Rev. Fitotec. Mex. 18: 123-139. 1995

HETEROSIS Y APTITUD COMBINATORIA EN GERMOPLASMA DE MAIZ DE VALLES ALTOS

HETEROSIS AND COMBINATORY APTITUD IN GERMOPLASM OF HIGH VALLEYS CORN

Surinder Kumar Vasal, Ganesan Srinivasan, Narciso Vergara Avila[1] y Fernando González Ceniceros[2]

RESUMEN

Doce "pooles" y poblaciones de maíz (*Zea mays* L.) de valles altos, desarrollados por CIMMYT e INIFAP, fueron usados en cruzas dialélicas para determinar la heterosis que muestran en cruzas y su aptitud combinatoria. Las cruzas y sus progenitores fueron evaluados en cuatro ambientes; dos durante 1988 en El Batán y Toluca (México) y dos durante 1989 en El Batán, México y en Santa Catalina, Ecuador. El análisis se realizó por localidad, y la aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE) se determinó por grupo de madurez. 1) En El Batán, el pool 12A tuvo el máximo rendimiento (7.19 t/ha) superando significativamente a la mayoría de los progenitores con excepción del pool 13A (6.00 t/ha) y de las poblaciones precoces 85 (6.17 t/ha) y 86 (5.88 t/ha). Entre los materiales precoces, Pob. 85, Pob. 86 y PPA tuvieron la mejor ACG para rendimiento, pero todos ellos tendieron a producir progenies más tardías. De las cruzas entre materiales tardíos y tardío x precoz, el pool 12A tuvo la mejor ACG para rendimiento. La heterosis entre las mejores cruzas varió de -8.6%, en el Pool 12A x PABG, a 18.2% en Pool 10A x PABG. La mejor cruza entre materiales blancos-tardíos fue Pob.87 x Pool 12A (7.38 t/ha) aunque su heterosis fue de sólo 2.7% con un valor alto de ACE (0.55 t/ha). La mejor cruza de grano amarillo fue Pob.88 x Pool 13A (6.69 t/ha) con una heterosis de 11.6% y 0.45 t/ha de ACE. 2) En Toluca, el testigo H-32 superó en rendimiento (7.93 t/ha) a todas las cruzas y progenitores, seguido de Amarillo Zanahoria, el cual tiene una adaptación excelente a las condiciones de esa localidad. Las mejores cruzas tuvieron como uno de sus progenitores a Amarillo Zanahoria, PPA o PTH, los cuales presentaron los mejores rendimientos *per se* y fueron los de mejor ACG para rendimiento. Las cruzas con mayor heterosis fueron Pool 11A x PTH con 13.3% y ACE de 0.80 t/ha y Pool 13A x PTH con 14.3% de heterosis y ACE de 0.20 t/ha. 3) En Santa Catalina el mejor testigo local superó significativamente a los doce padres incluidos en el estudio y fue de 13 a 49 días más tardío que ellos. La heterosis en esta localidad fue alta (>20%) debido al rendimiento bajo de los progenitores. La cruza Pool 12A x PABG, con 24.3% de heterosis y buena ACE para rendimiento (0.70 t/ha), fue la mejor con padres del mismo color de grano y precocidad. Ambos padres tuvieron resistencia a la roya común (*P. sorghi*) y al tizón foliar por (*H. turcicum*). En las tres localidades, varias de las cruzas más sobresalientes incluyeron el patrón heterótico de Cónico x Chalqueño y la mayoría de estas cruzas involucraron padres de diferente precocidad y color de grano lo cual limita su uso en un programa de hibridación. Sin embargo, algunas combinaciones parecen prometedoras para la extracción de líneas y formación de híbridos.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES

Maíz de Valles Altos, heterosis, aptitud combinatoria.

SUMMARY

Twelve highland maize (*Zea mays* L.) pools and populations developed by CIMMYT and INIFAP were crossed in a diallel mating system to determine their heterosis and combining ability. Crosses and their parents were evaluated in four environments; two during 1988 in El Batán and Toluca, México, and two during 1989 in El Batán and Santa Catalina, Ecuador. A separate analysis was made for each location due to the strong genotype x environment interaction, and general (GCA) and specific (SCA) combining ability effects were calculated by maturity

[1] CIMMYT, Lisboa 27, Apdo. Postal 6-641, México, D.F.

[2] Semillas Híbridas DEKALB, México.

Fecha de recepción: 21 de junio de 1993

group. 1) In El Batán, Pool 12A had the highest yield (7.19 t/ha) and was significantly superior to most of the parents, with the exception of Pool 13A (6.00 t/ha) and the early Populations 85 (6.17 t/ha) and 86 (5.88 t/ha). Among the early materials, Pob. 85, Pob. 86 and PPA had the highest GCA effects for yield and tended to produce progenies with later maturity. Pool 12A had the highest GCA effects for yield among the late maturity group and also among the crosses of late x early materials. High parent heterosis for yield among the best crosses ranged from -8.6% in Pool 12A x PABG to 18.2% in Pool 10A x PABG. The best cross among late white materials was Pob.87 x Pool 12A (7.38 t/ha), although heterosis was only 2.7% with 0.55 t/ha of SCA for yield. Best cross with yellow grain was Pob.88 x Pool 13A (6.69 t/ha) with yield heterosis of 11.6% and 0.45 t/ha of SCA effect. 2) In Toluca, the local check H-32 outyielded (7.93 t/ha) all crosses and their parents, followed by Amarillo Zanahoria that has excellent adaptation to Toluca conditions. The best crosses in this location involved Amarillo Zanahoria, PPA or PTH. These three parents had good yield *per se* and the highest GCA effects in the early group. The crosses with the highest yield heterosis were Pool 11A x PTH with 13.3% heterosis and 0.80 t/ha of SCA, and Pool 13A x PTH with 14.3% heterosis and 0.20 t/ha of SCA. 3) In Santa Catalina, the best local check yielded significantly better than the twelve parents in the study, but also was 13-49 days later in days to silk. Heterosis in this location was high (>20%) due to the relatively poor yield of the parents. Pool 12A x PABG was the best cross with 24.3% heterosis and SCA of 0.70 t/ha. Both parents have the same grain color and maturity, and were resistant to common rust (*P.sorghi*) and leaf blight (*H. turcicum*). In the three locations, several of the best crosses involved the heterotic pattern of Cónico x Chalqueño, and the majority of these crosses involved parents with different maturity and grain color, which limits their potential use in a hybrid program. However, parents of outstanding combinations offer possibilities for line extraction for hybrid formation.

ADDITIONAL INDEX WORDS

Highland maize, heterosis, combining ability.

INTRODUCCION

El maíz (*Zea mays* L.) se siembra en más de 6 millones de hectáreas en lugares con elevaciones superiores a los 1800 msnm en los países en desarrollo (CIMMYT, 1988). En México, se siembran 2.8 millones de ha en los valles altos, la mayor parte con maíces de grano blanco, de madurez precoz y tardía. Casi el 74% del área total de maíz en México es sembrada con variedades criollas, el 11% con variedades mejoradas de polinización libre y el 15% con híbridos (CIMMYT, 1990). En los valles altos, más del 95% del área destinada a maíz se siembra con variedades no mejoradas (CAEVAMEX, 1982). Desde sus inicios en 1966, el programa de maíz del CIMMYT ha desarrollado y mejorado varios "pooles" o complejos genéticos y poblaciones adaptadas a condiciones de valles altos. Los pooles son compuestos que poseen una amplia variabilidad genética en cuanto a características agronómicas y de resistencia a diferentes enfermedades. Las poblaciones, aunque de amplia base genética, representan la fracción superior de sus pooles correspondientes, y poseen características más definidas de tipo de grano, adaptación y atributos agronómicos. Por su parte, el programa nacional en México (conducido por el antiguo Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas -INIA-, actual Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias -INIFAP-) tiene un proyecto orientado a formar variedades mejoradas e híbridos de maíz para valles altos desde 1944 (Reyes, 1980). Debido al creciente interés mostrado por varios países de Centro y Sudamérica por producir híbridos, el CIMMYT inició un programa de hibridación de maíz en 1985. Sin embargo, ante la escasa información sobre los patrones heteróticos de las poblaciones de maíz bajo mejoramiento para valles altos, se planteó el presente estudio cuyos objetivos son: (1) Determinar posibles patrones heteróticos en el germoplasma disponible para condiciones de valles altos, incluyendo las poblaciones y pooles de CIMMYT y materiales generados por el INIFAP (Campo Experimen-

tal del Valle de México); (2) Determinar la aptitud combinatoria general y específica de este germoplasma para rendimiento y otras características agronómicas; y (3) Identificar germoplasma apropiado para ser usado en un programa de hibridación.

REVISION DE LITERATURA

La evolución del programa de maíz del CIMMYT para valles altos y sus estrategias de mejoramiento han sido revisadas en detalle por Lothrop (1990a). Durante la década de los 70's, se desarrollaron 14 pooles de maíz para valles altos, cada uno con una amplia base genética. Estos pooles abarcan varios grupos de madurez, color y tipo de grano. Como aproximadamente el 92% del maíz que se cultiva en los valles altos es de grano con endospermo duro, el CIMMYT está mejorando maíces de este tipo de endospermo para los valles altos de México y de otras partes del mundo, incorporando germoplasma de maíces tropicales y subtropicales en el germoplasma de valles altos. Actualmente se cuenta con cuatro poblaciones de grano duro (Pobs. 85, 86, 87 y 88) y sus pooles correspondientes en cuanto a madurez y color de grano (Pooles 10A, 11A, 12A, y 13A) donde se está aplicando la selección recurrente de hermanos completos (Lothrop, 1990b).

Es difícil obtener líneas endogámicas a partir de germoplasma para valles altos. Lothrop (1990a) menciona que este germoplasma tiene una fuerte "carga genética" y problemas de asincronía floral, por lo que no toleran niveles de homocigosis superiores a 0.875 (S_3). En México, hasta 1989 casi todos los híbridos comerciales estaban formados con líneas de bajo nivel de endogamia; sin embargo, en el CIMMYT se han podido desarrollar líneas S_4-S_6 vigorosas gracias al mejoramiento para tolerancia a la endogamia, al reciclaje de líneas, y a la incorporación de germoplasma exótico de origen templado, tropical y subtropical. El programa de maíz del CIMMYT para valles altos ha puesto énfasis en seleccionar en contra del amacollamiento, de la producción de varias mazorcas en un solo nudo y del acame de raíz, además de incrementar el rendimiento de grano y tratar de mejorar la tolerancia al frío.

La aptitud combinatoria del germoplasma tropical de maíz del CIMMYT ha sido estudiada por Crossa *et al.* (1990a), Beck *et al.* (1990) y por Vasal *et al.* (1992a), y para el germoplasma subtropical por Beck *et al.* (1991) y Vasal *et al.* (1992b). En cambio, hay poca información acerca de heterosis y aptitud combinatoria en germoplasma de valles altos. En México, Valdivia (1990) identificó al grupo heterótico Mich. 21 x V-23 (Huamantla), el cual está siendo mejorado siguiendo un método de selección recurrente recíproca que utiliza hibridación clásica. En Kenia, se han identificado y mejorado dos grupos heteróticos para las áreas de altura, que involucran Kitale-II y Ecuador 573 (Darrah *et al.*, 1972). Por otra parte, Crossa *et al.* (1990b) presentaron información acerca de los patrones heteróticos entre las razas de maíz de México y concluyen que a elevaciones altas las razas Cónico, Cónico Norteño y Chalqueño tuvieron un alto rendimiento *per se* y en cruzas, mientras que Cacahuacintle y Maíz Dulce tuvieron alto rendimiento en cruzas, pero un bajo rendimiento *per se*.

MATERIALES Y METODOS

Doce fuentes de germoplasma de maíz adaptado a valles altos fueron seleccionados para formar las cruzas dialélicas (12 x 12) evaluadas en este estudio. La descripción del germoplasma se presenta en el Cuadro 1. Las poblaciones 85, 86, 87 y 88, y sus pooles respectivos 10A, 11A, 12A y 13A, representan el germoplasma adaptado a zonas altas desarrollado por CIMMYT. Se

utilizaron también las poblaciones PTH (Puebla, Tlaxcala e Hidalgo), PPA (Población Precoz de Altura) y PABG (Población de Amplia Base Genética) desarrolladas por el INIFAP (anteriormente INIA) y Amarillo Zanahoria el cual es un criollo local de Toluca, México.

Cuadro 1. Descripción del germoplasma de maíz de valles altos utilizados en este estudio.

Población/ Pool	Descripción
Población 85	Población de maíz blanco semidentado, precoz
Población 86	Población de maíz amarillo semidentado, precoz
Población 87	Población de maíz blanco semidentado, tardía
Población 88	Población de maíz amarillo semidentado, tardía
Pool 10A	Complejo de maíz blanco semidentado, precoz
Pool 11A	Complejo de maíz amarillo semidentado, precoz
Pool 12A	Complejo de maíz blanco semidentado, tardía
Pool 13A	Complejo de maíz amarillo semidentado, tardía
PTH	Población de maíz blanco y amarillo dentado, precoz
PPA	Población de maíz blanco y amarillo, semidentado a semicristalino, precoz
PABG	Población de maíz blanco dentado, tardía
Amarillo Zanahoria	Criollo de Toluca, maíz amarillo rojizo semidentado, precoz

Los doce progenitores fueron cruzados en forma dialélica en El Batán, México, durante el ciclo de verano de 1987. Se utilizó semilla del primer ciclo de selección (C1) de los cuatro pooles y del ciclo cero (C0) en el caso de las cuatro poblaciones del CIMMYT. Para las poblaciones de INIFAP y Amarillo Zanahoria se utilizó la semilla disponible al momento de iniciar el estudio. Se establecieron dos fechas de siembra para procurar efectuar todas las cruzas posibles, tratando de utilizar cuando menos 100 plantas de cada progenitor en cada cruza. A pesar de ello, no se pudo obtener semilla suficiente de ocho de las 66 posibles cruzas. Se hizo una mezcla de semilla de las cruzas directas y sus recíprocas para representar cada combinación. Al mismo tiempo se incrementó la semilla de los progenitores por medio de cruzas fraternales (planta a planta).

Los doce progenitores, 58 de sus cruzas, más once testigos, de los cuales nueve fueron variedades experimentales de las poblaciones 85, 86, 87 y 88 y dos fueron testigos híbridos locales adaptados a los valles altos, fueron evaluados utilizando un diseño experimental de látice triple 9 x 9. El ensayo se sembró en cuatro localidades durante 1988-89. En 1988, se sembró en El Batán, México (2249 msnm, 19°31' Lat. N, 98°52' Long. O) y Toluca, México (2640 msnm, 19°17' Lat. N, 98°39' Long. O). En 1989, los ensayos se sembraron en las localidades de El Batán y Santa Catalina, Ecuador (2790 msnm, 0°23' Lat. N, 78°31' Long. O). Cabe mencionar que en Ecuador se consume más el maíz de tipo harinoso y morocho, sin embargo, se decidió sembrar en esa localidad por representar otro ambiente de valles altos, además de que aproximadamente el 25% del maíz sembrado en ese país es de tipo semidentado.

La parcela experimental consistió en dos surcos de 5 m de longitud espaciados a 0.75 m. Se sembraron 3 semillas/mata, dejándose sólo dos plantas/mata con una distancia entre matas de 0.50 m para obtener una densidad de población de 53,333

plantas/ha. Se registraron datos para las variables días a floración femenina (días desde la siembra hasta que el 50% de las plantas de la parcela mostraba la emisión de estigmas), altura de planta (en cm, de la superficie del suelo hasta donde se inicia la ramificación de la espiga), altura de mazorca (en cm, de la superficie del suelo al nudo de la mazorca superior), peso de campo en mazorca (kg), y porcentaje de humedad al momento de cosecha. El rendimiento de grano (t/ha) se calculó usando el peso de mazorca a la cosecha, suponiendo 80% de desgrane y ajustando el peso al 15.5% de humedad. También se registraron datos de aspecto de mazorca usando una escala de 1 a 5, siendo 1 buena calidad y 5 muy mala calidad, donde se involucró la presencia de pudriciones, llenado de mazorca, uniformidad de mazorca, mala cobertura y daño causado por insectos. También se evaluó la presencia de enfermedades, usando una escala de 1 a 5, siendo 1 muy resistente y 5 muy susceptible.

En cada localidad, la eficiencia del diseño de látice varió entre 5 y 10%, por lo que finalmente los datos de rendimiento de grano, días a floración femenina y altura de planta fueron analizados como bloques completos al azar para cada localidad y para el análisis combinado. Donde procedió un análisis combinado, los efectos de localidad fueron considerados aleatorios mientras que los efectos de genotipo se consideraron fijos.

Se utilizó el método 2, modelo I de Griffing (1956) para obtener los estimadores de aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE) para los progenitores y sus cruzas. La varianza total para genotipos se descompuso ortogonalmente por el método de cuadrados mínimos para estimar la comparación padres vs cruzas, con un grado de libertad, la cual es una prueba de heterosis promedio.

El comportamiento para rendimiento y días a floración de las ocho cruzas faltantes se predijo utilizando el método propuesto por Eckhardt (1951). Los valores estimados de rendimiento se promediaron junto con los rendimientos de las otras cruzas para obtener un estimador de ACG que fuera más confiable y preciso. Después de la predicción de las cruzas faltantes, los efectos de ACG para rendimiento y días a floración y de ACE para rendimiento, se calcularon primero para el dialelo completo (12 x 12). Sin embargo, como los padres mostraron amplias diferencias en madurez se decidió agruparlos en tardíos, precoces e intermedios. Cinco progenitores, Pobs. 87 y 88, pool 12A y 13A y PABG se consideraron tardíos. Los siete progenitores restantes se clasificaron como precoces e intermedios. Por consiguiente, los 5 progenitores tardíos y sus diez cruzas se analizaron por separado como un dialelo 5 x 5; por otro lado, los siete padres precoces e intermedios y sus 21 cruzas fueron analizados como un dialelo 7 x 7. Las cruzas restantes se analizaron como un sistema de apareamiento del diseño II de Carolina del Norte entre los cinco tardíos y los siete progenitores precoces restantes. El diseño II fue analizado de acuerdo al modelo de línea x probador de Kempthorne (1957). Este tipo de análisis estratificado de los progenitores y sus cruzas, basado en su grupo de madurez, eliminó la ventaja inherente de los materiales tardíos sobre los materiales precoces, cuando ambos son evaluados en el mismo experimento.

Las pruebas de F en ANOVA de los efectos principales, tales como genotipos y sus componentes, fueron realizados usando como denominador sus respectivas interacciones con localidades; las demás interacciones se probaron usando como denominador el error combinado. La prueba de hipótesis para ACG se realizó de acuerdo al procedimiento descrito por Martínez (1983), comparando

el cuadrado medio (CM) de ACG contra CM(ACE) + CM(ACGxLoc.) - CM(ACExLoc.) y el CM de ACE con la interacción ACExLoc. Los efectos de ACG y ACE se probaron usando la prueba de t, calculando los respectivos errores stándard de acuerdo a las fórmulas descritas por Singh y Chaudhary (1985). La heterosis para rendimiento de grano se calculó en relación al mejor progenitor y se expresó en porcentaje.

RESULTADOS Y DISCUSION

El germoplasma de valles altos se caracteriza por tener una marcada interacción de genotipo x ambiente. En este estudio, los genotipos mostraron un patrón de comportamiento muy diferente en El Batán, comparado con Toluca o Santa Catalina. En general, las localidades de El Batán y Toluca tuvieron el mismo potencial de rendimiento, sin embargo, los rendimientos promedios de todos los genotipos en Santa Catalina fueron considerablemente más bajos (Cuadro 2). Se notó una diferencia marcada para días a floración entre las tres localidades. En Batán, la floración ocurrió en promedio a los 81 días, mientras que en Santa Catalina y Toluca la floración ocurrió a los 101 y 112 días, respectivamente. Estos resultados concuerdan con las observaciones de Lothrop (1990b), quien menciona que una variedad adaptada a El Batán, al sembrarse en Toluca incrementa sus días a floración y a cosecha de 25 a 30 días. La altura de planta también fue diferente en las tres localidades, con un promedio de 172 cm en Sta. Catalina, 194 cm en Toluca y 225 cm en el Batán. Los datos de Sta. Catalina indican que los pooles y poblaciones con más alto rendimiento fueron también los que mostraron mayores niveles de resistencia a *H. turcicum* (r= -0.25 NS), a *P. sorghi* (r= -0.54 *) y a otra enfermedad foliar, probablemente *Cercospora zeae-maydis* (r= -0.70**), a juzgar por las correlaciones negativas entre rendimiento y susceptibilidad a enfermedades foliares. Esto sugiere que el bajo rendimiento de las poblaciones de CIMMYT se debe en parte a la susceptibilidad a estas enfermedades, lo cual puede ser el resultado de la incorporación de material exótico.

Debido a lo contrastante del comportamiento de los materiales incluidos en este estudio, se procedió a hacer el análisis por localidad, combinando sólamente los datos colectados de los dos años en El Batán.

Cuadro 2. Medias de rendimiento y caraterísticas agrónomicas de los genotipos, en cada localidad.

Localidad	Rendimiento (t/ha)	Floración femenina (días)	Altura planta (cm)	Altura mazorca (cm)	*Helmintosporium turcicum* (1-5)	*Puccinia sorghi* (1-5)
Sta. Catalina	4.26	101	172	88	2.8	2.6
Batán (1988)	5.35	79	240	129	-	-
Batán (1989)	5.78	83	211	112	-	-
Toluca	5.47	112	194	95	-	-
Combinado	5.22	94	204	106		

El Batán, México

La respuesta observada en los dos ambientes de El Batán fue muy semejante para rendimiento y días a floración y sólo se detectaron diferencias significativas para altura de planta (Cuadro 3). La altura de planta se redujo 20 cm, en promedio, de 1988 a 1989. Debido a las diferencias de madurez de los materiales incluidos en el estudio, los cuadrados medios para genotipos y sus componentes (cruzas, padres) mostraron diferencias significativas para todas las variables; sin embargo, el contraste entre cruzas vs padres no fue significativo para carácter alguno, lo que indica que la heterosis promedio entre los progenitores usados no fue importante. La interacción genotipo x ambiente sólo fue significativa para rendimiento, mas no para días a floración y altura de planta. Se observaron diferencias significativas para ACG y ACE para todas las variables. En todos los casos, la proporción de ACG/ACE fue grande, lo que indica la importancia de efectos aditivos en la determinación de las tres características. La interacción ACG x ambiente fue significativa para todas las variables, lo cual no ocurrió con la interacción de ACE x ambiente.

El pool 12A registró el máximo rendimiento promedio de dos años (7.19 t/ha), superando significativamente a la mayoría de los progenitores y al testigo local H-129 (5.73 t/ha; Cuadro 4). Entre las poblaciones del CIMMYT, Pob. 85 y Pob. 86, que son precoces tuvieron rendimientos ligeramente superiores a las poblaciones 87 y 88 que son 11-12 días más tardías. Sin embargo, El pool 12A y el pool 13A (6.00 t/ha), rindieron más que los pooles precoces 10A (5.01 t/ha) y 11A (4.02 t/ha), aunque fueron también casi 15 días más tardíos. PABG (5.82 t/ha) fue la de mejor rendimiento entre los materiales de INIFAP, seguido por PPA (5.12 t/ha) y PTH (4.82 t/ha). Estos dos últimos con madurez semejante a las poblaciones precoces de CIMMYT. Amarillo Zanahoria, con madurez semejante al Pool 10A, tuvo el más bajo rendimiento (3.37 t/ha) mostrando así su adaptación específica a las condiciones de Toluca. Inexplicablemente, el híbrido H-32 tuvo un rendimiento bajo (3.72 t/ha) en esta localidad.

Tres poblaciones que tuvieron efectos positivos de ACG para rendimiento, aunque no significativos, fueron la Pob. 85 (0.64 t/ha) y Pob. 86 (0.66 t/ha), así como PPA (0.14 t/ha; Cuadro 5). Las tres poblaciones produjeron progenies más tardías, especialmente PPA que tuvo un efecto significativo de ACG para días a floración. Entre las cruzas de material tardío, solamente el Pool 12A tuvo un efecto positivo (0.59 t/ha) de ACG para rendimiento, pero produjo también progenies más tardías y registró el máximo valor de ACG para rendimiento (0.66 t/ha) en las cruzas de material precoz x tardío. En el mismo Cuadro 5 se incluyen los efectos de ACG para rendimiento y días a floración del dialelo completo (12 x 12), para hacer notar las diferencias que se produce al no analizar los progenitores por grupo de madurez.

La heterosis entre las mejores cruzas varió de -8.6% en Pool 12A x PABG a 18.2% en la cruza Pool 10A x PABG (Cuadro 6). Todas las cruzas que incluyeron al pool 12A tuvieron niveles de heterosis muy bajos debido al alto potencial de rendimiento de este pool. La cruza Pool 12A x Am. Zanahoria mostró el efecto más alto de ACE para rendimiento (0.95 t/ha), aunque la heterosis fue de solo 0.4%. Varias de las mejores cruzas incluyeron padres con diferente color de grano y precocidad, lo cual limita su potencial práctico en un programa de hibridación. Entre los materiales blancos, la cruza Pool 10A x PABG tuvo una heterosis de 18.2% y efectos positivos de ACE (0.49 t/ha) para rendimiento; sin embargo, como ésta es una cruza precoz por tardío, queda aún la duda

Cuadro 3. Análisis de varianza para rendimiento, días a floración y altura de planta para doce pooles y poblaciones, y sus cruzas evaluadas durante 1988 y 1989 en El Batán, México.

Fuente de varianza	GL	Cuadrados medios		
		Rend. (t/ha)	Días a flor.	Alt. planta (cm)
Loc.	1	22.02	1511.2	102268.5*
Rep (Loc.)	4	25.92	222.7	6244.2
Genotipos	80	4.91**	202.2**	1529.7**
Cruzas & Padres	69	4.89**	173.6**	1214.5**
ACG[1]	11	8.87*	339.4**	2194.2**
ACE[1]	66	0.47**	10.7**	101.7**
Cruzas	57	4.63**	154.3**	1018.8**
Padres	11	6.11**	287.9**	2287.6**
Cruzas vs. Padres	1	5.85	18.9	568.3
Testigos	10	4.02	413.9**	3467.7**
Testigos vs. Cruzas y Padres	1	15.77	59.8	3894.2
Genotipo x Loc.	80	1.86**	6.3	95.2
Cruzas & Padres x Loc.	69	1.74**	4.9	95.3
ACG x Loc.[1]	11	2.7**	3.3**	58.8*
ACE x Loc.[1]	66	0.24	1.2	23.8
Cruzas x Loc.	57	1.84**	4.6	95.3
Padres x Loc.	11	1.34*	3.9	101.7
Cruzas vs. Padres x Loc.	1	0.28	32.4*	23.9
Testigos x Loc.	10	2.85**	16.6**	100.7
Testigos vs. Cr. & Padres x Loc.	1	0.10	1.1	31.9
Error Combinado	320	0.62	5.4	102.4

*, ** Significativo al 5 y 1% de probabilidad.

[1] Los cuadrados medios para aptitud combinatoria y su interacción con ambiente fueron calculados usando el dialelo completo, incluyendo las cruzas faltantes.

Cuadro 4. Rendimiento de grano (t/ha), *per se* y en cruzas en tres localidades para los doce pooles y poblaciones de maíz de valles altos.

Pooles y poblaciones	El Batán, 88-89		Toluca		Ecuador	
	Per se	En (1) cruzas	*Per se*	En (1) cruzas	*Per se*	En (1) cruzas
Pob. 85	6.17	5.74	4.92	5.20	4.17	4.53
Pob. 86	5.88	5.77	4.26	5.11	3.50	4.54
Pob. 87	5.47	5.98	2.59	5.26	1.70	4.43
Pob. 88	5.66	6.25	3.50	5.22	2.81	4.30
Pool 10A	5.01	5.67	5.49	5.73	3.69	4.22
Pool 11A	4.02	4.85	5.06	5.63	3.86	4.26
Pool 12A	7.19	6.81	6.81	6.12	4.34	4.93
Pool 13A	6.00	5.79	5.50	5.80	4.62	4.63
PTH	4.82	5.17	5.97	6.41	3.12	4.32
PPA	5.12	5.57	6.76	6.39	4.29	4.73
PABG	5.82	6.12	3.53	4.96	3.83	4.35
Am. Zanahoria	3.37	4.99	7.42	6.44	3.62	4.65
Testigo local 1	3.72 (H-32)		7.93 (H-32)		5.77 (I-180 x I-526)	
Testigo local 2	5.73 (H-129)		5.27 (H-129)		4.14 (I-180 x H-550)	
D.M.S. (0.05)	1.26		0.77		1.12	

(1) Promedio de todas las cruzas con un padre en común.

acerca de la posibilidad de producir híbridos no convencionales donde la hembra no endocriada sea de una población tardía y el macho una línea endogámica de una población precoz. Otras dos cruzas involucrando progenitores precoces y tardíos son el Pool 10A x Pool 12A que tuvo el máximo rendimiento (7.41 t/ha) aunque la heterosis fue de solo 3.1% y 0.37 t/ha de ACE; la otra cruza fue Pob. 85 x PABG con 6.4% de heterosis y 0.27 t/ha de ACE para rendimiento.

Cuatro de las mejores cruzas involucraron padres de la misma madurez y color de grano. La Pob. 87 x Pool 12A fue el segundo lugar en rendimiento (7.38 t/ha) con 2.7% de heterosis, pero con un alto valor de ACE (0.55 t/ha). La mejor cruza de grano amarillo, Pob. 88 x Pool 13A (6.69 t/ha), tuvo una heterosis para rendimiento de 11.6% y un efecto de ACE de 0.45 t/ha; esta cruza podría tener potencial de utilizarse en un programa de hibridación, especialmente si se puede desarrollar líneas de los dos materiales. La cruza Pool 12A x PABG, aunque tuvo un rendimiento de 6.57 t/ha, mostró valores negativos de heterosis y ACE para rendimiento, ya que rindió menos que el pool 12A. La cruza Pob. 87 x PABG tuvo una heterosis de 9.5% y 0.37 t/ha de ACE para rendimiento, lo que indica la posibilidad de obtener buenas combinaciones entre líneas de estas dos poblaciones. Conociendo la amplia base genética de los progenitores en estudio, sería interesante estudiar el potencial de híbridos entre líneas de la misma población, especialmente en aquellas poblaciones que tienen un buen potencial de rendimiento. En materiales tropicales, se sabe que los híbridos interlineales interpoblacionales rinden más que los intrapoblacionales; sin embargo, se han identificado híbridos sobresalientes entre líneas de la misma población (Han *et al.*, 1991).

Cuadro 5. Efectos de aptitud combinatoria general (ACG) para días a floración y rendimiento de grano (t/ha) de las doce fuentes de germoplasma de valles altos evaluados durante 1988 y 1989 en El Batán, México.

Padres	Madurez	Días a floración				Rendimiento (t/ha)			
		Dialelo[1] (12 x 12)	Dialelo[2] (7 x 7) (P x P)	Dialelo[2] (5 x 5) (T x T)	Diseño-2[3] (7 x 5) (P x T)	Dialelo[1] (12 x 12)	Dialelo[2] (7 x 7) (P x P)	Dialelo[2] (5 x 5) (T x T)	Diseño-2[3] (7 x 5) (P x T)
Pob. 85	Precoz	-2.0*	0,4	-	0.9	0.18	0.64	-	0.28
Pob. 86	Precoz	-0.8	1.3	-	2.8**	0.20	0.66	-	0.28
Pob. 87	Tardío	4.0**	-	0.4	0.3	0.22	-	-0.17	-0.29
Pob. 88	Tardío	4.0**	-	0.5	0.2	0.41	-	-0.08	-0.02
Pool 10A	Precoz	-3.6**	-1.1	-	-0.9	-0.20	-0.02	-	0.38
Pool 11A	Precoz	-4.9**	-2.4*	-	-2.0*	-0.83	-0.62	-	-0.30
Pool 12A	Tardío	4.9**	-	1.0	1.5	1.08*	-	0.59	0.66
Pool 13A	Tardío	3.6**	-	0.0	0.0	0.22	-	-0.09	-0.37
PTH	Precoz	-3.0**	0.6	-	-2.1*	-0.51	-0.09	-	-0.36
PPA	Precoz	-0.7	1.9*	-	1.7	-0.19	0.14	-	0.13
PABG	Tardío	1.7	-	-1.9*	-1.9*	0.34	-	-0.24	0.01
Amarillo Zanahoria	Precoz	-3.3**	-0.8	-	-0.5	-0.92	-0.70	-	-0.40

*, ** Significativo al 5 y 1% de probabilidad, respectivamente.

[1] Análisis dialélico (12 x 12) usando el método II de Griffing (1956) incluyendo los doce padres (tardíos y precoces).

[2] Análisis dialélico usando el método II de Griffing (1956) para los padres precoces (7 x 7) y para los padres tardíos (5 x 5) analizados por separado.

[3] Diseño-2 analizado usando el modelo de Kempthorne para cruzas entre padres de los grupos precoz y tardío (7 x 5).

Cuadro 6. Rendimiento, heterosis en relación al mejor padre y aptitud combinatoria específica (ACE) de las mejores cruzas en cada localidad.

Localidad	Cruza	Rendimiento (t/ha)	Heterosis (%)	ACE[1] Rendimiento
El Batán (1988 y 1989)	Pool 10A x Pool 12A	7.41	3.1	0.37
	Pob. 87 x Pool 12A	7.38	2.7	0.55
	Pool 12A x Am. Zanahoria	7.22	0.4	0.95*
	Pob. 88 x Pool 12A	7.18	- 0.2	0.25
	Pool 10A x PABG	6.88	18.2	0.49
	Pob. 88 x Pool 13A	6.69	11.6	0.45
	Pool 12A x PABG	6.57	- 8.6	- 0.19
	Pob. 85 x PABG	6.57	6.4	0.27
	Pob. 86 x PABG	6.52	10.9	0.22
	Pob. 88 x PPA	6.39	12.8	0.28
	Pob. 87 x PABG	6.37	9.5	0.37
	H-32 (Testigo 1)	3.72		
	H-129 (Testigo 2)	5.73		
	C.V.(%)	14.20		
	D.M.S.(0.05)	1.26		
Toluca	Pool 12A x PPA	7.20	5.8	0.39**
	PTH X PPA	7.06	4.5	0.20**
	PPA X Am. Zanahoria	6.99	- 5.8	- 0.10
	Pool 10A x PPA	6.94	2.6	0.60**
	Pob. 88 x Am. Zanahoria	6.87	- 7.5	0.51**
	PTH x Am. Zanahoria	6.84	- 7.9	- 0.10
	Pool 13A x PTH	6.82	14.3	0.20**
	Pool 12A x PTH	6.80	- 0.2	0.02
	Pool 13A x Am. Zanahoria	6.77	- 8.7	- 0.15*
	Pool 11A x PTH	6.76	13.3	0.80**
	H-32 (Testigo 1)	7.93		
	H-129 (Testigo 2)	5.27		
	C.V.(%)	8.80		
	D.M.S. (0.05)	0.77		
Sta. Catalina	Pool 10A x Pool 12A	5.76	32.8	0.93**
	Pob. 87 x Am. Zanahoria	5.63	55.7	0.72*
	Pool 13A x PPA	5.57	20.5	0.39
	Pool 12A x PABG	5.39	24.3	0.70*
	Pob. 85 x Am. Zanahoria	5.39	29.2	1.00**
	I-180 x I-526 (Testigo 1)	5.77		
	I-180 x H-550 (Testigo 2)	4.14		
	C.V.(%)	16.50		
	D.M.S. (0.05)	1.12		

[1] Valores de ACE por grupo de madurez. *, ** Significativo al 5 y 1 % de probabilidad, respectivamente.

Toluca, México

Al igual que El Batán, se observaron diferencias significativas en rendimiento para cruzas y sus padres (no se presentan datos). En esta localidad, el contraste entre cruzas y progenitores sí fue significativo para rendimiento y altura de planta lo que indica que la heterosis promedio fue mayor. El contraste entre testigos con cruzas y progenitores también fue significativo. La variación debida a ACG y ACE fue significativa para las tres variables y en todos los casos ACG fue mayor que ACE lo que indica la predominancia de efectos aditivos, tanto al hacer el análisis usando todos los progenitores como al hacerlo por grupo de madurez.

El testigo local H-32 rindió estadísticamente más que todos los progenitores incluidos en este estudio (7.93 t/ha), con excepción de Amarillo Zanahoria (7.42 t/ha), el cual tiene una adaptación excelente a las condiciones de Toluca (Cuadro 4). En esta localidad, las poblaciones 85 y 86 superaron significativamente en rendimiento a las poblaciones tardías 87 y 88 y a PABG. En general el material precoz se vio favorecido en Toluca, pues maduró completamente comparado con las poblaciones tardías, a juzgar por el alto porcentaje de humedad en el grano de los materiales tardíos al momento de cosecha (> 35%).

Entre los materiales precoces, Amarillo Zanahoria tuvo el efecto más alto de ACG para rendimiento (0.64 t/ha) seguido por PPA (0.55 t/ha) y PTH (0.37 t/ha), (Cuadro 7). De estos padres, Amarillo Zanahoria tuvo además el valor más bajo de ACG para días a floración (-3.2) seguido de PTH (-1.8), lo que indica que ambos padres tienden a producir progenies más precoces. PPA, por el contrario, produjo cruzas más tardías. Las poblaciones 85 y 86 tuvieron los valores más bajos de ACG para rendimiento, pero los más altos para días a floración.

Del material tardío, sólo los pooles 12A y 13A tuvieron efectos positivos de ACG para rendimiento, pero se debe recordar que las otras poblaciones tardías (Pob.87, Pob. 88 y PABG) tuvieron un comportamiento muy pobre en las condiciones frías de esta localidad. Los pooles 12A y 13A aunque no maduraron completamente, a juzgar por la humedad del grano a la cosecha, mantuvieron un nivel de rendimiento más alto que las otras poblaciones tardías lo que explica su efecto positivo de ACG para rendimiento. El pool 13A mostró efectos negativos de ACG para días a floración, o sea, tiende a producir progenies precoces, mientras que las poblaciones 87 y 88 tuvieron valores altos de ACG para días a floración.

Todas las mejores cruzas tuvieron entre sus progenitores a Amarillo Zanahoria, PPA o PTH (Cuadro 6). Estos fueron los que mostraron mejor ACG para rendimiento y de los más altos rendimientos *per se*, lo cual explica el bajo nivel general de heterosis observado en sus cruzas. Dos cruzas tuvieron valores de heterosis superior al 10%: pool 11A x PTH con 13.3% y con el mayor efecto de ACE para rendimiento (0.80 t/ha) y pool 13A x PTH la cual tuvo un 14.3% de heterosis y ACE para rendimiento de 0.2 t/ha. Al igual que en El Batán, en muchas de las cruzas intervienen una población precoz y una tardía, lo que limita su utilidad en un programa de mejoramiento. Por otra parte, la heterosis para rendimiento observada en muchas de las cruzas que involucran padres con la misma madurez no parece justificar la explotación de estos materiales en un programa de selección recíproca recurrente, pero sí es de esperarse que líneas extraídas de algunas de estas poblaciones precoces que muestran valores altos de ACE para rendimiento puedan producir buenos híbridos.

Cuadro 7. Efectos de aptitud combinatoria general (ACG) para días a floración y rendimiento de grano (t/ha) de las doce fuentes de germoplasma de valles altos evaluados durante 1988 en Toluca, México.

Padres	Madurez	Días a floración				Rendimiento (t/ha)			
		Dialelo[1] (12 x 12)	Dialelo[2] (7 x 7) (P x P)	Dialelo[2] (5 x 5) (T x T)	Diseño-2[3] (7 x 5) (P x T)	Dialelo[1] (12 x 12)	Dialelo[2] (7 x 7) (P x P)	Dialelo[2] (5 x 5) (T x T)	Diseño-2[3] (7 X 5) (P x T)
Pob. 85	Precoz	- 0.3	3.8**	-	4.2**	- 0.39**	- 0.45**	-	- 0.91**
Pob. 86	Precoz	1.5**	4.8**	-	7.3**	- 0.55**	- 0.66**	-	- 0.97**
Pob. 87	Tardío	8.0**	-	2.6**	1.7*	- 0.74**	-	- 0.56**	- 0.31**
Pob. 88	Tardío	7.9**	-	2.3**	1.7*	- 0.59**	-	- 0.38**	- 0.19**
Pool 10A	Precoz	- 6.7**	- 2.9**	-	- 1.8*	0.15*	- 0.12	-	0.01
Pool 11A	Precoz	- 7.1**	- 3.1**	-	- 2.7**	- 0.03	- 0.33**	-	- 0.11
Pool 12A	Tardío	6.7**	-	- 0.8	2.4**	0.48**	-	1.03**	0.53**
Pool 13A	Tardío	3.2**	-	- 2.5**	- 2.8**	0.12	-	0.47**	0.38**
PTH	Precoz	- 7.1**	- 1.8**	-	- 5.0**	0.65**	0.37**	-	0.55**
PPA	Precoz	- 2.2**	2.3**	-	1.5	0.78**	0.55**	-	0.59**
PABG	Tardío	3.7**	-	- 1.5**	- 2.9**	- 0.80**	-	- 0.57**	- 0.42**
Amarillo Zanahoria	Precoz	- 7.5**	- 3.2**	-	- 3.6**	0.93**	0.64**	-	0.84**

*, ** Significativo al 5 y 1% de probabilidad, respectivamente.

[1] Análisis dialélico (12 x 12) usando el método II de Griffing (1956) incluyendo los doce padres (tard. y prec.).

[2] Análisis dialélico usando el método II de Griffing (1956) para los padres precoces (7 x 7) y para los padres tardíos (5 x 5) analizados por separado.

[3] Diseño-2 analizado usando el modelo de Kempthorne para cruzas entre padres de los grupos precoz y tardío (7 x 5).

Santa Catalina, Ecuador

En Santa Catalina se observaron diferencias altamente significativas para rendimiento en las cruzas, progenitores y el contraste entre cruzas y progenitores (no se presentan datos). La comparación de testigos con cruzas y padres fue significativa para rendimiento y días a floración, indicando la superioridad en rendimiento y madurez más tardía de los testigos. ACG tuvo diferencias significativas en todas las variables con excepción de altura de planta dentro del grupo de material tardío (5 x 5). Para ACE se observaron diferencias significativas en el grupo tardío sólo para rendimiento. En el grupo precoz (7 x 7), hubo diferencias significativas para rendimiento y días a floración, pero no para altura de planta. A diferencia de las otras dos localidades, aquí la variación debida a efectos no aditivos (ACE) fue importante, ya que la magnitud de ACE fue mayor; también en esta localidad se observaron los valores más altos de heterosis.

El mejor testigo local (I-180 x I-526) superó significativamente en rendimiento a todos los progenitores incluidos en el estudio (Cuadro 4) y fue a la vez 13-49 días más tardío que ellos. Los pooles 12A, 13A y PABG tuvieron tan buena tolerancia a *H. turcicum* como el testigo I-180 x H-550 (2.33); de la misma forma, el pool 12A, PPA y Amarillo Zanahoria tuvieron buena tolerancia a *P. sorghi* (2.0). Las poblaciones 85, 86, 87 y 88 tuvieron en general mayor incidencia de ambas enfermedades (3.0), con excepción de Pob.88 que tuvo un nivel intermedio de *H. turcicum* (2.67).

Dentro del grupo precoz, la Pob. 85, Pob. 86 y PPA tuvieron efectos positivos de ACG para rendimiento, aunque sólo fueron significativos para la Pob. 86 (Cuadro 8). En las tres poblaciones hubo también la tendencia a producir progenies más tardías a juzgar por los efectos positivos de ACG para días a floración, especialmente en las poblaciones 85 y 86 donde estos efectos fueron altamente significativos. En el grupo tardío, sólamente los pooles 12A y 13A tuvieron efectos positivos significativos de ACG para rendimiento, al contrario de las poblaciones 87 y 88 que mostraron efectos negativos para este carácter. De los cruzamientos entre materiales precoces x tardíos, el pool 12A, PPA y Amarillo Zanahoria tuvieron efectos positivos altamente significativos de ACG para rendimiento, pero mientras que el pool 12A tiende a producir plantas más tardías, Amarillo Zanahoria produjo progenies más precoces. PPA por su parte parece no modificar en promedio la madurez a las progenies que produce en cruzas con material tardío.

Las mejores cinco cruzas en Santa Catalina tuvieron rendimientos semejantes al mejor testigo I-180 x I-526 (Cuadro 6), a pesar de que fueron 23-37 días más precoces a floración. En estas cruzas, la heterosis varió de 20.5 a 55.7% debido, en parte, al comportamiento relativamente pobre de los progenitores. Con excepción de la cruza Pool 12A x PABG, en que ambos progenitores son tardíos y de grano blanco, todas las demás tienen un padre precoz y uno tardío, y la mayoría también tienen un padre con grano de color blanco y otro de color amarillo lo cual limita su potencial para ser usadas en un programa práctico de hibridación. Pool 12A x PABG tuvo un efecto significativo de ACE (0.70 t/ha) para rendimiento, con heterosis de 24.3%. Los dos progenitores combinan buen nivel de resistencia a *H. turcicum* y *P. sorghi* y son muy precoces bajo las condiciones de Santa Catalina. Las dos poblaciones podrían ser de utilidad en ambientes similares a Santa Catalina, donde se requieran materiales precoces con resistencia a ambas enfermedades.

CONCLUSIONES

Entre los materiales tardíos, el pool 12A mostró buena ACG para rendimiento en todas las localidades, tendiendo a producir progenies más tardías, ya que muestra valores altos de ACG para días a floración. Las poblaciones precoces 85, 86 y PPA tuvieron buena ACG para rendimiento en El Batán y en Santa Catalina. En Toluca, Amarillo Zanahoria, PPA y PTH fueron los de mejor ACG para rendimiento.

En El Batán, las mejores cruzas fueron entre materiales de grano blanco. La cruza Pool 10A x Pool 12A fue la de mayor rendimiento, seguida por la cruza Pob. 87 x Pool 12A. La primera es una cruza de material precoz x tardío y la segunda involucra dos padres tardíos. La mejor cruza involucrando padres tardíos con grano amarillo fue Pob. 88 x Pool 13A con 11.6% de heterosis y relativamente buena ACE para rendimiento.

En Toluca, las mejores cruzas involucraron a PPA, PTH y Amarillo Zanahoria los cuales tuvieron buenos rendimientos *per se* y por tanto, heterosis baja. Pool 11A x PTH estuvo entre las mejores cruzas con 13.3% de heterosis y buena ACE (0.80 t/ha) para rendimiento.

La cruza Pool 10A x Pool 12A mostró la más alta heterosis (33%) y rendimiento en Santa Catalina. Ambos padres son de grano blanco pero con diferente madurez. La cruza Pool 13a x PPA con 21% de heterosis fue la mejor, ya que ambos progenitores tuvieron un alto rendimiento *per se* así como en cruzas. Esta cruza es de grano color amarillo y ambos padres poseen además resistencia moderada a *H. turcicum* y a *P. sorghi*.

En las tres localidades, algunas de las mejores combinaciones involucraron cruzas de material precoz x tardío, con germoplasma de Cónico x Chalqueño. Muchas cruzas también involucraron padres con diferente color de grano lo cual limita su uso en un programa práctico de hibridación. Sin embargo, en cada localidad se detectaron cruzas sobresalientes de cuyos padres se pueden extraer líneas para la formación de híbridos.

Dada la gran variabilidad genética que caracteriza a las poblaciones bajo estudio, es posible encontrar líneas sobresalientes de una misma población que permitan formar cruzas sobresalientes; alternativamente, se puede seleccionar las líneas más tardías dentro del material precoz y las líneas más precoces dentro del material tardío, para formar híbridos en los que la producción de semilla no sea tan problemática.

BIBLIOGRAFIA

Beck, D.L., S.K. Vasal, and J. Crossa. 1990. Heterosis and combining ability of CIMMYT's tropical early and intermediate maturity maize (*Zea mays* L.) germplasm. Maydica 35(3): 279-285.

_____, _____ and _____. 1991. Heterosis and combining ability among subtropical and temperate intermediate maturity maize germplasm. Crop Sci. 31:68-73.

CAEVAMEX. 1982. Marco de referencia de la producción de maíz en la Mesa Central de México (Síntesis). Grupo Interdisciplinario de Maíz, SARH. Campo Agrícola Experimental "Valle de México", Chapingo, México.

CIMMYT. 1988. Maize production regions in developing countries. CIMMYT, El Batán, México.

_____. 1990. 1989/90 CIMMYT world maize facts and trends: Realizing the potential of maize in Sub-Saharan Africa. CIMMYT, El Batán, México.

Cuadro 8. Efectos de aptitud combinatoria general (ACG) para días a floración y rendimiento de grano (t/ha) de las doce fuentes de germoplasma de valles altos evaluados durante 1988 en Santa Catalina, Ecuador.

Padres	Madurez	Días a floración				Rendimiento (t/ha)			
		Dialelo[1] (12 x 12)	Dialelo[2] (7 x 7) (P x P)	Dialelo[2] (5 x 5) (T x T)	Diseño-2[3] (7 x 5) (P x T)	Dialelo[1] (12 x 12)	Dialelo[2] (7 x 7) (P x P)	Dialelo[2] (5 x 5) (T x T)	Diseño-2[3] (7 x 5) (P x T)
Pob. 85	Precoz	- 1.1*	3.1**	-	3.3**	0.14	0.19	-	0.04
Pob. 86	Precoz	1.6**	5.4**	-	6.9**	0.08	0.27**	-	- 0.27**
Pob. 87	Tardío	8.1**	-	2.5**	1.5*	- 0.36**	-	- 0.67**	- 0.06
Pob. 88	Tardío	8.5**	-	2.7**	2.3**	- 0.32**	-	- 0.28**	- 0.36**
Pool 10A	Precoz	- 6.6**	- 2.2**	-	- 2.5**	- 0.21*	- 0.23*	-	- 0.17
Pool 11A	Precoz	- 6.5**	- 2.6**	-	- 1.5**	- 0.12	- 0.06	-	- 0.22*
Pool 12A	Tardío	7.1**	-	0.1	2.1**	0.48**	-	0.52**	0.44**
Pool 13A	Tardío	4.1**	-	- 1.4**	- 2.5**	0.30**	-	0.40**	0.19
PTH	Precoz	- 6.7**	- 1.7**	-	- 3.5**	- 0.24*	- 0.27**	-	- 0.20
PPA	Precoz	- 3.7**	0.7	-	0.6	0.27**	0.19	-	0.42**
PABG	Tardío	2.4**	-	- 3.9**	- 3.5**	- 0.09	-	0.03	- 0.21*
Amarillo Zanahoria	Precoz	- 7.2**	- 2.7**	-	- 3.3**	0.09	- 0.09	-	0.40**

*, ** Significativo al 5 y 1% de probabilidad, respectivamente.

[1] Análisis dialélico (12 x 12) usando el método II de Griffing (1956) incluyendo los doce padres (tardíos y precoces).

[2] Análisis dialélico usando el método II de Griffing (1956) para los padres precoces (7 x 7) y para los padres tardíos (5 x 5) analizados por separado.

[3] Diseño-2 analizado usando el modelo de Kempthorne para cruzas entre padres de los grupos precoz y tardío (7 x 5).

Crossa, J., S.K. Vasal, and D.L. Beck. 1990a. Combining ability estimates of CIMMYT's tropical late yellow maize germplasm. Maydica 35(3): 273-278.

_____, S. Taba, and E.J. Wellhausen. 1990b. Heterotic patterns among Mexican races of maize. Crop Sci. 30:1182-1190.

Darrah, L.L., S.A. Eberhart, and L.H. Penny. 1972. A maize breeding methods study in Kenya. Crop Sci. 12:605-608.

Eckhardt, R.C. 1951. Predicting yields of missing single crosses of corn. Agron. J. 44:215-216.

Griffing, B. 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. Austr. J. Biol. Sci. 9:463-493.

Han, G.C., S.K. Vasal, D.L. Beck, and E. Elias. 1991. Combining ability analysis of inbred lines derived from CIMMYT maize (*Zea mays* L.) germplasm. Maydica 36: 57-64.

Kempthorne, O. 1957. An Introduction to Genetic Statistics. John Wiley and Sons, Inc. New York.

Lothrop, J.E. 1990a. CIMMYT Maize Program. Highland maize. Evolution of the program and breeding strategies. CIMMYT, El Batán, México. 10 pp.

_____. 1990b. CIMMYT Maize Program. Highland maize. Special considerations in highland maize breeding. CIMMYT, El Batán, México. 4 pp.

Martínez G., A. 1983. Diseños y Análisis de Experimentos de Cruzas Dialélicas. Centro de Estadística y Cálculo, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.

Reyes C., P. 1980. Diseño de Experimentos Aplicados. 2a. ed. Editorial Trillas.

Singh, R.K. and B.D. Chaudhary. 1985. Biometrical Methods in Quantitative Genetic Analysis. KALYANI publishers, India. 2a. ed.

Valdivia B., R. 1990. Selección recurrente recíproca en maíz mediante hibridación clásica. Resúmenes del XIII Cong. Nal. Fitogenética. p. 239.

Vasal, S.K., G. Srinivasan, D.L. Beck, J. Crossa, S. Pandey, and C. DeLeon. 1992a. Heterosis and combining ability of CIMMYT's tropical late white maize germplasm. Maydica 37: 217-233.

_____, _____, J. Crossa, and D.L. Beck. 1992b. Heterosis and combining ability of CIMMYT's subtropical and temperate early-maturity maize germplasm. Crop Science 34:884-890.