

DIALELICO INTEGRADO CON LINEAS DE DIFERENTES PROGRAMAS DE MAIZ PARA LA REGION CALIDA

Noel Gómez Montiel¹, Roberto Valdivia Bernal² y Hugo Mejía Andrade³

RESUMEN

El propósito de este estudio fue combinar líneas avanzadas de maíz (*Zea mays* L.) de origen diverso para obtener híbridos superiores a los comerciales y calcular la aptitud combinatoria de las líneas para su mejor aprovechamiento. En 1982 se evaluó un dialélico con 19 líneas S₂ y S₄ en dos localidades, una de clima Aw0 y otra con clima Aw1; se utilizó el diseño 4 de Griffing y las líneas se obtuvieron de los programas de Río Bravo, Tam., cuyo clima es cálido seco, de Iguala, Gro., con clima cálido semiseco y de Cotaxtla, Ver., de clima cálido húmedo. Las líneas utilizadas fueron derivadas de las poblaciones Tuxpeño Crema 1, La Posta, ETO PB x Tuxpeño PB, San Juan, Braquíticos, VS-521, B-670 y la línea T₁₁ que interviene en el H-507. El análisis del diseño genético mostró diferencias altamente significativas para localidades y para los efectos de aptitud combinatoria general y específica. Las líneas con mayores efectos aditivos fueron D7501-471-2 y LE-27; las líneas de Río Bravo formaron los híbridos experimentales con más altos

efectos específicos; hubo híbridos experimentales que superaron al H-511 (el mejor testigo comercial), los cuales fueron: LRB-14-413-7 x LE-36, D7501-471-2 x LE-27, D7501-471-2 x LE-36, D7501-471-2 x LRB-16-411-2, LRB-213-41 x LE-27, VS-521-34-2 x LRB-14-413-7, todos ellos formados con líneas de diferentes programas de mejoramiento genético.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES

Zea mays L., Aptitud combinatoria general, Aptitud combinatoria específica, Mejoramiento genético, Heterosis.

SUMMARY

The purpose of this study was to evaluate corn (*Zea mays* L.) lines from three breeding programs, with respect to general combining ability and to identify hybrids with a high level of heterosis. It was expected that the best hybrids would be those formed between lines from different breeding programs. In the 1982 rainfall season, a diallel design with nineteen S₂ and S₄ lines was tested in two environments, one with Aw0 and the other one with Aw1 climates (Köppen classification). Griffing's genetic design number four was used. Lines were provided by Río Bravo, Tamaulipas (arid, warm climate), Iguala, Guerrero (semi-arid, warm climate) and Cotaxtla, Veracruz (humid, warm climate) programs. The lines represented germplasm from Tuxpeño Crema 1, La Posta, ETO PB x Tuxpeño PB, San Juan, Brachytics,

^{1,2,3} Investigadores de la Red de Maíz del INIFAP, adscritos actualmente a los campos Experimentales Iguala (Apdo. Postal 29, Iguala, Gro.), Valle de México (Apdo. Postal 10, 56230 Chapingo, Méx.) y Río Bravo (Apdo. Postal 172, Río Bravo, Tam.), respectivamente.

VS-521, B-670 and T₁₁, a line from H-507 which is a tropical double cross hybrid. Highly significant differences for locations and general and specific combining ability effects were detected. Lines with the largest additive effects were D7501-471-2 and LE-27. Lines from Rio Bravo formed the hybrids with the largest specific effects. Some hybrids yielded more than H-511, the best commercial hybrid. The best experimental hybrids were those formed with lines from different breeding programs, such as: LRB-14-413-7 x LE-36, D7501-471-2 x LE-27, D7501-471-2 x LE-36, D7501-471-2 x LRB-16-411-2, LRB-213-41 x LE-27, VS-521-34-2 x LRB-14-413-7.

ADDITIONAL INDEX WORDS

Zea mays L., General combining ability, Specific combining ability, Plant breeding, Heterosis.

INTRODUCCION

En México existen campos experimentales donde se llevan a cabo programas de mejoramiento genético de maíz, dentro del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP), así como en otras instituciones de investigación, que emplean germoplasma diverso y que no se ha combinado entre sí, porque en ocasiones se hace investigación aislada, se maneja una base germoplásmica reducida, o bien, hace falta comunicación o conocimiento del avance entre programas intra- o interinstitucionales.

Es importante reconocer que el manejo de germoplasma diverso generado para las distintas condiciones ambientales que existen en México, conduce a tener germoplasma contrastante que puede ser útil para obtener híbridos altamente heteróticos. Hasta ahora sólo el contraste entre los tipos de

grano dentado y cristalino, es el que se explota con mayor intensidad y en donde mayores evidencias existen de patrones heteróticos.

En el INIFAP existen antecedentes positivos de combinaciones obtenidas con germoplasma de diferentes programas, como son los casos del H-353 que se formó con dos líneas tropicales y dos de El Bajío; el H-303 y H-311 formados con dos líneas de altura normal del INIFAP y dos líneas enanas de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

También se sabe que la región cálida en México varía en precipitación, humedad relativa, temperatura, altitud y latitud, de manera que al existir programas de mejoramiento genético de maíz ubicados en diversos ambientes de dicha región, se han generado líneas con adaptación contrastante y que por lo tanto, pueden ser aprovechadas a corto plazo para obtener híbridos altamente productivos.

Con estos antecedentes, se formó en 1982 un dialélico con líneas obtenidas en las regiones cálidas de tipos seco, semiseco y húmedo, con el objetivo de combinar germoplasma avanzado de origen diverso para obtener híbridos superiores a los comerciales de una manera más rápida y, asimismo, estimar la aptitud combinatoria general y específica (ACG y ACE) de las líneas, para su mejor aprovechamiento. La hipótesis del estudio es que los mejores híbridos serán aquellos que se formen con líneas de programas distintos.

REVISION DE LITERATURA

Diseños Genéticos

Los análisis dialélicos y otros diseños genéticos son descritos por

Hinkelmann (1977) y Martínez (1983), quienes mencionan las 4 diferentes técnicas de cruas dialélicas que distingue Griffing (1956b), y que son: 1) Autofecundaciones y cruas F_1 directas y recíprocas; 2) Autofecundaciones y las cruas F_1 directas; 3) Cruas F_1 directas y recíprocas; 4) Cruas F_1 directas.

Griffing (1956a) muestra un ejemplo numérico del método 4, el cual considera de uso más común; Singh (1973) presenta la metodología estadística para el análisis combinado de las cruas dialélicas para los diseños propuestos por Griffing.

Gardner (1984) da a conocer un método simplificado para estimar los parámetros genéticos a partir de las medias; este método es muy similar al método 2 de Griffing, aunque los parámetros estimados son diferentes. Considera que la ACE de una línea consigo misma es un concepto genéticamente ilógico, por lo que la elimina del modelo de Gardner y Eberhart (1966).

La correspondencia entre el método 2 de Griffing y el análisis III de Gardner y Eberhart, la presenta Baker (1978). Hinkelmann (1977) considera que de acuerdo a las inferencias que se hagan, pueden existir dos tipos de dialélicos: comparativos y exploratorio.

Aptitud Combinatoria

Martín del Campo (1980) utilizó el diseño 2 de Griffing para evaluar 3 grupos de cruas dialélicas, y con el modelo de Gardner y Eberhart (1966) estimó los componentes de heterosis varietal y específica para cada grupo, observando gran coincidencia con los efectos de ACG y ACE, respectivamente. También encontró que aquellos cruzamientos que mostraron efectos

de ACE más altos incluyeron al menos un progenitor de buena ACG.

Coutiño (1982) usó también el diseño 2 de Griffing al explorar germoplasma nativo e introducido de maíz, principalmente de las razas Tuxpeño y Olotillo, y observó que las variedades mejoradas mostraron mayores efectos genéticos de tipo aditivo que los criollos; las cruas de mayores efectos genéticos de dominancia, estadísticamente superiores, en tres ambientes de prueba fueron: (ETO x Tuxpeño) x Chis 458, Blanco Cristallino x Chis 511 y VS-521 x Chis 1.

Terrón (1981) aplicó el modelo de Eberhart y Gardner (1966) a una serie de cruas dialélicas entre variedades tropicales de maíz adaptadas al Estado de Nayarit, con el objetivo de mostrar la bondad de la metodología; los datos que usó fueron los mismos empleados por Oyervides (1979), quien aplicó el diseño 2 de Griffing y encontró que los progenitores tuvieron alta ACG, principalmente Chis 472 y Chis 512, y la mejor ACE la mostró la cruza Chis 497 x Tam 126; Chis 512 x Nay 334 fue la mejor cruza; Chis 455 y Chis 472 fueron las variedades de mayor heterosis específica.

Luchsinger y Violic (1972) determinaron ACG y ACE en un dialélico con 10 líneas usando el método 4 de Griffing, y encontraron significancia para ambos efectos, pero los efectos aditivos fueron más importantes para los componentes de rendimiento que para rendimiento.

Diversidad Genética

Wellhausen *et al.* (1952) plantean que la hibridación varietal fue uno de los factores más importantes en el incremento de la diversidad genética presente en los tipos de maíz encontrada en México.

Covarrubias (1960) evaluó un dialélico con tres variedades de regiones altas, intermedias y bajas del país; observó que las cruza provenientes de regiones diversas produjeron los mejores híbridos.

El uso de germoplasma exótico es potencialmente útil para incrementar la variabilidad genética dentro de las poblaciones mejoradas (Hallauer, 1978). Existen autores (Moll *et al.*, 1962; Sánchez, 1977) que señalan que la diversidad genética de las variedades paternas está asociada con una mayor heterosis.

MATERIALES Y METODOS

Este estudio se realizó en las localidades de Cotaxtla, Ver., e Iguala, Gro., en 1982, utilizando tres grupos de líneas provenientes de los programas de mejoramiento genético de Río Bravo, Tam., Cotaxtla, Ver. e Iguala, Gro.

Material Genético

De Río Bravo: LRB-16-26, LRB 11-213, ambas de dos autofecundaciones y LRB 11-45, LRB 11-41, LRB 14-413-7, LRB 213-41, LRB 16-42, LRB 16-43, LRB 16-411-2, todas ellas de 4 autofecundaciones. Estas líneas provienen de las variedades Tuxpeño Crema 1, San Juan, ETO PB x Tuxpeño PB, y de un compuesto de familias seleccionadas de poblaciones sobresalientes en esa localidad.

De Cotaxtla: LE-7, LE-27, L3-36, LE-37, líneas con dos autofecundaciones, de grano dentado y provenientes de las variedades La Posta, Tuxpeño Crema 1 y Braquíticos; además de la línea T₁₁ con 3 autofecundaciones e integrante de los híbridos H-507 y H-511.

De Iguala: D7501-539-1, D7501-156-1,

D7501-471-2, con dos autofecundaciones, de grano cristalino y provenientes del híbrido B 670; además las líneas VS-521-34-2 y VS-521-21-2, también con dos autofecundaciones y de grano dentado.

Localidades de Evaluación

Iguala: Ubicada en el valle de la región norte de Guerrero con suelos profundos y clima cálido subhúmedo (Awo); a los 18°19' Lat. N y 79°35' de Long. O, altitud de 750 msnm, temperatura media anual de 26.5°C, precipitación anual de 1065 mm y suelo fluvisol.

Cotaxtla: Ubicada en la costa del Golfo de México, a 35 km del Puerto de Veracruz, de suelos profundos y clima cálido húmedo (Aw₁); a los 18°50' de Lat. N y 96°10' de Long. O, clima Aw₁, altitud de 10 msnm, temperatura media anual de 24°C y precipitación anual de 1300 mm.

Métodos Estadísticos

El diseño experimental fue látice simple 14 x 14, con parcelas de un surco de 5 m de largo y una densidad de población de 45 mil plantas por hectárea; la única variable de estudio que se presenta a este artículo es el rendimiento de mazorca, en kg/ha.

Diseño Genético

Se empleó el dialélico 4 de Griffing (1956a), en el cual no se incluyen los progenitores ni las cruza recíprocas y sólo se consideran las p(p-2)/2 cruza F₁; el modelo utilizado fue:

$$Y_{ijk} = \mu + g_i + g_j + s_{ij} + e_{ijk};$$

$$i, j = 1, 2, \dots, p$$

$$k = 1, 2, \dots, r$$

En donde:

Y_{ijk} = Valor fenotípico observado de la cruza con los progenitores i y j , en el bloque k .

μ = efecto común a todas las observaciones.

g_i, g_j = efecto de aptitud combinatoria general de los progenitores i y j .

s_{ij} = efectos de aptitud combinatoria específica de la cruza ij .

e_{ijk} = efecto ambiental aleatorio correspondiente a una observación i, j, k .

La estimación de efectos de aptitud combinatoria general (g_i) y aptitud combinatoria específica (s_{ij}) para el diseño dialélico 4 de Griffing (1956 a) se hizo con base en las fórmulas siguientes:

$$\mu = \frac{2y_{..}}{p(p+1)}; \quad \hat{g}_i = \frac{1}{p-2} \left(y_{i.} - \frac{2y_{..}}{p} \right)$$

$$\hat{s}_{ij} = y_{ij} - \frac{1}{p+2} (y_{i.} + y_{j.}) + \frac{2y_{..}}{(p+1)(p+2)}$$

Donde:

$y_{..}$ = Gran total

$y_{i.}$ = Total del progenitor i

$y_{j.}$ = Total del progenitor j

y_{ij} = Valor de la cruza del progenitor i con el progenitor j

p = Número de progenitores.

RESULTADOS

En el Cuadro 1, donde se presentan los cuadrados medios y la significancia para las fuentes de va-

riación del diseño genético por localidad y combinado, se observa que en todos los casos hubo diferencias altamente significativas, inclusive para las interacciones de localidades por ACG y ACE.

Los rendimientos para la localidad de Iguala se presentan en el Cuadro 2, y en el Cuadro 3 sus efectos de ACE respectivos; en los Cuadros 4 y 5 se observan los resultados para la localidad de Cotaxtla, Ver., y en los Cuadros 6 y 7 los correspondientes al análisis combinado. En todos los casos hubo diferencias significativas para los tratamientos.

En Iguala el híbrido H-511, mejor testigo, fue igual estadísticamente a las mejores combinaciones obtenidas; lo mismo sucedió en el análisis conjunto, pero en Cotaxtla fue superado estadísticamente por otros híbridos.

En el Cuadro 8 se pueden observar las líneas que tuvieron mayores efectos de ACG, superiores significativamente a los de la línea T₁₁, que fungió como testigo; las mejores fueron: LE-27, D7501-471-2, LE-37, LE-36, D7501-539-1, LRB-14-413-7 y VS-521-34-2. Sin embargo, en Cotaxtla, localidad de origen de la línea T₁₁, ésta sí tuvo efectos aditivos positivos.

Para probar las hipótesis planteadas, la Figura 1 contiene cuatro grupos de medias de rendimiento, que son: 1) Media obtenida de híbridos formados con sólo líneas de Iguala; 2) Media obtenida de cruzamientos con sólo líneas de Río Bravo; 3) Media obtenida de cruzamientos formados con sólo líneas de Cotaxtla; y 4) Media de híbridos formados con los 3 grupos de líneas. En esa figura se observa que la media de los híbridos formados con las líneas de los tres programas de mejoramiento, sólo fue superior en la localidad de Iguala; sin embargo, de

Cuadro 1. Cuadrados medios del análisis dialélico y significancia.

Fuente de variación	Localidades de prueba		Análisis combinado
	Iguala, Gro.	Cotaxtla, Ver.	
Localidades			937.12**
Repeticiones	11.68**	0.06	5.87**
Tratamientos	3.04**	3.15**	4.05**
ACG	5.77**	13.58**	14.33**
ACE	2.71**	1.92**	2.83**
ACG x Loc.			5.03**
ACE x Loc.			1.78**
Error	1.48	1.16	1.32
CV (%)	17.03	22.45	30.99

** Altamente significativo ($\alpha = 0.01$).

Cuadro 2. Rendimientos medios de mazorca (kg/ha) de las cruas simples posibles. Iguala, Gro. 1982 P-V.

No. Línea	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1 0-539																			
2 0-156	4384																		
3 VS-521-34-2	8399*	7535																	
4 VS-521-21-2	6851	7583	6994																
5 0-471	3712	6775	7727	9510*															
6 LRB-16-26	8156	6602	7271	5823	7380														
7 LRB-11-45	7842	6639	7670	7093	8158	5575													
8 LRB-11-213	7426	6731	4899	6970	8763*	5749	7146												
9 LRB-11-41	7002	7898	5736	6397	9277*	8725*	6459	6461											
10 LRB-14-413-7	8088	8182*	10566*	6129	7640	7883	7254	8594*	9420*										
11 LRB-213-41	8389*	8674*	6158	7375	7726	6392	5657	7072	6967	6732									
12 LRB-16-42	7129	6753	7037	8553*	7474	8123	6910	6404	8103	6682	6097								
13 LRB-16-43	8658*	7782	6953	5727	10143*	5504	6244	6926	7053	5340	5398	5403							
14 LRB-16-411-2	5987	6206	8306*	6129	10312*	5562	5887	5107	4930	7708	6053	4014	6800						
15 LE-27	8328*	9986*	5575	5233	9093*	7589	7463	7088	8528*	6339	8900*	7622	7214	7263					
16 LE-7	7595	6346	7198	6592	8338*	7127	4123	6869	9342*	6339	7029	6380	7027	7200	7450				
17 T11	7140	5914	5408	7657	7363	7197	6906	7740	5504	6408	7354	6689	7636	4676	7245	6214			
18 LE-37	7917	8723*	7434	7661	7981	8098	7110	8424	6497	7643	7308	6103	5209	6566	7137	8386*	6693		
19 LE-36	8094	8909*	8263*	8366*	8900	6195	7598	7587	6868	9395*	6718	6737	7382	9444*	7572	7037	5345	6553	
$\bar{x}$	7283	7312	7174	7025	8126	6947	6763	6999	7287	7575	7000	6779	6800	6569	7535	7033	6616	7302	7609

Cuadro 3. Efectos de aptitud combinatoria específica del rendimiento de mazorca (kg/ha). Igualá, Gro. 1982 p-y.

No. Línea	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1 0-539																		
2 0-156	-2304																	
3 VS-521-34-2	1829	941																
4 VS-521-21-2	409	1116	645															
5 0-471	-3673	-635	435	2346														
6 LRB-16-26	1781	202	989	-331	283													
7 LRB-11-45	1625	397	1546	1096	1218	-355												
8 LRB-11-213	1006	287	-1427	771	1621	-383	1172											
9 LRB-11-41	336	1207	-837	-48	1888	2346	238	38										
10 LRB-14-413-7	1175	1244	3746*	-563	5	1258	786	1924	2503									
11 LRB-213-41	1969	2229	-169	1176	583	259	-318	895	543	61								
12 LRB-16-42	898	497	899	2341	521	2180	1124	416	1868	201	108							
13 LRB-16-43	2409	1507	797	-301	3172	-458	440	920	800	-1160	-609	-414						
14 LRB-16-411-2	-64	130	2348	299	3539*	-101	281	-701	-1125	1407	244	-1605	1163					
15 LE-27	1449	3082	-1211	-1425	1492	998	1030	451	1646	-790	2264	1175	749	996				
16 LE-7	1146	-128	843	364	1167	966	-1880	664	2890	-360	823	363	992	1363	785			
17 T11	1048	-202	-590	1787	549	1393	1260	1892	-590	-66	1505	1079	1958	-804	938	337		
18 LE-37	1238	2019	848	1203	579	1707	876	1988	-186	714	871	-144	-1056	499	242	1921	585	
19 LE-36	1152	1942	1414	1645	1235	-460	1101	888	-78	2202	18	227	853	3114	414	309	-1026	-406

DMS = 274

Cuadro 4. Rendimientos medios de mazorca (kg/ha) de las cruza simples posibles. Cotaxtla, Ver. 1982 P-V.

No. línea	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1 0-539																			
2 0-156	3340																		
3 VS-521-34-2	4741	4689																	
4 VS-521-21-2	5089	4840	2789																
5 0-471	4610	4555	5621	5805*															
6 LR8-16-26	4377	5610	5677*	4173	6841*														
7 LR8-11-45	5574	2262	3435	4998	5966*	3241													
8 LR8-11-213	6306*	3135	3033	3060	5061	2916	3175												
9 LR8-11-41	5467	4255	4011	5244	5133	4901	4443	2990											
10 LR8-14-413-7	4652	5078	5370	4487	5718*	3075	2773	5207	3698										
11 LR8-213-41	5271	4831	4510	4349	2853	4555	4165	2361	4233	4990									
12 LR8-16-42	6841*	3859	5144	5013	5329	4011	3899	4020	5104	4575	5456								
13 LR8-16-43	5719*	6592*	5595	3335	4525	5256	3844	4883	3227	3691	2619	5054							
14 LR8-16-411-2	5418	3461	3825	4370	6071*	3646	3897	3051	2533	4374	4494	5030	3124						
15 LE-27	5814*	5175	7228*	6905*	7605*	4553	6277*	4373	5584	5298	7385*	6069*	6042*	7184*					
16 LE-7	5935*	4676	4437	5437	4346	3283	2132	3475	5321	3244	2946	5964*	2758	3391	5376				
17 T11	6119*	5376	6172*	5975*	5370	5557	4752	4968	2768	4622	3498	5126	2742	4537	7050*	5489			
18 LE-37	6572*	5615	6140*	5003	6557*	5609	5988*	5297	4805	6573*	5189	3725	5101	4493	6527*	5438	7456*		
19 LE-36	7067*	4150	5459	2546	7574*	4410	3469	4999	2163	7762*	5092	6384*	5068	6282*	5825*	1599	6116*	4936	
$\bar{x}$	5495	4517	4882	4634	5530	4538	4128	4017	4216	4734	4378	5034	4593	4399	6126	4347	5205	5612	5217

Cuadro 5. Efectos de aptitud combinatoria específica (S_{ij}) para rendimiento de mazorca (kg/ha), Cotaxtla, Ver. 1982 P-V.

No. Línea	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1 0-539																		
2 0-156	-1321																	
3 VS-521-34-2	-233	553																
4 VS-521-21-2	377	916	-1448															
5 0-471	-919	-136	617	1013														
6 LRB-16-26	-303	1769	1523	231	2131													
7 LRB-11-45	1246	-1228	-368	1407	1608	-268												
8 LRB-11-213	2073	-260	-675	-436	798	-497	113											
9 LRB-11-41	1064	690	133	1578	700	1318	1211	-147										
10 LRB-14-413-7	-195	1069	1048	377	841	-952	-883	1626	-53									
11 LRB-213-41	729	1127	493	545	-1719	833	794	-915	-787	1100								
12 LRB-16-42	1737	-407	565	647	195	-273	-34	182	1096	123	1310							
13 LRB-16-43	1169	2680	1570	-478	-56	1525	465	1599	-227	-207	-974	899						
14 LRB-16-411-2	858	-261	-210	547	1481	-94	508	-243	-930	466	891	865	-487					
15 LE-27	-226	-27	1713	1602	1535	-667	1408	2599	640	-90	2302	424	951	2083				
16 LE-7	1419	999	447	1659	-200	-413	-1213	225	1902	-619	-612	1844	-809	-186	320			
17 I ₁₁	868	963	1446	1462	89	1126	672	983	-1387	23	-796	271	-1560	225	1258	1222		
18 LE-37	972	853	1065	141	927	829	1559	963	301	1625	547	-1479	450	-168	386	822	2104	
19 LE-36	1806	-273	724	-1977	2283	-31	-620	1004	-2002	3153*	789	1519	756	1960	23	322	1103	475

DHS = 242

Cuadro 6. Rendimientos medios de mazorca (kg/ha) de las cruza simples posibles. Análisis combinando las dos localidades; 1982 p-v.

No. Línea	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1 D-539																			
2 D-156	3862																		
3 VS-521-34-2	6570*	6112*																	
4 VS-521-21-2	5970	6212*	4892																
5 D-471	4161	5665	6674*	7658*															
6 LR8-16-26	6267*	6106	6474*	4998	7112*														
7 LR8-11-45	6708*	4451	5553	6046	7062*	4408													
8 LR8-11-213	6866*	4933	3966	5015	6912*	4335	5161												
9 LR8-11-41	6235*	6077	4874	5821	7205*	6813	5451	4726											
10 LR8-14-413-7	6370*	6630*	7968*	5308	6679*	5479	5024	6901*	6559*										
11 LR8-213-41	6830*	6753*	5334	5862	5290	5474	4911	4717	5600	5861									
12 LR8-16-42	6985*	5306	6091	6683*	6402*	6067	5405	5212	6604*	5629	5777								
13 LR8-16-43	7189*	7087*	6274*	4531	7334*	5380	5044	5905	5140	4516	4009	5229							
14 LR8-16-411-2	5703	4834	6066	5250	8192*	4654	4892	4079	3732	6041	5274	4522	4962						
15 LE-27	7072*	7581*	6402*	6069*	8349*	6071	6870*	5731	7054*	5819	8143*	6846*	6628*	7224*					
16 LE-7	6767*	5511	5818	6015	6342*	5205	3128	5172	7332*	4792	4988	6172*	4893	5296	6413*				
17 T ₁₁	6630*	5645	5790*	6816*	6367*	6377*	5829	6354*	4136	5515	5426	5908	5189	4607	71148*	5852			
18 LE-37	7245*	7169*	6787*	6332*	7269*	6854*	6549*	6861*	5651	7108*	6249*	4914	5155	5530	6832*	6912*	7075*		
19 LE-36	7581*	6530*	6861*	5456	8237*	5303	5534	6293*	4516	8579*	5905	6561*	6225*	7863*	6699*	5818	5731	5745	
$\bar{x}$	6390	5915	6028	5830	6828	5743	5446	5508	5751	6154	5689	5906	5594	5485	6831	5690	5911	6457	6413

Cuadro 7. Efectos de aptitud combinatoria específica (S_{ij}) para rendimiento de mazorca (kg/ha). Resultados del análisis combinado 1982 P-V.

No. línea	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1 0-539																		
2 0-156	-1814																	
3 VS-521-34-2	797	746																
4 VS-521-21-2	367	1016	- 401															
5 0-471	-2297	-386	526	1680														
6 L88-16-26	739	985	1256	- 51	1208													
7 L88-11-45	1434	- 416	589	1252	1413	-311												
8 L88-11-213	1339	13	-1051	168	1210	-440	643											
9 L88-11-41	700	949	- 351	766	1295	1832	725	- 53										
10 L88-14-413-7	490	1157	2398	- 93	423	153	- 48	1776	1226									
11 L88-213-41	1348	1678	162	860	- 567	546	238	- 9	665	581								
12 L88-16-42	1317	45	733	1495	359	953	546	300	1484	163	710							
13 L88-16-43	1788	2093	916	-390	1538	534	452	1260	287	- 682	791	243						
14 L88-16-411-2	396	- 66	1069	253	2509*	- 99	394	-473	-1028	1281	567	-371	337					
15 LE-27	611	1527	252	- 81	1513	165	1218	26	1141	-439	2283	800	850	1539				
16 LE-7	1284	435	645	842	484	276	-1546	445	2397	-489	104	1104	92	539	552			
17 L11	958	580	428	1624	319	1259	966	1437	- 989	45	354	650	199	-290	1089	780		
18 LE-37	1105	1456	957	672	754	1268	1218	1477	58	1170	710	- 811	-303	165	314	1372	1345	
19 LE-36	1479	835	1069	-167	1759	-245	240	946	1039	2679*	403	873	805	2536*	219	315	39	-415

DMS = 258

Cuadro 8. Efectos de aptitud combinatoria general (g_i) para rendimiento de mazorca (kg/ha) de las líneas.

Núm.	Línea	Ambientes de Prueba		Análisis combinado
		Iguala	Cotaxtla	
15	LE-27	336*	1137*	738*
5	D7501-471-2	842*	622*	735*
18	LE-37	136*	693*	414*
19	LE-36	399*	351	376*
1	D7501-539-1	120*	592*	357*
10	LRB-14-413-7	370*	66	153*
3	VS-521-34-2	26	62	44*
2	D7501-156-1	145*	-254	- 54
17	T ₁₁	-452	341	- 57
12	LRB-16-42	-321	193	- 62
4	VS-521-21-2	-101	-152	-127
9	LRB-11-41	123*	-514	-196
6	LRB-16-26	-169	-235	-202
16	LE-7	- 95	-400	-248
11	LRB-213-41	-123	-374	-249
13	LRB-16-43	-294	-365	-331
8	LRB-11-213	-124	-685	-405
14	LRB-16-411-2	-493	-355	-425
7	LRB-11-45	-326	-589	-459
DMS		774	685	730

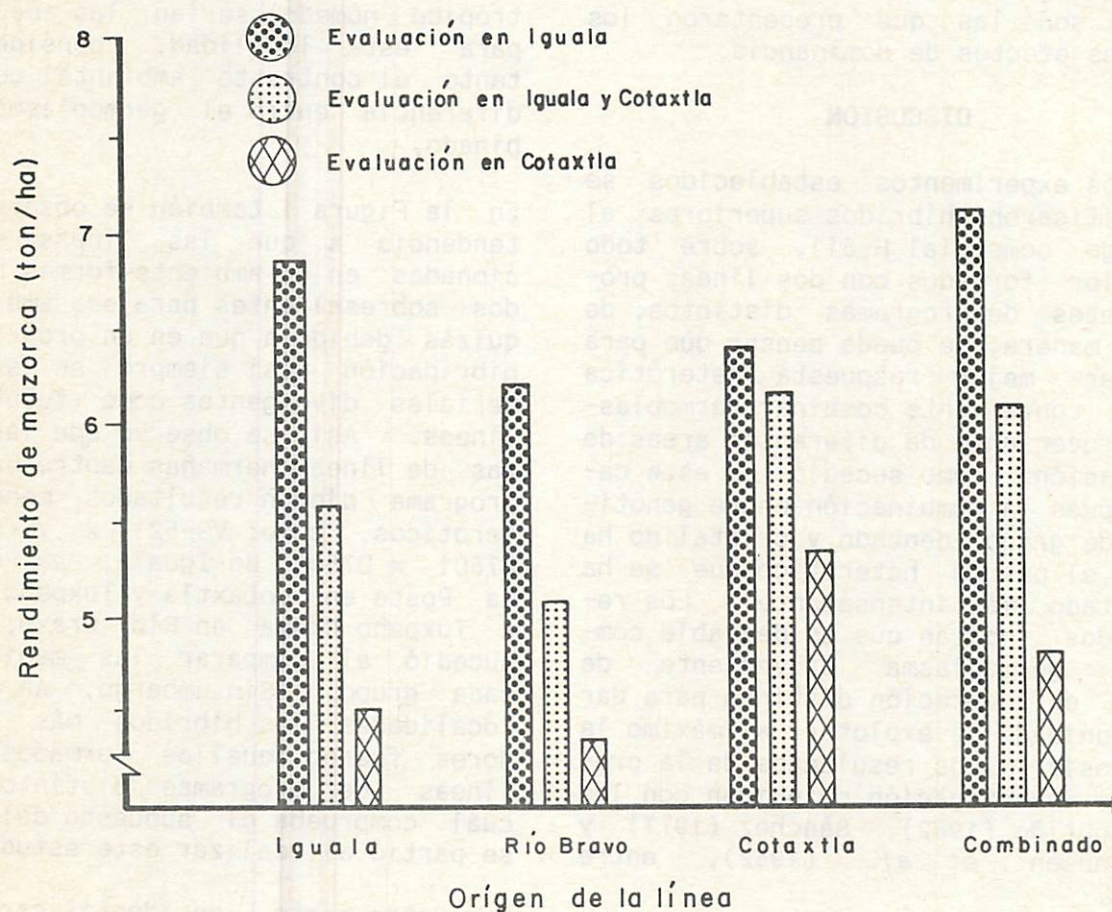


Figura 1. Rendimiento medio de cada grupo de híbridos formados con líneas de un programa y entre programas.

los mejores 10 cruzamientos del análisis combinado (Cuadro 6) sólo un híbrido formado con dos líneas de Iguala se ubicó en este grupo y los demás fueron aquellos que en su formación intervinieron 2 líneas de diferentes programas de mejoramiento.

Por otra parte, al observar el Cuadro 7, se aprecia que las líneas de Río Bravo son las que presentaron los mayores efectos de dominancia.

DISCUSION

En los experimentos establecidos se identificaron híbridos superiores al testigo comercial H-511, sobre todo aquellos formados con dos líneas provenientes de programas distintos; de esta manera, se puede pensar que para obtener mejor respuesta heterótica sería conveniente combinar germoplasma proveniente de diferentes áreas de adaptación, como sucedió en este caso, pues la combinación entre genotipos de grano dentado y cristalino ha sido el patrón heterótico que se ha explotado más intensamente. Los resultados indican que es deseable combinar germoplasma proveniente de áreas de adaptación distinta para dar oportunidad de explotar al máximo la heterosis. Los resultados de la presente investigación coinciden con los de Coutiño (1982), Sánchez (1977) y Wellhausen *et al.* (1952), entre otros.

Al analizar el comportamiento de los híbridos en cada localidad y de acuerdo a la procedencia de las líneas que los formaron, se esperaría que las combinaciones obtenidas con líneas seleccionadas en un ambiente, serían las mejores en ese ambiente. Esto se observó así en la localidad de Cotaxtla; en cambio en Iguala, la media de los híbridos formados con líneas de programas distintos superó ligeramente a las combinaciones he-

chas con líneas seleccionadas en esta localidad, pero fue claramente superior a las de los híbridos formados sólo con líneas de Río Bravo o de Cotaxtla (Figura 1). Estos resultados parecen lógicos, pues Iguala es un ambiente intermedio en humedad entre Río Bravo y Cotaxtla y, por lo tanto, las combinaciones entre líneas de estos programas (trópico seco x trópico húmedo) serían las adecuadas para esta localidad, considerando tanto el contraste ambiental como la diferencia entre el germoplasma combinado.

En la Figura 1 también se observa una tendencia a que las líneas seleccionadas en un ambiente formen híbridos sobresalientes para ese ambiente, quizás debido a que en un programa de hibridación casi siempre se usan materiales divergentes como fuentes de líneas. Así, se observó que las cruces de líneas hermanas dentro de cada programa dieron resultados menos heteróticos, como: VS-521 x VS-521 y D7501 x D7501 en Iguala; La Posta x La Posta en Cotaxtla y Tuxpeño Crema x Tuxpeño Crema en Río Bravo; esto sucedió al comparar las medias de cada grupo. Sin embargo, en ambas localidades los híbridos más rendidores fueron aquellos formados entre líneas de programas distintos, lo cual comprueba el supuesto del cual se partió al realizar este estudio.

Por otra parte, se identificaron líneas de alta ACG como D7501-471-2 y LE-27 que superaron estadísticamente la ACG de la línea T11 que forma parte del H-507; sin embargo, este híbrido tuvo buen comportamiento en el experimento, lo cual indica la buena ACE que tienen las líneas que lo forman. En este estudio también se coincidió con Martín del Campo (1980), en el sentido de que las cruces que mostraron altos efectos de ACE, estuvieron formados al menos con

una línea de alta ACG.

Es importante hacer notar que hubo diferencias significativas entre localidades para todos los efectos y las interacciones, por lo que los resultados obtenidos en el análisis combinado no se pueden generalizar. No obstante, hubo coincidencia en el buen comportamiento de algunos híbridos en las dos localidades, tales como LRB-14-413-7 x LE-36, D7501-471-2 x LE-27, D7501-471-2 x LE-36, y otros más. Lo mismo se puede decir de las líneas con mayor ACG, pues mostraron efectos aditivos positivos en las dos localidades; ellas fueron: LE-27, D7501-471-2, LE-37 y D7501-539-1.

Una observación de interés es que a pesar de haberse detectado significancia para los dos tipos de aptitud combinatoria, los efectos aditivos fueron más altos y podrían ser aprovechados para la formación de sintéticos. También se observó que las líneas de Río Bravo formaron los híbridos que mostraron mayores efectos de ACE, en tanto que las líneas de Iguala y Cotaxtla presentaron mayores efectos de ACG; esto pudiera deberse a que en Río Bravo se hayan seleccionado líneas para aprovechar los efectos de dominancia y en las otras localidades se hizo la selección considerando también su ACG.

Respecto a los grupos de híbridos formados, se observó que en Iguala sobresalieron las combinaciones de líneas provenientes de esa localidad y lo mismo se puede decir de los híbridos de Cotaxtla, puesto que la selección de las líneas y sus cruces de prueba se hicieron en sus respectivas localidades; sin embargo, al separar los mejores híbridos del experimento, estos fueron aquellos formados con líneas de las tres regiones de adaptación, que era lo que se esperaba ya que al menos el clima en

Iguala, Cotaxtla, y Río Bravo, es diferente, y esta situación pudo crear un contraste en el germoplasma seleccionado.

CONCLUSIONES

1. En los análisis individuales para Iguala, Gro., y Cotaxtla, Ver hubo diferencias altamente significativas para los efectos de ACG y ACE; en el análisis combinado, también lo hubo para las localidades e interacciones.
2. Los cuadrados medios de ACG fueron mayores de los de ACE.
3. Las líneas con efectos positivos de ACG en el análisis combinado fueron: LE-27, D7501-471-2, LE-36, D7501-539-1, LRB-14-413-7, VS-521-34-2; en Iguala, también D7501-156-1, LRB-11-41; y en Cotaxtla, T₁₁ y LRB-16-42.
4. Las líneas que formaron los híbridos con mayores efectos de dominancia fueron las de Río Bravo, Tam.
5. Los híbridos con mayores efectos de ACE en el análisis combinado fueron: LRB-14-413-7 x LE-36, LRB-16-411-2 x LE-36, LRB-16-411-2 x D7501-471-2, LRB-14-413-7 x VS-521-34-2; en Iguala, además LRB-16-43 x D7501-471-2; y en Cotaxtla, LRB-16-43 x D7501-156-1.
6. En el análisis combinado hubo 10 híbridos que superaron al mejor testigo (H-511); en Cotaxtla hubo 40 que lo superaron significativamente y sólo 4 fueron mejores en Iguala. Los sobresalientes en ambas localidades fueron: LE-36 x LRB-14-413-7, LE-27 x D7501-471-2, LE-36 x D7501-471-2; estos mismos, más el LE-37 x T₁₁ sobresalieron en Cotaxtla; y en

Iguala los rendimientos más altos fueron de los híbridos VS-521-34-2 x LRB-14-413-7, LRB-16-411-2 x D7501-471-2 y LRB-16-43 x D7501-471-2.

7. Los 10 mejores híbridos identificados en este estudio fueron aquellos formados con dos líneas seleccionadas de programas distintos; los 5 mejores fueron combinaciones de Río Bravo x Cotaxtla, Iguala x Cotaxtla, Iguala x Río Bravo y Río Bravo x Cotaxtla.

BIBLIOGRAFIA

- Baker, R.J. 1978. Issues in diallel analysis. *Crop Sci.* 18:533-36.
- Coutiño E., B. 1982. Variabilidad genética de cruzas dialélicas de maíz formadas con poblaciones tropicales sobresalientes. Tesis M.C. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 141 p.
- Covarrubias C., R. 1960. Cruzas intervarietales, una gran posibilidad para los programas de mejoramiento de maíz en Latinoamérica. Informe de la VI Reunión del PCCMCA. Managua, Nicaragua. pp. 1-13.
- Gardner, C.O. 1984. Información genética derivada utilizando el modelo Gardner-Eberhart para medias generacionales. *Fitotecnia* 6: 114-141.
- _____. and S.A. Eberhart. 1966. Analysis and interpretation of the variety cross diallel and related populations. *Biometrics* 22:439-452.
- Griffing, B. 1956a. A generalized treatment of the use of diallel crosses in quantitative inheritance. *Heredity* 10:31-50.
- _____. 1956b. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Austr. J. Biol. Sci.* 9:463-493.
- Hallauer, A.R. 1978. Potential of exotic germplasm for maize improvement. In: *Maize Breeding and Genetics*. D.B. Walden (ed.). Wiley, New York.
- Hinkelmann, K. 1977. Diseños dialélicos y de cruzas múltiples: ¿Qué información se obtiene de ellos? Trad. del inglés por F. Castillo González. In: *Proceedings of the International Conference on Quantitative Genetics*, August 16-21, 1976. E. Pollak, O. Kempthorne y T.B. Bailey Jr. (eds.). Iowa St. Univ. Press. pp. 659-676.
- Luchsinger, L.A. y A. Violic M. 1972. Capacidad combinatoria y específica para rendimiento y sus componentes de 10 líneas de maíz (*Zea mays* L.). *Fitotecnia Latinoamericana* 8:36-44.
- Martín del Campo V., S. 1980. Análisis de medias y componentes de varianza en tres grupos de poblaciones de maíz en el Norte-Centro de México. Tesis de M.C. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. 156 p.
- Martínez G., A. 1983. Diseños y Análisis de Experimentos de Cruzas Dialélicas. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. 252 p.
- Moll, R.H., W.S. Salhuana, and H.F. Robinson. 1962. Heterosis and genetic diversity in variety crosses of maize. *Crop Sci.* 2:197-198.
- Oyervides G., M. 1979. Estimación de parámetros genéticos, heterosis e índices de selección en variedades tropicales de maíz adaptadas a Nayarit. Tesis de M.C. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. 118 p.

Sánchez G., J.J. 1977. Efecto de niveles de divergencia genética y factores ambientales en la expresión fenotípica de variedades sintéticas de maíz. Tesis M.C. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. 175 p.

Singh, D. 1973. Diallel analysis for combining ability over several environments. II. The Indian J. of Genetics and Plant Breeding. 33(3):469-481.

Terrón I., A.D. 1981. Análisis e interpretación de cruza dialélicas en variedades tropicales de maíz adaptadas a Nayarit. Tesis Profesional. Escuela de Agricultura. Universidad de Guadalajara. 52 p.

Wellhausen, E.J., L. Roberts, and E. Hernández X., in collaboration with Paul C. Mangelsdorf. 1952. Races of maize in México. Their origin, characteristics and distribution. The Bussey Institution of Harvard University. 223 p.