

HETEROSIS, HABILIDAD COMBINATORIA Y DIVERSIDAD GENÉTICA EN HÍBRIDOS COMERCIALES DE MAÍZ (*Zea mays* L.)¹

Alfredo de la Rosa², Humberto de León², Gaspar Martínez², Froylan Rincón²

RESUMEN

Heterosis, habilidad combinatoria y diversidad genética en híbridos comerciales de maíz (*Zea mays* L.). El conocimiento de la habilidad combinatoria, diversidad genética y heterosis del germoplasma de un programa de mejoramiento es esencial para desarrollar híbridos y variedades. Con base en lo anterior se realizó un estudio con el siguiente objetivo. 1. Identificar híbridos con valor genético para iniciar un programa de mejoramiento para producir híbridos y variedades. 2. Demostrar que es factible crear un programa de mejoramiento a partir de híbridos de maíz. Las estimaciones de habilidad combinatoria fueron obtenidas por el método IV de Griffing (1956) y las distancias genéticas por el método de Troyer (1988) Las cruzas más sobresalientes fueron AS910 X AS4450 y PP9538 X AS948 con un rendimiento de 17.538 y 17.463 t/ha respectivamente, estas mismas obtuvieron los valores más altos de ACE. Las cruzas con las heterosis más altas en base a la media de los padres fueron PP9539 X AN453 y PP9603 X PP9539 con 11,35 y 11,13% respectivamente. Los híbridos con los valores más altos ACG fueron PP9539 y AN447 con 1.168 y 0.684 t/ha respectivamente, y los mejores en heterosis PP9539 y A7500 con 2.269 y 1.170 respectivamente. Los híbridos más relacionados fueron AN450 y AS910 con una distancia genética de 0,033, y una heterosis de -47,68%; en tanto que los menos relacionados fueron AN454 y A7500 con una distancia de 1.418 y una heterosis de 12,26%.

ABSTRACT

Heterosis, GCA, SCA and genetic diversity of 13 hybrids of maize (*Zea mays* L.). Knowledge about the combining ability, genetic diversity and heterosis of germoplasm from a maize breeding program is essential for hybrids and varieties development. The objectives of this study were (1) To identify commercial hybrids with high genetic value (GCA and heterosis) useful for initiating a maize breeding program to produce and improved hybrids, varieties and synthetics; (2) To demonstrate that is feasible to create a maize breeding program from commercial hybrids. Estimates of general (GCA) and specific combining ability (SCA) were obtained using the method IV of Griffing (1956) and the genetic distances were estimated according to the method suggested by Troyer (1988). The best crosses were AS910 X AS4450 and PP9538 X AS948 having a yield of 17.538 and 17.463 t/ha respectively; the same crosses had the highest values of SCA. The crosses with the highest values of heterosis over the midparent were PP9539 X AN453 and PP9603 X PP9539 with 11,35 and 11,13 percent respectively. The highest positive values of GCA effects were obtained from hybrids PP9539 and AN447 with 1.168 and 0.684 t/ha respectively; and the hybrids with the best heterosis were PP9539 (2.269) and A7500 (1.170). The most related hybrids were AS910 and AN450 with a genetic distance of 0,033 and heterosis of -47,68 percent whereas the most diverse were AN454 and A7500 with a genetic distance of 1.418 and heterosis of 12,26 %.



INTRODUCCIÓN

El tener conocimiento de la diversidad genética, heterosis y habilidad combinatoria general y específica del germoplasma de un programa de mejoramiento es esencial para diversos objetivos como: 1) desarrollar híbridos y o variedades, 2) Crear variabilidad genética 3) Evitar vulnerabilidad genética, 4) Implementar pro-

gramas de selección recurrente. Una forma de estimar estos parámetros genéticos es por medio de los diseños dialélicos como los propuestos por Griffing (1956) o por el diseño de Gardner y Eberharth (1966), por otro lado existen varias formas de medir la diversidad genética como el propuesto por Garza et al (1962) y el propuesto por Troyer (1988) los cuales funcionan en base al resultado de cruzas, autofecundaciones y heterosis de

¹ Trabajo presentado en la XLV Reunión Anual del PCCMCA, Guatemala. 1999.

² Departamento de Fitomejoramiento. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo Coahuila, México Tel/Fax (84) 17-73-61.

los materiales utilizados, otra forma es por medio de marcadores genéticos moleculares como RFLPs, RAPDs, AFLPs etc. que han sido ampliamente utilizados para medir la diversidad genética y agrupamiento de líneas (Lee *et al.*, 1989; Smith *et al.*, 1990; Melchinger 1990 y Munn 1994) así como de híbridos (Smith *et al.*, 1989) una ventaja de este último método es que se pueden analizar una gran cantidad de individuos, sin embargo se ha llegado a la conclusión de que la distancia medida por marcadores es de uso limitado para predecir patrones heteróticos entre líneas de maíz. En este tipo de estudios siempre se han utilizado materiales como líneas, poblaciones y variedades sintéticas, en este estudio se utilizaron híbridos comerciales partiendo de las siguientes suposiciones: si los híbridos están formados por líneas que han pasado por un largo proceso de selección, como los es el sobrevivir a alrededor de 4 a 5 autofecundaciones, y en cada una de estas etapas ser seleccionadas hacia varias características como. rendimiento, resistencia a enfermedades e insectos, acame de raíz y de planta, por lo tanto cuando llegan a la etapa final han dejado atrás bastante carga genética, así que los híbridos que llegan a liberarse en forma comercial portan bastantes genes deseables y pocos genes indeseables, por estas razones, los híbridos pueden ser usados exitosa y ventajosamente en programas de mejoramiento. Los objetivos del presente trabajo fueron los siguientes. 1. Identificar híbridos comerciales con valor genético para iniciar un programa de mejoramiento para producir híbridos y variedades. 2. Demostrar que es factible crear un programa de mejoramiento a corto plazo a partir de híbridos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo de se llevó a cabo en el Instituto Mexicano del Maíz "Dr. Mario E. Castro Gil" (I.M.M) de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en el ciclo 96-97.

El material genético utilizado en este trabajo de investigación (Cuadro 1), fue el resultado de un dialélico entre 13 híbridos comerciales de maíz (78 cruza) más los 13 híbridos progenitores lo cual da un total de 91 genotipos.

La siembra se efectuó para cada una de las tres localidades usadas de manera independiente de acuerdo a las fechas de siembra establecidas regionalmente. En Celaya, Gto. (L₁) se realizó el 30 de abril de 1996; Celaya, Gto (L₂) 30 de junio, y Sandia el Grande N.L. (L₃) el 1 de mayo del mismo año. La parcela experimental en las tres localidades fue de dos surcos de 4,41 m de largo por 0,75 m de ancho dando una área de

Cuadro 1. Material Genético utilizado en el presente trabajo. Coahuila, México. 1996

	HÍBRIDO	COMPAÑIA	No. de Líneas
1	C220	CARGILL	3
2	C221	CARGILL	3
3	A7500	ASGROW	3
4	PP9603	DEKALB	2
5	PP9539	DEKALB	2
6	PP9538	DEKALB	2
7	AN447	I.M.M	3
8	AN454	I.M.M	4
9	AN450	I.M.M	4
10	AN453	I.M.M	4
11	AS910	ASPROS	4
12	AS4450	ASPROS	3
13	AS948	ASPROS	3

parcela útil de 6.615 m² , con 21 plantas por surco y dos repeticiones por tratamiento. La siembra del material experimental se llevó al cabo en forma manual, depositando dos semillas por golpe, para posteriormente aclarar a una planta por mata y así asegurar al número óptimo de plantas. El desarrollo del cultivo fue bajo condiciones de riego, con la aplicación oportuna de plaguicidas cuando fue necesario.

Celaya, Gto.- Se sitúa a 20°32' latitud Norte; 100°49' longitud Oeste, con una altitud de 1754 msnm; con una temperatura media anual de 20,6°C y una precipitación pluvial anual de 597.3 mm.

Sandia el Grande, N. L.- Se sitúa a 24°49' latitud Norte; 100°04' longitud Oeste, con una altitud de 1654 msnm; con una temperatura media anual de 18,6° C y una precipitación pluvial anual de 365,0 mm.

La fórmula de fertilización aplicada (N-P-K), fue 180-90-00, la cual se distribuyó en dos partes; la primera al momento de la siembra (90-90-00), y la segunda en el primer cultivo. El número de riegos aplicados fue variable, esto estuvo en función de los requerimientos específicos de cada localidad.

Análisis dialélico

El valor genético de los híbridos comerciales actualmente en uso, para ser usados como fuente de germoplasma en mejoramiento se evaluó a través del comportamiento de las cruza y de los progenitores mismos realizando un análisis de aptitud combinatoria general y específica, basándose en el análisis propuesto por Griffing (1956), utilizando el método IV (el cual solo incluye las cruza directas F₁). El modelo lineal aditivo fue el siguiente:

$$Y_{ij} = m + g_i + g_j + s_{ij} + e_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Valor fenotípico observado de la cruce con progenitores i y j

= Media general.

g_i, g_j = Efecto de ACG del progenitor i, j

s_{ij} = Efecto de ACE de la cruce (ij)

e_{ij} = Error experimental.

Así como también mediante el análisis general de efectos genético (método II) de Gardner y Eberhart (1966) En este análisis el modelo matemáticos de los híbridos o poblaciones (Y_j o $Y_{j'}$) y las cruces ($Y_{jj'}$) se expresa de la manera siguiente:

$$Y_j = \mu_v + v_j$$

$$Y_{j'} = \mu_v + v_{j'}$$

$$Y_{jj'} = \mu_v + (v_j + v_{j'}) + h_{jj'}$$

Donde:

μ_v = Media de los padres.

v_j y $v_{j'}$ = Efecto de los híbridos j y j' .

$h_{jj'}$ = Efecto de la heterosis correspondiente a la cruce j y j' .

El efecto de heterosis fue subdividido de la manera siguiente:

$$h_{jj'} = h + h_j + h_{j'} + s_{jj'}$$

Donde:

h = heterosis promedio.

h_j = heterosis varietal contribuida por la variedad j .

$h_{j'}$ = heterosis varietal contribuida por la variedad j' .

$s_{jj'}$ = efecto de la heterosis correspondiente a la cruce j y j' .

La estimación de la diversidad genética entre híbridos se estimó por medio de la fórmula de Troyer (1988) de la siguiente forma:

$$GD = 1 - \frac{H - C}{H - S}$$

Donde:

GD = Diversidad genética entre híbridos.

H = Comportamiento promedio de los híbridos.

C = Comportamiento de la cruce híbrido por híbrido.

S = Comportamiento de la progenie de los híbridos autofecundados.

La estimación de la heterosis entre los híbridos se hizo en base al progenitor medio de la siguiente forma.

$$H = \frac{F_1 - MP}{MP}$$

Donde:

H = Heterosis

F_1 = La media de la primera generación de la cruce entre los dos progenitores.

MP = Media de los progenitores.

El método de análisis de agrupamiento (Cluster Analysis) que se usó para el agrupamiento de los híbridos en base a diversidad genética y heterosis fue el **UPGMA** Esta estrategia computa la distancia promedio para formar un agrupamiento (i_j). Este proceso usa las distancias de todos los pares de individuos en el cluster (n_i, n_j) las distancias entre el grupo (i_j) y otro cluster H es obtenido por:

$$D(ij)H = \frac{\sum_i \sum_j D_{ik}}{N(K)N(H)}$$

Donde D_{ik} es la distancia entre individuos en el cluster (i_j) e individuos en el cluster H . NK y NH es el número de datos en el cluster (i_j) y H , respectivamente. los parámetros usados por la fórmula combinatoria son: $a_j = a_j = 0.5$; $b = 0$; $y = g = -0.5$ (Everitt, 1980; Lance y Williams 1969).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En base a la hipótesis planteada en el presente trabajo, de que existe diferente fondo genético entre los híbridos utilizados, se discute los siguiente.

En el Cuadro 2 se presentan los cuadrados medios de los análisis de varianza dialélicos combinados para las cuatro características agronómicas evaluadas durante el ciclo primavera verano en el año de 1996, en la localidad de Celaya, Gto. en dos fechas de siembra y en la localidad de Sandia, N.L. Se puede observar que hubo diferencias significativas ($p \leq 0.01$) entre localidades para todas las características evaluadas, lo que indica que las condiciones climáticas y edáficas para cada localidad son diferentes; también se observaron diferencias significativas ($p \leq 0.01$) entre cruces para todas las características evaluadas, las cuales pueden ser atribuidas a la gran diversidad genética que presentan los progenitores, haciendo posible la identificación de cruces

Cuadro 2. Cuadrados medios de los análisis de varianza combinados a través de tres ambientes, dos ambientes en Celaya, Gto. y uno en Sandía, N.L. Coahuila, México. 1996-97.

FV	GL.	RENDIMIENTO t/ ha	ALTURA DE PLANTA cm	HUM. DE GRANO %	G.L.	DIAS A FLOR d
LOC.	2	2082,02**	448715,118**	13232,67**	1	5971,875**
REP/LOC.	3	24,970	501,335	3,703	2	73,542
CRUZAS	77	9,813**	499,695**	16,081**	77	21,819**
ACG	12	25,425**	959,328**	37,286**	12	115,085**
ACE	65	6,931**	414,840**	12,164**	65	4,600*
CRUZAS X LOCS.	154	8,653**	324,54	10,569**	77	4,784**
ACG X LOCS.	24	29,873**	512,047**	20,367**	12	6,020**
ACE X LOCS	130	4,743**	289,466	8,761**	65	1,721
ERROR	231	2,587	329,041	2,571	154	3,035
C.V. (%)		11,30	7,94	8,24		2,16
D.M.S. (5%)		1,820	20,52	1,814		2,41
MEDIA.		14,235	228,38	19,4		81,00
MÁXIMO		17,583	249,00	23,65		87,00
MÍNIMO		11,945	207,00	13,4		75,00

*,** Significativo al 0,05 y 0,01 niveles de probabilidad respectivamente.

tardías, precoces, de porte alto o bajo y sobre todo cru-
zas rendidoras.

Al desglosar la fuente de variación cru-
zas en ACG y ACE, se encontraron diferencias significativas
($p \leq 0,01$) entre efectos de ACG para todas las caracterís-
ticas evaluadas; diferencias significativas ($p \leq 0,01$) pa-
ra ACE en las características rendimiento y humedad de
grano y diferencias significativas ($p \leq 0,05$) para días a
flor masculina.

La contribución a la varianza del rendimiento atri-
buible a las cru-
zas esta constituida por un 40,4 por cien-
to de efectos aditivos (ACG) y un 59,6 por ciento de
efectos no aditivos (ACE). Esta superioridad de los
efectos no aditivos sobre los aditivos puede ser debido
a la heterosis resultante de las combinaciones híbridas
entre los progenitores. Para las características altura de
planta y humedad de grano se observaron mayores
efectos del tipo no aditivo que aditivo, 70 por ciento de
ACE y 30 por ciento de ACG para altura de planta y 64
por ciento ACE y 36 por ciento de ACG para humedad
de grano. Estos resultados se deben a que en estos ca-
racteres también existió el beneficio de la heterosis, co-
mo lo hubo en rendimiento; en lo que respecta a días a
floración se observaron mayores efectos del tipo aditi-
vo ACG (82 por ciento) que el no aditivo ACE (18 por
ciento) a causa de que los híbridos utilizados tienen días
a floración similar y no es mucho el beneficio de la he-
terosis. En este Cuadro 1 también se presentan el coe-
ficiente de variación, la media, y los valores máximo y
mínimo de las características evaluadas, donde se ob-
serva que los coeficientes de variación son aceptables
para las características evaluadas y que existe una buena
amplitud entre estas para seleccionar buenos genotipos.

Se encontraron también diferencias significativas
($p \leq 0,01$) para cru-
zas por localidad para todas las carac-
terísticas evaluadas, indicando que las cru-
zas no tienen la suficiente información genética para amortiguar las
condiciones de los ambientes donde fueron evaluadas,
es decir, no tienen estabilidad y varía su posición de lo-
calidad en localidad, de tal modo que si en una locali-
dad una cr-
za tuvo un buen resultado, en otra localidad
tuvo un mal resultado, lo cual es importante para selec-
cionar cru-
zas que se adapten a cada ambiente o que se
comporten bien en todos los ambientes donde fueron
evaluadas, según el interés del mejorador.

Para la interacción ACG por localidad existieron
diferencias significativas ($p \leq 0,01$) para todas las ca-
racterísticas evaluadas, en cambio para la interacción
ACE por localidad solo existieron diferencias signifi-
cativas ($p \leq 0,01$) para rendimiento y humedad de gra-
no. La interacción ACG x Loc. revela la importancia
de los efectos aditivos en las características mencio-
nadas, indicando también que los efectos de ACG de
los padres para estas características cambia de locali-
dad en localidad y por lo tanto se deben seleccionar
aquellos que tengan mejores efectos de ACG a través
de los ambientes para las características evaluadas,
en cuanto a ACE X Loc, las significancias para rendi-
miento y humedad de grano indican que las cru-
zas no mantienen su ACE a través de los ambientes; sin
embargo, aunque existieron estas diferencias signifi-
cativas, se observó que para rendimiento los efectos
aditivos y no aditivos contribuyeron casi en forma
equilibrada a las cru-
zas siendo estos 53,8 por ciento
aditivos y 46,2 por ciento no aditivos; para altura de
planta 25 por ciento aditivos, 75 por ciento no aditi-
vos; para humedad de grano 30 por ciento aditivos y

70 por ciento no aditivos y para días a flor 39 por ciento aditivos y 61 por ciento no aditivos.

Al particionar la suma de cuadrados en ACG y ACE, casi todos los análisis mostraron que la mayoría de la variación es atribuida a la ACE (efectos no aditivos), estos valores indican la importancia de los efectos de dominancia en las cruzas en la expresión del rendimiento, lo que concuerda con lo obtenido por Castro, (1964); Cortez, (1985) y González, (1996) quienes observaron que los efectos de dominancia contribuían más a la varianza de las cruzas con respecto al rendimiento.

En el Cuadro 3 se presentan los valores combinados del rendimiento, heterosis del rendimiento, ACE para las características de altura de planta días a floración y humedad de grano a la cosecha de la mejores 25 cruzas evaluadas en dos localidades de Celaya, Gto. y una localidad en Sandia, N.L., donde se observa que la media del rendimiento de los padres (15.605 t/ha) fue superior a la media de las cruzas (14.235 t/ha). El comportamiento de los híbridos en las tres localidades evaluadas indican que los híbridos de 3 y 4 líneas rinden mas que los híbridos de seis, siete y ocho líneas, también se observa que el mejor padre fue el híbrido AS910, con un rendimiento de

Cuadro 3. Valor combinado de rendimiento, heterosis del rendimiento y ACE para, rendimiento, altura de planta, días a flor y humedad de grano de las 25 mejores cruzas con base en rendimiento, incluyendo los padres evaluados Celaya, Gto. en dos fechas y en Sandia, N.L. en al año de 1996. Coahuila, México. 1996-97.

♀	Progenitores ♂	Rendimiento t/ ha	ACE.Rend. t/ ha	ACE.Altura cm	ACE DAF. d.	ACE HG. %	Heterosis %
AS910	AS4450	17,538	2,669	-1,681	-1,577	-0,402	0,93
PP9538	AS948	17,463	2,633	8,227	-0,645	-1,174	6,75
PP9539	AN453	17,355	2,038	6,091	-0,582	0,644	11,35
PP9539	AN450	17,188	1,741	5,227	0,977	-2,174	7,41
PP9539	AN447	17,072	0,985	-17,363	0,755	1,098	9,97
AN454	AS948	16,052	1,445	2,091	0,159	-1,402	-3,38
AN447	AS98	16,033	0,661	8,727	4,569	-0,811	-8,81
PP9539	AS948	16,000	0,144	2,682	-0,864	-0,129	3,27
PP9539	AN454	15,996	0,673	2,000	-0,655	0,508	9,23
PP9603	PP9539	15,952	1,225	-2,136	-0,172	-0,447	11,13
AN450	AS4450	15,929	1,546	2,318	-3,018	1,189	-5,69
PP9539	AS910	15,624	-0,310	11,727	0,168	-0,765	-5,31
C220	AN447	15,618	1,315	-8,591	0,536	-0,856	5,33
PP9538	AS910	15,594	0,687	4,772	0,537	0,189	-10,69
PP9538	AN447	15,420	0,359	-4,319	-0,727	0,053	-4,91
AN447	AS4450	15,314	0,291	7,227	-4,141	0,462	-6,39
AN454	AS4450	15,243	0,985	12,091	-0,100	0,871	-1,30
PP9538	AN453	15,059	0,767	10,636	-2,310	0,598	-7,52
C220	AN453	14,994	1,461	-8,136	1,050	0,189	1,29
A7500	AS910	14,910	0,847	10,091	0,750	-1,947	-5,61
AN453	AS4450	14,863	0,611	-3,318	1,823	0,508	-9,71
C221	AS910	14,856	1,054	-1,727	-0,155	-0,583	-13,48
PP9538	AN454	14,769	0,473	-6,955	1,114	0,462	-3,77
AN447	AS910	14,758	-0,690	10,772	0,700	0,553	-24,83
A7500	AN447	14,605	0,387	-11,000	-1,364	0,417	-0,40
MEDIA DE	CRUZAS	14,235					
	C220	12,233					
	C221	14,212					
	A7500	11,987					
	PP9603	14,949					
	PP9539	13,402					
	PP9538	15,016					
	AN447	17,339					
	AN454	15,636					
	AN450	18,426					
	AN453	17,367					
	AS910	19,505					
	AS4450	15,245					
	AS948	17,553					
MEDIA DE	PADRES	15,605					

19.505 t/ha, seguido por el AN450 con 18.426 t/ha y el AS948 con 17.553 t/ha.

Las mejores cruzas para rendimiento fueron AS910 X AS4450 con un rendimiento de 17.538 t/ha que, a pesar de que los híbridos progenitores son de la misma compañía, tienen diferente información genética por lo cual produce el buen rendimiento observado; el segundo y el tercer lugar fue obtenido por las cruzas PP9538 X AS948 con 17.463 t/ha y PP9539 X AN453 con 17.365 t/ha también con un buen rendimiento, que es de esperarse ya que los dos híbridos involucrados en la crusa son de diferente compañía, y por lo tanto, existe diversidad genética entre estos híbridos.

Las cruzas que obtuvieron los tres valores más altos de ACE para rendimiento, fueron las mismas que obtuvieron los mejores rendimientos, estas son AS910 X AS4450, PP9538 X AS948 y PP9539 X AN453 con 2.669, 2.633 y 2.038 t/ha respectivamente; con respecto a altura de planta las mejores fueron PP9539 X AN447 con -17,363 cm. y AN7500 X AN447 con -11,00 cm; para días a floración las mejores cruzas fueron AN447 x AS4450 con -4,141 días y AN450 X AS4450 con -3,018 días, y para humedad de grano las mejores fueron PP9539 X AN450 con -2,174 por ciento y A7500 X AS910 con -1,947 por ciento. Las mejores cinco cruzas por su rendimiento, estuvieron formadas tres de ellas con tres híbridos de la UAAAN y dos híbridos de Dekalb y las restantes con tres híbridos de Apros y uno de Dekalb.

Con respecto a la heterosis, las mejores valores fueron obtenidos por las cruzas PP9539 X AN453 con 11,35 por ciento además de una buena heterosis esta fue una de las mejores cruzas en cuanto a rendimiento, la segunda mejor crusa en cuanto a heterosis fue PP9603

X PP9539 con un valor de 11,13 por ciento en el sus híbridos progenitores a pesar de que pertenecen a la misma compañía con su comportamiento en crusa muestran que existe diversidad genética entre ellos, no siendo así para la crusa AN447 X AS910 la cual tuvo un valor de heterosis de -24,83 por ciento, demostrando que estos híbridos están relacionados genéticamente. Es importante señalar que de los mejores cinco híbridos con base en la heterosis, cuatro están formados con híbridos de la Narro y uno con un híbrido de Dekalb como macho, y como hembra dos híbridos de Dekalb.

En el Cuadro 4 se presentan las estimaciones de ACG de los 13 híbridos comerciales, donde se observa que los mejores efectos positivos para rendimiento fueron obtenidos por los híbridos PP9539 con 1,168 t/ha, AN447 con 0,684 t/ha y AS910 con 0,530 t/ha. Las estimaciones de ACG para altura de planta, humedad de grano y días a floración revelaron que el híbrido PP9539 contribuye al la reducción de altura con -3,783 cm, humedad de grano con -1,436 por ciento y días a floración con -2,643 días; el AN447 mantiene su altura con 0,217 cm, reduce la humedad de grano con -1.218 por ciento y mantiene su días a floración con 0,038 días, y por ultimo, el AS910 el cual contribuye al incremento de altura de planta en sus cruzas con 2,625 cm, incrementa en un mínimo la humedad de grano con 0,118 por ciento y decrementa los días a floración -0,598 días.

Además de los análisis de varianza dialélicos también se realizó un análisis de varianza bajo el modelo II de Gardner-Eberhart (1966) para rendimiento (Cuadro 5) donde se observa que hubo diferencias significativas para todas la fuentes de variación, excepto para la heterosis promedio por ambiente. Al examinar las fuentes de variación mas importantes de este análisis, la significancia de heterosis por ambiente indica que la hetero-

Cuadro 4. Aptitud combinatoria general (ACG) entre 13 híbridos comerciales de maíz en tres ambientes, dos en Celaya Gto. y uno en Sandia N.L. en el año de 1996. Coahuila, México.

Híbrido	Rendimiento t/ha	Altura de la planta cm	Humedad de grano %	Días a floración d
C220	-0,616	-3,510	0,581	-0,188
C221	-0,962	-2,783	1,236	2,175
A7500	-0,702	-3,601	0,532	0,038
PP9603	-0,677	-6,010	-0,086	-2,916
PP9539	1,168	-3,738	-1,436	-2,643
PP9538	0,142	1,717	-0,905	-1,598
AN447	0,684	0,217	-1,218	0,038
AN454	-0,081	6,853	0,441	2,129
AN450	0,044	0,626	1,001	0,311
AN453	-0,087	5,762	0,268	1,493
AS910	0,530	2,625	0,118	-0,598
AS4450	0,104	1,671	-0,641	0,993
AS948	0,452	0,17	0,100	0,766

Cuadro 5. Cuadros medios del análisis de varianza combinado de 13 híbridos de maíz y sus 78 cruzas posibles para la características rendimiento, analizados bajo el modelo II de Gardner y Eberhart (1966) en los tres ambientes de evaluación. Coahuila, México. 1996-97.

F.V	G.L.	Cuadros medios
Ambientes	2	253.998**
Rep/Ambientes	3	9.313
Cruzas e híbridos	90	14.141**
Híbridos	12	38.780**
Heterosis	78	10.346**
Het. promedio	1	62.928**
Het. varietal	12	24.450**
Het. específica.	65	6.931**
Cruzas e Hib. x ambientes	180	8.769**
Hib. x amb.	24	34.729**
Het. x amb.	156	4.775**
Het. prom. x amb.	2	3.356
Het. var. x amb.	24	5.151**
Het. esp. x amb.	130	4.727**
Error	270	2.748

*, ** significativo al 0,05 y 0,01 respectivamente.

sis no es estable a través de los ambientes, al desglosar la heterosis se observa que la heterosis específica por ambiente contribuye más a la heterosis quedando en segundo termino la heterosis varietal por ambiente y por último la heterosis promedio por ambiente. En lo que respecta a la heterosis promedio por ambiente, además que también es una comparación de cruzas vs. padres donde los padres obtuvieron un rendimiento de 15.605 t/ha y las cruzas 14.235 t/ha con una diferencia de 1.307 t/ha (heterosis promedio por ambientes) siendo no significativa, indica que esta se mantiene estable a través de los ambientes. La significancia de la heterosis varietal por ambiente indica que la heterosis de las variedades no fueron estables a través de los ambientes, además de que no fue muy alta debido probablemente a que varios de los híbridos usados están emparentados, sin embargo, hubo un híbrido con la más alta heterosis en los tres ambientes (Cuadro 6). En lo que respecta a la heterosis específica por ambiente, la cual fue altamente significativa, revela que la heterosis de las cruzas (o ACE de las mismas) es diferente a través de las localidades, sin embargo se detectaron cruzas las cuales su heterosis específica (o ACE) se mantiene a través de los ambientes (Cuadro 1).

En el Cuadro 6 se presentan las mejores cruzas, los híbridos, su rendimiento, heterosis promedio, aptitud combinatoria general y efecto varietal. Se observa que el híbrido con mejor heterosis varietal fue el PP9539 (2,269%) mismo que también presento la mejor aptitud combinatoria general (1.168 t/ha) relación que no se presento en los demás híbridos, indicando que la heterosis no es totalmente controlada por genes dominantes, sino que también es controlada por genes aditivos en cierto grado, pero esto no es común en la mayoría de

los híbridos, el segundo y tercer lugar fueron obtenidos por los híbridos A7500 y C220 con 1,107% y 1,070% respectivamente.

Análisis de relación genética

En el Cuadro 7 se muestran las distancias genéticas basadas en los datos del rendimiento (Celaya I y Celaya II) de las cruzas entre los híbridos de acuerdo a la fórmula de Troyer (1988) en la parte superior de la diagonal, y de los datos de la heterosis en base al progenitor medio en la parte inferior. Se observa que los híbridos con las distancias más pequeñas son los que obtuvieron la heterosis más bajas, esto se puede observar en los híbridos AN450 y AS910, los cuales tuvieron la distancia genética más baja (0.033) y también la heterosis mas baja (-47,68%), otro de los híbridos que mostraron resultados similares fueron el AN453 y el AS948, los cuales tuvieron una distancia genética de (0,218) y una heterosis de (-35,34%), por el contrario. los híbridos con mayor distancia genética AN454 y A7500 con (1.418), obtuvieron también la heterosis mas grande (12,26%), datos similares fueron obtenidos por los híbridos PP9539 y PP9603 que a pesar de pertenecer a la misma compañía tuvieron una distancia genética de (1.326) y una heterosis de (9,83 por ciento).

Con los datos obtenidos de las distancias genéticas se realizó un análisis de conglomerados o (Cluster Analysis) cuyos resultados se presentan en la Figura 1 El análisis de conglomerados permite obtener una representación gráfica de los datos del Cuadro 6 en forma de dendograma. El agrupamiento de los híbridos confirma lo señalado por las distancias genéticas anteriormente, de que el AS910 y el AN450 son

Cuadro 6. Rendimiento, heterosis y aptitud combinatoria específica de las mejores 13 cruzas y rendimiento, heterosis varietal, aptitud combinatoria general y efecto varietal de los híbridos de maíz evaluados en tres ambientes. Coahuila, México. 1996-97.

Cruza	Rend. t/ha	Heterosis t/ha	A.C.E. t/ha	Híbrido	Rend. t/ha	Heterosis t/ha	A.C.G. t/ha	EF. VAR. t/ha	
AS910	AS4450	17.538	0.163	2.669	C220	12.233	1.070	-0,616	-3,372
PP9538	AS948	14.463	1.178	2.633	C221	14.212	-0,266	-0,962	-1,393
PP9539	AN453	17.355	1.970	2.038	A7500	11.987	1.107	-0,702	-3,618
PP9539	AN450	17.188	1.274	1.741	PP9603	14.949	0,349	-0,677	-0,656
PP9539	AN447	17.072	1.702	0,985	PP9539	13.402	2.269	1,168	-2,203
AN454	AS948	16.052	-0,543	1.445	PP9538	15.016	0,436	0,142	-0,589
AN447	AS948	16.033	-1,413	0,661	AN447	17.339	-0,183	0,684	1,734
PP9539	AS948	16.000	0,523	0,144	AN454	15.636	-0,097	-0,081	0,031
PP9539	AN454	15.996	1.476	0,673	AN450	18.426	-1,366	0,044	2,821
PP9603	PP9539	15.952	1.776	1.225	AN453	17.367	-0,967	-0,087	1,762
AN450	AS4450	15.929	-0,906	1.546	AS910	19.505	-1,421	0,530	3,900
PP9539	AS910	15.624	-0,830	-0,310	AS4450	15.245	0,284	0,104	-0,360
C220	AN447	15.618	0,832	1.315	AS948	17.553	-0,521	0,452	1,948

Media de padres 15.605 t/ha
 Heterosis promedio -1,370 t/ha
 Media de cruza 14.235 t/ha

CUADRO 7. Estimaciones de diversidad genética entre 13 híbridos comerciales evaluados en las localidades (Celaya I y Celaya II Gto), en el año de 1996 (arriba de la diagonal), y heterosis (abajo de la diagonal). Coahuila, México. 1996-97

Padres	C220	C221	A7500	PP9603	PP9539	PP9538	AN447	AN454	AN450	AN453	AS910	AS4450	AS948
C220		0,636	1,022	0,831	1,096	0,909	1,112	1,001	0,849	0,934	0,982	0,821	0,739
C221	-13,85		1,212	0,928	1,119	0,671	0,868	1,242	0,803	0,947	0,927	0,716	0,809
A7500	0,73	6,663		0,618	1,152	1,025	1,031	1,418	0,855	1,076	0,981	1,007	1,170
PP9603	-6,00	-2,46	-14,62		1,326	0,854	0,730	0,806	0,700	0,539	0,792	0,790	0,660
PP9539	3,11	3,83	-4,85	9,83		1,088	1,269	1,354	1,082	1,140	0,949	0,721	1,086
PP9538	-3,15	-12,36	0,82	-5,14	2,86		0,929	0,990	0,886	0,888	0,662	0,522	1,160
AN447	3,61	-4,63	1,01	-9,90	8,25	-2,44		0,500	0,421	0,510	0,397	0,809	0,478
AN454	0,03	7,48	12,26	-6,92	10,56	-0,33	-20,03		0,462	0,523	0,552	0,974	0,859
AN450	-5,30	-7,03	-5,08	-11,14	2,67	-3,97	-23,97	-21,92		0,267	0,033	0,841	0,306
AN453	-2,24	-1,79	2,48	-18,92	4,48	-3,88	-19,56	-18,93	-32,44		0,565	0,371	0,218
AS910	-0,62	-2,50	-0,64	-7,84	-1,72	-12,71	-25,23	-17,61	-47,68	-17,01		1,020	0,394
AS4450	-6,38	-10,49	0,23	-7,56	-10,27	-18,98	-6,81	-0,87	-5,59	-26,62	0,67		0,282
AS948	-9,57	-6,81	5,37	-12,80	2,84	5,07	-21,12	-4,94	-30,15	-35,34	-25,38	-31,55	

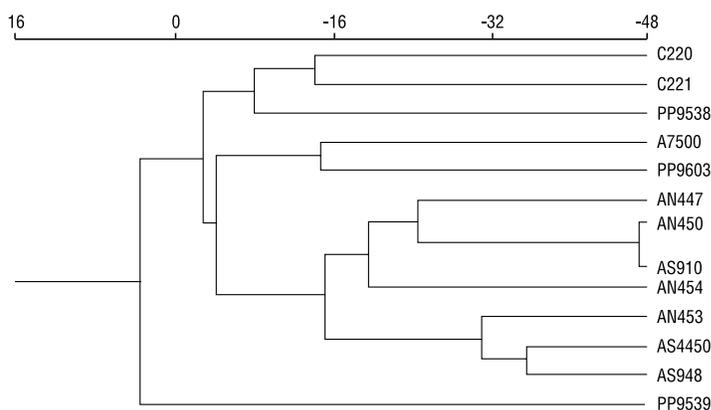


Figura 1. Agrupamiento de 13 híbridos comerciales de maíz en base a heterosis del rendimiento. Coahuila, México. 1996-97

los híbridos más relacionados genéticamente y de forma similar el AN453 y AS948. También se puede observar como el AN447, AN450, AS910, AN454, AN453, AS948 y AS4450 forman un mismo grupo indicando que estos híbridos están relacionados unos en mayor y otros en menor magnitud genéticamente; también se puede ver como los híbridos C220 y C221 forman un grupo bien definido. a una distancia de 0,636 lo cual es lógico ya que estos dos híbridos pertenecen a una misma compañía y pudiera ser que tienen uno o dos progenitores en común, otro grupo lo forman el A7500 y PP9603, los cuales a pesar de ser de diferente compañía es posible que compartan alguna similitud genética, y por último el híbrido PP9539 el cual se observa que no está relacionado con ninguno de los híbridos incluidos en este estudio; lo que

concorda con los resultados de ACG para rendimiento, ya que fue el híbrido con mayor ACG.

Con los datos de la heterosis, también se realizó un análisis de conglomerados (Figura 2) donde se obtuvo un dendrograma similar al obtenido con las distancias genéticas, además se realizó un análisis de correlación entre las distancias genéticas y la heterosis (Figura 3) donde se obtuvo una correlación de $r = 0,98$, concluyendo que tanto la estimación de heterosis como la distancia genética son importantes para determinar patrones heteróticos entre materiales (híbridos, líneas y poblaciones) para el uso de estos en programas de mejoramiento y que la heterosis es un parámetro importante en un programa de mejoramiento.

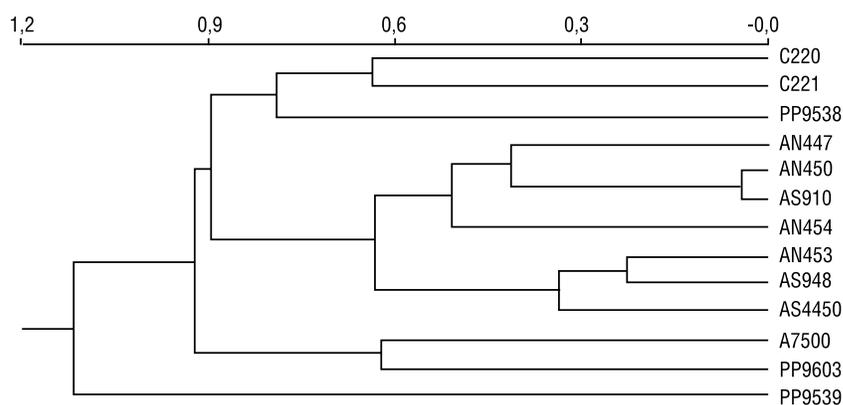


Figura 2. Agrupamiento de 13 híbridos comerciales de maíz en base a distancias genéticas del rendimiento. Coahuila, México. 1996-97.

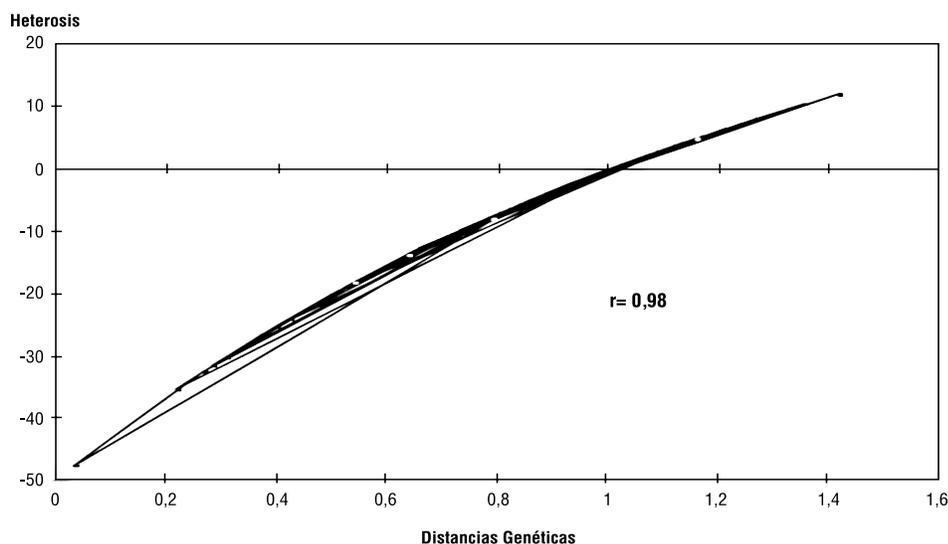


Figura 3. Correlación entre distancias genéticas y heterosis de los 13 híbridos comerciales de maíz. Coahuila, México. 1996-97.

CONCLUSIONES

De las mejores cruzas en F₂ se pueden derivar líneas prometedoras para la formación de híbridos y sintéticos.

Los híbridos que forman las cruzas con mayor heterosis se pueden usar en un programa de mejoramiento de líneas formadoras de cruzas simples aprovechando el patrón heterótico de estos (selección gamética y pedigrí)

Los híbridos con mayor ACG y heterosis se pueden usar para el mejoramiento de líneas.

LITERATURA CITADA

- CASTRO, G. M.; GARDNER, C. O.; LONNQUIST, J. H. 1968. Cumulative gene effects and the nature of heterosis in maize crosses involving genetically diverse races. *Crop. Sci.* 8:91-101
- CORTEZ, M. H.; RODRIGUEZ C., A.; GUTIÉRREZ G.; DURON Y, J.; GIRON C., R.; Oyervides G., M. 1985. Evaluation of broad-base improved population of maize (*Zea mays* L.) Y Cumulative gene effects and heterosis. U.A.A.A.N. Buenavista Saltillo Coah.
- EVERIT, B. 1980 Cluster analysis. Second edition. Halsted press. New York.
- GARDNER, C.O.; EBERHART S.A. 1966. Analysis and interpretation of the variety cross diallel end related populations. *Biometrics* 22:439-452
- GARZA, A.; FLEMING, A. A.; BROWNE, E.B. 1962. A method of identifying maize hybrids with the same pedigree and the effect of varying number of lines in common on contrast among hybrid and sib populations. *Crop Sci.* 2:371-374
- GONZALEZ, L. J. S. 1996. Integración de un patrón heterótico a partir de un dialélico de diez líneas de maíz subtropicales. Tesis M.C. U.A.A.A.N. Buenavista Saltillo, Coahuila México.
- GRIFFING, B. 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing system. *Australian J. Biol. Sci.* 9, 463-93.
- LEE, M.; GODSHALK, E.B.; LAMKEY, K.R.; WOODMAN, W.W. 1989. Asociacion of restriction fragment length polymorphisms among maize inbreds with agronomic performance of their crosses. *Crop. Sci.* 29:1067-1071.
- MUMM R. H.; DUDLEY, J. W. 1994. A classification of 148 U. S. Maize inbreds: I. Cluster analysis based on RFLPs *Crop. Sci.* 34:842-851
- SMITH J.S.C.; SMITH, O.S. 1989. Comparison of heterosis among Hybrids as a measure of hybrid relatedness with that to be expected on the bases of pedigree. *Maize Genet. Coop. Newl.* 63:86-87
- SMITH, O. S. ; SMITH, J.S.C.; BOWEN, S.L. TENBORG, R. A.; WALL, S.J. . 1990. Similarities among a group of elite maize inbreds as measured by pedigree, F₁ , grain yield, grain yield heterosis, and RFLPs. *Theor. Appl. Genet.* 80:833-840.
- TROYER, A.F ; OPENSHAW, S.J.; KNITTLE, K:H . 1988. Mesasurement of genetic diversity among popular corn hybrids. *Crop Sci.* 28: 481-485.