

Efectos genéticos y desempeño agronómico como criterios de selección de líneas, probadores e híbridos

Selecting inbred lines, testers and hybrids through genetic effects and yield performance

Humberto De León-Castillo¹, Daniel Sámano-Garduño¹, Alfredo de la Rosa-Loera¹, Gaspar Martínez-Zambrano² y Juan Manuel Quiroz-Chico³.

E-mail: hleonc62@hotmail.com

¹Instituto Mexicano del Maíz. ²Depto. de Fitomejoramiento. ³Tesista de Nivel Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista Saltillo, Coah., México. C.P. 25315.

Abstract

In a maize breeding programs it is required to count on effective testers for line culling. In this sense, the present work was undertaken to reach the following objectives: to identify outstanding inbred lines belonging to two complementary germplasm; to identify the proper testers for the heterotic pattern improvement; and to select promissory hybrids for their superior genetic effects. The germplasm groups were the so called "Idiotype" and "QPM", each one represented by 10 lines and 8 simple crosses. Hybridization was made crossing the lines from one group with the simple-crosses of the other, and viceversa, during the B cycle 2001/2002, in Tepalcingo, Mor. The resulting 155 three way hybrids along with 10 checks were assayed in the summer 2003, two locations, Celaya, Gto., and La Piedad, Mich., using an incomplete blocks design with an alpha-lattice treatments arrangement, two repetitions. Results indicated that there were sufficient genetic variability in both groups just to make genetic improvement in a successfully way. The better lines according with a positive and significant GCA for yield were seven, but the best were the numbered as 1, 2, 11, 12, and 5. Testers 2 and 8 were identified as the ones with more power to discriminate lines. On the other hand, the two test-crosses with the above average yield and higher GCA and SCA were the identified as 77 and 76.

Key words: *Zea mays* L., triples-crosses, germplasm groups, heterotic pattern.

Resumen

En los programas de mejoramiento genético de maíz es importante contar con probadores eficientes que permitan identificar líneas superiores. El presente trabajo se realizó con el objetivo de identificar líneas sobresalientes de dos grupos germoplásmicos complementarios; calificar probadores adecuados para el mejoramiento de un patrón heterótico; así como seleccionar híbridos promisorios estimando sus efectos genéticos. Para ello se emplearon diez líneas y ocho cruces simples de cada uno de los grupos denominados "Idiotipo" y "QPM". Los cruzamientos

entre líneas y cruza simples de diferente grupo, fueron realizadas usando las cruza simples como hembras (probadores), en la localidad de Tepalcingo, Mor., durante el ciclo Otoño-Invierno del 2001-2002, obteniendo 155 cruza de prueba (línea x probador), éstas y 10 testigos fueron evaluados en las localidades: Celaya Gto., y La Piedad Mich., en el Verano del 2003 bajo un diseño de bloques incompletos con un arreglo alfa-látice, con dos repeticiones por localidad. Los resultados obtenidos para la variable rendimiento indican que en ambos grupos existe suficiente variabilidad genética para seguir realizando mejoramiento con expectativas de éxito. Las líneas que mostraron efectos positivos y diferentes de cero en ACG para la variable de rendimiento fueron siete, entre las que destacan 1, 2, 11, 12 y 5. Los probadores 2 y 8 fueron identificados como los de mayor poder para discriminar líneas. Las cruza de prueba que exhibieron rendimientos estadísticamente superiores a la de testigos, y con altos efectos de aptitud combinatoria específica y general, son los identificados con la clave 77 y 76.

Palabras clave: *Zea mays* L, cruza triples, grupos germoplásmicos, patrón heterótico.

Introducción

El presente trabajo se realizó con el fin de identificar progenitores de híbridos con alto potencial de rendimiento, atractivo para los productores, que además tengan un valor agregado por su valor nutritivo, al realizar cruzamientos dirigidos entre materiales élite de dos grupos de maíz denominados Idiotipo y QPM (quality protein maize), que integran un prometedor patrón heterótico identificado por de León (2005).

Los patrones heteróticos explotados en la generación de híbridos para las regiones de México ubicadas entre los 1000 y 1850 m de altitud no están claramente establecidos en nuestro programa de mejoramiento, pero es necesario mejorar o enriquecer los que ya se han identificado, pues constituyen una estrategia que permite explotar y capitalizar la heterosis en forma dirigida; así mismo, permite utilizar en forma eficiente el germoplasma disponible para la generación de combinaciones híbridas (Terrón *et al.*, 1997).

Al estudiar los efectos de aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE) en el comportamiento de los híbridos, frecuentemente se reporta que es mayor la aportación que tienen los efectos de ACG (Melchinger y Gumber 1998; Sámano y de León 2003; de León 2005); sin embargo, es deseable identificar grupos donde los efectos de ACE sean significativos en el desempeño de los híbridos.

Los objetivos que se plantean son los siguientes: identificar líneas sobresalientes con buena aptitud combinatoria para la variable rendimiento; identificar el probador que tenga la habilidad de discriminar eficientemente a las líneas, así como aquel que presente buenas combinaciones híbridas, e identificar híbridos con alto potencial de rendimiento y buena adaptación para El Bajío.

Metodología Experimental

El desarrollo de este trabajo requirió del cruzamiento entre materiales derivados de dos grupos germoplásmicos, para formar dos series de cruzas triples: una incluye 85 cruzas triples formadas a partir del cruzamiento entre 10 líneas pertenecientes al grupo ideotipo, con nueve cruzas simples del grupo QPM; otra, 70 cruzas triples formadas con 10 líneas derivadas del grupo QPM, que se cruzaron con siete cruzas simples (probadores) del grupo ideotipo. Para la evaluación de estas series de cruzas triples, se usaron como testigos 10 híbridos comerciales.

Los cruzamientos triples se formaron en la localidad de Tepalcingo, Mor., durante el ciclo Otoño-Invierno de 2001-2002. Las cruzas triples y testigos se evaluaron durante el ciclo Primavera-Verano de 2002, en dos localidades representativas de la región del Bajío Mexicano (Celaya Gto., y La Piedad Mich.), bajo un diseño de bloques incompletos con dos repeticiones por localidad, bajo un arreglo de alfa-lattice. La parcela experimental lo constituyó un surco de 0.75 m de ancho, con 21 plantas por parcela, a una distancia de 0.19 m entre planta y planta.

Con el fin de conocer el comportamiento de las cruzas triples y progenitores de cada grupo, realizó un análisis combinado para localidades bajo el diseño de línea x probador descrito por Singh y Chaudary (1985). Para la generación de los resultados se empleó el programa SAS. El modelo lineal general para este diseño es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \frac{1}{4} + L_i + R_{j(i)} + T_k + TL_{ik} + \mu_{ijk}$$

Criterios de selección

Si se detectan diferencias por el análisis de varianza para la fuente de variación cruzas de prueba, éstas se dividirán en efectos de líneas, probador y líneas por probador. Las líneas y probadores se seleccionarán con base a los efectos favorables de ACG para rendimiento, preferentemente cuando sus efectos sean estadísticamente diferentes de cero. En la selección de probadores se tomó en cuenta otro criterio, por considerarlo más adecuado para clasificarlos con base a la capacidad que tienen para discriminar líneas, que es el valor de los cuadrados medios obtenido por las líneas dentro de cada probador. Por último, los híbridos experimentales o cruzas de prueba que muestren gran potencial genético y agronómico, se identificarán con base a los efectos de ACE, así como por su superioridad estadística en relación al comportamiento agronómico promedio de los híbridos comerciales utilizados como testigos.

Resultados y Discusión

La fuente de variación localidades en ambos grupos muestra diferencia altamente significativa para rendimiento, lo que indica que existen diferencias entre los ambientes de evolución, dado que las localidades de evaluación no presentan las

mismas condiciones climáticas, edáficas, ni tuvieron las mismas prácticas de manejo. Para repeticiones dentro de localidades no se encontró diferencias para el grupo 1, lo que se atribuye a que las repeticiones se comportaron de igual manera; no sucedió así para el grupo 2, en el cual se encontró diferencia estadística al nivel de 0.01 de probabilidad para la variable evaluada, lo que indica que el diseño utilizado permitió detectar las diferencias ocasionadas por el ambiente de evaluación, y que este efecto no se acumuló en el error.

Cuadro 1. Análisis de varianza combinado para las cruzas de prueba para dos grupos heteróticos a través de dos ambientes: Celaya, Gto. y La Piedad, Mich.

F.V	Rendimiento Grupo 1		Rendimien to Grupo 2	
	Gl		Gl	
Localidades	1	488.12**	1	355.79 **
Rep (loc)	2	4.63	2	98.970 **
Cuzas de prueba (CP)	84	18.97**	79	10.534 **
Cruza triple	74	19.48**	69	9.829 **
Líneas	9	91.11**	9	22.312 **
Probador	8	11.57**	6	17.999 **
Lín x prob	57	7.63**	49	7.480 *
Testigo	9	15.72*	9	16.858 **
C.trip vs. testigo	1	8.65	1	0.341
CPx loc	84	8.10**	79	7.479 *
Cruza triple x loc	74	7.91**	69	7.356 *
Loc x línea	9	20.05**	9	11.049 *
Loc x prob	8	9.87*	6	9.703
Loc x lín x prob	57	5.83*	49	6.697
Testigo x loc	9	10.00	9	5.618
H vs. T x L	1	4.09	1	33.131 **
Error	226	4.26	157	4.833
C.V. (%)		13.90		14.953
Media		14.68		14.472

Grupo 1= Se utilizó como probador al grupo QPM y líneas del grupo Ideotipo; Grupo 2= Se utilizó como probador al grupo Ideotipo y líneas del grupo QPM; Rep (loc)= repeticiones dentro de localidades; lín x prob= línea por probador; C.trip = cruza triple; loc= localidad; Lin= línea; prob= probador; H vs. T x Loc= híbrido *versus* testigo por localidad.; C.V. (%)= coeficiente de variación; Gl= grados de libertad para el análisis de varianza; *, **=Significancia al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente.

En la fuente de cruza de prueba se encontró una diferencia altamente significativa ($P < 0.01$) para rendimiento de ambos grupos; estas diferencias se debieron, presumiblemente, a la variabilidad genética. Al dividir los efectos de las cruza de prueba, los resultados indican que: la fuente de variación cruza triples muestra diferencias altamente significativas, las cuales se atribuyen a la diversidad genética que presentan los progenitores y que se exhiben en el híbrido; en el caso de los testigos, se encontraron diferencias al 0.05 de probabilidad en el grupo 1, y al nivel de 0.01 en el grupo 2; las diferencias encontradas reafirman la gran diversidad de híbridos que existen actualmente en el mercado; el contraste que se incluye en la subdivisión de tratamientos se hizo para comparar el potencial agronómico de los materiales experimentales (cruza triples) con respecto a los testigos, y en ambos grupos no se encontraron diferencias significativas para rendimiento, lo que hace suponer que los materiales experimentales tienen un potencial agronómico similar a los híbridos que se encuentran actualmente en el mercado.

Se detectaron diferencias ($P < 0.01$) para líneas en ambos grupos, lo cual indica que existe variabilidad genética entre líneas. Los probadores mostraron diferencias altamente significativas, de lo que se infiere que cada probador tiene características genotípicas y fenotípicas propias y diferentes, lo cual permitirá la identificación de aquéllos que exhiban el mayor potencial para ser progenitores de nuevos híbridos. La interacción línea por probador presentó diferencia altamente significativa para el grupo 1, mientras que el grupo 2 muestra diferencia estadística al nivel de 0.05 de probabilidad, lo cual indica que los probadores tienen diferentes efectos con la misma línea.

En la interacción cruza de prueba por localidad se encontró diferencia al nivel de probabilidad del 0.01 en el grupo 1, mientras que en el grupo 2 se detectaron diferencias en la interacción al 0.05 de probabilidad, por lo que se infiere ausencia de estabilidad.

Después de demostrar que existe variabilidad entre líneas, se procedió a estimar sus efectos en aptitud combinatoria general. En el Cuadro 2 se presentan siete líneas con efectos favorables estadísticamente diferentes de cero, de las cuales cinco pertenecen al grupo ideotipo (1, 2, 3, 4, y 5), y dos al QPM (11 y 12). Se considera que la cruza entre estas líneas aumentará la posibilidad de generar descendientes híbridos con alto potencial de rendimiento, principalmente cuando el cruzamiento se realice entre líneas de diferente grupo germoplásmico.

Cuadro 2. Efecto de aptitud combinatoria general en materiales detectados como superiores, de los dos grupos heteróticos, para la variable rendimiento

Materiales	Genealogía	Efecto	Grupo
L 1	MLS4-1 RC4 N-7-1-1	2.87*	Ideotipo
L 2	MLS4-1N-1-1-A-5-1-A	2.17*	Ideotipo
L 3	232-10-11-1 Rel N-19-4-2	1.75*	Ideotipo
L 4	MLN	0.54*	Ideotipo
L 5	255-18-19N-14-1-A-4-2-A	0.51*	Ideotipo
L 11	6310*Bulk-12	1.51*	QPM
L 12	6310*Bulk-11	1.44*	QPM
P 1	(232-10-11-1N-13-1-A-1-2-A x 232-10-11-1 R N-19-4-2)	0.75*	Ideotipo
P 2	(232-10-11-1N-13-1-A-1-2-A x MLS4-1 RC4 N-7-1-1)	0.65*	Ideotipo
P 8	(6320-6 x 6310*Bulk-13)	1.23*	QPM

*= Nivel de significancia <0.05; L = Línea; P = Probador.

En el Cuadro 2 también se incluyen tres probadores con efectos favorables de ACG, los cuales pueden emplearse como progenitor de nuevos híbridos con alto potencial de rendimiento.

En el Cuadro 3 se presentan los cuadrados medios que se obtuvieron por la fuente de variación: líneas dentro de probador, para identificar los probadores que provocaron mayor varianza entre las líneas.

Cuadro 3. Cuadrados medios para líneas dentro de cada probador del análisis de varianza combinado

Probadores Ideotipo	C M	Probadores QPM	CM
5	15.41	10	33.64
2	14.63	8	29.66
3	13.09	14	25.68
7	10.32	11	17.47
1	7.19	16	17.36
6	3.12	9	17.11
4	1.76	12	16.17
		15	15
		13	4.50

CM = Cuadrados medios

Del grupo ideotipo, el probador 2 es uno de los que muestra cuadrados medios con los más altos valores, mientras que por el grupo QPM, uno de los probadores que exhibe cuadrados medios con los valores más altos es el 8, por lo que ambos se consideran adecuados para discriminar líneas.

En el Cuadro 4 se presenta la descomposición genética de los híbridos con los valores: más alto rendimiento dentro de cada grupo, efectos de aptitud combinatoria general de sus progenitores, y efecto de aptitud combinatoria específica de los híbridos en cuestión, con el fin de analizar a qué se le puede atribuir el alto potencial de rendimiento: a los efectos aditivos, a los de dominancia, o a ambos.

Cuadro 4. Descomposición del rendimiento de los híbridos detectados como superiores, en efectos de aptitud combinatoria general de los progenitores y aptitud combinatoria específica del híbrido

Hib	Med Hib	ACE	Prob	ACG	Línea	ACG
76	18.79	2.89 *	5	- 0.09	11	1.52 *
77	19.09	2.53 *	2	0.65*	12	1.44 *
78	17.35	2.39 *	2	0.65*	16	- 0.16
2	17.82	2.27 *	10	0.33	4	0.55 *
4	17.40	2.19 *	12	- 0.01	4	1.55 *
79	15.84	2.15 *	5	- 0.09	18	- 0.70
5	17.46	2.03 *	11	0.24	5	- 0.51 *
80	18.04	1.94	3	0.11	11	1.52 *
17	18.23	1.05	10	0.33	2	2.17 *

Significancia al 0.05; HIB = Híbrido; MED HIB = Media del híbrido; ACE = Aptitud específica; PROB = Probador, ACG = Aptitud combinatoria general

Se puede observar que el híbrido 77 es el que exhibe el más alto rendimiento, pues tiene aportaciones estadísticamente significativas de ACG de sus progenitores, así como de ACE del híbrido, es decir, efectos genéticos aditivos y no aditivos influyen en su comportamiento. Este híbrido se identificó con potencial para explotarse comercialmente con doble propósito (grano y forraje). Similarmente, los híbridos 76, 78, 2 y 4 muestran un alto potencial de rendimiento atribuido a que exhibieron efectos favorables diferentes de cero en ACE, además de que recibieron efectos favorables diferentes de cero de la ACG de uno de sus progenitores.

Conclusiones

Las líneas que sobresalieron por poseer efectos positivos en aptitud combinatoria general diferente de cero para rendimiento, y que además exhiben efectos favorables para el resto de las características agronómicas evaluadas, son las líneas 1, 2, 11, 12 y 5.

Los mejores probadores para discriminar líneas fueron el 8 y el 2, al presentar mayor variación genética para rendimiento, mientras que para utilizarse como progenitores de nuevos híbridos, fueron el 2 y el 9.

Los híbridos experimentales que poseen mayor potencial agronómico fueron 77, 76 y 78, con rendimientos de 19.09, 18.78 y 17.35 t ha⁻¹, respectivamente.

Literatura Citada

- De León C., H. 2005. Estudio y clasificación de grupos germoplásmicos para la constitución de patrones heteróticos en maíz. Tesis de Doctor en Ciencias. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coah. México. 92 p.
- González S., Córdova. H., Rodríguez. S., De León. H. y Serrato M. V. 1997. Determinación de un patrón heterótico a partir de la evaluación de un dialélico de diez líneas de maíz subtropical. *Agronomía Mesoamericana* 8: 1-7.
- Melchinger, A.E. and Gumber R.K. 1998. Overview of heterosis and heterotic groups in agronomic crops. pp: 29-44. *In: Concepts and Breeding of Heterosis in Crop Plants*. Lamkey, K. R. and J.E. Staub. (Eds). Madison, Wisconsin. USA.
- Terrón. A., Preciad. E., Córdova. H., Milckelson. H y López. R. 1997. Determinación de patrones heteróticos de 30 líneas de maíz derivadas de la población 43SR. *Agronomía Mesoamericana* 8(1): 1-7.
- Sámamo G.,D. y H. De León C. 2003. Efectos de aptitud combinatoria en dos poblaciones de maíz adaptados al bajo. Instituto Mexicano del Maíz. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coah., México. Disponible en <http://www.uaaan.mx/DirInvRdos2003/maiz/efestapt.pdf>.
- Singh R.K. and B.D. Chaudhary. 1977. *Biometrical methods in quantitative genetic analysis*. Kaylani Publishers. New Delthi, Ludhiana. pp. 205-213.