego a las de machos y de manera insignificante a las de la interacción entre ellos. Además, que las diferencias en la interacción de los híbridos con los ambientes de prueba, también son debidos en primer término a la diferencia observada entre las hembras y después a la de los machos solamente.

La preponderancia de los efectos de las hembras respecto a los machos, en su contribución a las diferencias entre híbridos en el análisis combinado de localidades, contradice lo observado en los análisis individuales y confirma lo reportado por Rojas y Sprague (1952), Lonnquist y Gardner (1961) y Gamble (1962a) quienes afirman que los efectos aditivos y no-aditivos son ambientalmente inconsistentes cuando se calculan de experimentos individuales. Coincide también con Gamble (1962a, 1962b y 1963c) quien afirma que el criterio más apropiado para asignar valor genético a las líneas evaluadas, es aquél que parte de datos conjugados de ambientes y de un análisis combinado de éstos, para estimar efectos genéticos.

Cuadro 2. Comportamiento medio y estimaciones de los efectos genéticos para rendimiento de las líneas macho, hembra y los híbridos entre éstas, evaluados en tres regiones del trópico mexicano en 1984 y 1985.

Efectos genéticos	Ursulo G., Ver.	Los Mochis, Sin.	Río Bravo, Tamps.	Combinado
σ^2_{Am}	1.153	2.097	0.707	0.261
σ^2_{Ah}	0.309	4.329	0.024	0.263
σ^2_A	0.731	3.213	0.366	0.262
σ^2_D	0.680	-0.680	-0.260	0.173
Rendimiento (T/ha)	6.7	9.6	7.8	8.0

Cuadro 3. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado para rendimiento de 42 híbridos de maíz evaluados en tres regiones tropicales de México, en 1984 y 1985.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios
Localidad (L)	2	176.68**
Repeticiones/L	3	3.18*
Híbridos (H)	41	2.81**
Machos (M)	6	6.67**
Hembras (H)	5	8.17**
M x H	30	1.15
H x L	82	1.92**
M x L	12	4.06**
H x L	10	5.53**
M x H x L	60	0.89
Error	123	1.02
C.V. (%)		12.6

*, ** Significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente.

La significancia de las diferencias entre machos y de las diferencias entre hembras para interaccionar con los ambientes, y la no significancia de los efectos conjuntos macho por hembra para interaccionar con los ambientes, revela que los efectos genéticos del tipo aditivo son más afectados por las condiciones de prueba que los efectos no aditivos, lo cual coincide con lo reportado por Matzinger *et al* (1959).

Una comparación de las estimas de los efectos genéticos mostrados en el Cuadro 2 indica que las relaciones de varianza aditiva promedio a varianzas no aditivas es: 1.1 a 1 en Ursulo Galván, Veracruz, y 1.5 a 1 en el combinado. La varianza no aditiva resultó inexistente en Los Mochis, Sinaloa y Río Bravo, Tamaulipas. Además, la varianza aditiva contribuida por los machos y las hembras fue muy similar, con valores de 0.261 y 0.263 respectivamente; lo cual induce a pensar que, en general, en el comportamiento de los híbridos evaluados, ambos grupos de progenitores tienen contribuciones genéticas similarmente importantes, pero ligeramente mayores en las hembras.

Un análisis de los efectos de aptitud combinatoria general (Cuadro 4) muestra que, en efecto, las hembras contienen valores positivos y estadísticamente significativos en mayor proporción que los machos, en las estimas combinadas.

Cuadro 4. Aptitud combinatoria general del rendimiento para las líneas progenitoras de 42 híbridos de maíz, evaluados en tres regiones del trópico mexicano, en 1984 y 1985.

Progenitor	Ursulo G., Ver.	Los Mochis, Sin.	Río Bravo, Tamps.	Combinado
M1	1.233**	0.308	0.270	0.615**
M2	0.193	0.596	0.137	0.360*
M3	-0.661*	0.426	0.784**	0.158
M4	-0.546*	0.418	-0.284	-0.161
M5	-0.351	-1.729**	-0.186	-0.722**
M6	0.038	-0.118	-0.291	-0.146
M7	0.096	0.120	-0.429*	-0.102
DMS 0.05	0.544	0.758	0.412	0.333
DMS 0.01	0.728	1.015	0.552	0.440
H1	0.463	-1.399*	-0.258	-0.356*
H2	-0.352	0.251	0.167	-0.002
H3	-0.396	-0.442	-0.031	-0.236
H4	-0.378	-0.637	-0.252	-0.448**
H5	0.497	0.490	0.186	0.371*
H6	0.167	1.740**	0.188	0.672**
DMS 0.05	0.504	0.702	0.382	0.308
DMS 0.01	0.674	0.939	0.511	0.408

CONCLUSIONES

1. Existe una amplia variabilidad genética para rendimiento, entre los híbridos evaluados.
2. La variabilidad para rendimiento entre los híbridos es debida más a los progenitores hembra, luego a los machos e insignificamente a la interacción entre ellos.
3. Los efectos genéticos involucrados en la expresión del rendimiento fueron todos del tipo aditivo, siendo mayores en las hembras que en los machos.
4. Los efectos genéticos del tipo aditivo de los progenitores macho fueron ambientalmente más estables que los de los progenitores hembra.
5. Las mejores líneas por su aptitud combinatoria general para rendimiento fueron los progenitores macho M1 (0.615**) y M2 (0.360*) y los progenitores hembra H5 (0.371*) y H6 (0.672**).

BIBLIOGRAFIA

- Chaudhary, B.D. and R.K. Singh. 1979. Biometrical methods in quantitative genetic analysis. 304 p. Kalyani Publishers. Ludhiana, India.
- Gamble, E.E. 1962a. Gene effects in corn (*Zea mays* L.) I. Separation and relative importance of gene effects for yield. *Can. J. Plant. Sci.* 42:339-348. U.S.A.
- _____. 1962b. Gene effects in corn (*Zea mays* L.) II. Relative importance of gene effects for plant height and certain component attributes of yield. *Can. J. Plant Sci.* 42:349-358. U.S.A.
- _____. 1962c. Gene effects in corn (*Zea mays* L.) III. Relative stability of gene effects in different environments. *Can. J. Plant Sci.* 42:628-634. U.S.A.
- Griffing, B. 1956. Concepts of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Aust. J. Biol. Sci.* 9:463-493. Australia.
- Hallauer, A. R. 1975. Relation of gene action and type of tester in maize breeding procedures. 30th Proc. Corn and Sorghum Research Conference. pp. 150-165. U.S.A.
- _____, and E. López. 1979. Comparison among testers for evaluating lines of corn. 34th Proc. Corn and Sorghum Research Conference pp. 57-75 U.S.A.
- Lonnquist, J.H. and C.O. Gardner. 1961. Heterosis in intervarietal crosses in maize and its implication in breeding procedures. *Crop. Sci.* 1:179-183. U.S.A.
- Matzinger, G.F. Sprague and C.C. Cockerham. 1959. Diallel crosses of maize in experiments repeated over locations and years. *Agron. J.* 51:346-350. U.S.A.
- Pesev, N. 1978. Combining ability of maize inbred lines from different source material. *Genetika* 10:253-262. Moscú, URSS.
- Rojas, B. and G.F. Sprague. 1952. A comparison of variance components in corn yield trials. III. General and specific combining ability and their interaction with locations and years. *Agron. J.* 44:462-466- U.S.A.
- Sprague, G.F. and S.A. Eberhart. 1977. Corn breeding. Corn and corn improvement. G.F. Sprague (ed). *Am. Soc. Agron. Madison, Wis.* U.S.A. pp. 305-362.
- _____, and L.A. Tatum. 1942. General vs specific combining ability in single crosses of corn. *J. Am. Soc. Agron.* 34:923-932. U.S.A.