

RESPUESTA A DENSIDAD DE POBLACIÓN DE CRUZAS DE MAÍZ TROPICAL Y SUBTROPICAL ADAPTADAS A VALLES ALTOS

RESPONSE TO POPULATION DENSITY OF TROPICAL AND SUBTROPICAL MAIZE CROSSES ADAPTED TO HIGHLANDS

José Alfredo Carrera Valtierra¹ y Tarcicio Cervantes Santana² †

¹Centro Regional Universitario Centro Occidente, Universidad Autónoma Chapingo. Periférico Independencia Poniente No. 1000, Colonia Lomas del Valle. 58170, Morelia, Mich. Tel. y Fax: 01 (443) 316-1489. ²Especialidad en Genética, Colegio de Postgrados. Km. 36.5 Carr. México-Texcoco. 56230, Montecillo, Texcoco, Edo. de México.

* Autor para correspondencia (carrera6412@yahoo.com.mx)

RESUMEN

En los Valles Altos de México, los maíces (*Zea mays* L.) locales no toleran altas densidades de población debido a su susceptibilidad al acame. Para resolver este problema se ha recurrido a la introducción de germoplasma tropical y subtropical. En esta investigación se evaluaron cruzas entre líneas S_3 derivadas de poblaciones tropicales y subtropicales (LT) adaptadas a Valles Altos, así como cruzas de estas líneas LT con una línea local (LL) derivada de las razas Cónico-Chalqueño. Las poblaciones base procedieron de cruzas entre razas de maíz tropical y subtropical de México, seleccionadas en alta densidad de población en Montecillo, Edo. de México mediante cruzas fraternales desde la generación F₂ hasta F₁₃, y posteriormente mediante autofecundación por tres generaciones. Con un grupo de líneas S_3 derivadas de estas poblaciones se formaron 11 cruzas LT x LT y seis cruzas LT x LL. Las 17 cruzas F₁ (LT x LT y LT x LL), dos testigos híbridos de crusa simple ('CS' y 'H-CM') y dos trilineales ('H-151' y 'H-40') se evaluaron en un experimento en Montecillo en 1999, a 60 (D₁), 70 (D₂) y 80 mil (D₃) plantas ha^{-1} . Con el cambio de D₁ a D₃ el número de días a floración masculina aumentó en 1.2 d y la longitud de mazorca, el peso de 200 granos y el número de mazorcas por planta disminuyeron ($P \leq 0.05$) en 0.7 cm, 3.4 g y 0.2, respectivamente. En rendimiento de grano no hubo diferencias significativas entre densidades. El rendimiento promedio del grupo de testigos, LT x LL y LT x LT fue 9.4, 8.1 y 7.2 t ha^{-1} . Las mejores cruzas LT x LT tuvieron el mismo rendimiento que 'H-40' (7.6 t ha^{-1}) y la mejor crusa LT x LL rindió 9.3 t ha^{-1} . Las cruzas LT x LT tuvieron rendimiento, precocidad y altura de planta similar a los testigos 'H-40' y 'H-CM'. Por tanto, la selección en Valles Altos de germoplasma tropical y subtropical, fue efectiva por haber logrado cruzas similares a los testigos en rendimiento, con densidades de población comerciales y mayores.

Palabras clave: *Zea mays*, plasma germinal exótico, selección, adaptación, rendimiento de grano.

SUMMARY

In the High Valleys of México, local maize (*Zea mays* L.) varieties do not tolerate high population densities because of lodging problems. In trying to solve this problem, tropical and subtropical germplasm has been introduced. In this study we evaluated crosses among S_3 maize lines derived from tropical and subtropical populations (LT x LT) adapted to highlands, as well as crosses between LT lines and a local line (LT x LL) derived from the race Cónico-Chalqueño. The populations were originated from crosses among Mexican races, tropical and subtropical, selected under high-density population at Montecillo, State of México. Fraternal crossings were made from generation F₂ to F₁₃, and thereafter they were selfed for three generations. From S_3 lines derived of these populations, 11 LT x LT crosses and six LT x LL crosses were made. The 17 F₁ crosses (LT x LT and LT x LL), two single crosses ('CS' and 'H-CM') and two three-way crosses ('H-151' and 'H-40') included as checks, were evaluated in an experiment at Montecillo in 1999, with plant densities of 60 (D₁), 70 (D₂) and 80 thousand ha^{-1} (D₃). As plant density increased from D₁ to D₃ the number of days to flowering increased by 1.2 d, while ear length, 200 grains weight and ear number per plant decreased by 0.7 cm, 3.4 g and 0.2, respectively; however, there were not significant differences among densities for grain yield. The average yields for the control group, LT x LL and LT x LT were 9.4, 8.1 and 7.2 t ha^{-1} , respectively. The best LT x LT crosses had the same yield as 'H-40' (7.6 t ha^{-1}) and the best LT x LL cross yielded 9.3 t ha^{-1} . The LT x LT crosses had grain yield, earliness and plant height similar to the checks 'H-40' and 'H-CM'. Therefore the selection for adaptation in highlands in tropical and subtropical germplasm was effective in obtaining crosses similar to the checks in yield, at commercial or higher population densities.

Index words: *Zea mays*, exotic germplasm, selection, adaptation, grain yield.

INTRODUCCIÓN

No obstante la enorme variación del maíz (*Zea mays* L.) que existe en México, clasificada en 49 razas (Wellhausen *et al.*, 1951; Hernández y Alanís, 1970; Sánchez y Goodman, 1992), únicamente ‘Tuxpeño’, ‘Celaya’, ‘Vandeño’, ‘Chalqueño’ y ‘Cónico’ han sido las más utilizadas en el mejoramiento genético de esta especie (Roberts, 1950), y en menor proporción ‘Cónico Norteño’, ‘Bolita’ (SAG, 1963; Gutiérrez y Luna, 1989), ‘Pepitilla’ (Gámez *et al.*, 1996) y ‘Zapalote Chico’. Otras razas, como las indígenas antiguas ‘Palomero Toluqueño’, ‘Arrocillo Amarillo’, ‘Chapalote’ y ‘Nal-Tel’ no se han utilizado, aunque podrían contribuir con genes especiales al mejoramiento genético (Sánchez *et al.*, 2000).

En el caso de Valles Altos, sólo se han empleado las razas ‘Chalqueño’ y ‘Cónico’ las que presentan problemas de acame debido a un sistema radical escaso, alto ahijamiento, porte alto y adaptación limitada; en menor proporción se han utilizado las razas ‘Celaya’ y ‘Tuxpeño’, de origen subtropical y tropical, respectivamente, que tienen mazorca grande, resistencia al acame, grano pesado y adaptación amplia (Wellhausen *et al.*, 1951; Wellhausen, 1960), características que complementadas con las del germoplasma local pueden mejorar el rendimiento de grano y sus componentes (Goodman, 2002). Con la incorporación de germoplasma exótico (por su origen tropical y subtropical) en los programas de mejoramiento genético de maíz de Valles Altos se pretende incrementar la diversidad genética mediante la introducción de genes específicos para mejorar características agronómicas como resistencia a *Helminthosporium turcicum*, acame y gusano cogollero, e incrementar la intensidad del color blanco del grano, su dureza (intermedia a fuerte) y el rendimiento a través de la heterosis (Godshalk y Kauffmann, 1995), de las razas locales.

Para ampliar tal base genética, Cervantes y Castillo (1985) evaluaron en esa región 262 cruzas F₂ formadas entre razas tropicales y subtropicales de maíz de México; se seleccionaron 125, en masa, durante ocho ciclos (F₈) mediante cruzamientos fraternales (#) en parcelas de cuatro surcos de 7 m de largo, a densidades de población que oscilaron de 63 a 126 mil plantas ha⁻¹ durante los ciclos de selección; y en F₈# se dejó una densidad de 378 mil plantas ha⁻¹ desde la siembra hasta los 60 d. De esas 125 cruzas, Navas y Cervantes (1991) evaluaron 22 cruzas cuyo rendimiento promedio de grano de F₃# a F₈# se incrementó en 85.5 %, y hubo cruzas F₈# que rindieron más que los testigos. Esto se atribuyó a que la selección en alta densidad de población permitió seleccionar individuos con alta habilidad competitiva por factores limitantes (Austin, 1989; Troyer, 1996) y generar híbridos con alto rendi-

miento en altas densidades de población (Russell y Teich, 1969; Troyer y Rosenbrook, 1983).

La obtención de híbridos con alto rendimiento de grano depende de la heterosis que se genera en el cruzamiento de los progenitores. En una evaluación de cruzas entre variedades en EE. UU. la heterosis osciló de -3.6 a 72 % (Hallauer y Miranda, 1988), y en cruzas de plasma germinal tropical por subtropical de México fue de -2.1 a 23.7 % (Vasal *et al.*, 1992). En cruzas entre líneas locales con exóticas, Russell y Eberhart (1975) obtuvieron híbridos que rindieron 35 % más que los híbridos formados sólo con líneas locales debido a la heterosis que se genera por divergencia genética (Misévic, 1990; Ordás, 1991).

En este trabajo se evaluó: 1) El comportamiento agro-nómico de cruzas simples de maíz formadas con líneas S₃ derivadas de poblaciones F₁₃# de la crusa entre razas de maíz tropical y subtropical (LT x LT) seleccionadas en Valles Altos; 2) El comportamiento de cruzas simples formadas entre líneas LT con una línea local (LL) de Cónico-Chalqueño; 3) La respuesta de ambos tipos de cruzas (LT x LT y LT x LL) en tres densidades de población. Al respecto se postuló que, debido a la mayor adaptación lograda en las poblaciones exóticas por la selección en Valles Altos, las cruzas entre líneas endogámicas derivadas de éstas pueden tener rendimientos similares a las cruzas entre líneas locales (testigos); y que las cruzas entre líneas exóticas por locales pueden ser iguales o superiores a las cruzas de líneas locales, debido a que existe mayor divergencia genética entre ambos grupos de líneas que dentro de ellos.

MATERIALES Y MÉTODOS

De 262 cruzas F₂ formadas entre las razas de maíz tropical de México ('Nal-Tel', 'Chapalote', 'Tehua', 'Olotillo', 'Tepecintle', 'Tuxpeño', 'Olotillo', 'Reventador', 'Zapalote grande', 'Zapalote chico', 'Vandeño', 'Jala' y 'Harinoso de Ocho') y las subtropicales ('Pepitilla', 'Comiteco', 'Celaya', 'Bofo', 'Tabloncillo', 'Tablilla', 'Blanquito' y 'Olotón') previamente evaluadas en Montecillo, Edo. de México (Valles Altos) por Cervantes y Castillo (1985), se seleccionaron 125, las que desde la generación F₂# hasta la F₈# (octavo ciclo de selección) fueron polinizadas mediante cruzamientos fraternales con mezcla de polen (para simular selección masal) en este mismo ambiente. La selección se hizo en una parcela de cuatro surcos de 7 m de longitud y de 0.8 m de ancho, según describen Navas y Cervantes (1991), y se continuó hasta F₁₃#. En esta última fase, de F₈# y F₁₃#, la parcela de selección se sembró a densidades de población que oscilaron de 378 a 714 mil semillas ha⁻¹, y luego, a los 60 y 75 d después de la siembra se eliminaron las plantas menos vigorosas, con

crecimiento lento o enfermas, para dejar una planta cada 8 a 10 cm (156 a 125 mil plantas ha⁻¹).

En la etapa de polinización se eliminaron las plantas poco productivas y enfermas, para dejar una población de 70 mil plantas ha⁻¹, aproximadamente. De éstas se polinizaron en cruzas fraternales sólo las mejores 60 a 70 plantas, y en la cosecha se seleccionaron (por apreciación visual del rendimiento de grano, precocidad, sanidad y aspecto de la mazorca) de 10 a 22 plantas con mazorca grande y grano sano y grande. Posterior a la generación F_{13#}, en cada generación se autofecundaron las mejores plantas (más vigorosas y sanas) de cada parcela (población de cruce interracial) y se mezcló la semilla S_i (i=generación de autofecundación) de las plantas seleccionadas.

En S₃ se sembró una mazorca (línea) por surco. De un total de 375 líneas provenientes de las 125 cruzas entre razas de maíz tropical y subtropical (tres líneas por población), se seleccionaron 22 líneas S₃ (LT) de diferentes poblaciones con alto potencial de rendimiento de grano (Cuadro 1). Las líneas LT que contienen plasma germinal tropical y subtropical (raza tropical x tropical, tropical x subtropical y subtropical x subtropical) se cruzaron entre sí, y se obtuvieron 11 cruzas simples LT x LT; también

algunas de ellas se cruzaron con la misma línea local S₂ (LL) procedente de la recombinación de las razas Cónico y Chalqueño, para obtener seis cruzas simples LT x LL.

Las 11 cruzas F₁ del grupo LT x LT, las seis LT x LL y cuatro testigos se evaluaron en tres densidades de población [60 (D₁), 70 (D₂) y 80 mil (D₃) plantas ha⁻¹]. Los testigos fueron los siguientes cuatro híbridos: Una crusa simple (CL-1 x CL-4) del Colegio de Postgraduados ('CP'), el híbrido trilineal 'H-151' (cruza simple 'H-358' x 'Hgo. 10-3'), el híbrido trilineal 'H-40' [(CML-242 x CML-246) x Línea Mich. 21] generados por el Programa de Maíz de los Valles Altos del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Agropecuarias (INIFAP), y la crusa simple 'H-CM' (CML 242 x CML 246) del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). El diseño experimental fue bloques completos al azar con cuatro repeticiones, en arreglo de parcelas divididas. En las parcelas grandes se ubicó a la densidad de población, y en las chicas, los 21 genotipos. La

Cuadro 1. Cruzas entre líneas S₃ de maíz derivadas de poblaciones F_{13#} formadas a partir de cruzas entre razas subtropicales y tropicales de maíz de México, y testigos incluidos en el experimento.

Cruzas	Tipo de población F _{13#}
LTxLT	
1. (Van-Cel) x (Tep-Cel)	(Tropical x Subtropical) x (Tropical x Subtropical)
2. (Rev-Teh) x (Tux-Olt)	(Tropical x Tropical) x (Tropical x Subtropical)
3. (Chap-Pep) x (Cel-Olt)	(Tropical x Subtropical) x (Subtropical x Subtropical)
4. (Van-Cel) x (ZG-Taba)	(Tropical x Subtropical) x (Tropical x Subtropical)
5. (Teh-Pep) x (Van-Olt)	(Tropical x Subtropical) x (Tropical x Subtropical)
6. (Tep-Van) x (Jal-Cel)	(Tropical x Tropical) x (Tropical x Subtropical)
7. (Cel-Har8) x (NT-Chap)	(Subtropical x Tropical) x (Tropical x Tropical)
8. (Chap-Olo) x (ZCh-Tux)	(Tropical x Tropical) x (Tropical x Tropical)
9. (Van-Teh) x (Tux-Taba)	(Tropical x Tropical) x (Tropical x Subtropical)
10. (Rev-Taba) x (Tep-Har8)	(Tropical x Subtropical) x (Tropical x Tropical)
11. (ZCh-Rev) x (Chap-Har8)	(Tropical x Tropical) x (Tropical x Tropical)
LTxLL	
12. (Cel-Olt) x Línea local S ₂	(Subtropical x Subtropical) x (Cónico-Chalqueño)
13. (Tep-Har8) x Línea local S ₂	(Tropical x Tropical) x (Cónico-Chalqueño)
14. (Cel-Har8) x Línea local S ₂	(Subtropical x Tropical) x (Cónico-Chalqueño)
15. (Tux-Pep) x Línea local S ₂	(Tropical x Subtropical) x (Cónico-Chalqueño)
16. (Van-Cel) x Línea local S ₂	(Tropical x Subtropical) x (Cónico-Chalqueño)
17. (Jal-Cel) x Línea local S ₂	(Tropical x Subtropical) x (Cónico-Chalqueño)
Testigos	
18. CS (cruza simple)	CL-1 x CL-4
19. H-151 (cruza trilineal)	(H-358 x Hgo. 10-3)
20. H-40 (cruza trilineal)	(CML-242 x CML-246) x Línea Mich. 21
21. H-CM (cruza simple)	(CML-242 x CML-246)

NT = Nal Tel (Yuc. 7); Chap = Chapalote (Sin. 2 y 6); Pep = Pepitilla (Mor. 102); Har8 = Harinoso de ocho (Son. 102 y 103); Zch = Zapalote chico (Oax. 50); Rev = Reventador (Sin. 60); Tux = Tuxpeño (Tamps. 125 y Oax. 9); Teh = Tehua (Chis. 204); Tab = Tablilla (Jal. 306 y Zac. 187); ZG = Zapalote grande (Chis. 224); Tepe = Tepecintle (Chis. 76 y Oax. 177); Van = Vandeño (Chis. 114 y Chis. 30); Cel = Celaya (Gto. 69 y 36); Olt = Olotón (Chis. 687 y 284); y Jal = Jala (Nay. 6). Raza y colección según (Wellhausen *et al.* (1951) y Hernández y Alanís (1970). LT = Líneas S₃ que contienen plasma germinal tropical x tropical, subtropical x tropical y subtropical x subtropical.

parcela experimental en cada genotipo fue de un surco de 4.0 m de longitud, con distancia entre surcos de 0.80 m. Se fertilizó con la fórmula 140N-60P-00K. El experimento se estableció el 29 de abril de 1999 en condiciones de riego en Montecillo, Edo. de Méx.

Los caracteres medidos fueron: número de días a floración masculina (DF); altura de planta y mazorca (AP y AM), en centímetros; resistencia a *Helminthosporium turcicum* en escala de 0 a 9 (0 la peor y 9 la mejor); porcentaje de acame de raíz y tallo (PAC); longitud y diámetro de mazorca (LM y DM), en centímetros; número de hileras de la mazorca, número de granos por hilera; longitud, ancho y grueso de grano, en centímetros; peso de 200 granos (PG), en gramos; porcentaje de granos enfermos; porcentaje de olate; número de mazorcas por planta (NMZ), dado por el cociente resultante del número de mazorcas entre el número de plantas por parcela; y rendimiento de grano (RG), en t ha⁻¹.

En cada variable se hizo análisis de varianza y comparación de medias (Tukey, $P \leq 0.05$) (SAS, 1979). En el análisis de varianza, los 21 genotipos se integraron en tres grupos: 11 para el que contiene plasma germinal tropical, tropical x subtropical y subtropical (LT x LT), seis para el grupo subtropical x subtropical por una línea S₂ procedente de la recombinación de las razas Cónico y Chalqueño (LT x LL), y cuatro para los testigos locales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De los 17 caracteres analizados sólo se discuten siete, que son en los que más contrasta el plasma germinal tropical y subtropical con el de Valles Altos. En el análisis de varianza (Cuadro 2) hubo diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.01$) entre densidades de población en días a floración masculina (DF), longitud de mazorca (LM), peso de grano (PG), número de mazorcas por planta (NMZ) ($P \leq 0.05$) y porcentaje de acame (PAC); en genotipos y entre grupos de genotipos (LT x LT, LT x LL y testigos), hubo diferencias significativas ($P \leq 0.01$) en todas las variables, excepto para NMZ y PAC para el factor grupos. En la interacción de grupos por densidades de población, sólo el grupo de testigos por densidades de población tuvo diferencias estadísticas significativas en LM, DM y RG.

En la comparación de medias de densidades (Cuadro 3) se encontró que el número de días a floración fue mayor en la densidad de población más alta (D₃) que en la más baja (D₁); pero longitud de mazorca, peso de 200 granos y número de mazorcas por planta fueron mayores en D₁ que en D₃. En el peso de 200 granos, tanto D₁ como la densidad intermedia (D₂) superaron a la densidad más alta (Cuadro 3). Estos resultados demuestran que el aumento en la densidad de población de D₁ a D₃ (60 a 80 mil plantas ha⁻¹) incrementó la competencia por luz y nutrientes entre las plantas, e indujo a que éstas fueran ligeramente más tardías (1.2 d), y redujeron componentes del rendimiento como longitud de mazorca en 0.7 cm, el peso de 200 granos en 3.4 g y el número de mazorcas por planta en 0.2. Al aumentar la densidad de población en maíz El Lakany y Russell (1971) y Tetio-Kagho y Gardner (1988)

Cuadro 2. Cuadros medios (CM) de los análisis de varianza de los caracteres agronómicos, rendimiento de grano y sus componentes. Montecillo, Edo. de México. 1999.

FV	GL	DF	CM						
			AP	LM	DM	PG	RG	NMZ	PAC
Repeticiones	3	12.9	526	6.4	0.32	15.6	5.2	0.06	12.13
Densidades (D)	2	35.4**	25	8.0**	0.04	168.0**	7.6	0.77*	45.10**
Error a	6	3.0	177	1.3	0.09	44.8	11.2	0.08**	9.39**
Genotipos (Gen)	20	118.3**	1511**	14.3**	0.48**	508.3**	40.1**	0.20**	11.42**
Grupos (Gru)	2	268.4**	1762**	36.2**	2.99**	1932.8**	97.0**	0.31	46.52
LT x LT	10	102.8**	1355**	7.2**	0.10	542.5*	1.4	0.05	0.02
LT x LL	5	37.7**	616**	0.7	0.20**	163.3**	6.8**	0.03	0.01
Testigos (T)	3	204.1**	3358**	46.3**	0.54*	19.5	186.5**	0.90	70.24
Gen x D	40	1.3	128	0.6	0.07	29.9	2.1	0.02	2.13
Gru x D	4	1.5	42	1.2	0.48*	68.8*	2.0	0.05	5.21
(LT x LT) x D	20	1.2	111	0.4	0.05	22.1	1.9	0.02	1.34
(LT x LL) x D	10	0.8	161	0.2	0.03	29.7	1.5	0.01	2.68
T x D	6	2.4	667	1.5*	0.17**	30.3	3.6*	0.01	1.84
Error b	180	1.8	189	0.7	0.06	25.7	1.7	0.02	2.22
CV (%)		1.5	5	6.4	5.51	7.2	16.5	15.70	54.98

*,** significativos a $P \leq 0.05$ y 0.01 , respectivamente. DF = Días a floración masculina; AP = Altura de planta; LM = Longitud de mazorca; DM = Diámetro de mazorca; PG = Peso de 200 granos, RG = Rendimiento de grano; NMZ = Número de mazorcas por planta; PAC = Porcentaje de acame; LT x LT = Líneas tropicales y subtropicales x líneas tropicales y subtropicales; LT x LL = Líneas tropicales y subtropicales x línea local. CV = Coeficiente de variación.

encontraron que algunos caracteres agronómicos disminuyeron y otros aumentaron, tal como ocurrió en este estudio. Debido a la reducción en la magnitud de estas componentes del rendimiento del grano, y posiblemente de otros que no fueron medidos, el rendimiento de grano sólo aumentó 0.6 t ha^{-1} (7.5 %) de D₁ a D₂, diferencia que no fue significativa, y disminuyó en 0.5 t ha^{-1} (5.8 %) con respecto a D₂ en altas densidades de población (Cuadro 3).

En rendimiento de grano, en promedio de densidades, el grupo de testigos superó ($P \leq 0.05$) al grupo de LT x LT, pero LT x LL fue igual al grupo testigos con rendimientos de 9.4, 7.2 y 8.1 t ha^{-1} , respectivamente (Cuadros 4 y 5). Asimismo, el grupo de testigos presentó la mayor variación en rendimiento de grano: el 'H-CM' tuvo el menor rendimiento (4.7 t ha^{-1}) y la CS el mayor (13.4 t ha^{-1}). En el grupo LT x LL el rendimiento varió de 7.4 a 9.3 t ha^{-1} y en el LT x LT osciló de 6.8 a 7.6 t ha^{-1} .

El mayor rendimiento de grano del grupo LT x LL en comparación con el de LT x LT, se atribuye a la mejor adaptación que tiene la línea local en Valles Altos, adaptación que aún no ha sido lograda en su totalidad en las líneas derivadas de cruzas entre razas tropicales y subtropicales. Es posible que dicha superioridad expresada en vigor híbrido, también sea el resultado de la mayor divergencia genética (Misévic, 1990; Ordás, 1991) que existe entre el plasma germinal de Valles Altos y el tropical-subtropical, que entre el tropical y subtropical únicamente. Es así como las cruzas 'Celaya-Olotón' x LL, 'Tepecintle-Harinoso de Ocho' x LL y Cel-Har8 x LL superaron, aunque no estadísticamente, al híbrido trilineal 'H-40', ya que su rendimiento de grano fue 9.3, 8.7, 8.3 y 7.6 t ha^{-1} . El alto rendimiento de grano expresado en cruzas de la raza exótica precolombina 'Harinoso de Ocho' en combinación con las razas 'Tepecintle' y 'Celaya' por la línea local (LL), se debe a la capacidad de ésta para transmitir genes que favorecen la mayor expresión del rendimiento y posiblemente de adaptación obtenidos en su proceso de evolutivo, ya que esa raza en cruzamientos con otras razas mexicanas ha presentado altos rendimientos tanto en Valles Altos, como en regiones del subtrópico y trópico (Crossa *et al.*, 1990).

A pesar de que el grupo LT x LT tuvo el menor rendimiento de grano, las cruzas que incluyeron líneas de la raza 'Vandeño-Celaya' x 'Tepecintle-Celaya' y 'Reventador-Tehua' x 'Tuxpeño-Olotón' tuvieron rendimiento igual ($P \leq 0.05$) que 'H-40' y la cruzas con menor rendimiento de grano 'ZCh-Rev' x 'Chap-Har8' (6.9 t ha^{-1}) fue estadísticamente igual al híbrido testigo de menor rendimiento 'H-CM' (4.7 t ha^{-1}). El rendimiento bajo de la cruzas 'ZCh-Rev' x 'Chap-Har8' se atribuye a que en ella intervienen las razas 'Zapalote Chico', 'Reventador' y 'Chapalote' que

en cruzas para adaptación a Valles Altos presentaron problemas de enfermedades que ocasionaron bajo rendimiento de grano (Cervantes y Castillo, 1985)

La similitud en rendimiento de grano del grupo de cruzas LT x LT con 'H-40' y 'H-CM' indica que la selección en Valles Altos para adaptación y rendimiento efectuada en el plasma germinal tropical y subtropical, fue efectiva. Asimismo, se logró que las cruzas tuvieran precocidad (días a floración), altura de planta similar a la de los testigos; resultados similares fueron informados por Genter (1976) y Compton *et al.* (1979).

A pesar de que en la interacción genotipos x densidades sólo hubo significancia del rendimiento de grano en testigos x densidades (Cuadro 2), es importante señalar que al aumentar la densidad de población baja a la intermedia, el promedio de RG aumentó 7.2, 8.8 y 5.3 % en las cruzas del grupo LT x LT, en las cruzas del grupo LT x LL y en los testigos, respectivamente (Cuadro 4). Pero al cambiar de la densidad intermedia a la alta, el cambio respectivo del rendimiento fue de 0.3, -8.1 y -9.1 %. Entre los testigos, el más afectado con el aumento de la densidad intermedia a la alta fue el 'H-CM' y le siguió 'H-151', cuyo rendimiento se redujo 30.8 y 20.1 %, respectivamente; en cambio, el rendimiento de 'H-40' aumentó 9.6 % y el de la 'CS' casi no cambió. La variación en el rendimiento de las cruzas LT x LL fue de -15.6 a -1.4 %, y en las cruzas LT x LT de -18.6 a 19.0 %. Nótese que los tres grupos de genotipos tuvieron un incremento similar en el rendimiento de grano al cambiar de la densidad de población baja a la intermedia, pero con el aumento de ésta a la alta el grupo de los testigos fue el más afectado. El mejor comportamiento de las cruzas LT x LT al aumentar de la densidad intermedia a la alta puede deberse a que dichas líneas provienen de poblaciones seleccionadas en alta densidad de población; en cambio, las líneas progenitoras de los testigos y la línea local (LL) se seleccionaron a densidad normal, generalmente a 50 mil plantas ha^{-1} .

Entre grupos de genotipos también hubo diferencias en otros caracteres. Las cruzas LT x LT tuvieron mayor longitud de mazorca y peso y ancho de grano, que los híbridos para Valles Altos. Asimismo, tuvieron menor número de días a floración, resistencia a *Helminthosporium turcicum*, porcentaje de acame, diámetro de mazorca y número de hileras por mazorca (Cuadro 5). Las diferencias en estos caracteres entre ambos grupos de genotipos, enfatizan la importancia de combinar el plasma germinal de Valles Altos con el exótico para obtener mejores genotipos, en los programas de mejoramiento genético de maíz. Las cruzas LT x LL tuvieron mayor peso de 200 granos que los testigos, debido al efecto de la mayor expresión de este carácter en las líneas tropicales y subtropicales, y tuvieron

Cuadro 3. Promedio de densidades de los caracteres que se indica. Montecillo, Edo. de México. 1999.

Caracteres	Densidad			
	D ₁	D ₂	D ₃	DSH 0.05
Días a floración	90.4 b	90.9 ab	91.6 a	0.82
Altura de planta (cm)	285.5	285.5	286.4	6.30
Acame (%)	11.3	12.9	15.2	5.87
Longitud de mazorca (cm)	13.4 a	13.2 ab	12.7 b	0.53
Peso de 200 granos (g)	69.7 a	69.4 a	66.3 b	3.03
Número de mazorcas por planta	1.1 a	1.0 ab	0.9 b	0.13
Rendimiento de grano (t ha ⁻¹)	8.0	8.6	8.1	1.59

D₁, D₂ y D₃ = 60, 70 y 80 mil plantas ha⁻¹, respectivamente. DSH = Diferencia significativa honesta. Valores seguidos por la misma letra son iguales (DSH, P ≤ 0.05).

Cuadro 4. Comparación de medias de grupo y de genotipos en rendimiento de grano y caracteres agronómicos. Montecillo, Edo. de México. 1999.

Grupos y genotipos	DF	AP	LM	DM	PG	RG (t ha ⁻¹)			Media
	(días)	(cm)	(cm)	(cm)	(g)	D ₁	D ₂	D ₃	
LT x LT									
Van-Cel x Tep-Cel	92	286	14.5	4.3	72.5	7.1	8.6	7.0	7.6 b-d
Rev-Teh x Tux-Oltn	90	293	14.8	4.2	78.8	6.6	7.9	8.4	7.6 b-d
Chap-Pep x Cel-Oltn	88	293	14.2	4.3	67.5	8.4	6.9	7.2	7.5 b-d
Van-Cel x ZG-Taba	95	300	14.6	4.6	82.7	6.7	7.3	7.6	7.2 cd
Teh-Pep x Van-Oltn	93	293	12.6	4.3	58.2	6.3	7.8	7.4	7.2 cd
Tep-Van x Jal-Cel	92	290	14.5	4.4	81.8	7.5	6.3	7.5	7.1 cd
Cel-Har8 x NT-Chap	85	265	13.6	4.5	78.1	6.3	7.8	6.9	7.0 cd
Chap-Olo x ZCh-Tux	91	291	14.5	4.6	80.3	6.7	6.8	7.4	7.0 cd
ZCh-Rev x Chap-Har8	87	276	14.2	4.5	73.2	6.3	7.4	7.0	6.9 cd
Van-Teh x Tux-Taba	93	302	13.7	4.3	71.9	6.7	6.3	7.4	6.8 cd
Rev-Taba x Tep-Har8	91	296	14.5	4.5	72.2	6.2	7.3	6.8	6.8 cd
Media	91 B	289	14.2 A	4.4 B	74.3 A	6.8	7.3	7.3	7.15 B
LT x LL									
Cel-Oltn x LL	88	285	12.9	5.0	70.5	8.5	9.8	9.5	9.3 b
Tep-Har8 x LL	90	287	12.9	4.7	63.0	8.5	9.6	8.1	8.7 bc
Cel-Har8 x LL	88	274	12.6	4.7	69.1	9.1	8.4	7.5	8.3 b-d
Tux-Pep x LL	92	291	13.3	4.7	71.5	7.5	8.2	7.3	7.7 b-d
Van-Cel x LL	88	274	12.9	4.6	71.2	7.5	7.4	7.3	7.4 b-d
Jal-Cel x LL	90	277	13.0	4.7	73.8	6.5	8.1	7.5	7.4 b-d
Media	89 B	281	12.9 B	4.7 A	69.9 B	7.9	8.6	7.9	8.1 AB
Testigos									
CS	92	288	13.5	4.9	63.4	12.6	13.8	13.7	13.4 a
H-151	100	304	14.8	4.8	60.5	12.0	13.4	10.7	12.0 a
H-40	93	271	12.0	4.7	63.4	7.4	7.3	8.0	7.6 b-d
H-CM	91	268	10.0	4.4	61.6	5.4	5.2	3.6	4.7 e
Media	94 A	283	12.6 B	4.7 A	62.2 C	9.4	9.9	9.0	9.4 A
DSH 0.05 ¹	2	20	1.3	0.4	7.3				1.9
DSH 0.05 ²	2	20	0.3	0.1	1.9				1.9

DF = Días a floración; AP = Altura de planta; LM = Longitud de mazorca; DM = Diámetro de mazorca; PG = Peso de 200 granos; RG = Rendimiento de grano; D₁, D₂ y D₃ = 60, 70 y 80 mil plantas ha⁻¹, respectivamente. Medias con la misma letra, en la misma hilera son iguales (Tukey, 0.05). DSH¹ = Diferencia significativa honesta para genotipos; DSH² = Diferencia significativa honesta para grupos.

mayor diámetro de mazorca y número de hileras que las cruzas LT x LT por efecto del plasma germinal de la línea local (LL), procedente de las razas ‘Cónico’ y ‘Chalqueño’, que son de mayor número de hileras que las tropicales y subtropicales (Wellhausen *et al.*, 1951). Sin embargo, el porcentaje de acame de las cruzas LT x LL fue el más alto de los tres grupos, debido a que la línea LL se derivó de las razas ‘Cónico’ y ‘Chalqueño’, las cuales son más susceptibles al acame que el plasma germinal tropical y subtropical (Nelson, 1972). Los testigos, a pesar de tener un gran porcentaje de plasma germinal de las razas arriba

mencionadas, tuvieron un valor intermedio en este carácter ya que han sido más seleccionados para resistencia a acame.

Las cruzas LT x LT y LT x LL tuvieron la misma resistencia a *Helminthosporium turcicum*, pero fueron más susceptibles que los testigos, debido a que en la selección para adaptación a Valles Altos del material tropical y subtropical no se seleccionó para resistencia a dicha enfermedad, por haber estado ausente.

Cuadro 5. Comparación de medias entre grupos de genotipos de caracteres agronómicos, rendimiento de grano y sus componentes. Montecillo, Edo. de México. 1999.

Caracteres	Grupos			
	LT x LT	LT x LL	Testigos	DSH 0.05
Días a floración	90.8 b	89.5 b	93.8 a	1.98
Altura de planta (cm)	289.0	281.0	283.0	20.37
Altura de mazorca (cm)	190.0	179.0	180.0	8.49
R. <i>Helminthosporium</i>	7.8 b	7.8 b	8.1 a	0.25
Acame (%)	10.8 c	16.3 a	12.3 b	0.57
Longitud de mazorca (cm)	14.2 a	12.9 b	12.6 b	0.32
Diámetro de mazorca (cm)	4.4 b	4.7 a	4.7 a	0.09
Número de hileras	13.1 b	15.2 a	16.6 a	1.45
Granos por hilera	28.2	28.4	29.3	3.12
Longitud de grano (cm)	1.3	1.3	1.3	0.09
Ancho de grano (cm)	0.9 a	0.8 b	0.8 b	0.08
Grueso de grano (cm)	0.5	0.5	0.4	0.11
Peso de 200 granos (g)	74.3 a	69.9 b	62.2 c	1.94
P. granos enfermos	18.3	13.8	10.8	10.57
Porcentaje de olete	14.2	12.5	12.8	3.94
Número de mazorcas por planta	1.0	1.0	1.1	0.23
Rendimiento de grano (t ha ⁻¹)	7.2 b	8.1 ab	9.4 a	1.92

LT x LT = líneas tropicales y subtropicales x tropicales y subtropicales; LT x LL = líneas tropicales y subtropicales x línea local. Medias con la misma letra, en la misma hilera son iguales (Tukey, 0.05).

CONCLUSIONES

Con el aumento de la densidad de población de 60 a 80 mil plantas ha⁻¹ los genotipos de maíz tuvieron un incremento en el número de días a floración y una reducción en longitud de mazorca, peso de 200 granos y número de mazorcas por planta, pero sin efecto significativo en rendimiento de grano. La selección en Valles Altos para adaptación y rendimiento de grano en el plasma germinal tropical y subtropical fue efectiva, por haber logrado cruzas similares a los híbridos testigo 'H-40' y 'H-CM', en precocidad, altura de planta y rendimiento de grano. Las cruzas de líneas tropicales y subtropicales por la línea local (LT x LL) tuvieron mayor rendimiento de grano que las cruzas entre líneas tropicales y subtropicales (LT x LT), por la mayor adaptación de la línea local (LL) a Valles Altos y por la mayor divergencia genética entre ésta y las líneas tropicales y subtropicales, que entre las tropicales y subtropicales únicamente.

BIBLIOGRAFÍA

- Austin R B (1989) Genetic variation in photosynthesis. J. Agric. Sci. 111:287-294.
- Cervantes S T, F Castillo G (1985) Comportamiento de cruzas F₂ interraciales de maíz de México evaluadas en ambientes contrastados. Rev. Chapingo 47-49:52-58.
- Compton W A, R F Munn, B Mathena (1979) Progress from adaptive mass selection in incompletely adapted maize populations. Crop Sci. 19:531-553.
- Crossa J, S Taba, E J Wellhausen (1990) Heterotic patterns among Mexican races of maize. Crop Sci. 30:1182-1190.
- El-Lakany M A, W A Russell (1971) Relationship of maize characters with yield in testcrosses of inbreds at different plant densities. Crop Sci. 11:698-701.
- Gámez V A J, M A Ávila P, H Ángeles A, C Díaz H, H Ramírez V, A Alejo J, A Terrón I (1996) Híbridos y variedades de maíz liberados por el INIFAP hasta 1996. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Publicación Especial No. 16. Toluca, Edo. de México. México. 102 p.
- Genter C F (1976) Mass selection in a composite of intercrosses of Mexican races of maize. Crop Sci. 16:556-558.
- Godshalk E B, K D Kauffman (1995) Performance of exotic x temperate single-cross maize hybrids. Crop Sci. 35:1042-1045.
- Goodman M M (2002) New sources of germplasm: Lines, transgenes and breeders. In: El Fitomejoramiento ante los Avances Científicos y Tecnológicos. J M Martínez, F Rincón S, G Martínez Z (eds). Simposio. Buenavista, Saltillo, Coah. 2 de septiembre. UAAAN-SOMEFI, A.C. pp:28-41.
- Gutiérrez S J R, M Luna F (1989) Selección para resistencia a sequía en un compuesto de maíz en Zacatecas. Rev. Fitotec. Mex. 12:94-104.
- Hallauer A R, J B Miranda F (1988) Quantitative Genetics in Maize Breeding. 2nd ed. Iowa State University Press. Ames, Iowa. 468 p.
- Hernández X E, G Alanís F (1970) Estudio morfológico de cinco nuevas razas de maíz de la Sierra Madre Occidental de México: Implicaciones filogenéticas y fitogeográficas. Agrociencia 5:3-30.
- Misévic D (1990) Genetic analysis of crosses among maize populations representing different heterotic patterns. Crop Sci. 30:977-1001.
- Navas A A A, T Cervantes S (1991) Selección para rendimiento y adaptación a Valles Altos en cruzas interraciales tropicales de maíz de México. Agrociencia S. Fitociencia 2:97-114.
- Nelson H G (1972) The use of exotic germplasm in practical corn breeding programs. In: Proc. 27th Annu. Corn and Sorghum Res. Conf. D Wilkinson (ed). American Seed Trade Association. Washington, D. C., U.S.A. Publication No. 27. pp:115-118.
- Ordás A (1991) Heterosis in crosses between American and Spanish populations of maize. Crop Sci. 31:931-935.
- Roberts L M (1950) Las razas mexicanas de maíz más útiles como material básico para el mejoramiento. In: Primera Asamblea

- Latinoamericana de Fitogenetistas. Secretaría de Agricultura y Ganadería-Oficina de Estudios Especiales. México. Folleto Misceáneo No.3. pp:71-84.
- Sánchez-González J J, M M Goodman (1992)** Relationships among the Mexican races of maize. Econ. Bot. 46:72-85.
- Sánchez G J J, M M Goodman, C W Stuber (2000)** Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of México. Econ. Bot. 5:43-59.
- Russell W A, S A Eberhart (1975)** Hybrid performance of selected maize lines from reciprocal recurrent selection and testcross selection programs. Crop Sci. 15:1-4.
- Russell W A, A H Teich (1969)** Selection in *Zea mays* L. by inbred line appearance and testcross performance in low and high plant densities. Agric. Home Econ. Exp. Stat. Iowa State Univ. Res. Bull. 552:919-945.
- SAG (1963)** Variedades de maíz para El Bajío y zonas similares. Dirección General de Agricultura. Departamento de Extensión Agrícola. México. 12 p.
- SAS (1979)** SAS User's Guide. SAS Institute Inc., Cary, N. C. 494 p.
- Tetio-Kagho F, F P Gardner (1988)** Responses of maize to plant population density. I. Canopy development, light relationships, and vegetative growth. Agron. J. 80:930-935.
- Troyer A F (1996)** Breeding widely adapted, popular maize hybrids. Euphytica 92:163-174.
- Troyer A, R W Rosenbrook (1983)** Utility of higher plant densities for corn performance testing. Crop Sci. 23:863-867.
- Vasal S K, G Srinivasan, F González C, G C Han, S Pandey, D L Beck, J Crossa (1992)** Heterosis and combining ability of CIMMYT's tropical x subtropical maize germplasm. Crop Sci. 32:1483-1489.
- Wellhausen E J (1960)** El mejoramiento del maíz en México. Avances actuales y proyección hacia el futuro. Rev. Soc. Mex. Hist. Nat. 21:435-462.
- Wellhausen E J, L M Roberts, E Hernández X, en colaboración con P C Mangelsdorf (1951)** Razas de Maíz de México. Su Origen, Características y Distribución. Secretaría de Agricultura y Ganadería-Oficina de Estudios Especiales. México, D. F. Folleto Técnico No. 5. 236 p.