

ANALISIS E INTERPRETACION DE CRUZAS DIALELICAS CON GERMOPLASMA TROPICAL PRECOZ DE MAIZ

Mauro Sierra Macías y Ricardo Ernesto Preciado Ortiz¹

RESUMEN

En las zonas tropicales, las variedades precoces de maíz (*Zea mays* L.) son potencialmente útiles en siembras de humedad residual, como alternativa de escape a la sequía intraestival y por sus posibilidades de empleo en diversos sistemas de producción. Con el objeto de conocer la respuesta heterótica y el tipo de acción génica del rendimiento de grano en germoplasma precoz tropical, se realizaron cruzamientos dialélicos entre ocho poblaciones de maíz, los cuales, junto con sus progenitores se evaluaron en 1984. Los resultados indicaron que existen poblaciones precoces, como PABG Precoz y Pool 15, que poseen un efecto varietal en sus cruzas. En cuanto a los valores de heterosis la mayoría de las cruzas con NLVS-30 fueron las de mejor comportamiento; los máximos valores de heterosis específica ocurrieron en los cruzamientos de Pool 15 x Zapalote Chico y V-424 x Comp. Precoz C₂. En cuanto al nivel de precocidad se observó poca variación tanto en los progenitores como en sus cruzas, por lo que es factible su utilización en las zonas tropicales propuestas.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES

Zea mays L., Heterosis para rendimiento, Aptitud combinatoria.

SUMMARY

In tropical areas, early maturity maize (*Zea mays* L.) varieties are potentially able for planting during the dry season, making use of the residual moisture under different crop systems, as an alternative to escape the drought occurring in the middle of the rainy season. A diallel crossing system among eight tropical early maize populations, was carried out to be evaluated, along with their parents, during the rainy season in 1984. The purpose of this study was to know the heterotic response and the gene action involved on grain yield. Results indicated that some early varieties (PABG Precoz and Pool 15) have a varietal effect on their progenies. Regarding heterotic values, most crosses where NLVS-30 was involved, were among the best. The highest values for specific heterosis were found for the crosses Pool 15 x Zapalote Chico and V-424 x Comp. Precoz C₂. With respect to earliness, little variation was observed in the crosses and in their parents, so they can be used in the proposed tropical regions.

ADDITIONAL INDEX WORDS

Zea mays L., Heterosis for grain yield, Combining ability.

INTRODUCCION

En la zona sur del país, donde se estima una superficie sembrada de maíz de temporal de 2 321 505 ha, se

¹ Investigadores de la Red de Maíz del INIFAP. CECOT, CIFAP-VERACRUZ. Apdo. Postal 429. 91700, Veracruz, Ver.

presenta con regularidad durante los meses de julio y agosto una suspensión de la lluvia que dura entre 15 a 20 días y que es conocida comúnmente como "canícula", la cual muchas veces coincide con el inicio de la floración de los maíces que se siembran en esa zona. Esta coincidencia de la floración con la sequía genera pérdidas en el rendimiento de grano.

En las siembras de "invierno", particularmente en los estados de Veracruz y Tabasco, también se realiza la siembra del maíz de "tonalmil", la cual se logra con la humedad residual del temporal y lluvias extemporáneas ocasionadas por los vientos denominados "nortes" que azotan el litoral del Golfo. En este sistema de siembra, dado el rápido agotamiento de la humedad residual, la precocidad juega un papel importante para evitar las graves pérdidas generadas por la sequía. Por otra parte, existen sistemas de producción en los que el maíz entra en sucesión o relevo con otros cultivos, siendo también frecuente encontrar siembras en fechas retrasadas, debido a que el temporal no permite sembrar oportunamente. Todo esto plantea la necesidad de formar genotipos precoces y de alto rendimiento de grano, que eviten la coincidencia de la floración con el período de deficiencia de humedad en el temporal, que aprovechen mejor la humedad en las siembras de "tonalmil" y como opción cuando el temporal no permita sembrar oportunamente.

El objetivo del presente trabajo fue conocer las respuestas varietales y heteróticas del rendimiento de grano entre materiales precoces y su tipo de acción génica para implementar programas de mejoramiento inter o intra-poblacionales.

REVISION DE LITERATURA

Poehlman (1971) señala que la precocidad es determinada por características genéticas y del ambiente, debiéndose considerar la influencia de las segundas sobre las primeras al comparar las diferencias varietales. En el maíz, la precocidad normalmente se mide a la fecha de antesis; sin embargo, también el porcentaje de materia seca en el grano, al momento de la cosecha, es un buen estimador, por su correlación positiva y altamente significativa con días a floración masculina y femenina (Sierra, 1983).

González (1974) estudió la posibilidad de seleccionar genotipos superprecoces y de alto rendimiento; entre sus conclusiones destacan las siguientes: a) En las poblaciones estudiadas se encontró una baja frecuencia de genotipos que conjugaran características favorables de precocidad a la floración y a la madurez, con alto rendimiento, y b) Al seleccionar hacia diferentes características se observó que, para rendimiento alto, se tendió a incrementar los días a floración y a la madurez; para precocidad a floración y alto rendimiento, se tendió a una mayor precocidad sin cambiar rendimiento; para precocidad a madurez fisiológica y alto rendimiento se tendió a conservar los días a floración y a incrementar los días a madurez y rendimiento; para mayor número de días a floración y a madurez y rendimiento se tendió a incrementar las tres características.

En lo que se refiere a la utilidad de la información generada al evaluar cruces dialélicas, Comstock *et al.* (1949) señalan que de detectarse efectos mayores de la aptitud combinatoria general, es factible explotar la porción aditiva de la varianza

genética disponible mediante cualquier variante de la selección recurrente; por el contrario, en cruzamientos donde se registre mayor aptitud combinatoria específica puede implementarse un programa de selección recíproca recurrente.

Por su parte, Terrón (1981), al aplicar el modelo estadístico propuesto por Gardner y Eberhart (1966), que a su vez es una modificación del Diseño II de Griffing para análisis de dialélicos, comenta que dicho modelo puede ser útil para obtener mayor conocimiento de la variación genética y aptitud combinatoria mediante los parámetros relacionados con la heterosis: heterosis promedio, heterosis varietal y heterosis específica, a partir de los cuales es posible detectar y seleccionar con un mayor grado de seguridad, tanto los genotipos más idóneos por mejorar, como la metodología más adecuada para realizar dicho mejoramiento.

MATERIALES Y METODOS

Durante el ciclo de riego de 1984 se formaron cruza dialélicas con germoplasma precoz de maíz tropical, las cuales se evaluaron en el ciclo de temporal del mismo año, en el Campo Agrícola Experimental Cotaxtla.

En total se evaluaron ocho poblaciones precoces de maíz, sus 28 cruza dialélicas (directas o recíprocas), y 13 testigos; la información de éstos no se incluye en el presente artículo. Las poblaciones de referencia fueron: PABG Precoz de Cotaxtla, población de amplia base genética en su cuarto ciclo de recombinación; TH BCP-82, variedad experimental formada mediante recombinación de las 10 mejores familias derivadas de la población Blanco Cristalino Precoz; Zapalote Chico, variedad criolla precoz originaria del Istmo de Tehuantepec;

V-424, variedad precoz mejorada para el trópico seco; Pool 15 y Pool 16, poblaciones precoces provenientes del CIMMYT; NLVS-30, sintético precoz formado en el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM); Y Comp. Prec. C₂, variedad precoz proveniente de Río Bravo, Tam.

El diseño experimental utilizado fue un látice simple duplicado 7 x 7, con parcelas de cuatro surcos de 5 m de largo, cosechándose los dos centrales. La separación entre surcos fue de 92 cm, depositándose a la siembra tres semillas cada 50 cm para aclrear a dos plantas por mata después del último cultivo. Se aplicó herbicida en preemergencia para el control de las malas hierbas y se fertilizó con la fórmula 60-00-00, utilizando sulfato de amonio como fuente nitrogenada.

Al obtener los datos ajustados del análisis de varianza, corregidos con base en el diseño de látice, se procedió al análisis del dialélico, de acuerdo a la metodología de Gardner y Eberhart (1966), cuyo modelo es:

$$Y_{jj'} = Mv + \frac{1}{2} (V_j + V_{j'}) + h_{jj'}$$

donde:

Mv = Media de las variedades progenitoras.

V_j = Efecto varietal de la j -ésima variedad¹

$h_{jj'}$ = Efecto de heterosis cuando la variedad j es cruzada con la variedad j' .

¹ Cuando se utiliza V_j es con el fin de diferenciar los dos progenitores de una cruce, los cuales en los dos casos corresponden a una j -ésima variedad.

El efecto de heterosis se subdivide en:

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

donde:

h = Heterosis promedio

h_j = Heterosis varietal contribuida por la variedad j .

$s_{jj'}$ = Heterosis específica debida al cruzamiento de las variedades j con j' .

Para expresar de manera cuantitativa los efectos que intervienen en el comportamiento de las variedades y cruza en estudio, se estimaron valores para los efectos genéticos de acuerdo con Terrón (1981).

Efecto varietal (V_j), calculado mediante la desviación del rendimiento varietal ($Y_{jj'}$) y la media de variedades (Y_v), con el siguiente modelo:

$$V_j = Y_{jj'} - Y_v.$$

Efecto de heterosis ($h_{jj'}$) se calcula mediante la desviación del rendimiento varietal menos el promedio de rendimiento de los progenitores, cuyo modelo es:

$$h_{jj'} = Y_{jj'} - \frac{1}{2} (Y_{jj} + Y_{j'j'})$$

Heterosis promedio ($\bar{h}$) se calcula por la diferencia entre la media de cruza (Y_c) menos la media de variedades (Y_v), cuyo modelo es:

$$\bar{h} = Y_c - Y_v$$

Heterosis varietal (h_j) se calcula como la desviación de los progenitores (Y_h) y los cruzamientos en

que interviene cada variedad, de acuerdo al siguiente modelo:

$$h_j = \frac{n-1}{n-2} (\bar{Y}_h - \bar{Y}_c) - \frac{1}{2} (Y_{jj'} - \bar{Y}_v)$$

Heterosis específica ($S_{jj'}$), calculada a partir de la desviación de la cruza y el promedio de todas las cruza con el promedio de cada progenitor; ilustra la aptitud combinatoria específica de las cruza estudiadas, de acuerdo al siguiente modelo:

$$S_{jj'} = Y_{jj'} + \frac{n}{n-2} Y_c - \frac{n-1}{n-2} (\bar{Y}_h + \bar{Y}_{h'})$$

Suma de efectos ($V_{jj'}$); con base en los efectos presentados anteriormente, se realizó una suma de efectos que fue calculada con la media varietal y los efectos específicos, de acuerdo al modelo siguiente:

$$V_{jj'} = \bar{Y}_v + \frac{1}{2} (V_j + V_{j'}) + \bar{h} + h_j + h_{j'} + S_{jj'}$$

RESULTADOS Y DISCUSION

Rendimiento de grano

En el Cuadro 1 se presenta el análisis de varianza de los efectos que influyen en la expresión del material utilizado. Se observan diferencias significativas para los factores de variación: Materiales, variedad, cruza y heterosis específica. Los efectos de heterosis promedio y heterosis varietal no mostraron significancia estadística, por lo que se deduce que estos últimos no influyeron en la expresión del rendimiento.

La significancia del factor materia-

les pudo deberse a la gran amplitud de variación para rendimiento entre las poblaciones y/o cruzas estudiadas, que osciló entre 1330 y 3928 kg/ha (Cuadro 2). Además, al descomponer este factor de variación en variedades y cruzas, se observan diferencias en cuanto a su valor de F y nivel de significancia, que sugiere que la respuesta de las cruzas puede estar influyendo en mayor medida que la de variedades. Bajo el supuesto que el factor variedad representa la porción genética aditiva y el factor cruza la no aditiva, se puede interpretar que en las cruzas estudiadas existen considerables efectos no aditivos que pueden ser explotados mediante esquemas de selección recurrente recíproca y de hibridación, que permiten capitalizar los efectos no aditivos de las poblaciones, como lo sugieren Comstock *et al.* (1949).

Respecto a la descomposición del factor de variación cruza en los diferentes tipos de heterosis, se observa que sólo la heterosis específica resultó significativa, lo cual sugiere que existen cruzamientos específicos que pueden ser utilizados para formar híbridos de alto rendimiento derivados de estas poblaciones precoces.

Como se puede observar en el Cuadro 3, las poblaciones con mayor efecto varietal fueron V-424, PABG Precoz y Pool 16 que fueron las de mayor rendimiento; sin embargo, al analizar su comportamiento mediante sus cruza con otros materiales, se observó poco efecto de heterosis varietal (h_j), como también se verá más adelante.

Respecto al efecto de heterosis ($h_{jj'}$) (Cuadro 4), existen cruza individuales tales como TH BCP 82 x NLVS-30, PABG Precoz x NLVS-30 y Pool 15 x NLVS-30, que aunque muestran alto grado de heterosis, debe co-

nocerse también su comportamiento en forma más específica, mediante los parámetros que resultan de subdividir la heterosis, para así lograr una mejor interpretación de dicho efecto.

El valor de heterosis promedio ($\bar{h}$) fue 186.6 kg/ha; aunque hubo cruzamientos que no superaron a sus progenitores.

La heterosis varietal (h_j) puede ser un indicador de aptitud combinatoria general; por tanto, permitiría identificar genotipos para utilizarlos como "probadores". Sin embargo, debido a que en este estudio h_j no fue significativo, el Cuadro 5 sólo se presenta para dar una idea de la variación de los genotipos, destacando que TH BCP-82 y Pool 15 fueron los que presentaron valores más altos en este efecto.

La heterosis específica ($S_{jj'}$), que ilustra la aptitud combinatoria específica, se presenta en el Cuadro 6 donde se observa que las cruza de Pool 15 x Zapalote Chico y V-424 x Comp. Precoz C₂, son las que poseen una alta probabilidad de obtener buenos híbridos mediante esquemas de selección recurrente recíproca. Sin embargo, debido a las condiciones limitantes en que se sembraría este tipo de cultivares, no se vislumbra que los híbridos precoces tengan aplicación práctica a corto plazo, por la necesidad de comprar semilla cada año, lo cual no sucedería con las variedades. No obstante, esta información permite definir patrones heteróticos que pueden explotarse mediante otros métodos de aprovechamiento de la variación no aditiva, como son las variedades sintéticas.

Según la información del Cuadro 7, la mejor cruza fue Pool 15 x PABG Precoz, por ser la que mostró un mejor rendimiento de heterosis es-

Cuadro 1. Resultados del análisis de varianza del dialélico, para rendimiento de grano (kg/ha).

Factor de variación	G.L.	C.M.	F
Material	35	558017.8	2.29**
Variedades	(7)	1260479.7	5.18*
Cruzas	(28)	14903459.4	61.33**
Het. prom.	(1)	217045.0	0.89
Het. var.	(7)	245669.5	1.01
Het. esp.	(20)	2051679.7	8.44**
Error	105	243009.5	

Cuadro 2. Rendimiento de grano (kg/ha) del dialélico con germoplasma precoz.

Variedades	Pool 15	Pool 16	TH BCP-82	V-424	PABG Precoz	NLVS-30	Zapalote Chico	Comp. Precoz	Yh	$\bar{Y}_h$	Yj
Pool 15	2772	3252	3240	3238	3640	3072	2489	3270	22201	3171.57	24973
Pool 16		3372	3431	3409	2457	3328	2115	3100	21142	3020.29	24514
TH BCP-82			3285	3712	3373	3928	3294	2883	23911	3415.86	27196
V-424				3796	2979	3325	2582	3538	22783	3254.71	26579
PABG Precoz					3385	3525	2463	2847	20284	2897.71	23669
NLVS-30						1330	1990	2151	21319	3045.57	22649
Zap. Chico							1781	1714	16647	2378.14	18423
Comp. Prec. C ₂								2612	18503	2643.28	21115

Yh = Suma de las cruas de un progenitor.

Yh = Media de las cruas de un progenitor.

Yj = Suma de las cruas de un progenitor más el progenitor.

Cuadro 3. Efecto varietal (B_j) de las variedades precoces estudiadas.

Variedad	Cálculo	Vj
1 V-424	3796-2792	1004
2 PABG Precoz	3385-2292	593
3 Pool 16	3372-2792	580
4 TH BCP 82	3285-2792	493
5 Pool 15	2772-2792	-19
6 Comp. Precoz	2612-2792	-179
7 Zapalote chico	1781-2792	-1010
8 NLVS-30	1330-2792	-1462

Cuadro 4. Valores del efecto de heterosis (h_{jj}') de las cruas estudiadas.

Variedad	Pool 15	Pool 16	BCP-82	V-424	PABG Precoz	NLVS-30	Zapalote Chico	Comp. Precoz
Pool 15		180.0	211.5	-46.0	561.5	1021.0	212.5	578.0
Pool 16			152.5	-175.0	-921.5	977.0	-461.5	108.0
TH BCP-82				171.5	38.0	1620.0	761.0	-65.5
V-424					-611.5	762.0	-206.5	334.0
PABG Precoz						1167.5	-120.0	-1151.5
NLVS-30							434.5	180.0
Zapalote Chico								-482.5
Comp. Precoz C ₂								

Cuadro 5. Efectos de heterosis varietal (h_j)

Variedad	h_j
1 TH BCP-82	265.13
2 Pool 15	235.81
3 V-424	-178.92
4 Zapalote Chico	-197.00
5 Pool 16	-241.19
6 Comp. Precoz R.B.	-303.29
7 PABG Precoz	-391.11
8 NLVS-30	-652.21

Cuadro 6. Valores de heterosis específica ($S_{jj'}$) de las cruas estudiadas.

Variedad	Pool 15	Pool 16	BCP-82	V-424	PABG Precoz	NLVS-30	Zap. Chico	Comp. Precoz C ₂
Pool 15		40.63	-430.22	-245.29	570.82	168.69	909.32	495.96
Pool 16			-13.74	101.52	-436.69	262.79	-175.98	501.45
TH BSP-82				-54.67	20.45	-272.06	544.15	174.41
V-424					-186.62	-12.13	19.08	667.52
PABG Precoz						601.98	314.20	-609.36
NLVS-30							-330.31	-476.87
Zapalote Chico								-139.65
Comp. Precoz C ₂								

pecífica, además de que ambos progenitores poseen una buena variabilidad genética, por lo que esta cruz sería recomendable para iniciar un esquema de selección recurrente recíproca. También se puede observar que las poblaciones TH BCP-82 y V-424 son las que se presentaron con mayor frecuencia en las cruzas sobresalientes.

Precocidad

En el Cuadro 8 se presentan los días a floración masculina, el porcentaje de materia seca del grano al momento de la cosecha y el rendimiento de grano en kg/ha, en cada uno de los progenitores del dialélico, así como el valor promedio de sus cruzamientos. La media de los días a floración de los progenitores fue de 53 días, siendo los progenitores más precoces Zapalote Chico (49 días), TH BCP-82 (51 días) y Pool 15 (52 días) y los genotipos relativamente más tardíos V-424, Comp. Precoz C₂ y NLVS-30 con 54, 54 y 56 días, respectivamente. La ausencia de una relación estrecha entre la precocidad y el rendimiento pudo deberse a la poca variación de la precocidad entre los genotipos y a la diversidad de procedencia, tanto geográfica como genética de las variedades, lo que posiblemente influyó en su adaptación al ambiente de evaluación. Con respecto a las cruzas, éstas registraron un promedio de 52 días a floración, siendo los cruzamientos más precoces los de Zapalote Chico, Comp. Precoz C₂ y Pool 15.

En lo que se refiere al porcentaje de materia seca al momento de la cosecha, se registró en los progenitores un promedio de 79%, siendo los genotipos Zapalote Chico y Comp. Precoz C₂ los que registraron el valor máximo para esta variable, con-

firmando así que son los genotipos más precoces y ratificando la estrecha relación entre los días a floración con el porcentaje de materia seca; ambas variables indicadoras de la precocidad, como lo sugiere Sierra (1983). En las cruzas, las más precoces fueron las formadas con Zapalote Chico y Comp. Precoz C₂.

Se observa que existen variedades y cruzas con niveles de precocidad aceptables para las condiciones de escasa precipitación en temporal o bien en siembras de tonalmil, lo que representa un potencial de utilización práctica en grandes áreas agrícolas de la zona cálido-húmeda del país.

CONCLUSIONES

De las poblaciones evaluadas, V-424 y PABG precoz presentaron los mayores valores de efecto varietal, considerándose las más adecuadas para aprovechar la porción aditiva de la varianza genética. Las cruzas Pool 15 x Zapalote Chico y V-424 x Compuesto Precoz C₂, mostraron la mayor ACE representada por la heterosis específica. El TH BCP-82 fue el que presentó los valores más altos de heterosis varietal. La cruz de Pool 15 x PABG Precoz mostró la mayor suma de efectos, por lo que puede usarse en la selección recurrente recíproca. El nivel de precocidad registrado por los materiales es aceptable para áreas de escasa precipitación en temporal o bien en siembras de tonalmil.

BIBLIOGRAFIA

- Comstock, R.E., H.F. Robinson, and P.H. Harvey. 1949. A breeding procedure designed to make maximum of both general and specific combining ability. *Agron. J.* 41:360-367.

Cuadro 7. Suma de efectos (ΣY_{jj}) de los mejores cruzamientos.

No. de orden	Cruza	Suma de efectos
1	Pool 15 x PABG Precoz	3608.8
2	V-424 x Comp. Precoz C ₂	3577.1
3	V-424 x TH BCP-82	3572.0
4	Pool 16 x TH BCP-82	3525.5
5	V-424 x Pool 16	3452.2
6	PABG Precoz x TH BCP-82	3416.3
7	Pool 15 x Zapalote Chico	3411.4
8	TH BCP-82 x Zapalote Chico	3332.1

Cuadro 8. Evaluación de la precocidad en un dialélico de variedades precoces de maíz.

Genealogía	M.S. a la cosecha (%)		Días a flor		Rend. (kg/ha)	
	Prog.	$\bar{x}$ cruza	Prog.	$\bar{x}$ cruza	Prog.	$\bar{x}$ cruza
Pool 15	76	77	52	51	2772	3172
Pool 16	79	79	53	52	3372	3020
TH BCP-82	78	79	51	52	3285	3415
V-424	77	78	54	53	3796	3255
PABG Precoz	77	79	53	53	3385	2898
NLVS-30	78	80	56	53	1330	3046
Zap. Chico	84	82	49	51	1781	2378
Comp. Prec. C ₂	82	81	54	51	2612	2643
Promedio	79	79	53	52	2791	2978

Gardner, C.O. and S.A. Eberhart. 1966. Analysis and interpretation of the variety cross diallel and related populations. *Biometrics* 22: 439-452.

González D., L. 1974. Estructura de dos poblaciones de maíz (*Zea mays* L.) y posibilidades de seleccionar genotipos superprecoces de alto rendimiento. Tesis de Maestría en Ciencias, C.P. Chapingo, Méx.

Poehlman, M.J. 1971. Mejoramiento Genético de las Cosechas. Ed. Limusa-Viley, S.A. Méx. p. 286-287.

Sierra M., M. 1983. Trasferencia de genes de enanismo en variedades precoces de maíz (*Zea mays* L.) de clima caliente seco. Tesis de Maestría en Ciencias. ITESM, Monterrey, N.L. México.

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