Rev. Fitotec. Mex. Vol. 22. 1-15. 1999

INFLUENCIA DEL AMBIENTE DE SELECCIÓN EN EL MEJORAMIENTO DE RAZAS DE MAÍZ POR RETROCRUZA LIMITADA

INFLUENCE OF THE ENVIRONMENT OF SELECTION ON THE IMPROVEMENT OF MAIZE LANDRACES BY LIMITED BACKCROSSING

Fidel Márquez Sánchez[1], José Alfredo Carrera Valtierra[1], Erasmo Barrera Gutiérrez[1], Luis Sahagún Castellanos[1] y Mauro Sierra Macías[2]

RESUMEN

El uso limitado de las razas de maíz (*Zea mays* L.) en el mejoramiento genético se debe fundamentalmente a que la mayor parte de ellas tienen inadecuado arquetipo de planta y adaptabilidad estrecha, ambas características indeseables en la agricultura moderna. Es necesario entonces hacer un trabajo de mejoramiento en las razas, previo al de selección recurrente y/o hibridación, a fin de incorporar adecuado arquetipo de planta (principalmente menor porte de planta y mazorca) y amplia adaptabilidad. En el Centro Nacional de Rescate y Mejoramiento de Maíces Criollos, se inició en 1992 un programa con el objetivo anterior aplicándolo a las cincuenta razas de maíz de México documentadas hasta ahora, por medio del método de retrocruza limitada. En este método, una variedad de la raza por mejorar se cruza con una población mejorada donante de los caracteres por incorporar; después de una generación de apareamiento aleatorio las plantas segregantes deseables se retrocruzan con la variedad original, y de ahí en adelante se avanza por intercruzamiento de las plantas deseables. En este trabajo, diez razas del Pacífico y del Sureste del país fueron sometidas a este método, avanzándose hasta la RC_1-F_6. Las variedad original y su retrocruza de cada una de las diez razas fueron evaluadas en la localidad de retrocruza y selección y en una localidad representativa del área de distribución geográfica de seis de las diez razas. Se encontró que la interacción entre la diferencia de las dos versiones de las razas y localidades no fue significativa, lo que implica que es posible hacer el mejoramiento por este método en una localidad con razas provenientes de ambientes diferentes.

[1] Universidad Autónoma Chapingo. Centro Regional Universitario de Occidente, Manuel M. Diéguez 113, Guadalajara, Jal., 44680, Tel. y Fax: (3)615-1729.

[2] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, Centro de Investigaciones del Golfo Centro, Campo Cotaxtla, Ver., Tel. y Fax: (29)34-83-54.

Fecha de recepción: 28 de Mayo de 1998.
Fecha de aprobación: 4 de Marzo de 1999.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES

Retrocruza, arquetipo de planta, adaptabilidad, interacción genotipo-ambiente, *Zea mays* L.

SUMMARY

The limited use of the maize landraces in genetic improvement is mainly due to an inadequate plant archetype and limited adaptability, both being undesirable traits for modern agriculture. It is then necessary to submit the landraces to previous improvement in order to incorporate in the races the desired characteristics of plant archetype (mainly low plant and ear height) and wide adaptability before using them in selection and/or hybridization. In the National Center of Rescue and Improvement of Criollo Maize, a program of genetic improvement with such objective was initiated in 1992 on the fifty landraces of maize of Mexico so far documented, using the limited backcrossing method. In this method a landrace population is crossed to an improved donor population with the desired characteristics to be incorporated into the landrace population. After one generation of random mating desirable segregant genotypes are crossed to the race. From this generation on intermating is carried out using only desired plants. In this study ten landrace populations from the Pacific and the Southeast of México were submited to this methodology, advancing to the RC_1-F_6 generation. The original landrace populations and their respective backcrosses were evaluated in the location where the genetic improvement was made, and in a location representative of the geographical distribution area of origin of six of the ten landraces. It was found that the interaction of the difference between performance of the two types of populations with environments was non significant. This finding implies that the improvement by limited backcrossing can be made in a location different from the environments where the races are originated from.

ADDITIONAL INDEX WORDS

Backcross, plant archetype, adaptability, genotype-environment interaction, *Zea mays* L.

INTRODUCCIÓN

El conocimiento del origen, distribución y características morfológicas y fisiológicas de las poblaciones nativas de maíz ha conducido a su clasificación en razas dentro y entre regiones geográficas generales. Tal conocimiento ayuda al fitomejorador al aprovechamiento de los caracteres favorables de las razas de acuerdo con los propósitos que persigue (Wellhausen *et al.*, 1951). Otras aplicaciones de la clasificación racial pueden encontrarse en áreas tales como la Antropología, la Arqueología y la Sociología.

Estudios recientes consideran que el número de razas existentes en México es superior a cincuenta. Pese a este alto número, sólo se usa intensamente en el mejoramiento genético cuatro de ellas: Chalqueño para las tierras altas del centro del país; Cónico para una región similar de más corto período de cultivo; Celaya para El Bajío y regiones aledañas, y Tuxpeño para la región cálido-húmeda del Golfo y sureste de México. Las razas Bolita y Comiteco se usan en mucha menor proporción.

Por otra parte, varios estudios muestran la existencia de gran cantidad de heterosis en cruzamientos interraciales; sin embargo, en los programas de mejoramiento genético por hibridación, en contados casos se aprovecha la heterosis interracial principalmente entre razas de tierras altas y de El Bajío. Esto significa que el aprovechamiento de tal potencial heterótico es prácticamente inexistente.

El uso de mayor número de razas en los programas de selección e hibridación trae consigo mayor diversidad genética, específicamente de origen alélico, la que puede ser causante de un mayor potencial heterótico para la hibridación, confiriendo en esta misma y en la selección mayor estabilidad fenotípica ante los agentes adversos del medio ambiente.

El alto potencial heterótico interracial y la mayor diversidad alélica, serían dos razones suficientes para justificar el uso de otras razas diferentes a las cuatro que ahora se usa. Sin embargo, las razones para esto último no son gratuitas; su alto rendimiento, pero sobre todo su amplia adaptabilidad son las causas de tal preferencia. Otras razas, aunque con características deseables en sus lugares de origen, gran tamaño de mazorca en Jala y Comiteco, por ejemplo, poseen arquetipos indeseables para la agricultura moderna, tales como alto porte de planta, tardiedad y estrecha adaptabilidad, o bien bajos rendimientos, plantas raquíticas y también adaptabilidad limitada.

Por otra parte, en México, así como en la mayor parte de los países de Latinoamérica, la proporción del área dedicada al cultivo del maíz en forma tradicional o subsistencial es sumamente alta, encontrándose variaciones del 85 al 70 % a nivel nacional, y variando en las regiones maiceras según el nivel tecnológico. Por lo tanto, en dichas áreas, el mejoramiento genético debe estar enfocado hacia la obtención de poblaciones mejoradas de polinización libre, ya sea como resultado de la selección recurrente o de la síntesis entre líneas de alta aptitud combinatoria general. Sin embargo, no siempre el material mejorado generado en estas formas es adoptado por los productores involucrados; existen características de planta y mazorca que no les satisfacen en los materiales genéticamente mejorados hasta ahora. Es entonces razonable que los programas de mejoramiento genético involucrados deben partir de variedades criollas regionales y que sus resultados deben mantener en grado aceptable las características que las hacen deseables para sus potenciales productores.

Por lo anterior se hace necesario que antes de usar más razas que las cuatro mencionadas en el

mejoramiento genético del maíz en México, aquellas potencialmente deseables pero que tienen los inconvenientes que se ha mencionado, sobrelleven un mejoramiento previo tanto para ser usadas en la hibridación como para fines de selección recurrente. En la investigación que el Centro Nacional de Rescate y Mejoramiento de Maíces Criollos (CENREMMAC) de la Universidad Autónoma Chapingo, perteneciente al Centro Regional Universitario de Occidente con sede en Guadalajara, Jal. se persiguió mejorar a 10 razas de maíz de las áreas generales de origen Pacífico y Sureste de México mediante el método de retrocruza limitada, proceso que se llevó a cabo en un ambiente, y cuya evaluación se llevó a cabo en éste y en otro diferente. El objetivo del presente estudio es la evaluación de la influencia del ambiente en que se hicieron los trabajos de mejoramiento y de selección de las variedades retrocruzadas sobre su comportamiento en otro ambiente, en relación a las variedades originales.

REVISIÓN DE LITERATURA

El primer intento sistemático en México de clasificación de razas de maíz fue hecho por Wellhausen *et al.* (1951). Ellos clasificaron al maíz en 25 razas, otras 7 fueron pobremente definidas y 4 más fueron consideradas como subrazas. Hernández y Alanís (1970) encontraron 5 nuevas razas en el norte y el noroeste de México, mientras que otras 9 razas del estado de Chiapas fueron clasificadas por Ortega (1973). En su tesis doctoral, Sánchez (1989) estudió estas 50 razas

En relación con la heterosis interracial, el estudio más completo es el de Crossa *et al.* (1990), en el cual se muestra que aunque algunas razas como tales se desempeñaron muy pobremente, en sus cruzas con otras exhibieron heterosis del orden del 30%. Por las características indeseables que exhibieron la mayor parte de las razas bajo estudio, ellas tienen que sobrellevar algún proceso de premejoramiento antes de derivar líneas autofecundadas con propósitos de hibridación. Al respecto, Márquez (1990) sugiere incorporar a las razas que adolecen de características indeseables, características deseables de poblaciones genéticamente mejoradas ya existentes, tales como híbridos, sintéticos o compuestos, por el método de retrocruza.

Estudios teóricos de Márquez (1990) han mostrado, que si existe heterosis en la cruza entre el progenitor recurrente y el progenitor donante, se va reduciendo gradualmente conforme avanza el proceso de retrocruzamiento hasta llegar a ser cero en la generación teórica infinito, cuando el progenitor recurrente ha sido totalmente recobrado. La heterosis en cada generación de retrocruzamiento fue llamada por este autor "heterosis residual". La retrocruza-F_1, o sea, el resultado de cruzar a la retrocruza inmediatamente anterior por el progenitor recurrente, sobrelleva una generación de apareamiento aleatorio obteniéndose la retrocruza-F_2. Esto se hace con el objeto de utilizar a esta última como población base para futura selección recurrente y/o hibridación, o para multiplicación de semilla. Por lo tanto, es de esperarse una reducción en la heterosis residual, lo que trae por consecuencia una reducción de la media genética. Márquez (1990) encontró que teóricamente la media genética en la retrocruza-F_2 depende del grado de dominancia, y que para grados de dominancia completa y de pseudo sobredominancia igual a 2, la media genética máxima en la retrocruza-F_2 se obtiene entre la primera y la segunda generación de retrocruzamiento.

Por otra parte, es de esperarse que la varianza genética aditiva en la retrocruza-F_2 sea mayor que la de la retrocruza-F_1. Márquez (1992) demostró que también esto depende del grado de dominancia, y que para sobredominancia aparente igual a 2, la relación de la varianza aditiva en retrocruza-F_2 sobre varianza aditiva en retrocruza-F_1 es máxima en la primera generación de retrocruzamiento.

Existen muchos trabajos relacionados con el ambiente de selección y de evaluación de los materiales seleccionados; la mayoría coinciden en que si la selección se hace en ambiente favorable la evaluación de la respuesta es más efectiva en ambientes igualmente favorables que en desfavorables. En estos últimos hay que aplicar ciertas técnicas que permitan hacer una caracterización de los sub-ambientes, o bien, en casos extremos de desfavorabilidad de los ambientes como sequía y resistencia a plagas y enfermedades, no queda más alternativa que hacer la selección en ellos (Bramel-Cox *et al.*, 1992).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se usó diez razas de maíz representada cada una por una variedad, 4 del área general del Pacífico y 6 del área general del Sureste de México. La semilla fue proporcionada por el CIMMYT como muestras representativas de las razas. Éstas y sus áreas generales de origen se muestran en el Cuadro 1. Las razas Harinoso de Ocho, Jala, Tabloncillo y Vandeño son de la costa del Pacífico. El cultivo de Harinoso de Ocho y de Jala se ha reducido bastante por la introducción de maíces mejorados, probablemente al nivel de extinción en campo para la primera. Harinoso de Ocho se cultivaba principalmente en el estado de Sonora, mientras que Jala se cultiva en una área muy limitada de Nayarit. Tabloncillo se cultiva aún en partes de las costas de Nayarit, Jalisco y Colima. Vandeño se encuentra bajo cultivo en las costas de Guerrero, Oaxaca y Chiapas. Tuxpeño es una raza de amplia adaptación; su área general de cultivo cubre las tierras bajas y medias de la costa del Golfo de México hasta la península de Yucatán y partes de Chiapas y Oaxaca. Tehua, Tepecintle y Olotillo se cultivan en las tierras medias y altas de Oaxaca, Chiapas y Veracruz, dentro del área general del sureste de México. Finalmente, Olotón se siembra en las tierras altas de Chiapas, mientras que Comiteco se cultiva en las tierras de altitud media de este mismo estado, en la meseta Comiteca. Esta información general así como la del Cuadro 1 se ha adaptado de Wellahusen *et al.* (1951).

El método genotécnico usado para el mejoramiento de las 10 razas mencionadas, es el llamado por el CENREMMAC "retrocruza limitada" (Márquez *et al.*, 1994, 1995). En general consiste en cruzar a los progenitores recurrente y donante, con lo cual se obtiene la retrocruza cero en F_1, (RC_0-F_1), ésta sobrelleva una generación de apareamiento aleatorio para obtener la RC_0-F_2 en la cual aparecen segregantes con las características deseables del progenitor donante que se quiere incorporar al progenitor recurrente. Dichas plantas segregantes se retrocruzan con el criollo obteniéndose la primera retrocruza en F_1, (RC_1-F_1), en la cual se hacen intercruzamientos sólo entre plantas deseables. De aquí en adelante se van obteniendo las generaciones RC_1-F_2, RC_1-F_3, etc., por intercruzamiento entre plantas deseables, suspendiéndose esto cuando se considera que los caracteres deseables se han incorporado satisfactoriamente.

Las actividades se iniciaron en la estación primavera-verano de 1992 en el campo experimental localizado en Tlajomulco, Jal., estación en la cual se hizo el incremento de la semilla de las razas, y fue continuado sin interrupción alternando las estaciones de primavera-verano (PV) bajo temporal con las de otoño-invierno (OI); éstas últimas bajo riego en el campo experimental en El Grullo, Jal. Los climas generales de Tlajomulco y El Grullo son subtropical con heladas ocasionales en Invierno, y tropical, respectivamente. En OI-92/93 se hicieron las cruzas entre las razas y los donantes; éstos fueron híbridos y variedades mejoradas de polinización libre adaptables a regiones templadas y tropicales. Cada raza se cruzó con varios donantes, obteniéndose la RC_0-F_1 (Fig. 1). En la estación PV-93 se sembraron entre 20 y 30 plantas de cada RC_0-F_1, haciéndose apareamiento aleatorio entre ellas. El propósito de esto fue obtener plantas RC_0-F_2 que segregaran con los caracteres deseables por incorporar, principalmente menor altura de planta. En la estación OI-93/94

se sembró cada RC_0-F_2 conteniendo cada una alrededor de 200 plantas y unas 15 a 20 plantas con el arquetipo deseable. Estas se retrocruzaron con la respectiva raza, obteniéndose la RC_1-F_1. De aquí en adelante, en las sucesivas estaciones PV y OI en unas 400 plantas de cada retrocruza se hicieron intercruzamientos sólo entre plantas deseables, que en general eran del orden de 20 plantas. Este proceso continuó hasta OI-95/96. En la cosecha de cada generación a partir de la RC_1-F_1 se dio atención únicamente al tamaño de mazorca para seleccionar semilla de la siguiente generación. No se dio atención especial a ninguna característica particular del tipo de mazorca y grano de la raza involucrada.

En la estación PV-96 se establecieron dos experimentos que incluyeron a las retrocruzas RC_1-F_5 y a las versiones originales de las razas. Los lugares de prueba fueron La Barca, Jal., de condiciones generales similares a las de Tlajomulco, Jal. y Cotaxtla, Ver. Este segundo sitio está localizado en la parte central de la costa del Golfo de México, con clima tropical lluvioso, y altitud cero sobre el nivel del mar. Se usó en ambos lugares el diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Las parcelas consistieron de dos surcos separados a 80 cm conteniendo 40 plantas útiles. La siembra se hizo a mano colocando dos semillas por golpe equidistantes a 23 cm para obtener una densidad de siembra de 55,000 plantas por hectárea. Se aclareó a una planta por mata, y se hicieron las prácticas agronómicas usuales en cada lugar. En la madurez fisiológica se midieron la altura de planta y mazorca; se contaron todas las plantas por parcela existentes y se determinó el porcentaje de acame. Los rendimientos de mazorca se ajustaron al 14% de humedad de grano y por número de plantas perdidas usando la fórmula (Avila y Márquez, 1978) siguiente: $Y_{ij}^* = Y_{ij} + (1 + A\ X_{ij})$, en donde Y_{ij}^* es el valor ajustado de la parcela j-ésima de la repetición i-ésima, Y_{ij} es el rendimiento real de la parcela j-ésima de la repetición i-ésima, $X_{ij} = (T_{ij} - N_{ij})/N_{ij}$, en donde T_{ij} es el número total

Figura 1. Diagrama del método de retrocruza limitada, conforme se usó cronológicamente en el presente estudio.

Estación	Generación	Germoplasma
OI-92/93	M X C	
PV-93	RC_0-F_1	1/2 C + 1/2 M
	#	
OI-93/94	RC_0-F_2 X C	1/2 C + 1/2 M
PV-94	RC_1-F_1	3/4 C + 1/4 M
	#	
OI-94/95	RC_1-F_2	3/4 C + 1/4 M
	#	
PV-95	RC_1-F_3	3/4 C + 1/4 M
	#	
	¿...?	
	Evaluación, Validación, Demostración	
	VPL	

M: Variedad mejorada; C: Variedad criolla; # Recombinación genética; VPL: Variedad mejorada de polinización libre; ¿...? significa decidir la continuación de la recombinación (#)

de plantas por parcela (40 en este caso) y N_{ij} es el número real de plantas en la parcela j-ésima de la repetición i-ésima; finalmente, $A = (\sum_{ij} e_{ij} w_{ij})/\sum_{ij} w^2_{ij}$, en donde $e_{ij} = Y_{ij} - Y_{i.} - Y_{.j} - Y_{..}$ y $w_{ij} = (Y_{ij} - Y_{i.} - Y_{.j} - Y_{..})(X_{ij} - X_{i.} - X_{.j} - X_{..})$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 2 se presenta los Cuadrados medios y las pruebas de significancia de F para el análisis de varianza combinado de las dos localidades de prueba. Para Poblaciones (incluye a las razas originales y a las razas retrocruzadas) así como para la interacción Localidades X Poblaciones hubo diferencias significativas o altamente significativas excepto para la interacción mencionada en el carácter altura de mazorca. Esto significa que las poblaciones se comportaron en forma diferente en cada localidad. El factor "Diferencia" se refiere a la diferencia para un carácter entre el comportamiento de la raza retrocruzada y el de la raza original. En todos los caracteres hubo diferencias altamente significativas, lo que quiere decir que el método de mejoramiento por retrocruza limitada alteró significativamente a todos los caracteres medidos. Sin embargo, en la fuente de variación Diferencia X Localidades sólo hubo diferencia significativa en el carácter altura de mazorca. Para los otros tres caracteres la ausencia de significación en esta fuente de variación indica que las diferencias entre las razas retrocruzadas y las originales se manifestaron más o menos con la misma intensidad en una y otra localidad. Esto es importante en el mejoramiento genético por retrocruza limitada, por lo menos para este estudio, ya que el trabajo de polinización y selección hasta la RC1-F_5 se hizo en un sólo lugar, con condiciones ambientales muy diferentes a las áreas generales de origen de prácticamente todas las razas (a excepción de Tabloncillo que es originaria de la región general en que se encuentra enclavado Tlajomulco), particularmente en lo que respecta a las razas del Sureste. Esto implica que tal trabajo de polinización y selección puede hacerse en condiciones un tanto diferentes a las de las áreas generales de origen de las razas. Por otra parte, entre los objetivos del mejoramiento por retrocruza limitada está el conferir a las versiones mejoradas de las razas mayor adaptabilidad que la que tiene sus versiones originales, es decir, que aquéllas se puedan sembrar en condiciones diferentes a las de sus áreas generales de origen. Por lo tanto, no es tan importante que las razas retrocruzadas se comporten superiormente a sus versiones originales en éstas, sino que se comporten superiormente también en otras áreas diferentes.

En el desglosamiento del factor Poblaciones en Razas y Retrocruzas en el Cuadro 2, se ve que en ambos casos hubo diferencias altamente significativas en tres caracteres excepto acame. Unas y otras fueron diferentes en ambos ambientes de prueba, interaccionando con las localidades las retrocruzas para rendimiento, y las razas para altura de planta y mazorca y acame. Con respecto a éste puede decirse, que aunque sus valores promedio fueron muy diferentes en las dos localidades (valores de la media en los pies de Cuadros 3 y 4), es el carácter que mostró menos interacciones significativas.

En los Cuadros 3 y 4 se muestra los Cuadrados medios y pruebas de significación de F para las localidades por separado. El coeficiente de variación fue menor en La Barca que en Cotaxtla, siendo relativamente alto en esta localidad dentro de lo acostumbrado. La media de rendimiento fue mayor en La Barca que en Cotaxtla, lo que es hasta cierto punto de esperarse por ser aquél el sitio de prueba en donde se obtuvo y seleccionó el material mejorado. Similares consideraciones pueden hacerse para los otros tres caracteres. Con respecto a lo que importa como objetivo primordial del estudio, en ambas localidades y en todos los caracteres las pruebas de F para la fuente Diferencia fueron altamente significativas; es decir, en todos los casos hubo diferencia en cuanto al mejoramiento de los caracteres por retrocruza limitada. En cuanto al desglose de las Poblaciones en

Cuadro 1. Razas de maíz usadas en este estudio, área general de origen, estados en donde son principalmente cultivadas, altitud y tipo general de clima. Adaptado de Wellhausen *et al.* (1951).

No. Raza	Área general de origen	Estados en donde se cultiva	Altitud sobre nivel del mar (m)	Tipo general de clima
1. Harinoso de 8	Pacífico norte	Sonora	100	Tropical, seco
2. Jala	Pacífico centro	Nayarit	1000	Templado
3. Tabloncillo	Pacífico centro	Nayarit, Jalisco y Colima	0-1500	Templado
4. Vandeño	Pacífico sur	Guerrero, Oaxaca, Chiapas	0-500	Tropical subhúmedo
5. Tuxpeño	Golfo de México, Costa y Tierras medias	Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Veracruz, Campeche, Tabasco y Yucatán	0-500	Tropical, Subtropical, Húmedo
6. Olotón	Tierras altas del sureste	Chiapas, Oaxaca	2000-2400	Frío
7. Comiteco	Tierras medias	Chiapas	1100-1500	Templado
8. Tehua	Tierras medias	Chiapas	600-1000	Templado
9. Tepecintle	Tierras bajas	Chiapas, Oaxaca	0-600	
10. Olotillo	Tierras bajas y tierras medias	Chiapas, Guerrero	100-70	Tropical

Cuadro 2. Cuadrados medios y pruebas de significancia de F del análisis de varianza combinado de dos localidades para los caracteres estudiados. PV-96.

Fuente de variación	gl	Rendimiento	Altura de pl.	Altura de maz.	Acame
Localidades	1	238.38**	15.37**	8.88**	33785**
Reps/locs	6	2.74	0.02	0.01	9
Poblaciones	19	8.43**	11.11**	0.10*	116*
Pobs X Locs	19	2.46*	0.03*	0.01	94*
Diferencia	1	56.40**	1.05**	1.12**	693**
Dif X locs	1	0.04	0.00	0.05**	146
Razas	9	7.86**	0.07**	0.05**	88
Razas X locs	9	1.78	0.05*	0.02*	81
Retrocruzas	9	3.68**	0.05**	0.04**	81
Retros X Locs	9	3.40**	0.01	0.01	102
Error exp.	114	1.40	0.02	0.01	64
Total	159				
Media		4.56	2.64	1.60	17.26
CV (%)		25.94	5.51	6.77	44.90

* y **: Significancia estadística al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente.

Cuadro 3. Cuadrados medios y pruebas de significancia de F del análisis de varianza para la localidad La Barca. PV-96.

Fuente de variación	gl	Rendimiento	Altura de pl.	Altura de mz.	Acame
Repeticiones	3	4.73	0.00	0.00	8.48
Poblaciones	19	7.11**	0.07**	0.06**	11.02*
Diferencia	1	29.65**	0.50**	0.82**	101.25**
Razas	9	6.73**	0.05*	0.01	10.92
Retrocruzas	9	44.93**	0.04*	0.03*	2.45
Error Exp.	57	90	0.02	0.01	6.79
Total	79				
Media		5.78	2.94	1.83	3.22
CV(%)		23.85	4.43	4.76	80.80

* y **: Significancia estadística al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente

Cuadro 4. Cuadrados medios y pruebas de significancia de F para el análisis de varianza de la localidad Cotaxtla. PV-96.

Fuente de variación	gl	Rendimiento	Altura de pl.	Altura de mz.	Acame
Repeticiones	3	0.75	0.02	0.30	9.68
Poblaciones	19	3.78**	0.07**	0.49**	199.74**
Diferencia	1	26.80**	0.55**	0.35**	738.11**
Razas	9	26.16**	0.61**	0.05*	0.00
Retrocruzas	9	2.09*	0.02	0.02	144.43
Error Exp.	57	0.89	0.03	0.02	120.32
Total	79				
Media		3.34	2.33	1.36	32.28
CV(%)		28.37	7.36	10.29	35.61

* y **:Significancia estadística al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente

Razas y Retrocruzas, en La Barca hubo más significación para los caracteres en las retrocruzas, sucediendo lo contrario en Cotaxtla. Esto puede explicarse porque, a excepción de Tabloncillo, como se dijo, las otras razas no son originarias del área general de Tlajomulco y La Barca; por lo tanto, las razas se diferencian menos, no así las retrocruzas al ser nuevos productos que tienen un cuarto del genomio de maíces mejorados adaptados a dicha región. En tanto, en Cotaxtla, hay 6 razas que puede decirse que pertenecen más al área de origen del Sureste que las otras 4; por lo tanto, es de esperarse que haya más diferenciación entre ellas que en sus versiones mejoradas con un cuarto de germoplasma mejorado exótico para estas condiciones.

En los Cuadros 5, 6, 7 y 8 se presenta las medias de los caracteres rendimiento, altura de planta, altura de mazorca y porcentaje de acame, respectivamente, por separado para cada localidad y para cada raza original y su respectiva retrocruza. Esta información tiene por objeto mostrar cómo cambiaron los caracteres al ser sometidos a mejoramiento por retrocruza limitada. Puede apreciarse que pese a que en los análisis de varianza respectivos, como se indicó, en todos los caracteres hubo significación para la fuente "Diferencia", cuando en cada raza se compara su expresión como raza original y como retrocruza. Considerando todos los caracteres y las dos localidades sólo hay dos diferencias significativas, las correspondientes a rendimiento por parcela en la raza Olotón en Cotaxtla y la de altura de planta en la raza Olotillo en La Barca. La falta de significación para las otras razas y caracteres se debe a lo alto que fueron las diferencias mínimas significativas por detectar, como puede apreciarse en la última hilera de los Cuadros 5, 6, 7 y 8, lo que a su vez se debe a la falta de precisión del experimento lo que se refleja, por lo menos para rendimiento, en lo relativamente altos que fueron sus coeficientes de variación. Esto, para el futuro, quizá pueda atenuarse ya sea con más repeticiones o bien con un cambio en la distribución de los tratamientos en cada bloque; por ejemplo, usar parcelas divididas en donde la parcela grande sea la raza y las parcelas pequeñas las versiones original y retrocruzada, lo que permitiría que las diferencias dentro de cada bloque influyan en menor grado en las diferencias entre dichas versiones.

Como quiera que sea, los resultados de los Cuadros 5, 6 , 7 y 8 no son para desdeñarse del todo. En cuanto a rendimiento (Cuadro 5) la superioridad promedio de las retrocruzas sobre las razas es de 24% en La Barca y 41% en Cotaxtla, si se considera que el trabajo en su totalidad, desde la siembra de los progenitores hasta la obtención de la generación RC1-F_5 tomó un tiempo de 4 años. Lo anterior significa un avance promedio de 8 % por ciclo, comparable a cualquier método de selección recurrente en maíz, aunque debe tomarse en cuenta que la evaluación se hizo sólo en dos ambientes. Sólo en un caso, en Cotaxtla, en Harinoso de Ocho, la diferencia fue negativa; esto es explicable puesto que se trata de la raza con el área de origen general más diferente a la correspondiente a esta localidad, el estado de Sonora.

En relación a los caracteres altura de planta y mazorca no hubo diferencias significativas salvo para el primero en la raza Olotillo. En promedio la diferencia fue de 2% en La Barca y cero en Cotaxtla, siendo la máxima del 14% en la raza Tepecintle en Cotaxtla. La explicación, en la que están de acuerdo todos los investigadores que participaron en la polinización, es que en realidad al llegar las razas originales a Tlajomulco eran sumamente altas, de más de 3 m de altura, lo que dificultaba enormemente su polinización; al cabo de dos ó tres ciclos de su multiplicación inconscientemente los polinizadores escogían a las plantas más bajas para tal fin, lo que provocó una reducción significativa en su altura. No se descarta, en este contexto, que tal reducción haya ocasionado otra paralela a su rendimiento, por lo que la "Diferencia" para este carácter haya sido tan acusada. En los

Cuadro 5. Medias para el carácter rendimiento (kg/parcela) en las dos localidades de evaluación, para las razas originales y las razas retrocruzadas. PV-96.

Poblaciones	La Barca			Cotaxtla		
	Media	Dif.	Prop.	Media	Dif.	Prop.
Olotillo	2.806			1.725		
Olotillo RC_1	4.838	2.032	1.72	3.400	1.675	1.97
Tepecintle	5.587			2.900		
Tepecintle RC_1	7.062	1.475	1.26	3.750	0.850	1.29
Comiteco	6.287			2.925		
Comiteco RC_1	7.456	1.169	1.19	4.375	1.450	1.50
Olotón	3.544			1.800		
Olotón RC_1	5.537	1.993	1.56	5.450	3.650*	3.03
Vandeño	5.475			2.225		
Vandeño RC_1	6.281	0.806	1.15	3.150	0.925	1.41
Harinoso de 8	4.325			3.700		
Harinoso de 8 RC_1	6.225	1.900	1.44	3.075	-0.625	0.83
Tuxpeño	4.637			4.200		
Tuxpeño RC_1	7.244	2.607	1.56	4.525	0.325	1.07
Tehua	5.725			2.575		
Tehua RC_1	7.550	1.825	1.32	4.100	1.529	1.59
Jala	5.431			2.875		
Jala RC_1	6.481	1.050	1.19	3.375	0.500	1.17
Tabloncillo	5.287			2.350		
Tabloncillo RC_1	7.819	2.532	1.48	4.300	1.950	1.83
Media razas	5.171			2.743		
Media RC_1	6.650	1.479	1.29	3.933	1.190	1.43
DMS		3.621			2.488	

Dif., diferencia; Prop., proporción

Cuadro 6. Medias para el carácter altura de planta (m) en las dos localidades de evaluación, para las razas originales y las razas retrocruzadas. PV-96.

Poblaciones	La Barca			Cotaxtla		
	Media	Dif.	Prop.	Media	Dif.	Prop.
Olotillo	2.92			2.39		
Olotillo RC_1	3.26	0.34*	1.12	2.43	0.04	1.02
Tepecintle	2.99			2.11		
Tepecintle RC_1	2.96	-0.03	0.99	2.41	0.30	1.14
Comiteco	2.97			2.59		
Comiteco RC_1	3.11	0.14	1.05	2.47	-0.12	0.95
Olotón	3.12			2.46		
Olotón RC_1	3.07	-0.05	0.98	2.34	-0.12	0.95
Vandeño	2.86			2.36		
Vandeño RC_1	2.99	0.13	1.04	2.54	0.18	1.08
Harinoso de 8	2.82			2.19		
Harinoso de 8 RC_1	2.84	0.02	1.01	2.25	0.06	1.03
Tuxpeño	2.96			2.29		
Tuxpeño RC_1	2.94	-0.02	0.99	2.30	0.01	1.00
Tehua	2.76			2.29		
Tehua RC_1	2.67	-0.09	0.97	2.08	-0.21	0.91
Jala	2.88			2.28		
Jala RC_1	2.97	0.09	1.03	2.27	-0.01	0.99
Tabloncillo	2.90			2.26		
Tabloncillo RC_1	2.97	0.07	1.02	2.23	-0.03	0.94
Media razas	2.92			2.32		
Media RC_1	2.98	0.06	1.02	2.33	0.01	1.00
DMS		0.34			0.42	

Dif., diferencia; Prop., proporción

Cuadro 7. Medias para el carácter altura de mazorca (m) en las dos localidades de evaluación, para las razas originales y las razas retrocruzadas. PV-96.

Poblaciones	La Barca			Cotaxtla		
	Media	Dif.	Prop.	Media	Dif.	Prop.
Olotillo	1.92			1.48		
Olotillo RC_1	1.95	0.03	1.01	1.43	-0.05	0.97
Tepecintle	1.84			1.15		
Tepecintle RC_1	1.90	0.06	1.03	1.40	0.25	1.22
Comiteco	1.91			1.54		
Comiteco RC_1	2.00	0.09	1.05	1.42	-0.12	0.92
Olotón	1.92			1.47		
Olotón RC_1	2.01	0.09	1.05	1.43	-0.04	0.97
Vandeño	1.86			1.37		
Vandeño RC_1	2.01	0.15	1.08	1.55	0.18	1.09
Harinoso de 8	1.77			1.31		
Harinoso de 8 RC_1	1.66	-0.11	0.94	1.26	-0.05	0.96
Tuxpeño	1.80			1.36		
Tuxpeño RC_1	1.82	0.02	1.01	1.34	-0.02	0.98
Tehua	1.66			1.34		
Tehua RC_1	1.55	-0.11	0.93	1.17	-0.17	0.87
Jala	1.70			1.25		
Jala RC_1	1.76	0.06	1.03	1.27	0.02	1.02
Tabloncillo	1.80			1.34		
Tabloncillo RC_1	1.77	-0.03	0.98	1.28	-0.06	0.96
Media razas	1.82			1.36		
Media RC_1	1.84	0.02	1.01	1.36	0.00	1.00
DMS		0.23			0.33	

Dif., diferencia; Prop., proporción

Cuadro 8. Medias para el carácter acame (%) en las dos localidades de evaluación, para las razas originales y las razas retrocruzadas PV-96.

Poblaciones	La Barca			Cotaxtla		
	Media	Dif.	Prop.	Media	Dif.	Prop.
Olotillo	6.25			33.75		
Olotillo RC_1	6.75	0.50	1.08	37.50	3.75	1.11
Tepecintle	3.50			46.25		
Tepecintle RC_1	14.75	0.25	1.36	39.50	-6.75	0.85
Comiteco	2.25			33.00		
Comiteco RC_1	4.75	2.50	2.11	26.00	-7.00	0.79
Olotón	3.00			32.25		
Olotón RC_1	5.75	2.75	1.92	40.50	8.25	1.26
Vandeño	2.75			38.00		
Vandeño RC_1	3.75	1.00	1.36	26.50	-11.50	0.70
Harinoso de 8	1.25			41.00		
Harinoso de 8 RC_1	2.50	1.25	2.00	30.00	-11.00	0.73
Tuxpeño	0.75			31.25		
Tuxpeño RC_1	2.75	2.00	3.66	27.50	-3.75	0.88
Tehua	2.00			34.75		
Tehua RC_1	1.25	-0.75	0.62	26.50	-8.25	0.76
Jala	2.50			35.00		
Jala RC_1	2.25	-0.25	0.90	21.25	-13.75	0.61
Tabloncillo	2.50			27.00		
Tabloncillo RC_1	3.25	0.75	1.30	18.25	-8.75	0.68
Media razas	2.50			35.04		
Media RC_1	3.67	1.17	1.47	27.15	-7.89	0.77
DMS		6.84			28.81	

Dif., diferencia; Prop., proporción

Cuadros 6 y 7 las diferencias negativas indican una reducción de la altura en las retrocruzas, y, como puede verse, sólo son de unos cuantos centímetros, teniendo como máximo una de 21 cm en la raza Tehua en Cotaxtla para altura de planta. Para altura de mazorca en general hay más reducciones que para altura de planta, habiendo más en Cotaxtla que en La Barca, con una máxima de 17 cm en Cotaxtla en la raza Tehua también. El acame fue más manifiesto en La Barca que en Cotaxtla, 37% más en la primera y 22% menos en la segunda, lo que se debió a la mayor altura de planta en la primera localidad que en la segunda. Así, puede apreciarse que en Cotaxtla hubo un mayor número de diferencias negativas que en La Barca.

CONCLUSIONES

El método genotécnico de retrocruza limitada seguido en este estudio, puede decirse que en general es bueno para mejorar el rendimiento, aprovechando la existencia de heterosis residual en la primera retrocruza, y para reducir la altura de planta y mazorca, lo que a su vez reduce el porcentaje de acame.

También, en términos generales, puede decirse que las fases de cruzamiento, retrocruzamiento y selección, puede llevarse a cabo en una localidad aún cuando ésta sea diferente en condiciones ambientales a las que prevalecen en las áreas generales de origen de las poblaciones por mejorar. Sin embargo, si éste fuera el caso, sería conveniente que las poblaciones retrocruzadas se avanzaran por recombinación y selección sólo hasta la generación RC1-F_3, a efecto de evitar una adaptación específica al lugar en que se lleva a cabo dichas fases. Si tal no es el caso, y el área de trabajo de polinización y selección es similar a las condiciones generales de las áreas en donde se va a aprovechar las variedades así mejoradas, como por ejemplo en el caso de la mejora de variedades regionales, el avance puede llevarse a cabo hasta RC1-F_5 o, inclusive, hasta generaciones más avanzadas con el objeto de lograr una mayor uniformidad de las poblaciones.

BIBLIOGRAFÍA

Ávila V., A. y F. Márquez S. 1978. Comparación de métodos de ajuste por fallas en sorgos para grano. Agrociencia 31:45-64.

Bramel-Cox, P. J. O. A. Marinesco y F. Zavala G. 1992. Efectividad del ambiente de selección en la ganancia obtenida y su impacto en la selección. En: Simposio de Interacción Genético-Ambiental en Genotécnia Vegetal. Sociedad Mexicana de Fitogenética. Guadalajara, Jalisco. pp: 381-404.

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

Hernández X., E. y G. Alanís F. 1970. Estudio morfológico de cinco nuevas razas de maíz de la Sierra Madre Occidental de México: implicaciones filogenéticas, fitogenéticas y fitogeográficas. Agrociencia 5:225-229.

Márquez S., F. 1990. Backcross theory for maize. I. Homocigosis and heterocigosis. Maydica 35:17-22.

Márquez S., F. 1992. Backcross theory for maize. II. Additive genetic variance and response to selection. Maydica 37:225-229.

Márquez S., F., J. A. Carrera V. y L. Sahagún C. 1994. Rescate y mejoramiento de maíces criollos por retrocruza limitada. En: Aprovechamiento de los Recursos Naturales de la Agricultura Mexicana. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. pp: 143-152.

Márquez S., F., J. A. Carrera V. y L. Sahagún C. 1995. Retrocruza limitada, método para conservar y aprovechar la variabilidad racial del maíz. En: Agroecología y Desarrollo Sustentable. 2o. Seminario Internacional de Agroecología. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. pp: 205-217.

Ortega P., R. 1973. Variación en maíz y cambios socioeconómicos en Chiapas, México 1946-1971. Tesis de MC, Colegio de Postgraduados,

Escuela Nacional de Agricultura, Chapingo, México. 199 p.

Sánchez G., J.J. 1989. Relationships among the Mexican races of maize. Tesis de DC, North Carolina State University, Raleigh, North Carolina. 187 p.

Wellhausen , E.J., L. M. Roberts, E. Hernández X. en colab. con P. C. Mangelsdorf. 1951. Razas de maíz en México. Su origen, características y distribución. SAG, OEE, Foll. Tec. 5, México. 237 p.