

INVESTIGACIÓN AGRARIA

PRODUCCIÓN Y PROTECCIÓN VEGETALES

Vol. 16 (3) - Diciembre 2001

EFFECTOS RECÍPROCOS EN SEMIEXÓTICOS DE MAÍZ (*ZEA MAYS L.*)

M.T. Mas, L. Bosch, F. Casañas, J. Valero y F. Nuez



**MINISTERIO
DE CIENCIA
Y TECNOLOGÍA**

**INSTITUTO NACIONAL DE
INVESTIGACIÓN Y TECNOLOGÍA
AGRARIA Y ALIMENTARIA (INIA)**

Efectos recíprocos en semiexóticos de maíz (*Zea mays* L.)

M.T. Mas ¹*, L. Bosch ¹, F. Casañas ¹, J. Valero ¹ y F. Nuez ²

¹ Escola Superior d'Agricultura de Barcelona. Urgell, 187. 08196 Barcelona. España.

² Escuela Técnica Superior Ingenieros Agrónomos de Valencia.
Camino de Vera 14. 46022 Valencia. España.

maite.mas@upc.es

RESUMEN

Este trabajo calibra la importancia que los efectos recíprocos podrían tener en un programa de mejora dirigido a obtener híbridos utilizando los materiales exóticos Across 8443 La Posta y Brazil 1792 Cateto y las líneas puras adaptadas B73 y Mo17. Se ensayaron familias de hermanos completos directas y recíprocas de los cuatro tipos de cruces posibles en tres localidades. Para cada patrón de cruzamiento se estimó la importancia de los efectos localidad, bloque, familia y sentido del cruzamiento en las variables: días a floración masculina, diámetro del primer nudo elongado de la base del tallo, altura de mazorca, altura de planta, y producción de mazorca. Los efectos recíprocos resultaron ser significativos en diámetro del tallo y producción de mazorca en el patrón de cruzamiento Brazil 1792 Cateto × Mo17. El citoplasma exótico favoreció el desarrollo de las progenies (tallos un 3,92 % más gruesos y un aumento del 4,40 % en producción de mazorca). En el patrón de cruzamiento Brazil 1792 Cateto × B73 ningún efecto (principal o de interacción) resultó significativo. Cuando el exótico parental fue Across 8443 La Posta sólo se detectaron efectos recíprocos en el carácter días a floración masculina. La interacción familia × sentido del cruzamiento no fue significativa en ningún patrón de cruzamiento. Los resultados obtenidos son distintos en cada uno de los cuatro patrones de cruzamiento ensayados, y ponen énfasis en la necesidad de probar cuál va a ser la dirección de cruzamiento más favorable en el caso de trabajar con poblaciones exóticas y líneas adaptadas.

PALABRAS CLAVE: Maíz
Efectos recíprocos
Semiexóticos

INTRODUCCIÓN

La introducción de gemoplasma exótico puede permitir ampliar la base genética de los maíces adaptados a las zonas de clima templado para poder desarrollar líneas puras

* Autor para correspondencia

Recibido: 20-2-01

Aceptado para su publicación: 28-3-01

superiores (Brown, 1953; Bruce y Lindstrom, 1954; Wellhausen, 1956; Kramer y Ullstrup, 1959; Hallauer, 1978; Oyervides-García *et al.*, 1985; Mungoma y Pollak, 1988; Bosch *et al.*, 1994; Hameed *et al.*, 1994ab; Holland y Goodman, 1995), ya que el germoplasma tropical es una reconocida e importante fuente de variabilidad (Goodman y Brown, 1988; Ragot *et al.*, 1995; Gouesnard *et al.*, 1996). Además, a finales de los años sesenta, Thompson (1968) ya indicó que algunos materiales exóticos podían ser buenos forrajeros, dada su aceptable producción de grano y su exuberante desarrollo vegetativo.

El cultivo de maíz para forraje es especialmente importante en el Centro y el Norte de Europa y en Canadá, y es en estas zonas donde el germoplasma exótico ha sido más difícil de mejorar, ya que su sensibilidad al fotoperíodo hace muy difícil su aclimatación (Kaan y Derieux, 1986). Y sin embargo, en otras zonas de clima más suave, la madurez tardía de los materiales exóticos puede ser una ventaja (Widstrom *et al.*, 1996; Cuomo *et al.*, 1998). En la cuenca mediterránea y en el sureste de Estados Unidos, donde para obtener grano se siembran híbridos 800 FAO (United Nations Food and Agriculture Organization) podrían obtenerse buenos rendimientos forrajeros con materiales de madurez tardía, de hasta 900-1000 FAO.

Bosch *et al.* (1994) evaluaron el comportamiento de varios semiexóticos (líneas puras adaptadas × poblaciones exóticas) en zonas de clima mediterráneo. Algunas poblaciones exóticas combinaron bien con las líneas puras Mo17 y B73, y por lo tanto algunas combinaciones semiexóticas (línea pura × población exótica) podrían ser un buen material de partida de un programa de mejora de maíz forrajero. En el diseño de este programa se contempló la posibilidad de efectos recíprocos.

Los mejoradores de maíz generalmente asumen que el rendimiento en los cruzamientos recíprocos es equivalente, ya que existen varios estudios que lo indican. Así, a principios de los años sesenta, Cockerham (1963) sugirió que en plantas los efectos recíprocos eran mínimos y que, en general, no se podían considerar importantes. Russell (1972), al contrastar los efectos recíprocos en diez progenies (que contenían entre un 1 % y un 2 % de germoplasma exótico) concluyó que éstos no eran lo suficientemente importantes como para tenerlos en cuenta al incorporar germoplasma exótico a los materiales del Corn Belt. Sin embargo, Mann *et al.* (1981), al efectuar un dialelo entre 12 líneas puras del Corn Belt, encontraron efectos recíprocos en muchos caracteres indicativos de ciclo en la producción y en la calidad del grano, así como en la calidad de la fracción vegetativa de las plantas de maíz. Su conclusión, apoyada por los resultados previos de Garwood *et al.* (1970), fue que la carencia de efectos recíprocos observada hasta el momento en maíz podía deberse, además de a una baja variabilidad de los caracteres estudiados en los materiales, a la poca precisión de las medidas en los ensayos de campo.

En cuanto a cruzamientos entre materiales adaptados y exóticos, Darrah *et al.* (1985) hallaron diferencias significativas entre las progenies directas y recíprocas de los cruzamientos entre el exótico de la isla Reunión Revolution y el compuesto TELE (Tennessee Early Low Ear), en altura de la planta, altura de la mazorca, resistencia al encamado, producción de mazorca, humedad del grano y días transcurridos desde la siembra hasta la floración masculina. Igualmente Stuber (1986), en un ensayo destinado a evaluar la respuesta heterótica de 37 poblaciones que contenían entre un 25 % y un 100 % de germoplasma exótico, encontró que en 10 de las poblaciones estudiadas la producción de mazorca de las progenies era significativamente mayor y la altura de la planta significativamente menor si el exótico actuaba como parental materno; por lo que el autor aconsejó considerar el citoplasma en aquellos casos en que se evaluarán las progenies de cruzamientos entre

materiales muy diferentes. Otros trabajos realizados con semiexóticos (Pollak *et al.*, 1991; Widstrom *et al.*, 1992; Seka y Cross, 1995) confirman la posibilidad de encontrar diferencias entre progenies debidas a efectos recíprocos.

Todas estas evidencias sugieren que es aconsejable evaluar el alcance de este tipo de herencia extranuclear al diseñar la estrategia a seguir en un programa de selección recurrente de materiales semiexóticos, ya que es posible que el sentido de los cruzamientos entre germoplasmas exóticos y adaptados afecte a caracteres cuantitativos de importancia. El objetivo del presente trabajo fue considerar esta posibilidad.

MATERIAL Y MÉTODOS

Material genético

Las poblaciones utilizadas como germoplasma exótico fueron (i) Across 8443 La Posta, material tropical de grano blanco y dentado desarrollado en el CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo) mejorando un sintético de la raza Tuxpeño en los caracteres altura de mazorca y producción de grano (Pandey *et al.*, 1986); y (ii) Brazil 1792 Cateto, un material de grano naranja y liso, que pertenece al complejo racial conocido como «Cuban Flint» en el caribe, como «Cateto» en Brasil, y como «Argentine Flint» en Argentina (Hameed *et al.*, 1994a). La líneas puras de grano dentado B73 y Mo17 se emplearon como material adaptado. Estas cuatro combinaciones fueron las mejores de entre las ensayadas por Bosch *et al.* (1994).

Las poblaciones exóticas y las líneas adaptadas se sembraron a intervalos. Cuando los períodos reproductivos de los diferentes materiales coincidieron se realizaron las polinizaciones para obtener los cruzamientos directos y recíprocos entre pares de plantas.

Diseño experimental

Los ensayos de campo para estudiar las progenies directas y recíprocas se llevaron a cabo en tres localidades del noreste de España: Riudellots de la Selva (suelo tipo fluvent, entisol), Caldes de Montbui (suelo tipo xerochrept, inceptisol), y Les Franqueses del Vallès (suelo tipo xerochrept, inceptisol).

La siembra se llevó a cabo durante las dos primeras semanas de mayo a una densidad de 54.500 plantas/ha. Las cuatro combinaciones semiexóticas (Brazil 1792 Cateto-Mo17, Brazil 1792 Cateto-B73, Across 8443 La Posta-Mo17, y Across 8443 La Posta-B73) se evaluaron por separado utilizando un diseño de tres bloques al azar dentro de cada localidad. En cada bloque cada familia (progenies del mismo par de individuos parentales) estuvo representada por un surco de 24 plantas útiles, en el cual las progenies recíprocas se dispusieron alternadamente (12 ♀ exótico × ♂ adaptado y 12 ♀ adaptado × ♂ exótico) para minimizar posibles efectos de competencia desigual.

Caracteres estudiados

En las tres localidades se registraron para cada planta individual las siguientes variables: días desde la siembra hasta la floración masculina como estimador de ciclo, altura de la planta en cm, altura de la mazorca en cm, altura relativa de mazorca, diámetro del primer entrenudo elongado del tallo en mm, y producción de mazorca. Los materiales exóticos normalmente tienen una elevada inserción de mazorca, lo que favorece el encamado. La producción de mazorca es considerada por muchos autores el carácter más importante en maíz forrajero (Fairey, 1980; Vattikonda y Hunter, 1983; Geiger *et al.*, 1992). El resto de caracteres considerados se relacionan de una u otra forma con la producción de forraje: Almirall *et al.*, (1996) encontraron una correlación genética aditiva positiva entre la altura de la planta y la producción total de materia seca. También se han encontrado correlaciones aditivas positivas entre el diámetro del tallo y la producción de materia seca digestible total (Almirall *et al.*, 1996; Mas *et al.*, 1998), que es el principal carácter a mejorar en un programa de maíz forrajero.

Las mazorcas se cosecharon cuando el grano estuvo completamente maduro. En el momento de la dallya para forraje la producción de mazorca está muy influenciada por el estado fisiológico de la planta (Bunting, 1978), y teniendo en cuenta el diseño experimental planteado se hacía imposible cosechar todas las plantas en el mismo estado. Como no se esperaban diferencias importantes entre recíprocos en los caracteres relacionados con la producción se decidió esperar a la maduración completa de las mazorcas para reducir el error experimental. Después de la cosecha las mazorcas se secaron hasta peso constante y se pesaron para obtener la producción en gramos.

Análisis estadístico

El modelo lineal utilizado para analizar los datos obtenidos en cada semiexótico fue:

$$x_{ijklr} = \mu + \lambda_i + B_j(i) + F_k + \rho_l + (\lambda\rho)_{il} + (\lambda F)_{ik} + (F\rho)_{kl} + (FB)_{kji} + (\lambda F\rho)_{ikl} + e_{ijklr}$$

donde x_{ijklr} representa el valor individual de la planta resultado de un cruzamiento en el sentido l de la familia k en el bloque j de la localidad i ; μ es la media general de la población, λ_i el efecto localidad, $B_j(i)$ el efecto bloque (asociado a localidad), F_k el efecto familia (parentales de cada progenie directa y recíproca), ρ_l el efecto principal sentido del cruzamiento, $(\lambda\rho)_{il}$ la interacción localidad \times sentido del cruzamiento, $(\lambda F)_{ik}$ la interacción localidad \times familia (surco), $(F\rho)_{kl}$ la interacción familia \times sentido del cruzamiento, $(FB)_{kji}$ la interacción familia \times bloque, $(\lambda F\rho)_{ikl}$ la interacción localidad \times familia \times sentido del cruzamiento, y e_{ijklr} el error experimental asociado a la observación $j(i)klr$.

Localidad y sentido del cruzamiento se consideraron efectos fijos. En todos los semiexóticos ensayados los efectos localidad y bloque se compusieron de 3 niveles (3 localidades y 3 bloques en cada localidad), y el sentido del cruzamiento tuvo dos niveles: ♀ exótica \times ♂ adaptado y ♀ adaptada \times ♂ exótico. Los niveles del efecto familia variaron, en función de la cantidad de semilla obtenida en los cruzamientos, de la siguiente manera: 10 niveles cuando los parentales fueron Brazil 1792 Cateto y Mo17, 8 niveles para Brazil 1792 Cateto y B73, 6 niveles para Across 8443 La Posta y Mo17, y finalmente 7 niveles para Across 8443 La Posta y B73.

Para analizar los resultados de este modelo lineal fijo se realizaron análisis de la varianza y se estimaron las medias de los efectos fijos por mínimos cuadrados. El procedimiento MIXED del paquete estadístico SAS (SAS Institute, 1992) permite estimar la varianza debida a cada efecto aleatorio por el método de la máxima verosimilitud restringida, así como el correspondiente error estándar. El cociente entre ellos se contrasta con una función de distribución normal y se calculan los valores de probabilidad para las Z. El procedimiento GLM (SAS Institute, 1992) se utilizó para calcular las medias de los efectos fijos y para compararlas mediante la prueba Tukey's Studentized Range test a un nivel de probabilidad del 5 %.

RESULTADOS

En lo concerniente al comportamiento de los cuatro semiexóticos en las seis variables estudiadas (Tabla 1), las progenies de Across 8443 La Posta fueron más productivas que las de Brazil 1792 Cateto. Bosch *et al.* (1994) obtuvieron resultados similares tanto en B73 × Across 8443 La Posta (84,2 días a floración masculina, 308 cm de altura de planta) como en B73 × Brazil 1792 Cateto (83,6 días a floración masculina, 297 cm de altura de planta).

Tabla 1

Valores fenotípicos medios y respectivo error estándar de las variables estudiadas en los cuatro semiexóticos

Variables	Brazil 1792 Cateto y Mo17 (1504*)	Brazil 1792 Cateto y B73 (1831*)	Across 8443 La Posta y Mo17 (1030*)	Across 8443 La Posta y B73 (1115*)
Floración masculina (días)	82,64 ± 0,07	84,15 ± 0,07	85,55 ± 0,09	82,03 ± 0,08
Diámetro del tallo (mm)	29,16 ± 0,08	31,43 ± 0,08	32,65 ± 0,12	30,47 ± 0,09
Altura de la mazorca (cm)	235,6 ± 0,52	236,9 ± 0,54	221,2 ± 0,72	213,6 ± 0,60
Altura de la planta (cm)	323,5 ± 0,67	335,6 ± 0,67	323,7 ± 0,86	307,1 ± 0,76
Altura relativa de la mazorca	0,729 ± 0,001	0,707 ± 0,001	0,684 ± 0,002	0,696 ± 0,001
Producción de mazorca (g)	211,2 ± 1,61	231,0 ± 1,55	275,3 ± 1,98	262,4 ± 2,10

(*) número de plantas utilizadas en las medidas.

Brazil 1792 Cateto × Mo17 y recíproco

El análisis de la varianza (Tabla 2) mostró que, de entre los efectos fijos, el sentido del cruzamiento (ρ) fue significativo ($p < 0,01$) en las variables diámetro del tallo y producción de mazorca. Los efectos aleatorios no fueron significativos ($p < 0,05$) en ningún carácter. La interacción familia × bloque fue significativa en altura de mazorca, altura de planta y producción de mazorca ($p < 0,005$), lo cual da idea de la importancia de la inte-

racción genotipo \times microambiente. Las interacciones (λF) y ($F\rho$) no fueron significativas en ninguna de las variables estudiadas.

Tabla 2

Análisis de la varianza de los efectos del modelo lineal mixto en el caso de los cruzamientos entre Brazil 1792 cateto y Mo17: sumas de cuadrados y valores de F para los efectos fijos, y varianza estimada y valores de Z para los efectos aleatorios.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Días a floración masculina	Diámetro de la base del tallo (mm)	Altura de mazorca (cm)	Altura de planta (cm)	Altura relativa de mazorca	Producción de mazorca (g)
λ	2	421,9 F: 32,09 **	832,5 F: 49,63 **	6596,2 F: 10,24 **	42993,5 F: 54,23 **	0,1938 F: 48,43 **	34375,1 F: 4,41 *
B(λ)	6	—	0,0881 Z: 1,18	11,25 Z: 1,19	14,99 Z: 1,10	—	20,16 Z: 0,55
F	9	1,65 Z: 1,94	0,3125 Z: 1,23	162,6 Z: 1,91	68,74 Z: 1,81	0,0291 Z: 14,52	153,6 Z: 1,54
ρ	1	3,62 F: 0,55	343,8 F: 29,1 **	643,4 F: 2,01	1145,6 F: 2,89	0,0008 F: 0,38	29815,1 F: 7,65 **
($\lambda\rho$)	2	22,49 F: 1,71	16,27 F: 0,97	335,0 F: 0,52	713,5 F: 0,90	0,0011 F: 0,28	13796,8 F: 1,77
(λF)	18	0,07 Z: 0,72	0,1719	11,50 Z: 1,10	—	0,0027 Z: 1,33	—
($F\rho$)	9	0,14 Z: 1,32	0,1105 Z: 0,85	5,14 Z: 1,13	4,17 Z: 0,99	0,0006 Z: 1,67	—
(FB(λ))	54	0,16 Z: 1,79	—	34,81 Z: 3,56 **	67,35 Z: 4,65 **	0,0022 Z: 1,33	215,4 Z: 2,96 **
($\lambda F\rho$)	17	0,02 Z: 0,23	0,1478 Z: 1,03	1,65 Z: 0,41	0,26 Z: 0,06	0,0016 Z: 0,81	60,88 Z: 1,32

λ : localidad; B: bloque; F: familia; ρ : sentido del cruzamiento

—: la estimación de la varianza tuvo un valor cero

*: significativo a $p < 0,05$

** : significativo a $p < 0,01$

Como resultado de la prueba de comparación de medias, se encontró que el diámetro del tallo y la producción de mazorca fueron mayores (un 3,9 % y un 4,4 %, respectivamente) cuando las progenies tuvieron al parental exótico como madre. Concretamente, los valores medios obtenidos, significativamente diferentes de acuerdo con la prueba de Tukey ($p = 0,05$), fueron de 32,0 mm para el diámetro del primer entrenudo del tallo y de 235,8 g por planta en producción de mazorca cuando las progenies tuvieron al parental exótico como madre, y de 30,8 mm de diámetro y 225,8 g de producción cuando las progenies derivaron del cruzamiento recíproco.

Brazil 1792 Cateto × B73 y recíproco

El sentido del cruzamiento (ρ) no fue significativo ($p < 0,05$) en ninguno de los caracteres estudiados. Tampoco fue significativa ninguna interacción simple (Tabla 3). La interacción ($\lambda F\rho$) sólo fue significativa en la variable diámetro del tallo. Ningún efecto aleatorio fue significativo ($p < 0,05$) en ningún carácter. Las interacciones significativas sólo explican una pequeña parte de la variación.

Tabla 3

Análisis de la varianza de los efectos del modelo lineal mixto en el caso de los cruzamientos entre Brazil 1792 Cateto y B73: sumas de cuadrados y valores de F para los efectos fijos, y varianza estimada y valores de Z para los efectos aleatorios.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Días a floración masculina	Diámetro de la base del tallo (mm)	Altura de mazorca (cm)	Altura de planta (cm)	Altura relativa de mazorca	Producción de mazorca (g)
λ	2	173,8 F: 16,74 **	1176,4 F: 97,47 **	18343,4 F: 31,02 **	34812,8 F: 48,97 **	0,1681 F: 56,02 **	67531,8 F: 9,53 *
B (λ)	6	0,0887 Z: 1,26	—	—	8,32 Z: 1,14	—	20,96 Z: 0,64 F
ρ	1	3,69 F: 0,71	19,97 F: 3,31	558,8 F: 1,89	913,5 F: 2,57	0,0018 F: 1,17	13286,7 F: 3,75
($\lambda\rho$)	2	23,1 F: 2,22	24,50 F: 2,03	0,6403 F: 0,46	1066,4 F: 1,50	0,0005 F: 0,17	15164,5 F: 2,14
(λF)	14	0,1274 Z: 1,09	—	—	8,11 Z: 0,93	0,00003 Z: 0,86	—
($F\rho$)	7	—	0,1571 Z: 1,10	4,12 Z: 0,81	—	—	11,84 Z: 0,42
(FB (λ))	38	0,0199 Z: 0,35	0,0220 Z: 0,35	14,69 Z: 2,69 **	17,0 Z: 2,32 *	0,00004 Z: 1,71	95,62 Z: 1,83
($\lambda F\rho$)	14	0,1311 Z: 1,42	0,3801 Z: 2,42 *	5,02 Z: 1,05	3,67 Z: 0,75	0,00003 Z: 1,10	—

λ : localidad; B: bloque; F: familia; ρ : sentido del cruzamiento

—: la estimación de la varianza tuvo un valor cero

*: significativo a $p < 0,05$

**: significativo a $p < 0,01$

Across 8443 La Posta × Mo17 y recíproco

El sentido del cruzamiento (ρ) fue significativo ($p < 0,05$) sólo en la variable días a floración masculina (Tabla 4). Los valores medios, significativamente distintos según el test de Tukey ($p = 0,05$), mostraron que transcurrió menos tiempo entre la siembra y la floración masculina cuando el exótico actuó como parental materno (81,71 días en ese

caso y 82,38 días en el recíproco). Ni el efecto familia ni ninguna interacción fueron significativos ($p < 0,05$) en este semixótico.

Tabla 4

Análisis de la varianza de los efectos del modelo lineal mixto en el caso de los cruzamientos entre Across 8443 La Posta y Mo17: sumas de cuadrados y valores de F para los efectos fijos, y varianza estimada y valores de Z para los efectos aleatorios

Fuentes de variación	Grados de libertad	Días a floración masculina	Diámetro de la base del tallo (mm)	Altura de mazorca (cm)	Altura de planta (cm)	Altura relativa de mazorca	Producción de mazorca (g)
λ	2	205,7 F: 20,79 **	1480,4 F: 105,7 **	4613,9 F: 8,10 *	7848,0 F: 14,62 **	0,0458 F: 13,47 **	22187,6 F: 2,72
B (λ)	6	0,0466 Z: 0,96	—	18,21 Z: 1,51	68,36 Z: 1,65	0,0001 Z: 1,55	195,2 Z: 1,33
F	5	1,7991 Z: 1,51	0,0535 Z: 0,21	64,93 Z: 1,52	80,55 Z: 1,37	0,00004 Z: 0,62	395,7 Z: 1,32
ρ	1	44,03 F: 8,90 *	0,2101 F: 0,03	1350,0 F: 4,74	112,7 F: 0,42	0,0018 F: 1,08	163,1 F: 0,04
($\lambda\rho$)	2	14,25 F: 1,44	42,72 F: 3,05	62,66 F: 0,11	80,52 F: 0,15	0,0004 F: 0,12	6688,9 F: 0,82
(λF)	10	0,0004 Z: 0,01	—	—	1,59 Z: 0,27	0,00003 Z: 0,88	—
(F ρ)	5	0,0783 Z: 0,77	0,3858 Z: 1,16	—	16,84 Z: 1,27	0,00005 Z: 1,04	39,90 Z: 0,54
(FB (λ))	27	—	—	2,64 Z: 0,68	9,76 Z: 1,66	—	149,7 Z: 1,73
($\lambda F\rho$)	10	0,0617 Z: 0,63	0,1874 Z: 1,39	5,01 Z: 1,17	3,42 Z: 0,63	0,00002 Z: 0,54	76,98 Z: 0,98

λ : localidad; B: bloque; F: familia; ρ : sentido del cruzamiento

—: la estimación de la varianza tuvo un valor cero

*: significativo a $p < 0,05$

** : significativo a $p < 0,01$

Across 8443 La Posta \times B73 y recíproco

Al igual que en las combinaciones de este exótico con la línea adaptada Mo17, el sentido del cruzamiento (ρ) fue significativo ($p < 0,05$) en la variable días a floración masculina, aunque en el sentido opuesto (Tabla 5) y sólo en un 1 % (85,72 días cuando la madre fue el exótico y 85,02 días cuando lo fue la línea pura). La interacción ($\lambda\rho$) localidad \times sentido del cruzamiento también fue significativa en esta variable.

Tabla 5

Análisis de la varianza de los efectos del modelo lineal mixto en el caso de los cruzamientos entre Across 8443 La Posta y B73: sumas de cuadrados y valores de F para los efectos fijos, y varianza estimada y valores de Z para los efectos aleatorios

Fuentes de variación	Grados de libertad	Días a floración masculina	Diámetro de la base del tallo (mm)	Altura de mazorca (cm)	Altura de planta (cm)	Altura relativa de mazorca	Producción de mazorca (g)
λ	2	921,0 F: 82,58 **	2841,4 F: 130,27 **	38476,0 F: 68,83 **	52716,5 F: 89,35 **	0,0257 F: 8,57 *	11449,4 F: 1,60
B (λ)	6	—	—	0,3020 Z: 0,10	7,28 Z: 0,81	0,0001 Z: 1,47	67,78 Z: 1,04
F	6	1,8686 Z: 1,66	0,0861 Z: 0,25	201,08 Z: 1,69	165,23 Z: 1,67	0,0004 Z: 1,60	176,6 Z: 1,04
ρ	1	74,67 F: 13,39 *	0,5453 F: 0,05	360,6 F: 1,29	463,2 F: 1,57	0,0008 F: 0,51	35,8 F: 0,01
($\lambda\rho$)	2	47,96 F: 4,30 *	3,05 F: 0,14	553,4 F: 0,99	725,7 F: 1,23	0,0062 F: 2,07	4007,3 F: 0,56
(λF)	12	—	0,0825 Z: 0,66	—	—	0,00002 Z: 0,94	106,0 Z: 1,16
(F ρ)	6	0,0461 Z: 0,63	0,5257 Z: 1,32	1,8386 Z: 0,53	—	0,00002 Z: 0,73	50,47 Z: 0,82
(FB (λ))	35	0,1540 Z: 1,59	—	15,40 Z: 2,31 *	38,74 Z: 3,26 **	—	82,63 Z: 1,13
($\lambda F\rho$)	11	—	—	—	—	—	—

λ : localidad; B: bloque; F: familia; ρ : sentido del cruzamiento

—: la estimación de la varianza tuvo un valor cero

*: significativo a $p < 0,05$

**: significativo a $p < 0,01$

DISCUSIÓN

Considerando el conjunto de resultados en las cuatro progenies, parece que la fuente de variación más relevante fue el factor localidad. En general, de las separaciones de medias puede deducirse que las plantas adquirieron un mayor desarrollo vegetativo en la localidad de Les Franqueses del Vallès, aunque ello no estuvo acompañado de una mayor producción de mazorca. De entre los efectos fijos considerados, al efecto localidad le siguen en importancia el efecto sentido del cruzamiento y la interacción entre ambos efectos, significativa ($p < 0,05$) solamente en dos ocasiones (Tablas 2 y 5). En ninguna de las cuatro progenies ensayadas se ha detectado significación en la interacción entre los efectos localidad y familia.

En las progenies del cruzamiento entre Mo17 y Brazil 1792 Cateto la producción de grano fue un 4,40 % mayor, y el tallo fue un 3,92 % más grueso cuando el exótico actuó como parental materno. En el caso de los dos semiexóticos de Across 8443 La Posta el único efecto recíproco fue una diferencia del 0,8 % en los días que transcurrieron desde la siembra hasta la floración masculina.

A pesar de que se puede considerar que las dos poblaciones exóticas empleadas como parentales tienen una amplia base genética (CIMMYT, 1985), lo que haría posible encontrar diferencias entre individuos por lo que respecta al citoplasma, en ninguno de los cuatro cruzamientos se ha encontrado significación ($p < 0,05$) de la interacción familia \times sentido del cruzamiento.

En conjunto, los resultados obtenidos sugieren que, en general, el efecto del sentido del cruzamiento entre parentales sobre los valores de los caracteres estudiados no se produce sistemáticamente en el mismo sentido. Por ello, el sentido del cruzamiento debería tenerse en cuenta (especialmente en el caso del semiexótico Brazil 1792 Cateto \times Mo17) al planificar la estrategia a seguir en un programa de mejora en el que se utilicen semiexóticos como material de partida, o cuando se quieran producir semiexóticos directamente cultivables (la producción de mazorca aumentó en un 4,4 % cuando el exótico fue el parental materno). Estos resultados difieren de los de Pollak *et al.* (1991), quienes hallaron que la producción de mazorca era significativamente menor cuando el exótico actuaba como parental materno en el patrón heterótico Caribbean Flint \times línea adaptada. Esta contradicción aparente puede ser reflejo de la variabilidad en los genes extranucleares o puede deberse a diferencias en el ambiente materno (Mazer y Gorchoy, 1996).

Los resultados obtenidos varían en cada uno de los cuatro semiexóticos estudiados, por lo que parece aconsejable realizar ensayos previos que permitan discriminar el sentido del cruzamiento más favorable cuando se vayan a llevar a cabo cruzamientos entre materiales exóticos y adaptados, como ya habían sugerido los trabajos Darrah *et al.* (1985), Stuber (1986) o Pollak *et al.* (1991).

AGRADECIMIENTOS

Este estudio estuvo financiado por el proyecto CICYT AGF94-0405.

SUMMARY

Reciprocal effects on crosses between exotic and adapted maizes

This study examines the influence of reciprocal effects in a program aimed at the development of semiexotic hybrids using the exotic materials Across 8443 La Posta and Brazil 1792 Cateto, and the adapted inbreds B73 and Mo17. Direct and reciprocal full-sib families corresponding to each main crossing pattern were tested at three locations. Within each main crossing pattern, the linear model used allowed for location, block within location, family, and reciprocal effects. Days to pollen shedding, diameter of the first elongated internode at the base of the stalk, ear and plant height, relative position of the ear, and ear yield were recorded. The crossing pattern Brazil 1792 Cateto \times Mo17 showed significant reciprocal effects for stalk diameter and ear yield. For both traits exotic cytoplasm favoured higher performing semiexotics (stalks 3.92 % thicker and 4.40 % increase in ear yield on average). For the crossing pattern Brazil 1792 Cateto \times B73 no significant effects or interactions occurred. For the crosses involving Across 8443 La Posta, reciprocal effects were significant for the days-to-pollen shedding trait. No significant family \times reciprocal effects interaction was found for any cross or trait. The results obtained differ among crossing patterns. Therefore, a previous test to choose the most favourable direction of crossing when exotic and adapted materials are used is advised.

KEY WORDS: Maize
Reciprocal effects
Semiexotics

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMIRALL A., CASAÑAS F., BOSCH L., SÁNCHEZ E., PÉREZ A., NUEZ F., 1996. Genetic study of the forage nutritive value in the Lancaster variety of maize. *Maydica* 41, 227-234.
- BOSCH L., CASAÑAS F., FERRET A., SÁNCHEZ E., NUEZ F., 1994. Screening tropical maize populations to obtain semixotic forage hybrids. *Crop Sci.* 34, 1089-1096.
- BROWN W.L., 1953. Sources of germplasm for hybrid corn. *Annu. Hybrid Corn Ind. Res. Conf. Proc.* 8, 11-16.
- BRUCE G., LINDSTROM E.W., 1954. A study of combining abilities of corn inbreds having varying proportions of Corn Belt and non-Corn Belt germplasm. *Agron. J.* 46, 545-552.
- BUNTING E.S., 1978. Agronomic and physiological factors affecting forage maize production. En: *Forage maize*. Bunting E.S., Pain B.F., Phipps R.H., Wilkinson J.M., Gunn R.E. eds. Agricultural Research Council, London, UK. pp 57-85.
- CIMMYT, 1985. Desarrollo, mantenimiento y multiplicación de semilla de variedades de maíz de polinización libre. El Batán, México. 11 pp.
- COCKERHAM C.C., 1963. Estimation of genetic variances. En: Hanson D.D., Robinson H.F., eds. *Statistical genetics and plant breeding*. National Academy of Sciences-National Research Council Pub. No. 982., pp 53-93.
- CUOMO G.J., READFERN D.D., BLOUIN D.C., 1998. Plant density effects on tropical corn forage mass, morphology, and nutritive value. *Agron. J.* 90, 93-96.
- DARRAH L., ZUBER M.S., POLLAK L.M., 1985. Significant reciprocal differences between F1 crosses of Revolution and TELE. *Maize Genet. Coop. Newsl.* 59, 46-48.
- FAIREY N.A., 1980. Hybrid maturity and the relative importance of grain and stover for the assessment of the forage potential of maize genotypes grown in marginal and non-marginal environments. *Can. J. Plant Sci.* 60, 539-545.
- GARWOOD D.L., WEBER E.J., LAMBERT R.J., ALEXANDER D.E., 1970. Effect on different cytoplasm on oil, fatty acids, plant height, and ear height in maize (*Zea mays* L.). *Crop Sci.* 10, 39-41.
- GEIGER H.H., SEITZ G., MELCHINGER A.E., SCHMIDT G.A., 1992. Genotypic correlations in forage maize I. Relationships among yield and quality traits in hybrids. *Maydica* 37, 95-99.
- GOODMAN M.M., BROWN W.L., 1988. Races of corn. En: *Corn and corn improvement*. 3rd ed. Sprague G.F., Dudley J.W. eds. American Society of Agronomy, Inc. Publishers. Madison, Wisconsin, USA. pp 22-80.
- GOUESNARD B., SANOU J., PANOUILLÉ A., BOURION V., BOYAT A., 1996. Evaluation of agronomic traits and analysis of exotic germplasm polymorphism in adapted × exotic maize crosses. *Theor. Appl. Genet.* 92, 368-374.
- HALLAUER A. R., 1978. Potential of exotic germplasm for maize improvement. En: *Maize breeding and genetics*. Walden D.B., ed. John Wiley y Sons, Inc., New York, USA. pp 229-248.
- HAMEED A., POLLAK L.M., HINZ P.N., 1994a. Evaluation of Cateto maize accessions for grain yield and physical grain quality traits. *Crop Sci.* 34, 265-269.
- HAMEED A., POLLAK L.M., HINZ P.N., 1994b. Evaluation of Cateto maize accessions for grain yield and other agronomic traits in temperate and tropical environments. *Crop Sci.* 34, 270-275.
- HOLLAND J.B., GOODMAN M.M., 1995. Combining ability of tropical maize accessions with U.S. germplasm. *Crop Sci.* 35, 767-773.
- KAAN F., DERIEUX M., 1986. Use of exotic maize material and building up of broadly based populations for European breeders. En: *Breeding silage maize*. Proceedings of the 13th. Congress of the maize and Sorghum section of EUCARPIA (European Association for Research on Plant Breeding), Wageningen, The Netherlands, 9-12 September 1985. Dolstra O., Miedema P., eds. Center for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen, the Netherlands, pp 32-40.
- KRAMER H.H., ULLSTRUP A.J., 1959. Preliminary evaluation of exotic maize germplasm. *Agron. J.* 51, 687-689.
- MANN C.H.E., POLLMER W.G., KLEIN D., 1981. Magnitude and stability over environments of reciprocal-cross differences in maize hybrids and their implications on maize breeding. *Maydica* 26, 239-252.
- MAS M.T., BOSCH L., CASAÑAS F., VALERO J., NUEZ F., 1998. Semixotic population of corn Mo17xAcross 8443 La Posta as a base for forage breeding. *Maydica* 43, 291-300.
- MAZER S.J., GORCHOV D.L., 1996. Parental effects on progeny phenotype in plants: distinguishing genetic and environmental causes. *Evolution* 50, 44-53.
- MUNGOMA C., POLLAK L.M., 1988. Heterotic patterns among ten corn belt and exotic maize populations. *Crop Sci.* 28, 500-504.

- OYERVIDES-GARCÍA M., HALLAUER A.R., CORTEZ-MENDOZA H., 1985. Evaluation of improved maize populations in Mexico and the U.S. corn belt. *Crop Sci.* 25, 115-120.
- PANDEY S., DIALLO A.O., ISLAM T.M.T., DEUTSCH J., 1986. Progress from selection in eight tropical maize populations using international testing. *Crop Sci.* 26, 879-884.
- POLLAK L.M., TORRES-CARDONA S., SOTOMAYOR-RÍOS A., 1991. Evaluation of heterotic patterns among Caribbean and Tropical/Temperate maize populations. *Crop Sci.* 31, 1480-1483.
- RAGOT M., SISCO P.H., HOISINGTON D.A., STUBER C.W., 1995. Molecular-Marker-Mediated characterization of favorable exotic alleles and Quantitative Trait Loci in maize. *Crop Sci.* 35, 1306-1315.
- RUSSELL W.A., 1972. Effects of exotic cytoplasm on agronomic characters of two maize inbred lines. *Iowa State Journal of Research* 47, 141-147.
- SAS INSTITUTE, 1992. SAS-STAT Users Guide. Version 6.08, vols I,II. SAS Institute Inc., Cary, N.C.0, USA.
- SEKA D., CROSS H.Z., 1995. Xenia and maternal effects on maize kernel development. *Crop Sci.* 35, 80-85.
- STUBER C.W., 1986. Use of exotic sources of germplasm for maize improvement. En: *Breeding silage maize. Proceedings of the 13th. Congress of the maize and Sorghum section of EUCARPIA (European Association for Research on Plant Breeding)*, Wageningen, The Netherlands, 9-12 September 1985. Dolstra O., Miedema P., eds. Center for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen, the Netherlands. pp 10-31.
- THOMPSON D.L., 1968. Silage yield of exotic corn. *Crop Sci.* 60, 579-581.
- VATTIKONDA M.R., HUNTER R.B., 1983. Comparison of grain yield and whole-plant silage production of recommended corn hybrids. *Can. J. Plant Sci.* 63, 601-609.
- WELLHAUSEN E.J., 1956. Improving American corn with exotic germplasm. *Annu. Hybrid Corn Ind. Res. Conf. Proc.* 11, 85-86.
- WIDSTROM N.W., BONDARI K., MCMILLIAN W.W., 1992. Hybrid performance among maize populations selected for resistance to insects. *Crop Sci.* 32, 85-89.
- WIDSTROM N.W., FOSTER M.J., MARTIN W.K., WILSON D.M. 1996. Agronomic performance in the Southeastern United States of maize hybrids containing tropical germplasm. *Maydica* 41, 391-407.

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN Y TECNOLOGÍA AGRARIA Y ALIMENTARIA
Ctra. de La Coruña, Km. 7,5 - Tél. 91 347 39 16
28040 Madrid (España)