

# SELECCIÓN EN CRUZAS INTERRACIALES TROPICALES DE MAÍZ DE MÉXICO PARA ADAPTACIÓN A VALLES ALTOS\*

Alejandro A. Navas\*\*, Tarcicio Cervantes\*\*\*

## RESUMEN

En el presente trabajo se evaluó la respuesta a la selección para adaptación a Valles Altos, de cinco generaciones de cruces de razas tropicales de maíz de México con altitud de distribución de 0-700 msnm. Se sembró en Montecillo, México (localidad de Valles Altos) un experimento con cuatro generaciones de 22 cruces interracial tropicales, nueve razas progenitoras y cuatro poblaciones locales como testigos. Además de rendimiento de grano por tallo (RG), se estudiaron 15 caracteres considerados algunos como componentes de rendimiento, y otros de interés agronómicos para adaptación. La selección para adaptación incrementó el rendimiento de grano por tallo (RG), en 18,0% por ciclo de selección. Se modificó el número de mazorcas por tallo, longitud, diámetro y porcentaje de grano de la mazorca, volumen y peso de cien semillas. La altura de planta y mazorca presentaron respuestas agronómicamente indeseables, en tanto que, días a floración masculina, coincidencia de floración y sanidad de planta mejoraron con la selección. Se identificaron seis cruces en F8 que igualaron en rendimiento y en otros caracteres al mejor testigo local Huamantla (raza coníco). De acuerdo con los progenitores, se deduce que la raza Tuxpeño tuvo mayor contribución de genes de rendimiento, la raza Vandeño tuvo genes de adaptación en tanto que la raza Tepecintle tuvo una contribución muy pobre en la respuesta de la selección.

## ABSTRACT

The response of the selection, and its adaptation at high plateaus, of five generations of tropical corn race crosses from Mexico, with a 0-700 masl altitude range, was evaluated. An assay was planted at Montecillo, Mexico (locale with high plateaus) using four generations of 22 tropical interracial crosses, nine race progenitors and four local populations as controls. Besides of the grain yield per stalk, 15 characters were studied, some as yield components and others as of agronomic interest for its adaptation. The selection for high plateau adaptation with tropical corn inter-racial crosses was effective to increase grain yield per stalk, achieving an average response of 18% per selection cycle, in five cycles. Although with smaller increments, the number of ears per stalk, length, diameter and grain percentage of the ear, volume and weight of 100 seeds were modified. Ear and plant height showed undesirable agronomic responses, while days to tasselling, blooming coincidence and plant health improved with the selection. Six crosses in F8 were identified as matching the yield and other characters to the best local control Huamantla (conical race). According to the progenitors used in these crosses, it is deduced that the Tuxpeño race was the largest gene contributor for yield and Vandeño for adaptation genes, while Tepecintle showed a very poor gene contribution to the selection response.

## INTRODUCCIÓN

Un modo aumentar la variabilidad genética, en los programas de mejoramiento, que logre las metas que impone la tecnología moderna a las nuevas variedades mejoradas, es la introducción de material genético exótico, Goodman (1965).

Los genotipos exóticos presentan problemas de adaptación, consistentes en alta susceptibilidad a enfermedades, alteración del ciclo vegetativo y disminución considerable del rendimiento, y no se utilizan *per se*. Es común que primero se cruce con el local, y luego se sometan a selección, con la consiguiente pérdida de genes exóticos o la reducción de sus frecuencias por la predominancia de los genes locales. La selección para adaptación del material exótico, antes de

ser cruzado con el local, puede ser la mejor opción para aumentar las frecuencias de los genes favorables.

El presente trabajo es una continuación del iniciado en 1982 por Cervantes y Castillo (1985), bajo la hipótesis de que el patrimonio genético de las poblaciones ancestrales, al pasar por diferentes altitudes en su proceso evolutivo, ganaron adaptación que luego se dispersaron en distintos nichos ecológicos; tales genes podrán reunirse cruzando poblaciones de diferente origen y seleccionando segregantes fuera de su ambiente de distribución adaptativa, hasta obtener genotipos más estables en altitud.

La dispersión de las poblaciones ocasionó mayor amplitud en la variabilidad genética del maíz en México que, según Wellhausen *et al.* (1951), es el producto de la

\* Trabajo presentado a la XXXVII Reunión del PCCMCA, Panamá. 1991.

\*\* Investigador, Grupo disciplinario de maíz, Instituto Colombiano Agropecuario. Apdo. Aéreo 206, Montería, Colombia.

\*\*\* Profesor Investigador. Centro de Genética, Colegio de Postgraduados, CP.56230, Chapingo, Edo. México, México.

contribución, a través de cruzamientos de las razas primitivas que aún existen como variedades de uso comercial, de la influencia de variedades exóticas de América del Sur, del cruzamiento natural del maíz con el Tepecintle y la geografía de México que favoreció la rápida diferenciación.

Bucio (1954) en Jaloxtoc, Mor., encontró que maíz dulce presentó heterosis con todas las razas, Harinoso de Ocho sólo con el 30% y el resto de las razas por los menos con el 50%; Barrientos (1962) en Chapingo, México, encontró que las mejores cruzas fueron Cónico x Celaya, Chalqueño x Cónico Norteño, Tuxpeño y Olotillo; Castro (1964) en Chapingo, Méx. encontró que las mejores cruzas fueron entre razas de zonas altas por razas de zonas intermedias o bajas.

Con fines de selección para rendimiento y adaptación de cruzas de material exótico por local, Troyer y Brown (1972), obtuvieron poblaciones adaptadas a la faja maicera de EE.UU. después de 10 años de re combinación de cruzas de razas mexicanas con líneas locales. Mayorquín (1979) en Valles Altos encontró que la dosis de 25% de la raza Tuxpeño sobre la raza Cónico fue la de mayor rendimiento; Marandu (1985) obtuvo efectividad en la selección para adaptación a la faja maicera de EE.UU. de poblaciones semi-exóticas.

Para iniciar un proceso de selección para adaptación a Valles Altos de cruzas entre genotipos exóticos, Cervantes y Castillo (1985), evaluaron las cruzas F2 interraciales tropicales, encontrando como buenas combinaciones las de Tuxpeño con Nal-Tel y Jala, y Tehua con Olotillo; las líneas con peor comportamiento en sus cruzas fueron Zapalote Chico, Zapalote Grande, Nal- Tel, Chapalote, Reventador, Blandito, Bofo y Vandeano; la mejor fue Comiteco, seguida por Tehua, Jala, Tablilla de Ocho, Pepitilla y Tuxpeño, fue esta última la de más baja altitud de distribución de este grupo y con mejor expresión en sus cruzas.

Hallauer y Miranda (1981) citan como ganancias máximas para rendimiento por ciclo, la de 19,1% en selección masal de un compuesto de razas mexicanas y de 13,6% en selección modificada de mazorca por surco, en la variedad Paulista Dentado.

## MATERIALES Y METODOS

### Obtención del material genético

A partir de 1978, se obtuvieron las cruzas directas posibles entre las líneas tropicales de maíz de México,

con altitud de distribución de 0 a 700 msnm Wellhausen *et al.* (1951), mediante el cruzamiento en Tepalcingo, Mor., de dos colecciones representativas de una línea con las dos de la otra. Las cruzas de la generación F2 obtenidas por cruzamientos fraternales de F1, se evaluaron experimentalmente en Montecillo, Méx. (2240 msnm) en 1982 (Cervantes y Castillo, 1985). De acuerdo con estos resultados se seleccionó la craza de mayor rendimiento del subgrupo de cruzas de cada par de razas.

Las cruzas seleccionadas se sometieron a selección a partir de la generación F2 en Chapingo, posteriormente en Montecillo, Méx. La selección se efectuó en poblaciones pequeñas (3 a 4 surcos de 7 a 10 m de longitud), con densidades de población a la cosecha de 63126, 84168 y 126126 plantas/ha de F2 a F5; en F6 y, en F7 y F8, respectivamente: en F7 y F8 la densidad hasta los 40 días después de la siembra fue de 378378 y 504504 plantas/ha, respectivamente, momento en que se aclaró a una planta por sitio, eliminando las plantas más pequeñas, con menor diámetro de tallo y mayor incidencia de enfermedades.

La polinización desde F2 se realizó por cruzamientos fraternales con mezcla de polen, sólo entre plantas sanas, de buen aspecto y con buen tamaño de jilote. La selección a la cosecha fue por apreciación visual del rendimiento, precocidad, sanidad y aspecto de mazorca, con presiones de selección que variaron entre cruzas y generaciones; se seleccionaron de 2 a 28 mazorcas por parcela, en número mayor en las generaciones más avanzadas. A través de las generaciones se eliminaron algunas cruzas por no tener semilla suficiente para la siembra del ciclo siguiente, llegando a F8 únicamente 22 cruzas de las 36 iniciales en F2.

### Evaluación

En un experimento establecido el 21 de abril de 1989 en Montecillo, Méx., se evaluaron las generaciones F3, F5, F7 y F8 (con algunas excepciones) de las 22 cruzas que llegaron a esta última generación, así como ocho progenitores y cuatro testigos locales (Cuadro 1). El diseño experimental fue de bloques completamente al azar con ocho repeticiones, parcela de 1 surco de 1,75 m de longitud con ocho plantas a 0,25 m de separación, una planta por sitio y distancia entre surcos de 0,80 m.

Cuadro 1. Cruzas interraciales (incluyendo número de colección representativa) con generaciones, progenitores y testigos evaluados.

No.	Genealogía	Origen	Generaciones			
			evaluadas (F)			
C1	Chapalote (Sin. 2) x Olotillo (Chis. 518)		3	5	7	8
C2	Chapalote (Sin. 2) x Tuxpeño (Oax. 9)		3	5	7	8
C3	Chapalote (Sin. 6) x Harinoso de Ocho (Son. 102)		3	5	7	8
C4	Chapalote (Sin. 6) x Tepecintle (Chis. 76)		3	5	7	8
C5	Chapalote (Sin. 6) x Zapalote Grande (Chis. 236)		3	4	7	8
C6	Chapalote (Sin. 6) x Vandefño (Chis. 30)		3	5	7	8
C7	Nal-Tel (Yuc. 7) x Chapalote (Sin. 6)		3	4	7	8
C8	Nal-Tel (Yuc. 7) x Olotillo (Chis. 518)		3	5	7	8
C9	Nal-Tel (Q. Roo 39) x Tepecintle (Oax. 177)		4	5	7	8
C10	Nal-Tel (Q. Roo 39) x Tuxpeño (Oax. 9)		3	5	7	8
C11	Tepecintle (Chis. 76) x Harinoso de Ocho (Son. 103)		3	5	7	8
C12	Tepecintle (Oax. 177) x Tuxpeño (Oax. 9)		2	4	5	7
C13	Tepecintle (Oax. 177) x Vandefño (Oax. 114)		3	5	6	8
C14	Zapalote Chico (Oax. 50) x Zapalote Grande (Chis. 236)		3	5	7	8
C15	Zapalote Chico (Oax. 50) x Olotillo (Chis. 518)		3	5	7	8
C16	Zapalote Chico (Oax. 50) x Tuxpeño (Tams. 125)		3	6	7	8
C17	Zapalote Grande (Chis. 236) x Tuxpeño (Tams. 125)		3	5	7	8
C18*	Olotillo (Chis. 81) x Harinoso de Ocho (Son. 103)		-	5	6	8
C19	Tuxpeño (Tams. 125) x Harinoso de Ocho (Son. 102)		4	5	7	8
C20	Tuxpeño (Oax. 9) x Olotillo (Chis. 81)		3	5	7	8
C21	Tuxpeño (Oax. 9) x Vandefño (chis. 114)		3	5	7	8
C22	Vandefño (Chis. 114) x Olotillo (Chis. 81)		3	5	7	8
PROGENITORES						
P1	Chapalote (Sin. 6)	IG-82AR 47#				
P2	Chapalote (Sin. 2)	IG-82AR 46#				
P3	Tepecintle (Oax. 177)	COT-81B 265#				
P4	Tuxpeño (Tams. 125)	IG-82AR 31#				
P5	Zapalote Grande (Chis. 236)	COT-81B 253#				
P6	Vandefño (Chis. 30)	IG-82AR-29#				
P7	Harinoso de ocho (Sin. 115)	B-198OR 181#				
P8	Harinoso de ocho (Nay. 38)	ROQ-78R 141#				
TESTIGOS						
T1	Huamantla (Cónico)	CP-86 170#				
T2	V-10 (Hgo. 10 (Cónico))	CP-85 87#				
T3	VS-7 (Hgo. 7 (Chalqueño))	CP-85 85#				
T4	Mex. 208	CP-85 88#				

\* Incluye solo tres generaciones.

Los caracteres medidos fueron: rendimiento de grano (RG), determinado en gramos promedio de grano por tallo, dividiendo el peso del grano seco y limpio de la parcela entre el número total de tallos de ésta. Rendimiento potencial de grano (RPG), determinado en forma similar a RG, en relación al número de tallos productivos. Número de mazorcas por tallo (NMZT), obtenido del total de mazorcas entre total tallos productivos por parcela. Longitud de mazorca (LMZ), obtenido en cm por mazorca, del promedio de todas las mazorcas bien formadas de la parcela. Diámetro de mazorca (DMZ), obtenido en forma similar a LMZ, midiendo las mismas mazorcas en su mayor diámetro. Porcentaje de grano (PDG), correspondiente al peso bruto del grano (con impurezas) en relación al peso de mazorca por parcela. Volúmen de cien semillas (VCS), medido en

cm<sup>3</sup> por el desplazamiento de agua en una probeta. Peso de cien semillas (PCS), en gramos con aproximación a centésimos. Densidad de grano (DGR), relación PCS/VCS. Altura de planta (APL), en cm desde el suelo hasta la base de la panícula de una planta de altura promedio, seleccionada visualmente. Altura de mazorca (AMZ), en cm del suelo al entrenudo de inserción de la mazorca superior, de la misma planta en que se midió APL. Días a floración masculina (DFM), desde la siembra hasta que el 50% de las plantas de la parcela estuvieron en anthesis. Coincidencia de floración (COINF), diferencia entre días a floración femenina y masculina. Sanidad (SAN) de planta durante el llenado de grano, en la escala arbitraria de 1 a 5 (1 muy sana, 5 muy enferma), sin diferenciar enfermedades fungosas, bacterianas y virales.

Longitud de panícula (LP), medida en cm desde la primera ramificación al ápice, en una planta promedio seleccionada visualmente. Número de ramificaciones primarias de la panícula (NRP) contados en la misma planta donde se midió LP.

La información por parcela de cada uno de los caracteres se sometió a análisis de varianza utilizando el procedimiento GLM de SAS (SAS, 1985), y las pruebas de F correspondientes se efectuaron al 0,01 y 0,05 de probabilidad. En RG y RGP se efectuó la comparación de medias con la prueba de Tukey al 0,05 de probabilidad, para grupos (cruzas, progenitores y testigos), generaciones (F3, F5, F7 y F8) y cruzas en F3 y en F8.

Para cada carácter, craza y promedio de cruzas (excluyendo las generaciones diferentes a F3, F5, F7 y F8), se efectuó un análisis de regresión lineal simple del promedio por ciclo del carácter sobre las generaciones de selección evaluadas (Cuadro 1). La significancia de los coeficientes de regresión bi se determinó con la prueba de t al 0,05 y 0,01 de probabilidad. Se obtuvieron los coeficientes de determinación ( $r^2$ ) para el análisis del ajuste del modelo.

Se calculó la respuesta a la selección (R) de acuerdo con Falconer (1989), mediante la relación del coeficiente de regresión (bi) entre el promedio observando en F3, por ser ésta la primera generación evaluada. Para rendimiento

de grano se obtuvieron las medias observada en F3 y F8 y las medias de los coeficientes de regresión, de las razas a través de las cruzas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del análisis de varianza, para los caracteres rendimiento de grano (RG) y rendimiento potencial de grano (RPG), con grados de libertad, cuadrados medios y nivel de significancia de la prueba de F, se presentan en el Cuadro 2. En estos análisis hubo diferencias significativas, al menos al 0,05 de probabilidad en la prueba de F, en todos los caracteres en estudio de la fuente de variación tratamientos, así como en su partición correspondiente al material seleccionado (Cruzas y Generaciones/Cruzas), y no se obtuvieron diferencias significativas en los siguientes caracteres y particiones: sanidad (SAN) en progenitores; número de mazorcas por tallo (NMZT), longitud de mazorca (LMZ), densidad de grano (DGR), altura de mazorca (AMZ), número de ramificaciones primarias de la panícula (NRP) y coincidencia de floración (COINF) en testigos; longitud de panícula (LP) en grupos.

Los resultados anteriores señalan que existió variación entre las cruzas interraciales tropicales, en todos los caracteres, y que la expresión de estos cambió de una generación a la siguiente.

Cuadro 2. Analisis de varianza con grado de libertad (GL), cuadrados medios (CM) y nivel de significancia de la prueba de F de los caracteres rendimiento de grano (RG) y rendimiento potencial de grano (RPG). Montecillo, México. 1989.

Fuente de variación	G.L	Rendimiento de Granos (RG) C.M.	Rendimiento Potencial de Grano (RPG) C.M.
Repeticiones	7	4336,87	3611,36
Tratamientos	98	6123,28 **	6098,89 **
Material seleccionado	86	5884,25 **	5833,23 **
Cruzas	21	8850,75 **	7545,59 **
Generaciones/Cruzas	65	4925,84 **	5280,01 **
Progenitores	7	1423,51 **	1452,66 **
Testigos	3	5539,27 **	3142,27 **
Grupos	2	33726,97 **	38219,09 **
Error	686	387,60	383,57
Total	791		

\* 0,05 >= p > 0,01. · \*\* p <= 0,01.

La comparación de medias del rendimiento de grano (RG) de cruzas, progenitores y testigos con la prueba de Tukey al 0,05 de probabilidad (Cuadro 3), indica que los testigos fueron superiores a las cruzas en generación F3 y a los progenitores, y que ambas, cruzas y progenitores fueron iguales estadísticamente, pero numéricamente las cruzas superaron a los progenitores; en cambio, las cruzas en generación F8 igualaron estadísticamente a los testigos, y numéricamente los superaron.

Cuadro 3. Comparación de medias de rendimiento real y potencial de grano (RG y RPG) de grupos, en generaciones F3 y F8, según prueba de Tukey. Montecillo, México. 1989.

Grupos	Carácter	
	RG (g/tallo)	PRG (g/tallo)
En generación F3		
Testigos	88.0 a/	106.1 a
Cruzas en generación F3	53.8 b	61.4 b
Progenitores	44.5 b	53.3 b
DMS	17.4	19.4
En generación F8		
Cruzas en generación F8	99.8 a	109.1 a
Testigos	88.0 a	106.1 a
Progenitores	44.5 b	53.3 b
DMS	26.8	27.0

/ Medias con la misma letra son iguales al 0,05 de probabilidad.

Estos resultados muestran que por efecto de cinco ciclos de selección en las cruzas (F3 a F8), el rendimiento de grano se incrementó en promedio de 53,8 a 99,8 g/tallo. Este incremento siempre fue positivo y significativo estadísticamente, al menos para las generaciones evaluadas (F3, F5, F7, F8) (Cuadro 4). El incremento promedio del rendimiento, que correspondió a una respuesta de 18,0% por ciclo de selección, es alto comparado con el comúnmente logrado por otros investigadores en poblaciones adaptadas, Hallauer y Miranda (1981).

Los cambios en el rendimiento potencial de grano (RPG) tuvieron las mismas tendencias que en RG, en las medias de Grupos, Generaciones y Cruzas (Cuadros 3 y 4). Sin embargo los valores del RPG fueron más altos, lo cual indica que una forma de obtener incrementos adicionales en rendimiento de grano, sería mediante el aumento del porcentaje de plantas o tallos con mazorca (productivas) en la población.

Cuadro 4. Comparación de medias de rendimiento real y potencial de grano (RG y RPG) de generaciones según prueba de Tukey. Montecillo, México. 1989.

	Carácter	
	RG (g/tallo)	PRG (g/tallo)
F8	99,8 a/	109,1 a
F7	93,1 b	101,8 b
F5	67,1 c	74,3 c
F3	53,8 d	61,4 d
DMS	6,0	5,9

/ Medias con la misma letra son iguales al 0,05 de probabilidad.

Los resultados del análisis de regresión lineal simple del rendimiento de grano (RG), sobre generaciones de selección de cada cruz, y del promedio de cruzas, tales como los coeficientes de regresión (bi), de determinación (r<sup>2</sup>) y valores predichos F3, y F8, así como la respuesta a la selección (R) con respecto a la media en F3 se presentan en el Cuadro 5; adicionalmente se muestran las medias observadas, F3 y F8, y la prueba de comparación de medias de Tukey para esta última generación. En el Cuadro 6 se presentan el intervalo y valor promedio de los bi para todos los caracteres en estudio, así como el número de cruz correspondiente.

Para el rendimiento de grano (RG), 14 de las 22 cruzas tuvieron coeficiente b1 significativo al menos al 0,10 de probabilidad y el coeficiente r<sup>2</sup> correspondiente fue alto, superior a 0,88; las cruzas con coeficientes no significativos tuvieron un valor r<sup>2</sup> inferior al valor anterior, siendo el más bajo el de la cruz C9 (0,20), cuyo valor b1 también fue el más bajo (1,9 g/tallo). Todas las cruzas tuvieron coeficiente de regresión positivos en el intervalo de 1,9 a 22,7 g/tallo por ciclo. A pesar de la falta de significancia de algunos coeficientes bi en la mayoría de las cruzas la selección fue efectiva, con respuesta de tipo lineal (por sus valores altos en r<sup>2</sup>). Es decir, mediante la selección siempre se incrementó el rendimiento de grano, de F3 a F8, al menos para las generaciones evaluadas. Sin embargo, no todas las cruzas respondieron en la misma magnitud; la mejor en ganancia por ciclo de selección fue la C18, con 22,7 g/tallo por ciclo, aunque desafortunadamente, ésta (la única) sólo se evaluó en sus generaciones F5, F6, F8; le siguió la cruz C17 con 20,6 g/tallo por ciclo de selección, cuyo rendimiento predicho se incrementó de 49,0 a 151,9 g/

tallo de F3 a F8, fue este último muy superior numéricamente al mejor testigo (Huamantla (T1) con 117,9 g/ tallo; estos valores equivalen a 2,45, 7,60 y 5,90 t/ha de grano en F3, F8 y Huamantla, respectivamente, en una densidad de 50,000 plantas/ha a la que estuvo sembrado el experimento.

La respuesta, por ciclo de selección, en porcentaje (R), calculada como el incremento en rendimiento con relación a la media observada en F3, pues la población original F2 no se incluyó en la evaluación, estuvo en el

intervalo de 3,1 a 48,2% en las cruzas C9 y C7, respectivamente. El valor más bajo corresponde a las respuestas comúnmente encontradas en procesos de selección efectuadas por otros investigadores, y el más alto supera, grandemente, a los de mayor valor que se han obtenido en maíz, Hallauer y Miranda (1981).

Los resultados de los cambios en los otros caracteres estudiados, y no sujetos a selección directa, al menos no con la misma intensidad que rendimiento de grano, se presentan en el Cuadro 6.

Cuadro 5. Medias observadas (F3 y F8), valores predichos (F3 y F8), coeficientes de regresión (bi y de determinación (r2), y respuesta a la selección (R) de cruzas, (C) medias de progenitores (P) y testigos (T) de rendimiento de grano (RG) en granos por tallo. Montecillo, México. 1989.

Material Genético	Medias observadas		Re g r e s i ó n				R(%)	
	F3	F8	F3	F8	bi	r2		
C17	53,2	154,5	al/	49,0	151,9	20,6 **	0,99	38,6
C20	73,3	132,2	l b	67,3	126,8	11,9 **	0,93	16,3
C21	80,4	125,9	l l c	77,1	129,2	10,4 **	0,91	13,0
C6	39,0	125,1	l l l	40,1	127,3	17,5 **	1,00	44,8
C2	86,3	119,1	l l l d	89,3	118,5	5,8 *	0,89	6,8
T1	-	117,9	l l l l l	-	-	-	-	-
C19 2/	72,8	114,1	l l l l e	77,2	119,6	10,6 **	0,92	14,5
C22	36,3	110,3	l l l l f	29,3	112,0	16,5 **	0,92	15,6
C18 3/	38,8	102,6	l l l l l g	29,9	98,2	22,7	0,90	58,6
T4	-	101,4	l l l l l l l	-	-	-	-	-
C11	55,4	97,7	l l l l l l l	44,3	83,8	7,9	0,59	14,3
C10	65,0	96,8	l l l l l l l	63,6	94,3	6,1 **	0,97	9,5
C15	57,9	95,1	l l l l l l h	52,6	93,7	8,2 *	0,88	14,2
C14	51,3	93,1	l l l l l l l i	47,6	92,3	8,9 **	0,94	17,4
C13	52,1	91,6	l l l l l l l l j	47,2	88,7	8,3 *	0,89	15,9
C7	29,9	91,0	l l l l l l l l k	24,6	96,6	14,4 **	0,94	48,2
C1	55,9	89,5	l l l l l l l l l l	57,9	99,7	8,4	0,79	15,0
C3	44,4	88,7	l l l l l l l l l l	38,8	87,1	9,7 *	0,90	21,7
C8	44,1	84,4	l l l l l l l l l l	49,5	82,9	6,7	0,75	15,2
C16	50,7	77,1	l l l l l l l l l m	55,9	90,2	6,9	0,64	13,5
C4	50,7	72,1	l l l l l l l l l l	48,5	76,7	5,7	0,75	11,1
T2	-	71,4	l l l l l l l l l l	-	-	-	-	-
C5	42,5	71,0	l l l l l l l l l l	38,9	73,3	6,9 **	0,92	16,2
C12 4/	41,4	67,3	l l l l l l l l l l	42,2	71,4	5,8	0,74	14,1
C9 5/	62,9	63,8	l l l l l l l l l l	56,5	64,2	1,9	0,20	3,1
T3	-	61,1	l l l l l l l l l l	-	-	-	-	-
P4	-	61,1	l l l l l l l l l l	-	-	-	-	-
P6	-	52,2	l l l l l l l n	-	-	-	-	-
P7	-	49,0	l l l l l l l l	-	-	-	-	-
P8	-	47,9	l l l l l l l	-	-	-	-	-
P5	-	47,4	l l l l l l	-	-	-	-	-
P2	-	44,0	l l l l	-	-	-	-	-
P1	-	38,9	l l	-	-	-	-	-
P3	-	15,6	l	-	-	-	-	-
C 6/	-	98,8						
P	-	44,5						
T	-	88,0						

- 1 Prueba de Tukey. Medias con la misma letra son iguales al 0,05 de probabilidad.
- 2 F4 en lugar de F3.
- 3 F5 en lugar de F3, incluye sólo tres generaciones evaluadas (F5, F6, F8).
- 4 F2 y F7 en lugar de F3 y F8.
- 5 F4 en lugar de F3
- 6 C, P, T promedio de cruzas, progenitores y testigos, respectivamente.

Cuadro 6. Intervalos y valores promedios para los coeficientes de regresión (bi), y número de craza correspondiente para los caracteres que se indican. Montecillo, México. 1989.

C a r á c t e r	Coeficiente de regresión lineal (bi)				
	Inferior	Promedio		Superior	
	Cruzas	Valor	Valor	Cruzas	Valor
Rendimiento de grano (RG)	C9	1,94	9,67	C17	20,57
Rendimiento potencial de grano (RPG)	C9	4,01	10,04	C17	20,38
Número de mazorca/tallo (NMZT)	C4	-0,04	0,05	C17	0,11
Longitud de mazorca (LMZ)	C1	-0,04	0,40	C7	1,03
Diámetro de mazorca (DMZ)	C19	0,02	0,10	C7	0,26
Porcentaje de grano (PDG)	C16	0,11	0,95	C7	2,38
Volumen de cien semillas (VCS)	C10	0,06	1,25	C7	2,93
Peso de cien semillas (PCS)	C10	0,05	1,62	C7	3,82
Densidad de grano (DGR)	C10	-0,0009	0,01	C22	0,00263
Altura de planta (APL)	C14	12,78	3,55	C15	-2,15
Altura de Mazorca (AMZ)	C22	7,04	2,15	C15	-3,18
Días a floración masculina (DFM)	C14	0,31	-1,52	C6	-3,87
Coincidencia de floración (COINF)	C7	0,51	-0,04	C12	-0,91
Sanidad de planta (SAN)	C2	-0,004	-0,15	C7	-0,46
Longitud de la panícula (LP)	C9	-0,88	0,40	C7	1,53
Número de ramificaciones primarias de la panícula (NRP)	C9	-1,73	-0,19	C19	0,79

Las variables, número de mazorcas por tallo (NMZT), longitud de mazorca (LMZ), diámetro de mazorca (DMZ), volumen de cien semillas, (VCS) y peso de cien semillas presentaron las respuestas más altas a la selección, lo que se interpreta como una relación directa de estos caracteres con rendimiento, pues se les considera como sus componentes y, en el proceso de selección visual, algunos de ellos estuvieron involucrados directamente.

En días a floración masculina (DFM), coincidencia de floración (COINF) y sanidad de planta (SAN), los coeficientes de regresión fueron negativos en general, lo que se considera como un incremento gradual en la adaptación de las cruzas al nuevo nicho; pues aumentó la precocidad y coincidencia, y disminuyó la incidencia de enfermedades de la planta.

Otros caracteres obtuvieron respuestas de poca magnitud, o de características indeseables agronómicamente, como es el caso de altura de planta y mazorca, que en F8 se obtuvieron plantas más altas, sobre todo en cruzas de rendimiento superior.

Los resultados anteriores señalan que el proceso de selección, de la F3 a la F8, produjo cambios positivos y fuertes en rendimiento de grano, que fue el caracter que dió mayor atención en la selección, y cambios de menor magnitud en otros caracteres relacionados con éste. Con la selección se logró que las cruzas, en su generación F8, estuvieran mejor adaptadas a Montecillo, Méx., localidad de Valle Altos.

Si no hubiera ocurrido la selección entre cruzas, tal vez las respuestas hubieran sido menos espectaculares, o negativas en algunas de ellas, aunque las razas tropicales continuaran igualmente representadas en las cruzas como al principio del proceso, pues de las 36 cruzas posibles que se obtuvieron con las nueve razas que intervinieron en las cruzas que se evaluaron, 14 se eliminaron en el proceso de selección. El hecho que una raza permaneciera durante el proceso de selección, se relaciona con su contribución de genes para rendimiento y adaptación a Valles Altos. Con este razonamiento, Tuxpeño es el material más sobresaliente.

La capacidad de Tuxpeño para transmitir genes de rendimiento, se hace tangible al observar que, de las seis cruzas en F8 de mayor rendimiento (Cuadro 5), la raza Tuxpeño intervino como progenitor en cinco de ellas, en tanto que Chapalote y Vandeno lo hicieron en dos, Olotillo, Harinoso de Ocho y Zapalote Grande en una.

Las medias de rendimiento de las razas, a través de sus cruzas (Aptitud Combinatoria General, se presentan en la Figura 1, aunque su estimación esté desbalanceada por no estar igualmente representadas las razas en todas sus cruzas) y sus cambios a través de las generaciones F3 a F8 se presentan en la Figura 1. Se observa que en F3 Tuxpeño produjo, en promedio de sus cruzas, el rendimiento más alto, pero en F8, fue superado por el comportamiento de Vandeno, que en F3 tuvo la media más baja; las cruzas de esta última raza experimentaron el mayor incremento en rendimiento a través de los cinco ciclos de selección evaluados, le siguieron en orden decreciente de respuesta: Zapalote Grande, Olotillo, Harinoso de Ocho, Tuxpeño, Chapalote, Zapalote Chico, Nal- Tel y Tepecintle. En el promedio de los coeficiente

de regresión de las razas a través de sus cruzas (Cuadro 7) que también indica la capacidad de las razas de incrementar el rendimiento de sus cruzas con la selección, se obtuvieron resultados similares a los anteriores, fue Vandeno el que confirió el mayor incremento promedio por ciclo (14,6 g/ tallo) y Tepecintle el menor (6,1 g/ tallo).

Corresponde la aptitud combinatoria general (aunque des balanceada en este caso) a la expresión de los efectos aditivos que son los que determinan la heredabilidad en sentido estricto, los resultados anteriores permiten suponer que las razas asociadas a un mayor incremento, en el rendimiento de las generaciones avanzadas de sus cruzas, como Vandeno, Zapalote Grande, Olotillo y Harinoso de Ocho, contienen genes de adaptación y rendimiento para Valles Altos, que aumentaron su frecuencia como efecto de la selección de una generación a otra; en cambio Tuxpeño que presentó una respuesta de tipo intermedio pero con mayor rendimiento inicial, probablemente contiene mayor proporción de genes de este carácter que de adaptación a Valles Altos. En

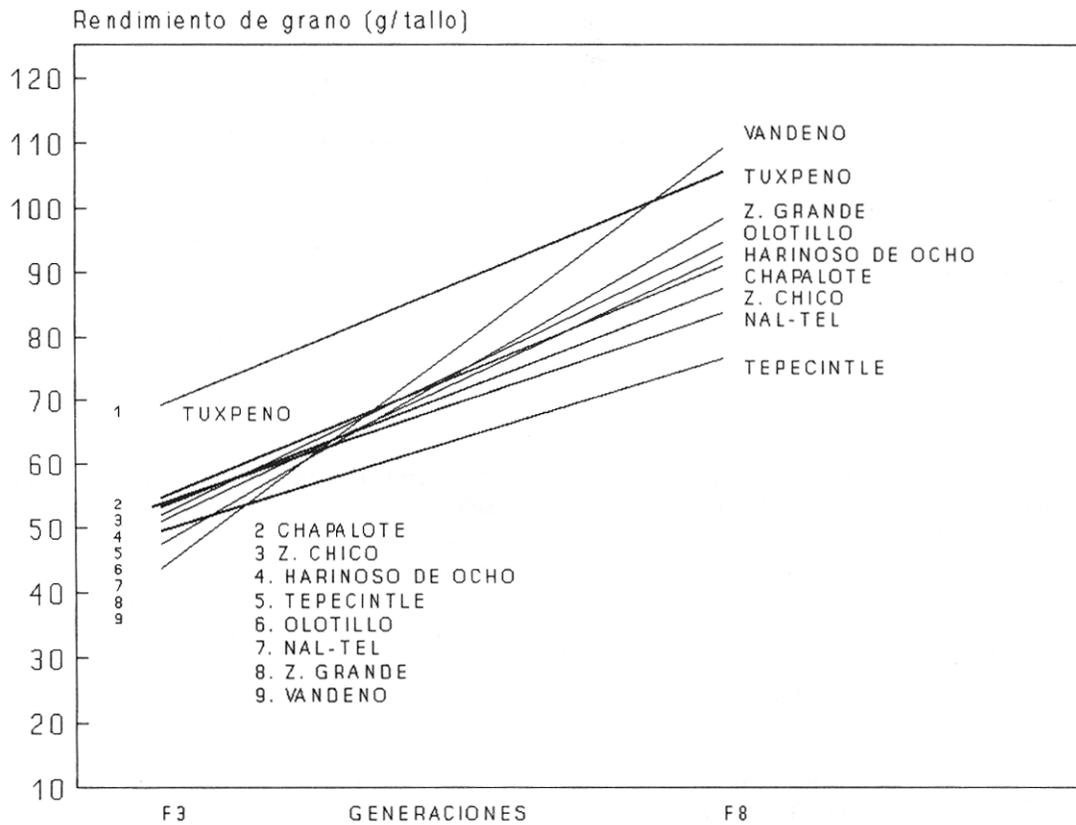


Figura 1. Cambios en las medias de rendimiento de grano (RG) de la generación F3 a F8 de las razas a través de las cruzas.

contraste, Tepecintle (el de menor cambio) probablemente sea el más pobre en ambos.

La mayor capacidad para aportar genes de rendimiento y adaptación a Valles Altos del plasma germinal tropical de maíz, se manifestó con claridad en las combinaciones de razas que dieron lugar a cruzas de rendimiento superior. La combinación de Tuxpeño con Zapalote Grande, en la cruz C17, que partió de un rendimiento intermedio en la F3, tuvo uno de los incrementos más altos en rendimiento de grano por tallo y, en F8 superó a todas las cruzas, progenitores y testigos (Cuadro 5), debido probablemente a la aportación de genes de rendimiento, por parte de Tuxpeño y de adaptación por Zapalote Grande. Una situación similar ocurrió en la combinación de Tuxpeño con Olotillo (C20), de Tuxpeño con Vandeño (C21) y Tuxpeño de Harinoso de Ocho (C19), en las cuales los genes de rendimiento pudieron provenir de Tuxpeño y los de adaptación de los otros progenitores. La combinación de Tuxpeño con Chapalote (C2) puede deberse a los genes de rendimiento de Tuxpeño y a los de adaptación que posiblemente contenga Chapalote por haberlos ganado en su proceso evolutivo al pasar por alguna localidad de altitud similar a la de Valles Altos, pues esta es una raza de bajo rendimiento y debe estar confiriendo genes de adaptación.

El comportamiento de la combinación de Vandeño con Chapalote (C6) puede ser el resultado del patrimonio genético que Vandeño obtuvo de Tuxpeño, como padre putativo según Wellhausen *et al.* (1951), y de los genes de adaptación del propio Vandeño y Chapalote. Las líneas de parentesco, (con raya punteada) propuesta por Wellhausen *et al.* (1951), entre progenitores involucrados en la seis cruzas de mayor rendimiento, así como las correspondientes con raya sólida a dichas cruzas como tal, se presentan en la Figura 2.

Cuadro 7. Medias de los coeficientes de regresión en rendimiento de grano de razas a través de sus cruzas. Montecillo, México. 1989.

R a z a	bi (g tallo -1)
Vandeño	14,6
Harinoso de Ocho	12,7
Olotillo	12,4
Zapalote Grande	12,1
Tuxpeño	11,1
Chapalote	9,0
Zapalote Chico	8,0
Nal-Tel	7,3
Tepecintle	6,1

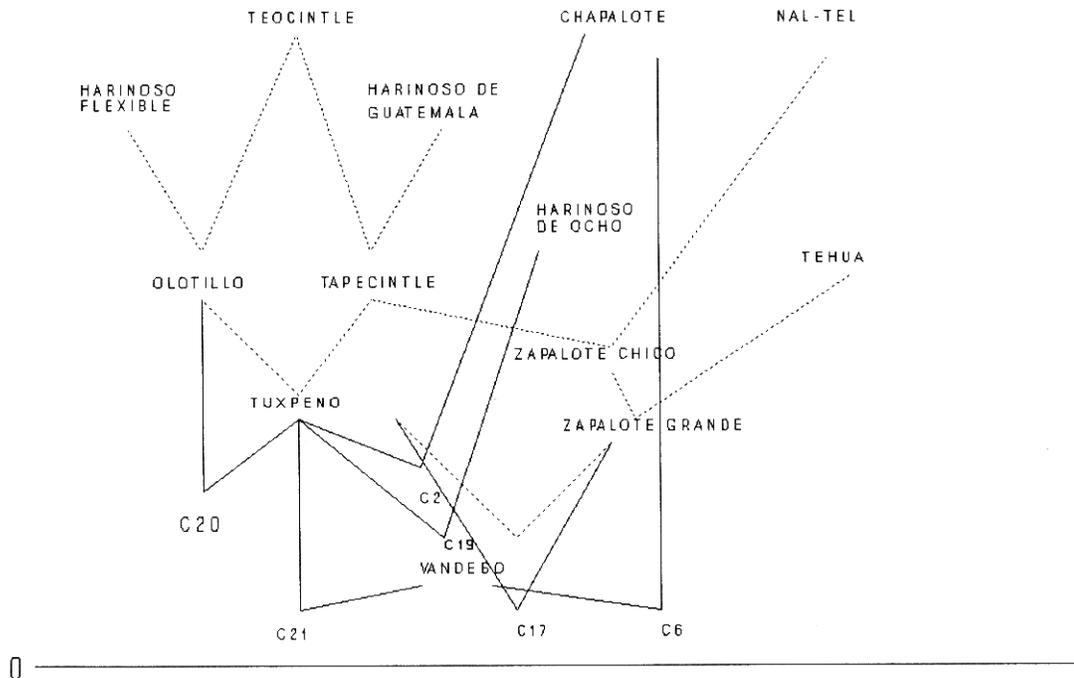


Figura 2. Cruzas entre razas de maíz (raya sólida) con rendimiento superior y parentesco (raya punteada) propuesto por Wellhausen *et al.* (1951).

Si los parentescos propuestos son ciertos, la cruce C17 corresponde a un duplicado de Vandefio con alta respuesta a la selecci3n de Valles Altos. La cruce C20 es una retrocruce de Tuxpefio sobre Olotillo y la C21 es una retrocruce de Vandefio sobre Tuxpefio, en las cuales se est1 generando parte de endogamia (adicional a la ocasionada por el manejo de poblaciones pequefias en el proceso de selecci3n), que a su vez permiti3 una mejor conjunci3n de genes favorables que en condici3n homocig3tica fueron f1cilmente seleccionados. De acuerdo con la figura de referencia, es difcil explicar la gran capacidad de transmisi3n de genes de adaptaci3n de Olotillo; sin embargo, estos posiblemente pudieron provenir de Harinoso Flexible. La baja capacidad de cambio inducida por Tepecintle es mucho m1s difcil de explicar.

## CONCLUSIONES

De acuerdo con el material gen3tico utilizado, localidad y condiciones de la evaluaci3n, se concluye lo siguiente:

- 1). La selecci3n de generaciones avanzadas de cruces-interraciales tropicales de ma1z para adaptaci3n, en Montecillo, M3xico (localidad de Valles Altos) fue m1s efectiva para el rendimiento de grano, car1cter directamente sujeto a selecci3n, con respuesta promedio de 18,0% por ciclo y de menor magnitud en los otros caracteres. Tales cambios fueron favorables para un mejor ajuste de las poblaciones al ambiente de Valles Altos, con rendimientos satisfactorios, excepto en altura de planta y mazorca.
- 2). Las altas respuestas obtenidas, en la selecci3n de poblaciones desadaptadas en Valles Altos, pudo deberse a la elecci3n de las mejores cruces, en F2 dentro de cada grupo de cruces de cada par de razas, a la eliminaci3n en el proceso de selecci3n, de cruces interraciales con poca capacidad de adaptaci3n y a la presencia de genes relacionados con adaptaci3n y rendimiento al ambiente de selecci3n cuyas frecuencias se incrementaron por la eliminaci3n de individuos no adaptados.
- 3). La mayor respuesta a la selecci3n obtenida en algunas cruces que superaron en rendimiento de grano al mejor de los testigos, aunque estadisticamente iguales, muestra que en las cruces se conjuntaron genes de rendimiento y adaptaci3n a Valles Altos existentes en ciertas razas tropicales.
- 4). Al considerar el n3mero de veces que las razas intervinieron en las cruces de mayor rendimiento, se supone que Tuxpefio tuvo una mayor contribuci3n con genes de rendimiento. Vandefio, Zapalote Grande, Olotillo y Harinoso de Ocho la tuvieron para genes de adaptaci3n a Valles Altos; en cambio, otras razas como Nal-Tel y Tepecintle fueron pobres en ambos aspectos.
- 5). La contribuci3n de Tuxpefio, Vandefio, Chapalote, Olotillo, Harinoso de Ocho y Zapalote Grande, en las cruces de rendimiento superior, posiblemente fue el resultado de los genes de rendimiento y adaptaci3n a Valles Altos que en alg3n momento de su evoluci3n obtuvieron al pasar por esta regi3n o por un ambiente de altitud similar, como ha sido postulado en la hip3tesis de este trabajo.
- 6). La cruce de Zapalote Grande x Tuxpefio (C17), que tuvo el mayor incremento en rendimiento por ciclo de selecci3n y que alcanz3 el valor m1s alto en la F8, en cierta forma apoya la propuesta de Wellhausen *et al.* (1951), en el sentido que la combinaci3n de estas dos razas di3 origen a Vandefio que es de alto rendimiento y amplia distribuci3n en la Costa del Pac1fico, aunque no es claro como esta raza pudo ganar los genes de adaptaci3n para Valles Altos.
- 7). La combinaci3n de Nal-Tel con Chapalote (C7), aunque no alcanz3 a estar entre las cruces de mayor rendimiento, present3 respuestas muy altas en la mayor1a de los caracteres, inclusive rendimiento, debido a que al principio de su origen como razas antiguas, Wellhausen *et al.* (1951), fueron manejadas primeramente por las etnias de Valles Altos y luego se dispersaron hacia sus lugares de actual distribuci3n.
- 8). Los resultados positivos obtenidos en la selecci3n, para adaptaci3n de genotipos tropicales en Valles Altos, amplian las posibilidades para el mejoramiento gen3tico, mediante la inclusi3n de varias fuentes ex3ticas, que se pueden mejorar previamente en pequefias poblaciones y posteriormente cruzar con el material local.

## LITERATURA CITADA

- BARRIENTOS P., F. 1961. Aprovechamiento de cruces interraciales en el programa de mejoramiento de ma1z en la Mesa Central. Tesis Mag.Sc. Colegio de Postgraduados. Chapingo, M3xico.

- BUCIO A, L. 1954. Algunas observaciones del comportamiento de las F1 de las cruzas entre razas de maíz descritas en México. Tesis profesional, ENA. México.
- CASTRO G. M. 1964. Rendimientos y heterosis con cruzas interraciales de maíz en México. Tesis Mag.Sc.Colegio de Posgraduados. Chapingo, México.
- CERVANTES S., T. ; F. CASTILLO G. 1985. Comportamiento de cruzas interraciales de maíz de México evaluadas en ambientes contrastados. Revista Chapingo, México. Año X . 47-49: 52-58.
- FALCONER, D.S. 1989. Introducción a la genética cuantitativa. Ed. CECSA. 2a. Impresión en español. México, D.F.
- GOODMAN, M.M. 1965. Estimates of genetic variance in adapted and exotic populations of maize. Crop. Sci. 5:87-90
- HALLAUER, AR.; MIRANDA J.B. 1981. Quantitative genetics in maize breeding. First Edition. The Iowa State University Press. 467p.
- MARANDU W., Y.F. 1985. Evaluation of changes in adapted (cross) exotic maize populations improved by adaptive mass selection. Dissertation Abstracts International B (Sciences and Engineering) 45(7):1972 B.
- MAYORQUIN L.H. 1979. Efecto de dosis de germoplasma Tuxpeño en compuestos de maíz de las razas Conico y Chalqueño. Tesis Mag. Sc. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.