

Análisis línea por probador con datos desbalanceados

Line-tester analysis, unbalanced data

Raymundo Cuellar-Chávez¹, Humberto De León-Castillo¹, Daniel Sámano-Garduño¹, Alfredo de la Rosa-Loera¹ y Fernando Josué Pliego-Hernández²

E-mail: dasaga76@yahoo.com.mx

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

Abstract

This work reports the yield performance of 381 triple and 3 double experimental maize hybrids which resulted from combining 7 testers and 152 inbred lines in those cases with flowering coincidence. The experiment's objectives were: 1) to select outstanding inbred lines; 2) to identify the testers efficiency in line discrimination; 3) to select hybrids with the highest performance; and 4) to situate lines into heterotic groups. In the assay, all hybrids, along 7 commercial checks were evaluated during the 2004 summer-fall cycle, in the Mexican locations Celaya, Gto. and La Piedad, Mich. Both experiments were situated in an incomplete block design, two repetitions, with an alpha-lattice traits arrangement. Data analysis led to the next conclusions: identification of the lines with good general combining ability (GCA); besides the parent's own additive contributions and because of statistical significance of the specific combining ability (SCA), a possible non-additive effects controlling yield performance in the selected hybrids was detected. The testers with the highest discriminative function were those numbered as 1 and 5. Taking into account the SCA response of lines with the parents of the highest yield hybrids (crosses with testers 2 and 4) it was possible to identify two heterotic groups. Based in all of these results, a set of promising good hybrids for the Mexican Bajío was identified.

Key words: *Zea mays* L., combining ability, testcrosses, heterotic groups, hybrids.

Resumen

El trabajo informa del comportamiento productivo de 381 híbridos triples y 3 dobles, generados a partir de los cruzamientos entre siete probadores y 152 líneas endogámicas; los híbridos resultantes provienen de progenitores de floración coincidente. Este estudio se realizó con los siguientes objetivos: 1) seleccionar líneas de alto valor genético; 2) identificar a los probadores con mayor capacidad discriminatoria; 3) seleccionar a los mejores híbridos experimentales; y 4) ubicar líneas en grupos heteróticos. Los híbridos y siete testigos comerciales fueron evaluados en el verano de 2004, en las localidades de

resultados permitieron alcanzar los objetivos propuestos, destacando la influencia de efectos no-aditivos en la manifestación de la aptitud combinatoria específica (ACE) de las líneas en cruza. Los probadores de mayor efecto discriminatorio fueron los numerados como 1 y 5. Con base en ACE de líneas con los progenitores del híbrido más rendidor (cruza con probadores 2 y 4) fue posible la ubicación de líneas en dos grupos heteróticos. Del grupo evaluado, se identificaron híbridos de alto rendimiento para la región del Bajío.

Palabras clave: *Zea mays* L., aptitud combinatoria, cruzas de prueba, grupos heteróticos, híbridos rendidores.

Introducción

En los programas de mejoramiento genético enfocados a obtener híbridos, es importante conocer el comportamiento de los materiales que se utilizarán como progenitores de nuevas combinaciones. La información de los efectos de aptitud combinatoria general y específica, es determinante para identificar líneas de buen comportamiento genético, así como combinaciones específicas que formen híbridos con un comportamiento superior al esperado.

Al descomponer el efecto de las cruzas en efectos de aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE), se ha encontrado que es mayor la aportación que tienen los efectos de ACG en el desempeño de los híbridos (Melchinger y Gumber, 1998; Sámano y De León, 2003; De León, 2005), lo que resalta la importancia de estimar este efecto genético en los progenitores de nuevas combinaciones híbridas.

Es del dominio de los mejoradores, que un probador de amplia base genética es el indicado para realizar pruebas de aptitud combinatoria general. Sin embargo, una modificación con mayores alcances que esa metodología, consistente en usar simultáneamente varios probadores permitiendo clasificar las líneas por sus efectos de ACG y estimar ACE de los híbridos experimentales al mismo tiempo, es útil en la identificación de híbridos de excelente desempeño. A este procedimiento se le denomina análisis de línea x probador (Singh y Chaudhary 1985), y actualmente existen paquetes estadísticos versátiles que realizan su análisis.

Los objetivos de esta investigación fueron: identificar las mejores líneas, los mejores probadores y los mejores híbridos experimentales; formar dos nuevos grupos heteróticos que incluyan la ubicación de las líneas.

Metodología Experimental

El material genético lo constituyeron 381 híbridos triples experimentales, formados entre siete probadores y 152 líneas, tres híbridos dobles experimentales de la cruza entre dos probadores, además, de siete testigos. Las líneas se derivaron de ocho

grupos germoplásmicos diversos, cuya denominación y número de líneas fueron las siguientes: mezclas de híbridos (37), precoz (15), ideotipo (6), tropical (43), exótico (3 líneas), de tuxpeñito (29), cafime (8) y del grupo enano (11)

Los probadores (cruzas simples) pertenecen a los siguientes grupos: los probadores 1, 6 y 7 al enano; el probador 2, al Ideotipo; el probador 3, al exótico; el probador 4, al QPM; el probador 5, al tropical. Los híbridos fueron evaluados en dos localidades representativas de El Bajío mexicano: Juventino Rosas, Gto. y La Piedad, Mich., en la primavera de 2004, bajo un diseño de bloques incompletos con dos repeticiones por localidad y un arreglo alfa-látice. Se utilizó como parcela experimental un surco con 21 plantas separadas a 19 cm con una distancia entre surcos de 80 cm. La variable a medir fue rendimiento en $t\ ha^{-1}$ al 15.5 % de humedad.

Se estimó la aptitud combinatoria general para identificar las líneas, así como los probadores que muestran mayor potencial. Se realizó un análisis de líneas dentro de cada probador, para comparar la variación de cada uno de ellos y seleccionar los que tienen mayor poder de discriminación entre las líneas bajo prueba. También se analizaron los componentes genéticos de los híbridos para determinar a que deben principalmente la expresión de rendimiento.

Resultados y Discusión

Los resultados del análisis de varianza (Cuadro 1) mostraron diferencias significativas ($P \leq 0.01$) entre localidades, por tal razón se recomienda hacer la evaluación de los experimentos en varios ambientes. Para la fuente de variación de repeticiones dentro de localidades se encontró diferencia ($P \leq 0.05$), lo cual significa que el diseño experimental empleado fue eficiente. Las líneas presentaron diferencias significativas ($P \leq 0.01$), lo que se debe al diferente fondo genético que presentan líneas, debido a que derivan de diferentes poblaciones, lo que genera la oportunidad de seleccionarlas. También hubo diferencias estadísticas ($P \leq 0.01$) para probadores, las cuales se debieron a la diversidad genética presente en los probadores. La interacción de línea por probadores resultó con diferencias estadísticas ($P \leq 0.01$), lo cual indica que las líneas no presentaron semejanza de comportamiento al cruzarlas con los probadores, es decir, los efectos de aptitud combinatoria específica son importantes, lo que permitirá seleccionar híbridos superiores. Para la interacción de localidades con líneas y localidades con probadores, ambos casos mostraron diferencias estadísticas ($P \leq 0.01$), lo que indica que las cruzas de prueba no son estables.

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.

	loc.	Rep. (loc.)	líneas	probador	línea*probador	loc.*línea	loc.*probador	loc.*línea*prob	error	C.V (%)
G.L	1	2	154	6	223	154	6	223	1119	
Rend T Ha ⁻¹	1651.5**	36.82*	33.45**	43.76**	22.9**	14.89**	128.89**	9.69	9.38	22.34

* y ** = Diferencias significativas al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente. G.L = grados de libertad. C.V. = Coeficiente de variación. Rend = Rendimiento.

Al detectar diferencias entre líneas, el siguiente paso fue conocer los efectos de éstas respecto a ACG, para así poder seleccionar las de mayor potencial genético. Al respecto, en el cuadro 2 se presentan 16 líneas que mostraron tener efectos positivos favorables y diferentes de cero para ACG, lo que las convierte en una buena opción para que se utilicen en futuros programas de hibridación.

Cuadro 2. Valores de los efectos de aptitud combinatoria general para rendimiento de las líneas clasificadas como sobresalientes

Línea	Efecto	Grupo	Línea	Efecto	Grupo	Línea	Efecto	Grupo
V 524- 4119 HC-75-1	4.69*	Tuxpeño	CML-318	2.01*	Tropical	CAFIME-176-1-1	1.44*	Cafime
PE- 114-3	3.20*	Enano	CAFIME-176-1-2	1.90*	Cafime	MEZHB- 1-3	1.16*	Exótico
CAFIME-176-1-3	2.93*	Cafime	PN-311-2	1.90*	Precoz	V 524- 205-2	1.87	Tuxp.
PE- 112-7	2.49*	Enano	MEZHA-2-2	1.78*	Exótico	Tropical-16	1.60	Tropica
V 524- 4119 HC-43-3	2.41*	Tuxpeño	V 524- 4119 HC-186	1.75*	Tuxpeño	MEZHB- 4-1	1.55	Exótico
V 524- 4119 HC-1-1	2.25*	Tuxpeño	V 524- 4119 HC-183	1.68*	Tuxpeño	PN-301-4	1.48	Precoz
V 524- 4119 HC-172	2.18*	Tuxpeño	PN-305-2	1.46*	Precoz	Tropical -21	1.45	Tropica

* Nivel de significancia a $P \leq 0.05$

Lo que es importante resaltar de este cuadro, es que la tercera parte de las líneas seleccionadas pertenecen al grupo tuxpeño, lo que es un claro indicador de su alto potencial genético en comparación con los otros grupos.

Los valores de aptitud combinatoria general de los siete probadores se concentran en el Cuadro 3. Con base en este desempeño, se puede observar que el probador 7 presenta efectos favorables y estadísticamente diferentes de cero, lo que le permite considerarlo como potencial progenitor de híbridos triples y dobles, o como un probador adecuado cuando desee obtener híbridos de una manera rápida.

Cuadro 3. Efectos de aptitud combinatoria general estimada en cada uno de los probadores a través de ambientes

Probador	7	4	2	5	1	6	3
Rend.	0.69*	0.4	0.05	-0.11	-0.21	-0.24	-0.25

* nivel de significancia a $P \leq 0.05$; 1 = (255-18-19 x MLS4-1) Enano; 2 = (255MN-14-1-A-4-2-A x MLN-1-1-A-5-1-A) Ideotipo; 3 = (E-195 x E-82) Exótico; 4 = (6310 BULK-11 x 6310 BULK-12) QPM subtropical; 5 = (351-296-1-5-6 x 43-46-2-3-2) Tropical ; 6 = (PE-202-1 x PE-212-1) Enano y 7 = (MLS4-1 x LBCPC4S4) Enano.

Con atención a los cuadrados medios obtenidos por las líneas dentro de cada probador, los que permiten una mejor discriminación de las líneas fueron el 1 y el 5, como se observa en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Cuadrados medios para líneas dentro de cada probador del análisis de varianza combinado

Probador	1	5	3	7	6	4	2
Cuadrado medio	43.01	39.62	23.08	22.2	19.65	15.52	13.29

1 = (255-18-19 x MLS4-1) Enano; 2 = (255MN-14-1-A-4-2-A x MLN-1-1-A-5-1-A) Ideotipo; 3 = (E-195 x E-82) Exótico; 4 = (6310 BULK-11 x 6310 BULK-12) QPM subtropical; 5 = (351-296-1-5-6 x 43-46-2-3-2) Tropical ; 6 = (PE-202-1 x PE-212-1) Enano y 7 = (MLS4-1 x LBCPC4S4) Enano.

Se supone que el probador ideal para discriminar líneas de alto potencial genético (ACG) debe contar con una alta frecuencia de genes recesivos, para que el probador permita a la línea expresar su valor genético, y sea un efecto de la línea y no del probador. Si se observa el cuadro 3, se aprecia que las líneas exhiben valores negativos en sus efectos de ACG, por lo que se deduce que tienen una alta frecuencia de genes recesivos asociados con este carácter

En el Cuadro 5 se presenta la estructura genética para rendimiento de los híbridos, entendida esta como la descomposición del rendimiento en sus efectos de la media, de la aptitud combinatoria general de sus progenitores, y específica, del híbrido. El híbrido más sobresaliente en rendimiento fue el 233, que presenta un valor ACE estadísticamente diferente a cero, lo que indica que el alto rendimiento se debe principalmente a efectos no aditivos; algo similar ocurre con el híbrido. También se observa que los híbridos 86, 114 y 115 presentaron un alto promedio de rendimiento, debido a que uno de sus progenitores presenta un valor de ACG estadísticamente diferente a cero, lo cual se atribuye principalmente a efectos aditivos.

Cuadro 5. 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	Línea	ACG	Prob	ACG
233	20.23	5.47 *	Prob. 2	0.046	4	0.40
359	18.91	3.64 *	97	0.875	7	0.69 *
134	18.61	3.33 *	147	1.78 *	1	-0.21
86	18.54	0.35	88	4.69 *	1	-0.21
356	18.53	3.55 *	148	0.58	7	0.69 *
229	18.29	5.73 *	132	-1.54 *	4	0.40
114	17.75	2.24	116	2.01 *	1	-0.21
105	17.01	2.05	109	1.46 *	1	-0.21
209	15.78	4.49 *	98	-2.17 *	3	-0.25

* Nivel de significancia a $P < 0.05$, HIB = híbrido, MEDHIB = media del híbrido, ACE = aptitud combinatoria específica, ACG = aptitud combinatoria general, PROB = probador.

El resto de los híbridos tienen valores positivos diferentes de cero en ACG, cuando menos en uno de sus progenitores, además de presentar valores de ACE estadísticamente diferentes de cero, de lo que se deduce que tanto los efectos aditivos como los no aditivos contribuyen a que muestren un alto potencial de rendimiento.

Con la idea de ubicar en grupos heteróticos a las líneas que se cruzaron con ambos progenitores del híbrido doble más heterótico (probador 2 x probador 4), con base a sus estimados de ACE, las líneas que muestren el mismo comportamiento en aptitud combinatoria con el probador 4 formarán el grupo A, mientras que líneas que muestren efectos positivos de ACE formarán el grupo B. Es decir, cuando la cruce presente efectos negativos para ACE, significa que la línea pertenece al grupo heterótico del probador, y si la cruce presenta efectos positivos para ACE, significa que la línea pertenece al grupo opuesto del probador en cuestión.

Tomando en consideración la información anterior, en el Cuadro 6 se presentan las líneas ubicadas por grupo heterótico. El probador 4, llamado grupo "A", está conformado por siete líneas, entre ellas tres de Tuxpeñito, dos del grupo Exótico, uno de la población Precoz y uno del grupo Tropical. El probador 2 llamado grupo "B" lo conformaron las siguientes siete líneas: dos de Tuxpeñito, dos de Ideotipo, uno del grupo Exótico y dos del grupo Enano.

Cuadro 6. Clasificación de líneas en grupos con base a su respuesta en rendimiento con los progenitores del híbrido entre los probadores que mostraron mayor rendimiento

Probador 4 (Grupo Heterotico "A")	Probador 2 (Grupo Heterotico "B")
79 = V 524-4119 HC-32	81 = V 524-4119 HC -43-3
80 = V 524-4119 HC -43	94 = V 524-4119 HC-202
99 = V 524-4119 HC -218	130 = MLS4-1
109 = PN-305-2	131 = 232-10-11-1N-19-4-2
129 = P2437-2-2-A-A	132 = MLS4-1N-7-1-1
134 = E-195	133 = E-90
135 = E-18	136 = PE-202-1

Conclusiones

Mediante el uso de probadores, fue posible seleccionar 21 líneas con alto potencial genético para rendimiento. El probador 7 (MLS₄-1 x LBCPC4S4) se identificó con excelente potencial agronómico para emplearse como progenitor de nuevos híbridos. Por su capacidad para discriminar líneas por su potencial de rendimiento, se seleccionó el probador 1 (255-18-19 x MLS4-1). Con base al desempeño específico de las líneas al cruzarlas con dos probadores contrastantes y heteróticos, se logró formar dos nuevos grupos heteróticos complementarios.

Literatura Citada

- De León C., H. 2005. Estudio y clasificación de grupos germoplásmicos para la constitución de patrones heteróticos en maíz. Tesis de Doctorado en Ciencias. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coah., México.
- Melchinger, A.E. and Gumber R.K. 1998. Overview of heterosis and heterotic groups in agricultural crops. pp: 29-44. *In: Concepts and Breeding of Heterosis in Crop Plants.* Lamkey, K. R. and J.E. Staub. (Eds). Madison, Wisconsin.
- Rivas M. J.J., C. Vega S., J.G. Rodríguez. y E. Navarro G. 2000. Comportamiento de líneas recobradas de maíz en la formación de híbridos triples. *In: Memoria del XVIII Congreso Nacional de Fitogenética: Notas científicas.* SOMEFI. Zavala G.F., R. Ortega P., J.A. Mejía C., I. Benítez R. y H. Guillen A. (Eds) .Chapingo, México. 281 p.
- Sámano G., D. y H. De León C. 2003. Efectos de aptitud combinatoria en dos poblaciones de maíz adaptados al bajío. 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.