

## SELECCIÓN RECURRENTE EN TRES POBLACIONES DE MAÍZ PARA EL SUBTRÓPICO DE MÉXICO

### RECURRENT SELECTION IN THREE MAIZE POPULATIONS FOR THE MEXICAN SUBTROPICS

José Blas Maya Lozano\* y José Luis Ramírez Díaz<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, Programa de Mejoramiento Genético de Maíz, Campo Experimental Centro de Jalisco. Km 12 Carr Tlajomulco, San Miguel Cuyutlán. Apartado Postal No. 10. 45640 Tlajomulco, Jalisco. México. Tel. y Fax (377) 2-4051. Correo electrónico: cenjal@cirpac.inifap.conacyt.mx

\*Autor responsable

#### RESUMEN

Con base en las necesidades presentes y futuras de maíz en México, el Programa de Mejoramiento Genético de Maíz del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias estableció una estrategia de mejoramiento poblacional de maíz en la zona subtropical de México para el mediano y largo plazo. El propósito de esta investigación fue medir la respuesta a la selección para rendimiento de grano y caracteres agronómicos correlacionados de importancia económica en dos poblaciones tropicales exóticas de maíz [Pob 345 y Pob 347], y una subtropical adaptada (PABGI-PR). Las poblaciones exóticas se mejoraron con el método de selección recurrente de líneas S<sub>2</sub>, y la subtropical con familias de hermanos completos; los criterios de selección fueron: rendimiento de grano y calidad de planta y mazorca. Los sintéticos seleccionados de cada población se evaluaron en temporal o secano (en ensayos independientes) en Ameca, Jal. México. El diseño experimental fue bloques completos al azar. En la Pob 345, el método de líneas S<sub>2</sub> fue efectivo para incrementar el rendimiento de grano (8.3 % por ciclo) y sanidad de mazorca (8.5 % por ciclo), en reducir el número de días a floración femenina (-2.3 % por ciclo) y la altura de la mazorca (-4.8 % por ciclo), pero no fue efectivo para incrementar el rendimiento de grano en la Pob 347. En la población PABGI-PR se logró ganancia en rendimiento de grano (9.3 % por ciclo) y en sanidad de la mazorca (1.6 % por ciclo), pero en forma correlacionada se incrementó la altura de mazorca (1.4 % por ciclo). La prolificidad y la sanidad de mazorca explicaron mejor la respuesta a la selección a rendimiento de grano, en las tres poblaciones seleccionadas.

**Palabras clave:** *Zea mays* L., zona subtropical, mejoramiento poblacional, respuesta a la selección, métodos de selección.

#### SUMMARY

Based on present and future priorities of maize production in Mexico, the Maize Breeding Program of the National Institute for Forestry, Agricultural and Livestock Research (INIFAP) defined a strategy of population maize improvement in the subtropical zone of México for the medium and long term. This research had as objective to assess the gain of selection for grain yield and correlated traits of economic interest in two tropical maize exotic populations (Pop 345 and Pop 347), and one subtropical adapted population (PABGI-PR). Pop 345 and Pop 347 were improved using the method of S<sub>2</sub> lines, while PABGI-PR was improved with the full-sib method. The selection criteria were grain yield, and plant and ear traits. The selected

synthetics of each population were evaluated, in independent trials, under rainfed conditions in Ameca, Jal., México. The experimental design used was randomized complete block design. The S<sub>2</sub> lines method was effective to increase grain yield (8.5 % per cycle), percentage of healthy ears (8.5 % per cycle), to reduce the number of days for silking (-2.3 % per cycle) and ear height (-4.8 % per cycle). Nevertheless, increasing grain yield in Pop 347 was not effective. In PABGI-PR population, the response of selection for grain yield was 9.3 % per cycle, and 1.6 % per cycle for percentage of healthy ears, but ear height increased 1.4 % per cycle in a correlated way. Prolificacy and percentage of healthy ears were the main traits to explain the gain for grain yield in the three populations.

**Index words:** *Zea mays* L., subtropical zone, population improvement, selection response, selection methods.

#### INTRODUCCIÓN

México es un país de grandes contrastes orográficos, lo cual da lugar a una gran diversidad climática, de tipos de suelo y de condiciones sociales y económicas. A pesar de la topografía accidentada del país, es posible definir áreas homogéneas en función de la altitud, precipitación y temperatura, principalmente. Con base en la altitud y la temperatura se definieron cuatro grandes zonas: árida-semiárida, tropical, sierras y subtropical o de alturas intermedias. La zona subtropical se considera la de mayor importancia en la producción de maíz (*Zea mays* L.), ya que en ella se ubica 23 % de la superficie cultivada del país (Hartcamp *et al.*, 2000), que aporta más de 30 % de la producción nacional. Al considerar la precipitación, en la zona subtropical destacan dos grandes regiones: 1) secano o temporal escaso (500 a 700 mm anuales), y 2) secano o temporal suficiente (mayor de 800 mm anuales); ésta última área, también conocida como la zona de alta eficiencia temopluviométrica, se localiza en el centro y sur de Jalisco y en una porción del estado de Michoacán, principalmente.

En 1979, el Programa de Mejoramiento Genético de Maíz Subtropical del entonces Instituto Nacional de

Investigaciones Agrícolas (INIA), inició la introducción, formación y mejoramiento de poblaciones de maíz. Al estado de Jalisco se le asignó la responsabilidad de la formación de variedades mejoradas para los ambientes de temporal eficiente y suelos de buena y muy buena productividad, y al estado de Guanajuato la de la formación de variedades mejoradas para los sistemas de riego y punta de riego (Ramírez, 1996). Con base en la estrategia anterior, en Jalisco se introdujeron poblaciones tropicales y subtropicales del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), y conjuntamente con las variedades criollas y mejoradas sobresalientes adaptadas a esa región se formaron poblaciones de amplia base genética (PABG) de ciclo tardío, intermedio y precoz, respectivamente, con el objeto de crear una base genética que cubriera, en el mediano y largo plazos, las necesidades de germoplasma de maíz de la zona subtropical de México.

De la evaluación de poblaciones exóticas en la zona subtropical, se seleccionaron por su alto potencial de rendimiento y porte bajo de planta las poblaciones tropicales: Mezcla Tropical Blanca y (Tuxpeño PB x ETO PB) F<sub>3</sub>, con las cuales se inició un programa de selección recurrente de progenies autofecundadas; y en el caso de las PABG's, la población de ciclo intermedio (PABGI) se sometió a mejoramiento genético en Jalisco, utilizando los métodos de selección familiar mazorca por surco modificada, y el de hermanos completos.

La efectividad de la selección recurrente es reconocida porque incrementa la frecuencia de genes favorables de una o más características agronómicas bajo selección y mantiene la variabilidad genética para continuar la selección; esto implica un proceso cíclico de muestreo, evaluación y recombinación (Hallauer y Miranda, 1988; Hallauer, 1992).

Los métodos de selección recurrente de progenies o líneas autofecundadas de una (S<sub>1</sub>) y dos generaciones (S<sub>2</sub>), son los más usados para mejorar la resistencia a plagas y enfermedades (Hallauer, 1992). Tanner y Smith (1987) midieron la respuesta de una población de maíz de la Faja Maicera en EE. UU. a dos métodos de selección recurrente (medios hermanos y líneas S<sub>1</sub>); encontraron que con la selección de progenies autofecundadas el rendimiento de grano aumentó en 2.8 % por ciclo, pero el acame de tallo también se incrementó en 3.3 % por ciclo. Por otra parte, con el método de líneas S<sub>2</sub>, Iglesias y Hallauer (1989) no encontraron respuesta a la selección en acame de raíz y tallo, y concluyeron que la intensidad de selección para resistencia a plagas y precocidad al parecer reducen la variabilidad entre progenies S<sub>2</sub>. No obstante, Eyherabide y Hallauer (1991) aplicaron selección recíproca recurrente

de hermanos completos y lograron una reducción significativa en acame de tallo, de 4.9 % por ciclo.

La selección familiar de hermanos completos ha sido usada en el CIMMYT para incrementar el rendimiento de grano principalmente. Vasal y Mclean (1994) obtuvieron ganancias en rendimiento de grano de 1.91 % por ciclo con maíces tropicales, mientras que Bjarnason (1994) logró un avance de 4.1 % por ciclo en maíces subtropicales. En otros estudios, las ganancias en rendimiento de grano por ciclo han sido de 2.6 % (Moll y Hanson, 1984), 2.4 % (Johnson *et al.*, 1986) y 4.5 % (Singh *et al.*, 1986; Moll, 1991). También se han encontrado diferencias en respuesta a la selección entre poblaciones; Pandey *et al.* (1986) informaron que la ganancia en la selección para rendimiento de grano por ciclo fue de 0.2 % para "Tuxpeño Caribe" y de 9.5 % para "Cogollero". Para otros caracteres, la selección de familias de hermanos completos incrementó el número de mazorcas por planta en 0.9 % por ciclo (Pandey *et al.*, 1986), y cuando la selección se hizo en dos densidades de población la respuesta en el número de mazorcas por planta fue lineal del orden de 5.5 % y 3.6 % por ciclo, para la densidad alta y baja, respectivamente (Singh *et al.*, 1986). Los resultados anteriores evidencian las ventajas de la selección recurrente en el mejoramiento de poblaciones de maíz para caracteres de importancia económica. El objeto de esta investigación fue medir la respuesta a la selección para rendimiento de grano y de caracteres agronómicos correlacionados de importancia económica en las poblaciones de maíz Mezcla Tropical Blanca, (Tuxpeño PB x ETO PB) F<sub>3</sub> y PABGI-PR.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Las poblaciones originales (C<sub>0</sub>) Mezcla Tropical Blanca y (Tuxpeño PB x ETO PB) F<sub>3</sub>, que en lo sucesivo se denominarán como Pob 345 y Pob 347, fueron formadas por el CIMMYT (CIMMYT, 1998), y la población PABGI-PR (PABGI-Punta de Riego) se generó en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). En el Cuadro 1 se describen estos materiales.

En 1979 se inició el mejoramiento de las poblaciones 345 y 347 con el método de líneas S<sub>2</sub>, cuya elección se basó en evaluaciones hechas en la zona subtropical de México, en las que presentaron excelente adaptabilidad, alto potencial de rendimiento de grano, porte bajo de planta y resistencia a "mildíu vellosa" (*Peronosclerospora sorghi*). Los dos primeros ciclos de selección se hicieron para resistencia a mildíu vellosa, mientras que en el tercero y cuarto ciclos, el énfasis en la selección fue en precocidad, calidad de tallo y sanidad de mazorca, principalmente. El proceso de selección seguido en cada ciclo para cada población fue el siguiente:

Estación 1 de Otoño/Invierno 1979 (OI): derivación de 500 líneas S<sub>1</sub>; a la cosecha se eliminaron plantas autofecundadas acamadas o con pudriciones de mazorca.

*Cuadro 1. Características de las tres poblaciones de maíz sometidas a selección recurrente.*

Poblaciones	Descripción <sup>(1)</sup>
345	Corresponde a la Población 22 (Mezcla Tropical Blanca) obtenida por el CIMMYT. Es de origen tropical, de ciclo intermedio a tardío y de grano blanco dentado a semidentado. En el INIFAP se mejora mediante el esquema de líneas S <sub>2</sub> .
347	Se formó en el CIMMYT, como resultado de la cruce entre las poblaciones 49 (Tuxpeño PB) y 32 (ETO PB). Tiene germoplasma tropical y subtropical y es de grano blanco cristalino a semicristalino. En el INIFAP se mejora mediante el esquema de líneas S <sub>2</sub> .
PABGI-PR	Se obtuvo de una Población de Amplia Base Genética Intermedia formada por el INIFAP, a partir del noveno ciclo de selección mazorca por surco modificada. Proviene de germoplasma de origen subtropical y se adapta a altitudes intermedias, su ciclo es de intermedio a precoz; de mazorca larga y de grano blanco dentado. En el INIFAP se mejora mediante el esquema de familias de hermanos completos.

<sup>(1)</sup> CIMMYT = Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo; INIFAP = Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias.

Estación 1 de Primavera/Verano 1980 (PV): avance de líneas S<sub>1</sub> a S<sub>2</sub>. Se sembraron 350 líneas S<sub>1</sub> aproximadamente, y se aplicó una presión de selección aproximada de 40 %; el énfasis en la selección fue para calidad de raíz y tallo, y sanidad de mazorca.

Estación 2 de OI 1980: incremento de líneas S<sub>2</sub>: las líneas S<sub>2</sub> seleccionadas en el ciclo anterior se multiplicaron por autofecundación; a la cosecha se hizo selección entre y dentro de líneas; la semilla de las mazorcas seleccionadas dentro de cada línea se mezcló para su evaluación posterior.

Estación 2 de PV 1981. Las líneas S<sub>2</sub> se evaluaron en ensayos de rendimiento en las localidades de Ameca y Ocotlán, Jalisco, en condiciones de temporal; el énfasis en la selección fue para rendimiento de grano, acame de raíz y tallo, y sanidad de mazorca; la presión de selección aplicada fue de 17 %, aproximadamente.

Estación 3 de OI 1982. Las líneas S<sub>2</sub> seleccionadas de cada población (345 y 347) se recombinaron mediante cruzamientos planta a planta para obtener la F<sub>1</sub> (Sintético 1) del siguiente ciclo de selección. Para integrar el Sintético 1 de cada población se buscó que participaran al menos 200 plantas, y con las mazorcas cosechadas de cada uno de los Sintéticos 1 se formó un compuesto balanceado por población.

Estación 3 de PV 1983. El compuesto balanceado de cada sintético 1 se sembró en parcelas de 400 plantas de cada población, y mediante cruzamientos planta a planta se obtuvo la F<sub>2</sub> de los sintéticos, que de acuerdo con Hallauer (1992) es un nivel de recombinación adecuado para que las frecuencias génicas alcancen su equilibrio genético. A partir de este compuesto se inició el siguiente ciclo de selección.

Con la metodología descrita anteriormente, se requirieron tres años para completar un ciclo de selección.

Durante la estación de PV 1993 se obtuvo la generación F<sub>2</sub> del C<sub>4</sub> de las poblaciones 345 y 347; además, en la misma estación se multiplicó la semilla de los sintéticos del primer y tercer ciclo de selección de cada población, para tener semilla suficiente para la evaluación de los ciclos. Por otro parte, se solicitó semilla al CIMMYT de los ciclos: C<sub>0</sub>, C<sub>4</sub> y C<sub>8</sub> de la Población Mezcla Tropical Blanca (345), obtenidos por dicho centro, con el propósito de comparar el avance genético logrado en el ámbito internacional y el obtenido regionalmente. No se solicitó semilla de la población 347, debido a que la cruce original (Tuxpeño PB x ETO PB) F<sub>3</sub>, ya no fue incorporada por el CIMMYT al proceso de selección que siguieron otras poblaciones.

En 1979 el Programa de Mejoramiento Genético de Maíz del INIFAP en Jalisco, formó la población de amplia base genética de ciclo intermedio (PABGI) a partir de las variedades criollas y mejoradas sobresalientes en la zona subtropical de México, mediante el método de selección mazorca por surco modificada. En 1986, se seleccionaron 81 familias de medios hermanos maternos a partir del noveno ciclo de selección-recombinación, las cuales se autofecundaron. Debido a que las progenies tuvieron una alta depresión endogámica, se cambió al método de selección de familias de hermanos completos con el propósito de obtener, en el mediano plazo, una población con mayor tolerancia a la endogamia para integrarla posteriormente al programa de hibridación. Esta población se designó como PABGI-PR.

De esta manera, en PV 1989, se evaluaron 242 familias de hermanos completos en dos ambientes subtropicales (Ameca y Ocotlán, Jal.), donde se aplicó una presión de selección entre y dentro de familias de HC de 8.3 %. En la estación OI 1990/91 se obtuvieron nuevas familias para conformar el segundo ciclo de selección, que se evaluaron en PV 1991; en esta ocasión se seleccionaron 44 familias de hermanos completos (24.6 % de presión de selección). En el ciclo PV 1993 se evaluaron 200 familias del tercer ciclo de selección y se aplicó una presión de selección de 20 %. La formación de familias y la recombinación de

cada ciclo de selección se hizo mediante polinización controlada, para integrar cada ciclo de selección; se hizo un compuesto balanceado de las familias seleccionadas y se recombinaron manualmente mediante cruzamientos planta a planta. En el ciclo PV 1993, se multiplicó la semilla de la población original, y en el primero, segundo y tercer ciclos de selección se obtuvo la segunda recombinación. Como semilla del último ciclo (C<sub>4</sub>), se utilizó un compuesto balanceado de las familias seleccionadas.

Para conocer el comportamiento de los ciclos de selección, se establecieron tres experimentos, uno por cada población, con un diseño en bloques completos al azar con seis repeticiones. En la población 345 se evaluaron los ciclos C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> y C<sub>3</sub> obtenidos en Jalisco con el método de líneas S<sub>2</sub>, y los ciclos C<sub>0</sub>, C<sub>4</sub> y C<sub>8</sub> obtenidos por el CIMMYT el método de hermanos completos (CIMMYT, 1998); todos los ciclos se evaluaron en ocho repeticiones. De la población 347, se evaluaron los ciclos de selección: C<sub>1</sub>, C<sub>3</sub> y C<sub>4</sub> obtenidos en Jalisco; los ciclos: C<sub>0</sub>, C<sub>1</sub> y C<sub>2</sub> de la Población 32 (progenitor de la población 347) obtenidos por el CIMMYT con el método de hermanos completos (CIMMYT, 1998), y cuatro testigos. Por afinidad de las poblaciones, en este estudio sólo se presentan los resultados referentes a la Población 347. En la PABGI-PR se evaluaron los ciclos: C<sub>0</sub>, C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>, y C<sub>4</sub> en 10 repeticiones. Los tres experimentos se establecieron en la estación de PV 1994 en la localidad de Ameca, Jalisco, México. El manejo agronómico de los experimentos se hizo siguiendo las recomendaciones generadas por el INIFAP para el cultivo del maíz en la localidad donde se ubicó cada sitio experimental (CIPAC'JAL, 1990).

La unidad experimental consistió de cuatro surcos de 4.2 m de largo y 0.80 m de separación, donde cada genotipo se sembró en una densidad de población de 60 mil plantas/ha. Como parcela útil se utilizaron los dos surcos centrales donde se obtuvo la información siguiente: a) rendimiento de grano a cero por ciento de humedad (REND), número de días a floración femenina (FLOF), altura de mazorca (ALMA), porcentaje de acame de raíz (ACAR) y de tallo (ACAT), sanidad de mazorca (SAMA) y número de mazorcas por 100 plantas (PROL). EL avance de la selección (AG) en cada población, se estimó utilizando el coeficiente de regresión simple (b) como porcentaje en relación al intercepto (a) ( $AG = [(b/a)*100]$ ).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los análisis de varianza para la población 345 no hubo diferencias significativas entre los compuestos de selección en cuanto a rendimiento de grano, pero sí las hubo para floración femenina, altura de mazorca, número de mazorcas por 100 plantas (prolificidad) y sanidad de ma-

zorca (datos no presentados). Al comparar las medias de los sintéticos correspondientes al C<sub>4</sub>, obtenido en Jalisco, con el C<sub>8</sub> procedente del CIMMYT, se encontró que numéricamente el C<sub>4</sub> superó en 16 % el rendimiento de grano del C<sub>8</sub>; además, fue significativamente más precoz, con menor altura de mazorca, similar en acame de raíz y tallo, con mayor prolificidad y sanidad de mazorca (Cuadro 2).

Cuadro 2. Rendimiento de grano y características agronómicas de la Población 22 seleccionada en Jalisco y en el CIMMYT. Ameca, Jal. 1994 PV.

Ciclo	REND	FLOF	ALMA	ACAR	ACAT	PROL	SAMA
<b>Población 22 (345) seleccionada en Jalisco</b>							
0	3.32	69	149	35	0	61	40
1	3.77	69	156	43	0	78	52
3	4.27	66	134	39	0	83	68
4	4.65	64	134	35	0	85	69
<b>Población 22 seleccionada en CIMMYT</b>							
0	3.32	69	149	35	0	61	40
4	4.47	68	149	37	0	76	48
8	4.01	69	152	37	0	73	41
DMSH (0.05)	0.90	2	9	11		12	13
CV (%)	21.6	2.5	6.0	27.5		15.9	24.6

REND = rendimiento de grano (t ha<sup>-1</sup>); FLOF = número de días a floración femenina (d); ALMA = altura de mazorca (cm). ACAR = acame de raíz (%); ACAT = acame de tallo (%); PROL = número de mazorcas por 100 plantas; SAMA = mazorcas completamente sanas.

La respuesta a la selección aplicada en Jalisco, en rendimiento de grano fue de 8.3 % por ciclo, que es superior a la obtenida por Tanner y Smith (1987); además, en cada ciclo la selección como reducción en el número de días a floración femenina en 1.6 días (2.3 %), en la altura de mazorca (4.8 %), y en el acame de raíz (5.6 %), pero incrementó el número de mazorcas en 100 plantas (2.3 %) y la sanidad de mazorca (8.5 %) (Cuadro 3). Con base en los resultados anteriores, se considera que la metodología aplicada, consistente en seleccionar en el lote de mejoramiento para caracteres agronómicos (altura de planta, precocidad, acame de raíz y tallo, y sanidad de mazorca), y en los ensayos repetidos para rendimiento de grano, acame y sanidad de mazorca, fue efectiva para obtener ganancias en la selección en la dirección deseada. Por otra parte, la ganancia obtenida en PROL es una respuesta indirecta positiva, que ayuda a explicar la ganancia obtenida en rendimiento de grano.

En el caso de los ciclos evaluados procedentes del CIMMYT, la respuesta en rendimiento de grano fue de 2.4 % por ciclo, la cual fue similar a la obtenida por Vasal y Mclean (1994), Moll y Hanson (1984), y Johnson *et al.* (1986). Tal población se mantuvo sin cambios en precocidad y altura de mazorca, resultado que se considera relevante debido a la correlación positiva entre la ganancia en

Cuadro 3. Respuesta a la selección de la Población 22 (345) para rendimiento de grano y algunas características agronómicas. Ameca, Jal. 1994 PV

Parámetro	REND	GS	FLOF	GS	ALMA	GS	ACAR	GS	PROL	GS	SAMA	GS
<b>Población 22 (345) seleccionada en Jalisco</b>												
b <sub>0</sub>	3.464		70.7		162.3		45.9		76.8		50.3	
b <sub>1</sub>	0.287	8.3	-1.6*	-2.3	-7.9	-4.8	-2.6	-5.6	1.8	2.3	4.3	8.5
R <sup>2</sup>	0.988		0.99		0.89		0.96		0.94		0.79	
<b>Población 22 seleccionada en CIMMYT</b>												
b <sub>0</sub>	3.588		68.7		148.5		35.33		64.0		42.5	
b <sub>1</sub>	0.086	2.4	0.001	0.001	0.38	0.25	0.25	0.71	1.5	2.3	0.125	0.29
R <sup>2</sup>	0.355		0.001		0.75		0.75		0.57		0.013	

\*significativo al 0.05 de probabilidad; GS = ganancia en la selección (%); REND = rendimiento de grano (t ha<sup>-1</sup>); FLOF = días a floración femenina; ALMA = altura de mazorca (cm); ACAR = acame de raíz (%); PROL = número de mazorcas por 100 plantas; SAMA = porcentaje de mazorcas completamente sanas.

rendimiento de grano con la madurez tardía y el porte alto de planta. Al igual que en Jalisco, la ganancia en rendimiento de grano se explica por la ganancia indirecta obtenida en prolificidad, debido a que la ganancia en sanidad de mazorca fue baja (0.29 % por ciclo), y el acame de raíz se incrementó en 0.70 por ciclo (Cuadro 3).

Al comparar la ganancia obtenida en rendimiento de grano en los ciclos de selección hechos en Jalisco contra los que se hicieron en el CIMMYT, sin considerar el método de selección, se encontró que en Jalisco la respuesta fue de 96 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, mientras que en los ciclos procedentes del CIMMYT fue de 43 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Estos resultados podrían explicarse en función de las diferencias en los ambientes de selección y evaluación de los ciclos, así como el método de selección aplicado. En el primer caso, tanto la selección como la evaluación de los ciclos obtenidos en Jalisco se hizo en ambientes subtropicales, mientras que en el caso de los ciclos hechos en el CIMMYT, las progenies se seleccionan mayormente en ambientes tropicales, por lo que la respuesta obtenida en la selección aplicada por el CIMMYT, pudo haber sido subestimada. El método de selección aplicado en Jalisco fue el de líneas S<sub>2</sub> y en el CIMMYT se utilizó el de hermanos completos; la respuesta teórica esperada a la selección con líneas S<sub>2</sub> es mayor que la de hermanos completos, debido a que con aquella se explotan 3/2 de la varianza genética aditiva, y con familias de hermanos completos se aprovecha sólo 1/2 de la varianza aditiva (Hallauer y Miranda, 1988).

Es importante resaltar el valor genético de la Pob 345, que a pesar de ser de origen tropical, responde de manera excelente a la selección para rendimiento de grano en regiones subtropicales. Esta población ha sido de gran importancia para el Programa de Mejoramiento Genético de Maíz Subtropical del INIFAP, puesto que el progenitor B-40 que participa en los híbridos comerciales H-358 y H-359, se derivó de dicha población (Ramírez *et al.*, 1995a; Ramírez *et al.*, 1995b); y además, tiene excelente comportamiento cuando se combina con poblaciones del trópico

húmedo (Gómez *et al.*, 2000) lo cual permitirá ampliar su uso en programas para zonas tropicales y subtropicales.

Al comparar las medias de los sintéticos seleccionados en la población 347, no se detectaron diferencias estadísticas significantes en rendimiento de grano, porcentaje de acame de tallo y número de mazorcas por 100 plantas (prolificidad); sólo se encontraron diferencias estadísticas en el número de días a floración femenina, el porcentaje de acame de raíz y el porcentaje de mazorcas sanas (Cuadro 4).

Cuadro 4. Medias de rendimiento de grano y características agronómicas de los sintéticos seleccionados en la Población 347. Ameca, Jal. 1994 P.V.

Ciclo	REND	FLOF	ALMA	ACAR	ACAT	PROL	SAMA
1	5.43	61	119	3	10	80	63
3	5.37	62	128	14	4	86	57
4	5.44	62	132	1	7	80	71
DMSH 0.05	1.07	1	10	9	7	13	15
C V (%)	17.5	1.4	6.2	110.1	56.5	14.5	23.4

REND = rendimiento de grano (t ha<sup>-1</sup>); FLOF = número de días a floración femenina (d); ALMA = altura de mazorca (cm); ACAR = acame de raíz (%); ACAT = acame de tallo (%); PROL = número de mazorcas por 100 plantas; SAMA = mazorcas completamente sanas (%).

Al calcular la respuesta a la selección, se encontró que el cambio en las variables rendimiento de grano, número de días a floración femenina, altura de mazorca y acame de raíz, la ganancia obtenida no estuvo en la dirección deseada, debido a que en cada ciclo de selección el rendimiento de grano se redujo en 0.018 %, y se incrementaron el número de días a floración femenina en 0.36 %, la altura de mazorca en 4.36 % y el acame de raíz en 3.86 %. Sólo se tuvo la respuesta deseada para acame de tallo, que se redujo en 12.4 % por ciclo, y sanidad de mazorca que aumentó 3.17 % por ciclo. El número de mazorcas en 100 plantas prácticamente permaneció sin cambios (0.53 % por ciclo), lo que pudo influir en la falta de respuesta del rendimiento de grano a la selección (Cuadro 5).

La respuesta nula a la selección en las variables rendimiento de grano, floración femenina y altura de mazorca, se pudo deber a que la Población 347 es una población uniforme con rendimiento de grano alto, porte bajo de mazorca y un ciclo de madurez que se ajusta al requerido en la región subtropical de México. Por tanto, aun cuando se aplicaron los mismos criterios de selección que en la Pob 345, no se logró la misma ganancia a la selección. Sin embargo, si se considera que la población original era de porte bajo y ciclo intermedio y, además, que se tuvieron ganancias en la selección en acame de tallo y sanidad de mazorca, posiblemente se podrían encontrar diferencias entre los ciclos de selección si éstos se evaluarán en densidades de población más altas.

Cuadro 5. Respuesta a la selección de la Población 347 para rendimiento de grano y algunas características agronómicas. Ameca, Jal. 1994 PV.

Variable	Parámetro		R <sup>2</sup>
	bo	b1	
REND	5.417	-0.001	0.003
GS		-0.018	
FLOF	60.7	0.36	0.785
GS		0.59	
ALMA	114.7	4.36*	0.998
GS		3.8	
ACAR	5.43	0.21	0.002
GS		3.86	
ACAT	10.42	-1.29	0.429
GS		-12.4	
PROL	80.9	0.428	0.035
GS		0.53	
SAMA	58.7	1.86	0.163
GS		3.17	

\*significativo al 0.05 de probabilidad; GS = ganancia en la selección (%); REND = rendimiento de grano (t ha<sup>-1</sup>); FLOF = días a floración femenina (d); ALMA = altura de mazorca (cm); ACAR = acame de raíz (%); ACAT = acame de tallo (%); PROL = número de mazorcas por 100 plantas; SAMA = mazorcas completamente sanas (%).

La densidad de población de 60 000 plantas por hectárea usada en las evaluaciones no resulta crítica debido al tipo y porte de la planta de esta población.

Entre los sintéticos seleccionados de la población PABGI-PR, hubo diferencias estadísticas significantes en rendimiento de grano, altura de mazorca, número de mazorcas por 100 plantas (prolificidad), y sanidad de mazorca, mientras que en acame de raíz y de tallo y floración femenina no las hubo; en precocidad no se encontraron diferencias. Se puede observar que el aumento en rendimiento de grano estuvo asociado con incrementos en la altura de mazorca, así como con el aumento en la prolificidad y la sanidad de mazorca (Cuadro 6).

La respuesta a la selección fue favorable y estadísticamente significativa para rendimiento de grano (9.3 % por ciclo), ganancia que fue similar a la obtenida por Pandey *et al.* (1986) en la población "Cogollero", y superior a la informada por Vasal y Mclean (1994), Bjarnason (1994) y

Moll y Hanson (1984) cuando utilizaron el mismo método de selección. En otros caracteres, la floración femenina prácticamente no se modificó (0.17 % por ciclo), la altura de mazorca se incrementó en 1.4 % por ciclo, el acame de raíz aumentó en 9.5 % por ciclo, el acame de tallo se redujo en -2.3 % por ciclo, y en prolificidad y sanidad de mazorca la ganancia obtenida fue de 6.4 % y 1.6 % por ciclo, respectivamente (Cuadro 7).

Cuadro 6. Medias de rendimiento de grano y características agronómicas de los sintéticos seleccionados en la población PABGI-PR. Ameca, Jal. 1994 PV.Ciclo

	REND	FLOF	ALMA	ACAR	ACAT	PROL	SAMA
0	3.32	59	137	7	5	58	42
1	4.11	58	142	8	3	67	45
2	4.19	58	146	9	5	65	55
3	4.17	59	141	11	4	67	44
4	4.91	59	147	9	4	77	46
DMSH (0.05)	0.80	1	7	7	3	9	12
C V (%)	21.3	1.5	5.7	79.8	84.0	14.6	27.9

REND = rendimiento de grano (t ha<sup>-1</sup>); FLOF = número de días a floración femenina (d); ALMA = altura de mazorca (cm); ACAR = porcentaje de acame de raíz (%); ACAT = porcentaje de acame de tallo (%); PROL = número de mazorcas por 100 plantas; SAMA = porcentaje de mazorcas completamente sanas (%).

Cuadro 7. Respuesta a la selección en la Población PABGI-PR para rendimiento de grano y algunas características agronómicas.

Variable	Parámetro		R <sup>2</sup>
	bo	b1	
REND	3.492	0.324*	0.827
GS		9.3	
FLOF	58.4	0.1	0.083
GS		0.17	
ALMA	138.8	1.9	0.405
GS		1.4	
ACAR	7.4	0.7	0.409
GS		9.5	
ACAT	4.4	-0.1	0.035
GS		-2.3	
PROL	59.2	3.8*	0.709
GS		6.4	
SAMA	45	0.7	0.048
GS		1.6	

\* significativo al 0.05 de probabilidad; GS = ganancia en la selección (%); REND = rendimiento de grano (t ha<sup>-1</sup>); FLOF = días a floración femenina (d); ALMA = altura de mazorca (cm); ACAR = porcentaje de acame de raíz (%); ACAT = porcentaje de acame de tallo (%); PROL = número de mazorcas por 100 plantas; SAMA = porcentaje de mazorcas completamente sanas (%).

El valor genético de la población PABGI-PR se considera importante para la zona subtropical de México, debido a que su ciclo de madurez (intermedio-precoc) se ajusta muy bien para regiones subtropicales con precipitaciones anuales de 600 a 700 mm; además, considerando que la PABGI-PR es una población de amplia base genética que se integró con colecciones y variedades mejoradas adaptadas, sus alelos pueden estar adaptados a las condiciones del área de trabajo y presentar variación para buscar resistencia a enfermedades; también presenta heterosis alta al combinarse con germoplasma tropical y subtropical, como

lo demuestran Vallejo *et al.* (2000). Sin embargo, es necesario que en futuros ciclos de selección, además de mejorar el rendimiento de grano, se enfatice en la reducción del porte de planta y en el mejoramiento de la resistencia al acame.

El análisis integral de los resultados obtenidos en las tres poblaciones permite notar que una prioridad importante en el mejoramiento poblacional del Programa de Mejoramiento Genético de Maíz de la zona Subtropical del INIFAP, es incrementar el potencial de rendimiento de grano y, sobre todo, la resistencia al acame de raíz y tallo; asimismo se debe continuar con el mejoramiento de la población 347, pues aunque no tuvo respuesta a la selección, presentó los mayores rendimientos y precocidad en relación a las otras variedades evaluadas.

### CONCLUSIONES

El método de selección recurrente de líneas S<sub>2</sub> aplicado en la Pob 345 fue efectivo para: incrementar el rendimiento de grano (8.3 % por ciclo) y la sanidad de mazorca (8.5 % por ciclo), reducir el número de días a floración femenina (-2.3 % por ciclo) y la altura de la mazorca (-4.8 % por ciclo); pero no fue efectivo para incrementar el rendimiento de grano en la Pob 347.

El método de hermanos completos aplicado en la población PABGI-PR fue efectivo para incrementar el rendimiento de grano (9.3 % por ciclo) y la sanidad de la mazorca (1.6 % por ciclo), pero en forma correlacionada se incrementó la altura de la mazorca (1.4 % por ciclo).

La prolificidad y la sanidad de mazorca explicaron la respuesta del rendimiento de grano a la selección en las tres poblaciones consideradas.

En ninguna de las tres poblaciones seleccionadas hubo ganancias sustanciales en la resistencia al acame de raíz y tallo; por tanto, se requiere que en los ciclos subsiguientes se incremente la presión de selección en estos caracteres o se apliquen métodos auxiliares de manejo de las progenies para reducir el efecto de la interacción genotipo-ambiente e incrementar la respuesta a la selección.

### BIBLIOGRAFÍA

- Bjarnason M (ed) (1994) The Subtropical, Midaltitude and Highland Maize Subprogram. Maize Program Special Report. CIMMYT. México, D.F.
- CIMMYT (1998) A complete listing of improved maize germplasm from CIMMYT. CIMMYT Maize Program Special Report. México, D. F. pp: 14-16.
- CIPAC'JAL (1990) Guía para cultivar maíz en Jalisco. Campo Experimental Centro de Jalisco. SARH-INIFAP. Folleto para Productores No. 3. Guadalajara, Jal., México.
- Eyherabide G H, A R Hallauer (1991) Reciprocal full-sib recurrent selection in maize: I. Direct and indirect responses. *Crop Sci.* 31: 952-959.
- Gómez M N O, J Cañedo C, J L Ramírez D (2000) Aprovechamiento de la diversidad genética en una cruz a intervartietal de maíz. *In:* F Zavala G, R Ortega P, J A Mejía C, I Benítez R, H Guillén A (eds). Memorias del XVIII Congreso Nacional de Fitogenética: Notas Científicas. SOMEFI. Chapingo, Edo. de México. p 127.
- Hallauer A R, J B Miranda (1988) Quantitative Genetics in Maize Breeding. Iowa State Univ. Press, Ames, IA. pp: 183-201.
- Hallauer A R (1992) Recurrent selection in maize. *Plant Breed. Rev.* 9: 115-179.
- Hartcamp A D, J W White, A Rodríguez-Aguilar, M Bänzinger, G Srinivasan, G Granados, J Crossa (2000) Maize Production Environments Revisited: A GIS-based Approach. CIMMYT. Mexico, D. F. 33 p.
- Iglesias C A, A R Hallauer (1989) S<sub>2</sub> recurrent selection in maize populations with exotic germplasm. *Maydica.* 34: 133-140.
- Johnson E C, K S Fisher, G O Edmeades, A F E Palmer (1986) Recurrent selection for reduced plant height in lowland tropical maize. *Crop Sci.* 26: 253-260.
- Moll R H, W D Hanson (1984) Comparisons of effects of intrapopulation vs interpopulation selection in maize. *Crop Sci.* 24: 1047-1052.
- Moll R H (1991) Sixteen cycles of recurrent full-sib family selection for grain weight in two maize populations. *Crop Sci.* 31: 959-964.
- Pandey S, A D Diallo, T M T Islam, J Deutsch (1986) Progress from selection in eight tropical maize populations using international testing. *Crop Sci.* 26: 879-884.
- Ramírez D J L (1996) Estrategias y resultados de investigación del Programa de Mejoramiento Genético de Maíz del INIFAP en Jalisco, México. *Germen* 12: 15-39.
- Ramírez D J L, J Ron P, J B Maya L, O Cota A (1995a) H-357 y H-358, híbridos de maíz de cruz simple para la zona subtropical y tropical de México. Campo Experimental Centro de Jalisco. Folleto Técnico No. 4. CIPAC-INIFAP. 24 p.
- Ramírez D J L, J Ron P, J B Maya L, O Cota A (1995b) H-359 y H-360, híbridos de maíz de cruz simple para la zona subtropical y tropical de México. Campo Experimental Centro de Jalisco. Folleto Técnico No. 5. CIPAC-INIFAP. 20 p.
- Singh M, A S Khehra, B S Dhillon (1986) Direct and correlated response to recurrent full-sib selection for prolificacy in maize. *Crop Sci.* 26: 275-278.
- Tanner A H, O S Smith (1987) Comparison of half-sib and S<sub>1</sub> recurrent selection in Krug Yellow Dent maize populations. *Crop Sci.* 27: 509-513.
- Vallejo D H L, J L Ramírez D, J Ron P, J J Sánchez G, M Chuela B, H Venegas S, H Delgado M, M Aguilar S, V A Vidal M, A García (2000) Aptitud combinatoria de líneas de maíz derivadas de dos poblaciones subtropicales adaptadas. *In:* F Zavala G, R Ortega P, J A Mejía C, I Benítez R, H Guillén A (eds). Memorias del XVIII Congreso Nacional de Fitogenética: Notas Científicas. SOMEFI. Chapingo, Edo. de México. p 121.
- Vasal S K, S Mclean (1994) The lowland tropical maize subprogram. Maize Program Special Report. México, CIMMYT. D.F.