



Universidad Autónoma Agraria  
Antonio Narro



# Comportamiento de Híbridos Triples de Maíz con Diferente Fondo Genético

## Comportment Hybrid's Triple of Maize with Diverse Genetic Background

Ricardo Cuellar-Flores<sup>a\*</sup>, Humberto De León Castillo<sup>a</sup>, Daniel Sámano-Garduño<sup>a</sup>, Alfredo De la Rosa-Loera<sup>a</sup> y Raúl Gandara Huitrón<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Dpto. de Fitomejoramiento, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, Colonia Buenavista, C. P. 25315. Saltillo, Coahuila, México

### Abstract

The objective of this work involved to appreciate the behavior of a series of you cross triples implicating two and three lines of different genetic background, that he originated different germplasm dose. Germoplasm that were crossed with 13 used 53 inbred lines extracted of 5 groups themselves you cross over simple formed with lines inside and between groups, in such a way that the crossbreeds obtained triples hybrids two and three groups themselves. In the latter case, also the crossbreeds for the order varied from the progenitors in you cross it, generating germplasm dose various. The 37 different combinations plus a group integrated by witnesses were evaluated in the spring of the 2006 in Comonfort and Juventino Rosas, Gto. Divides It into Lots experimental a furrow with 21 plants separated to 0.19 m and to a distance between 0.75-m furrows. The selection of the genetic material himself I base in the agronomic average behavior and at the value of GCA and SCA of the lines and you cross over. Combined variance analysis indicated that localities presented statistical differences ( $P \leq 0.01$ ) in the four evaluated variables, while repetitions only were to it in two variables. The 38 combinations under consideration presented statistical differences ( $P \leq 0.01$ ) in the variables performance and masculine and feminine flowering, due to the variability that they showed the lines inside and between groups; besides, for you tell her apart in germplasm dose between the combinations. Four of these combinations showed favorable attributes, two of them germoplams were composed of two groups and; the others two combinations, they were formed with lines of three different groups. The decay of the on-line crossbreeds and tester, you indicated that the crossbreeds' variability was due to the lines largely, frequently of the testers and finally, of the interaction line x tester.

**Keywords:** *Zea mays* L, Germplasm Dose, Heterotic Groups

\* Autor para correspondencia Tel. y Fax: (844) 411 02 21.  
Correo electrónico: rcueflo@uaan.mx  
(R. Cuellar Flores)

## Resumen

El objetivo de este trabajo consistió en valorar el comportamiento de una serie de cruza triples involucrando dos y tres líneas de diferente fondo genético, que originó diferentes dosis de germoplasma. Se utilizaron 53 líneas endogámicas derivadas de 5 grupos germoplásmicos que fueron cruzadas con 13 cruza simples formadas con líneas dentro y entre grupos, de tal manera que se obtuvieron híbridos triples involucrando dos y tres grupos. En este último caso, también se diferenciaron los híbridos por el orden de los progenitores en la cruza, generando dosis de germoplasma diversos. Las 37 combinaciones diferentes más un grupo integrado por testigos fueron evaluados en la primavera del 2006 en Comonfort y Juventino Rosas, Guanajuato. La parcela experimental fue un surco con 21 plantas separadas a 0.19 m y a una distancia entre surcos de 0.75 m. La selección del material genético se basó en el comportamiento agronómico promedio y al valor de ACG y ACE de las líneas y cruza. El análisis de varianza combinado indicó que las localidades presentaron diferencias estadísticas ( $P \leq 0.01$ ) en las cuatro variables evaluadas, mientras que las repeticiones solo lo fueron en dos variables. Las 38 combinaciones bajo consideración presentaron diferencias estadísticas ( $P \leq 0.01$ ) en las variables rendimiento y floración masculina y femenina, debido a la variabilidad que presentaron las líneas dentro y entre grupos; además, por la diferencias en la dosis de germoplasma entre las combinaciones. Cuatro de estas combinaciones mostraron atributos favorables, dos de ellas estuvieron formadas por dos grupos germoplásmicos y; las otras dos combinaciones, fueron formadas con líneas de tres diferentes grupos. La descomposición de los híbridos en línea y probador, indicó que la variabilidad de los híbridos se debió mayormente a las líneas, seguido de los probadores y por último, de la interacción línea x probador.

**Palabras clave:** *Zea mays* L., Dosis de germoplasma, Grupos heteróticos.

## Introducción

La mayoría de los programas de mejoramiento genético del maíz enfocados a aumentar la producción por unidad de superficie, tienen como producto final a los híbridos. Sin embargo, no todos tienen un comportamiento superior, ya que los híbridos formados entre líneas no emparentadas se comportan mejor que aquéllos formados con líneas relacionadas Vasal y Córdova (1996). De tal forma que se ha recurrido al uso de patrones heteróticos (Melchinger y Gumer, 1998; Nestares *et al.*, 1999) que explotan la relación heterótica entre poblaciones, originando que la heterosis en maíz aumente con el incremento en la divergencia genética de las poblaciones progenitoras, a través de una amplia gama de diversidad (Mickelson *et al.*, 2001).

Pero esta divergencia debe estar dentro de ciertos límites, de lo contrario la expresión heterótica puede ser anulada por combinaciones discordantes en los híbridos  $F_1$  (Hoxha *et al.*, 2004). Dado lo anterior, la clasificación de las líneas dentro de grupos heteróticos es esencial para determinar el potencial y utilidad de dichas líneas en el desarrollo de híbridos o sintéticos, siendo la aptitud combinatoria una forma de clasificación utilizada por el mejorador tradicional, la cual ha presentado grandes resultados (Fan *et al.*, 2003).

La gran importancia que han tenido los patrones heteróticos en el mejoramiento del maíz, se ha visto reflejado en su amplio uso para la formación de híbridos potencialmente superiores (Ramos y Moreno, 1994; Latournerie *et al.*, 1998; Vasal *et al.*, 1999 y Ordás, 1991). No obstante, los patrones heteróticos que se utilizan, solo involucran el uso de dos grupos heteróticos, existiendo poca o nula información referente al uso de tres grupos.

En base a lo anteriormente descrito, los objetivos de este trabajo de investigación fue valorar el potencial agronómico de combinaciones híbridas formadas con progenitores de

diferente fondo genético y determinar el grado de diferenciación existente al cambiar el nivel de participación de las poblaciones involucradas.

## Materiales y Métodos

El material genético estuvo integrado por 176 híbridos triples. Para la formación de los híbridos se utilizaron 53 líneas endogámicas pertenecientes a cinco grupos germoplásmicos: enano, ideotipo, tropical, exótico y QPM, los cuatro primeros formados en el Instituto Mexicano del Maíz (IMM) de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) y el grupo QPM, facilitado por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Este conjunto de líneas fueron cruzadas con 14 cruza simples formadas entre el apareamiento de líneas de los diferentes grupos antes mencionados. Por lo que los híbridos triples estuvieron conformados, en su mayoría, por líneas derivadas de tres grupos diferentes. Como el orden de participación de las líneas cambio en algunas cruza, se obtuvieron híbridos con diferente dosis de germoplasma; originando de esta manera, 37 combinaciones híbridas diferentes, representados por diferente numero de cruza.

Los híbridos triples experimentales, así como 4 híbridos comerciales utilizados como testigos, fueron evaluados en los municipios de Comonfort y Juventino Rosas del estado de Guanajuato, durante la primavera del 2006. El diseño de siembra utilizado fue el de bloques incompletos bajo un arreglo  $\alpha$ -latice. La parcela experimental fue un surco con 21 plantas separadas a 0.19 m con una distancia entre surcos de 0.75 m. Las variables a medir fueron: rendimiento (REND) en  $t\ ha^{-1}$ , días a floración masculina y femenina (FM y FF) y relación mazorca-planta (RAPM) tomada en por ciento, aunque se consideraron otras variables para realizar la selección. Para identificar las combinaciones que fueran superiores a la media, se realizo una prueba de  $t$ . El tipo de apareamiento utilizado permitió descomponer la fuente tratamientos en línea, probador, y la interacción línea x probador, para identificar las mejores en base a la aptitud combinatoria general y específica (ACG y ACE).

## Resultados y Discusión

El análisis de varianza de las combinaciones evaluadas en dos ambientes (Cuadro 1) arrojó diferencias significativas ( $P \leq 0.01$ ) para la fuente localidades en las cuatro variables evaluadas, lo que indica que al menos un ambiente bajo prueba fue diferente al resto. El bloqueo que se realizó en el experimento resulto ser eficiente solamente para FM y FF, ya que permitió detectar diferencias estadísticas ( $P \leq 0.01$ ) permitiendo quitar este efecto del error experimental para tener una mejor apreciación de las diferencias entre los genotipos, no sucediendo lo mismo para REND y RAPM.

La variación genética y el grado de diversidad que existió entre las combinaciones germoplásmicas involucradas en el estudio, originaron diferencias estadísticas ( $P \leq 0.01$ ) en la fuente combinaciones para las variables REND, FM y FF. Lo cual indica que la expresión fenotípica, que es específica de cada grupo bajo estudio, generó un gradiente de diferenciación genética en la expresión de los caracteres bajo estudio de los híbridos evaluados, tal y como lo mencionan (Robles, 1986; Vasal y Cordova, 1996; Latournerie *et al.*, 1998; Bernardo, 2001). Aunque en la actualidad, esta diversidad puede ser estimada a través del uso de técnicas genéticas moleculares (Hoxha *et al.*, 2004; Li *et al.*, 2004). Por otro lado, el grado de participación que tuvieron las líneas de los diferentes grupos germoplásmicos en la cruza triple, es decir la dosis de germoplasma, también pudo influir en el comportamiento de las combinaciones, ya que según Córdova *et al.* (2000) la expresión de un híbrido dependerá de la participación genética de los progenitores involucrados.

**Cuadro 1.** Cuadrados medios del análisis de varianza combinado para las combinaciones germoplásmicas evaluadas en dos localidades en la primavera del 2006

<b>F.V.</b>	<b>g.l.</b>	<b>REND (t ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>FM (días)</b>	<b>FF (días)</b>	<b>RAPM (%)</b>
Localidades (Loc)	1	8794.05	** 1191.23	** 1005.99	** 365.85
Bloque/Loc	2	13.62	23.04	** 31.07	** 1.80
Combinaciones (Com)	37	40.76	** 22.21	** 23.84	** 27.63
Loc x Com	37	16.45	** 7.59	* 6.65	* 23.22
Error	722	5.16	4.56	4.56	27.01
C.V. (%)		17.93	2.62	2.72	10.14
Media		12.67	76	79	51

\*, \*\* = diferencias estadísticas al  $P \leq 0.05$  y  $P \leq 0.01$ , respectivamente; F.V.=fuentes de variación; C.V.=coeficiente de variación; g.l.=grados de libertad; REND=rendimiento de mazorca; FM y FF=floración masculina y femenina, respectivamente; RAPM=relación altura mazorca-planta.

Es importante señalar que la interacción localidad x combinaciones (LocxCom) se encontraron diferencias estadísticas (Cuadro 1) para las variables REND ( $P \leq 0.01$ ) y FF y FM ( $P \leq 0.05$ ), lo que indica que el orden relativo que exhibieron las combinaciones en las diferentes localidades de evaluación fue desigual, por lo que la selección aplicable para estas variables tendrá que ser más cuidadosa, ya que es necesario conocer cuales materiales son estables, además de precisar cuales son mejores o peores en cada una de las localidades de interés.

Debido a que las combinaciones mostraron una variabilidad de importancia, y con la finalidad de mostrar un panorama general del comportamiento promedio que existió entre combinaciones, en el Cuadro 2 se concentraron las medias de las mejores para 10 variables agronómicas. Los resultados reflejan que solamente cuatro combinaciones fueron estadísticamente diferentes a la media de rendimiento ( $P \leq 0.01$ ) de las cuales, dos involucran a los grupos germoplásmicos QPM x Enano y Exótico x Enano y; las otras dos combinaciones, están formadas por líneas derivadas de tres grupos: Ideotipo x Exótico x Tropical e Ideotipo x Exótico x QPM.

Estos resultados pudieran ser de gran interés para los programas de mejoramiento; sin embargo, hay que hacer notar que los grupos ideotipo y exótico, aunque tiene un fondo genético diferente, están adaptados a la región del bajío mexicano, de ahí que presentaran una buena combinación con material del trópico y subtropical (QPM). Por lo que sería ideal comparar cruza simples de cada grupo (ideotipo y exótico) con cruza simples entre líneas de ambos grupos para valorar el grado de diferenciación y las ventajas que presenta una u otra cruza.

**Cuadro 2.** Comportamiento promedio de las mejores combinaciones híbridas para rendimiento de mazorca y nueve variables de importancia agronómica, obtenidas de dos localidades en la primavera del 2006

COMB	DG†	REND t ha <sup>-1</sup>		FM (días)	FF (días)	AP (cm)	AM (cm)	RAPM (%)	AR (%)	AT (%)	MC (%)	PF (%)
29	QQE	14.07	**	75	**77	220	113	51	3	0	10	2
23	IeI	13.98		76	78	224	114	50	4	0	8	3
16	IeT	13.94	**	76	79	228	120	52	3	1	9	4
37	eee	13.93		79	80	236	121	51	3	2	3	4
27	IIQ	13.47		76	78	209	** 105	50	3	1	2	3
34	eeE	13.47	**	77	79	234	122	52	3	1	6	2
18	IeQ	13.43	*	75	**77	** 223	114	51	4	1	7	3
33	eeT	13.41		77	79	229	115	50	3	1	6	2
24	IIT	13.4		77	79	223	112	50	0	0	3	1
12	Eqe	13.36		77	79	226	118	52	5	0	5	5
35	eeI	13.34		77	79	229	116	51	4	1	5	4
20	TII	13.27		79	81	238	129	54	0	0	0	2
15	EIQ	13.25		75	77	214	108	50	3	0	7	3
6	EeT	13.23		75	**77	* 222	111	50	5	1	7	7
5	EeI	13.15		75	**77	229	116	51	3	1	7	6
19	TIE	12.92		78	80	228	118	52	2	0	5	1 *
7	Iee	12.73		76	78	235	120	51	5	1	4	9
10	EQT	12.71		77	79	228	119	52	4	0	8	7

\*, \*\* =estadísticamente diferente a la media con  $P \leq 0.05$  y  $P \leq 0.01$ , respectivamente; COMB=combinación germoplásmica; DG=dosis de germoplásma; REND=rendimiento de mazorca; FM y FF=floración masculina y femenina; AP y AM=altura de planta y mazorca; RAPM=relación altura mazorca-planta; AR y AT=acame de raíz y tallo; MC=mala cobertura; PF=plantas con *Fusarium*; †=las dos primeras letras representan la cruce simple; Q=QPM; E=enano; I=ideotipo; e=exótico; T=tropical.

Otro punto a considerar es que la dosis de germoplásma influyó significativamente en la expresión fenotípica de los híbridos, ya que algunas combinaciones que estaban conformadas por los mismos grupos, mostraron un comportamiento opuesto, al menos en REND, cuando se invirtió el nivel de participación de los progenitores. Por lo que es de suponerse que para lograr buenos resultados es necesario primero realizar la cruce simple entre líneas que muestren poca diversidad entre ellas, pero sin que pertenezcan al mismo grupo heterótico para que exhiban heterosis, y después utilizar esta cruce como hembra de una línea que presente mayor diversidad y que sea complemento de las otras dos líneas para formar híbridos triples sobresalientes.

Tomando en consideración la variabilidad que presentaron los híbridos triples, independientemente de la combinación a la que pertenecen (datos no presentados) y; a la forma como se realizaron los cruzamientos, fue posible descomponer el efecto de híbridos en línea, probador, y línea x probador. El análisis de varianza de esta descomposición se concentró en el Cuadro 3, donde se observa que para las variables REND, FM y FF se encontraron diferencias significativas ( $P \leq 0.01$ ) en todas las fuentes de la descomposición y, para RAPM solo hubo diferencias en línea y probador. No obstante, las líneas tuvieron mayor aportación a la variabilidad de los híbridos, medido a través de la suma de cuadrados, seguido de los probadores y de la interacción línea x probador, para las cuatro variables en estudio. Esto es un indicativo de que las líneas progenitoras fueron diferentes, debido a la variabilidad genética presente en las poblaciones de las cual fueron derivadas, ya que según Yu y Bernardo (2004) una buena recombinación del material seleccionado para formar el siguiente ciclo de selección, aumenta, o

por lo menos, mantiene el grado de variabilidad, pudiendo ser ésta una explicación práctica de la versatilidad que tienen las líneas de los grupos.

**Cuadro 3.** Cuadrados medios del análisis de varianza combinado para cuatro variables de importancia agronómica, evaluadas en dos localidades durante la primavera del 2006

F.V.	g.l.	REND (t ha <sup>-1</sup> )	FM (Días)	FF (Días)	RAPM (%)				
Localidades (Loc)	1	6778.44	**	962.67	**	814.09	**	94.20	*
Bloque/Loc	2	8.72		20.38	**	28.61	**	13.07	
Línea (Lin)	51	13.07	**	19.39	**	21.38	**	60.56	**
Probador (Prob)	13	20.43	**	22.11	*	22.04	**	49.74	**
Lin x Prob	97	9.91	**	5.54		5.90	**	19.93	
Loc x Lin	51	7.69	**	6.11		6.32	**	21.74	
Loc x Prob	13	18.13	**	14.45		11.99	**	17.30	
Loc x Lin x Prob	97	5.80	**	2.14		2.30		22.21	
Error	378	3.28		2.32		2.52		20.54	
C.V.		14.53		2.00		2.02		8.87	
Media		12.47		76		78		51	

\*, \*\* = diferencias estadísticas al  $P \leq 0.05$  y  $P \leq 0.01$ , respectivamente; F.V.=fuentes de variación; C.V.=coeficiente de variación; g.l.=grados de libertad; REND=rendimiento de mazorca; FM y FF=floración masculina y femenina, respectivamente; RAPM=relación altura mazorca-planta.

Por otro lado, el comportamiento de las líneas y los probadores, así como la interacción entre ellos, no fue similar en las dos localidades de evaluación, ya que se encontraron diferencias estadísticas ( $P \leq 0.01$ ) en la interacción de cada una de estas fuentes con el ambiente, por lo que la selección se vuelve más complicada.

La variación que presentaron las líneas y probadores, puede ser aprovechada si se seleccionan aquellos que presenten los mejores atributos genéticos, medidos a través de la aptitud combinatoria general. Las líneas que mostraron ser superiores en la ACG para la mayoría de caracteres fueron: la línea 9 y 10 del grupo QPM; la 18 del grupo enano y; la línea 4 del grupo ideotipo. En cuanto a los probadores, los mejores fueron: el probador 12, QPM x QPM; el 5, enano x ideotipo; el 7, ideotipo x exótico y; el 6, enano x exótico.

## Conclusiones

En la formación de híbridos superiores, los patrones heteróticos resultan ser de gran importancia para explotar la diversidad genética de los grupos involucrados, en donde no solamente se pueden incluir dos grupos contrastantes; sino también es factible la utilización de tres grupos, aunque debe tenerse en cuenta el nivel de participación genética de los progenitores en el híbrido.

## Literatura Citada

- Bernardo R. 2001. Breeding potential of intra- and interheterotic group crosses in maize. *Crop Sci.* 41:68-71.
- Córdova O. H., M. Lopez C., A. Ortega, H. Gevers N., Singh P. N., Sallah W., Haag Z., y Pixley K. 2000. The improvement and promotion of quality protein maize in selected developing countries. CIMMYT Progress report 1999. pp 20.
- Fan X. M., J. Tan, H. M. Chen, and J. Y. Yang. 2003. Heterotic grouping for tropical and temperature maize inbreds by analyzing combining ability and SSR markers. *Maydica* 48:251-257.
- Hoxha S., M.R. Shariflou and P. Sharp. 2004. Evaluation of genetic diversity in Albanian maize using SRR markers. *Maydica*. 49:97-103.
- Latournerie M. L., S.A. Rodríguez H., H. Córdova O., S. Castellanos y R. López. 1998. Aptitud combinatoria de líneas élite de maíz tropical y subtropical. *In: P. Ramírez, V., F. Zavala G., N.O. Gómez M., F. Rincón S. y A. Mejía C. (eds.). Memorias del XVII Congreso de Fitogenética: Notas científicas. SOMEFI. Chapingo, México. pp. 464.*
- Li Y., Y.S. Shi, Y.C Song, J.Y. Du, R. Tuberosa and T.Y. Wang. 2004. Analysis of genetic diversity in maize inbred lines based on AFLP markers. *Maydica*. 49:89-95.
- Melchinger A. E. and R. K. Gumber. 1998. Overview of heterosis and heterotic groups in agronomic crops. *In: Lamkey K. R., J. E. Staub (eds). Concepts and breeding of heterosis in crop plants. Madison, Wisconsin. pp: 29-44.*
- Mickelson R. H., H. Cordova, K. V. Pixley, and M. S. Bjarnason. 2001. Heterotic relationships among nine temperate and subtropical maize populations. *Crop Sci.* 41:1012-1020.
- Nestares G., E. Frutos y G. Eyhéabide. 1999. Evaluación de líneas de maíz flint colorado por aptitud combinatoria. *Pesq. Agropec. Bras., Brasilia.* 34(8):1399-1406.
- Ordás, A. 1991. Heterosis in crosses between American and Spanish populations of maize. *Crop Sci.* 28:500-504.
- Ramos G., F. y G. Moreno. 1994. Patrones heteróticos en dialelos poblacionales de maíz (*Zea mays* L.). Memorias XV Congreso Nacional de Fitogenética. Monterrey, N.L., México. pp: 125.
- Vasal S. K. y H. Córdova. 1996. Heterosis en maíz: acelerando la tecnología de híbridos de dos progenitores para el mundo en desarrollo. *In: López B. A., S.A. Rodríguez H. y G. Martínez Z. Memorias del Curso Internacional de Actualización en Fitomejoramiento y Agricultura Sustentable. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coah. pp: 32-61.*
- Vasal K., S., H. Cordova, S. Pandey and G. Srinivasan. 1999. Tropical maize and heterosis. *In: Genetics and exploitation of heterosis in crops. American Society of Agronomy, Inc. and Crop Science Society of America, Inc. pp: 363-373.*
- Yu J. and R. Bernardo. 2004. Changes in genetic variance during advanced cycle breeding in maize. *Crop Sci.* 44:405-410.