

SELECCIÓN ENTRE Y DENTRO DE FAMILIAS DE HERMANOS COMPLETOS DE MAÍZ EN CHIAPAS, MÉXICO

SELECTION AMONG AND WITHIN FULL-SIB CORN FAMILIES IN CHIAPAS, MÉXICO

Bulmaro Coutiño Estrada^{1*}, Grisel Sánchez Grajalez¹ y Víctor A. Vidal Martínez²

¹ Campo Experimental Centro de Chiapas, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Apartado postal no. 1. Ocozocoautla, Chis. Tel y fax 01(968)688-2818 Ext 107 Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad Autónoma de Chiapas. Villaflorres, Chis.

² Campo Experimental Santiago Ixcuintla, INIFAP. Apartado postal no. 100. Santiago Ixcuintla, Nay.

* Autor para correspondencia (coutino.bulmaro@inifap.gob.mx)

RESUMEN

Entre 2002 y 2005 se hicieron tres ciclos de selección recurrente de familias de hermanos completos en tres variedades de maíz (*Zea mays L.*) que se cultivan comercialmente en Chiapas: ‘V-424’ (de ciclo precoz), ‘V-534’ (de ciclo intermedio) y ‘V-526’ (de ciclo tardío). El objetivo fue incrementar sus rendimientos de grano, y a la vez mantener el fenotipo y madurez de cada población. Durante los ciclos agrícolas de temporal o secano de 2005 y de riego de 2006 se evaluaron en Ocozocoautla y Villaflorres, Chiapas, México, a 14 variedades experimentales formadas de los ciclos uno, dos y tres de cada población, más su población original. Se encontraron diferencias significativas entre localidades y entre variedades para las tres poblaciones en el rendimiento de grano, y la interacción localidades x variedades sólo fue significativa para la población ‘V-534’; las variedades experimentales ‘V-424 Coita C3’, ‘V-534 Coita C3’ y ‘V-526 Villaflorres C3’ superaron en rendimiento a las respectivas variedades originales, sin cambiar su fenotipo y madurez, con respuestas de 3.0 %, 5.2 % y 4.2 % por ciclo de selección, respectivamente.

Palabras clave: *Zea mays*, selección recurrente, hermanos completos, variedades de maíz.

SUMMARY

Three cycles of full-sib recurrent selection were conducted on three commercial corn (*Zea mays L.*) varieties: ‘V-424’ (early maturity), ‘V-534’ (intermediate maturity), and ‘V-526’ (late maturity) during 2002 to 2005. The objective was to increase grain yield but maintaining both the phenotype and the maturity of the original populations. Fourteen experimental varieties derived from cycles one, two, and three from the three populations, plus their respective original populations, were evaluated during the 2005 rainy season (Summer) and the 2006 irrigated season (Winter) in Ocozocoautla and Villaflorres, Chiapas, México. Significant differences among locations and varieties for the three populations were found for grain yield, while the interaction location x variety was significant only for population ‘V-534’; experimental varieties ‘V-424 Coita C3’, ‘V-534 Coita C3’ and ‘V-526 Villaflorres C3’ had superior grain yields than to the original populations, without changes in their phenotype and maturity, with grain yield responses of 3.0 %, 5.2 %, and 4.2 % per cycle of selection, respectively.

Index words: *Zea mays*, full-sib, recurrent selection, corn varieties.

Recibido: 30 de Julio del 2007.

Aceptado: 7 de Febrero del 2008.

INTRODUCCIÓN

Chiapas es considerado el cuarto productor de maíz (*Zea mays L.*) en el ámbito nacional. Durante el ciclo agrícola Primavera-Verano 2006, los productores cosecharon un total de 732 707 ha y obtuvieron una producción de 1 541 576 t de grano, con un rendimiento medio de 1.781 t ha⁻¹ (SIAP, 2007). Por volumen de producción y superficie cultivada, los principales Distritos de Desarrollo Rural productores de maíz son Tuxtla Gutiérrez, Villaflorres, Comitán y Tapachula, de donde se obtiene 71 % de la producción total de la entidad.

Las empresas: Productora Nacional de Semillas, Productores de Semillas del Sur, Técnica Agrícola de Chiapas, Semillas Mejoradas de la Meseta Comiteca, Productores de Semilla de San Pedro Buenavista, Patronato de Investigación Agropecuaria y Forestal y el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), informaron¹ que durante el decenio 1990-2000 comercializaron en conjunto alrededor de 10 000 t de semilla certificada de las variedades ‘V-424’, ‘V-534’ y ‘V-526’, para ser sembradas en los distritos mencionados, en una superficie aproximada de 500 000 ha (50 000 ha año⁻¹). En la actualidad, el INIFAP sigue produciendo semilla registrada de estas tres variedades para algunas de estas empresas locales, las cuales producen y comercializan la semilla certificada en la entidad.

La variedad ‘V-424’, también llamada ‘Tuxpeño precoz’, fue liberada por el INIFAP en 1983, en el Campo Experimental Valle del Yaqui, Son., proveniente de 17 ciclos de selección recurrente en la Población ‘Tuxpeño

¹ Comunicación personal proporcionada en forma escrita por cada empresa.

Crema-1'. La variedad 'V-526', conocida como 'Tuxpeño tardío', fue formada en el mismo Campo Experimental y en el mismo año, después de realizar tres ciclos de selección recurrente en la población denominada 'La Posta' (Cota *et al.*, 1983). La variedad 'V-534' fue formada en el Campo Experimental Centro de Chiapas en 1990, y proviene de dos ciclos de selección recurrente de familias de hermanos completos practicada en la población 'Tuxpeño Caribe' (Ramírez *et al.*, 1990).

El esquema de selección recurrente de familias de hermanos completos se ha usado exitosamente para otras características además del rendimiento de grano; por ejemplo, para reducir las alturas de planta y de mazorca, el tamaño de espiga, el ciclo, el intervalo de antesis a floración femenina y la esterilidad, y para mejorar prolificidad, índice de cosecha, y la tolerancia a sequía, insectos y enfermedades. Según Souza (1999), el desarrollo de progenies, su evaluación en la región de interés, la selección de las mejores y su recombinación por varios ciclos, hace que las poblaciones mejoradas lleguen a ser agronómicamente superiores a las originales y a mantener suficiente variabilidad genética en los caracteres elegidos, lo que les permite seguir en uso a largo plazo.

Vasal *et al.* (1997) reportaron la aplicación de diferentes métodos de selección recurrente y obtuvieron incrementos en el rendimiento de grano y reducciones en la altura de las plantas de maíz. Darrah (1986) informó que la selección de familias de hermanos completos en maíz mostró un incremento de rendimiento de 3.6 % por año. Singh *et al.* (1986) aplicaron esta selección para prolificidad y obtuvieron una respuesta lineal de 5.5 % por ciclo en baja densidad de población y de 3.6 % en alta densidad. Khehra *et al.* (1989) informaron ganancias en rendimiento de 4 % por ciclo conjuntamente con una floración femenina más temprana, mazorcas más bajas y menor altura de planta. Pandey *et al.* (1986) reportaron los resultados en ocho poblaciones tropicales de madurez tardía, con una ganancia media por ciclo de 1.3 %.

Pandey *et al.* (1987) lograron ganancias de rendimiento en poblaciones tropicales de madurez media de 2.1 % por ciclo, y de 1.0 % en el número de mazorcas por planta. Edmeades *et al.* (1999) incrementaron el rendimiento y la tolerancia a sequía durante la floración y el llenado de grano, con una ganancia de 3.8 % por ciclo en ambientes con sequía. Abedon y Tracy (1998) reportaron mejoras en la resistencia a la roya común (*Puccinia sorghi*) en tres poblaciones de maíz dulce, con plantas más compactas y más tempranas. Pixley *et al.* (2006) compararon 12 variedades experimentales de maíz obtenidas por selección recurrente de familias de hermanos completos, y con este mismo método combinado con líneas S₁ a S₃ lograron mejorar la re-

sistencia al virus del rayado del maíz (Maize streak virus), sin reducir el rendimiento de grano.

Las variedades mejoradas 'V-424' de ciclo precoz, 'V-534' de ciclo intermedio y 'V-526' de ciclo tardío han tenido amplia aceptación entre los agricultores de las regiones maiceras de Chiapas y de otras partes del país, y aún poseen una gran variabilidad genética por su amplia base germoplásrica; pero se consideran variedades viejas, con más de 18 años de haberse liberado. Por ello, los objetivos de este trabajo fueron formar nuevas variedades a partir de ellas y detectar cuando menos una con mayor rendimiento de grano, pero con un fenotipo y madurez similar al de la original.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitios experimentales

Los trabajos se realizaron del año 2002 al 2006 (Cuadro 1) en varias localidades de los Distritos de Desarrollo Rural de Tuxtla Gutiérrez, Villaflor y Tapachula, donde el clima predominante es del tipo Aw, cálido subhúmedo con lluvias en verano. Los sitios de prueba dentro del Distrito de Tuxtla Gutiérrez fueron: 1) el Campo Experimental Centro de Chiapas del INIFAP, municipio de Ocozocoautla; 2) el Predio Ojo de Agua (con riego), municipio de Ocozocoautla; 3) la escuela Preparatoria de Jiquipilas; 4) el CBTA-46 de Venustiano Carranza. Los sitios del Distrito de Villaflor fueron: 5) el Centro Universitario de Transferencia de Tecnología San Ramón (con riego) de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad Autónoma de Chiapas; 6) el ejido Guadalupe Victoria (con riego). Los del Distrito de Tapachula fueron: 7) el ejido Omoa del municipio de Tuxtla Chico, y 8) el ejido Díaz Ordaz del municipio de Frontera Hidalgo.

Método de selección

Se hicieron tres ciclos de selección recurrente de familias de hermanos completos en forma simultánea en las poblaciones 'V-424' precoz, 'V-534' intermedia y 'V-526' tardía (Cuadro 1). Para obtener un ciclo de selección completo en un año, se hicieron siembras de temporal o secano (primavera-verano) y de riego (otoño-invierno). Durante el temporal, se efectuó la selección interfamiliar que consistió en evaluar, en tres a cinco localidades, a 155 familias más la población original, aleatorizadas en un diseño experimental Látice Simple Rectangular 12 x 13, en parcela experimental de un surco de 5 m de longitud, con 11 matas de dos plantas cada una, espaciadas a 50 cm; se sembraron tres semillas por mata y posteriormente se raleó a dos plántulas. A la cosecha se aplicó una presión de selección

interfamiliar de 20 % para elegir las de mayor rendimiento de grano.

Posteriormente, en la siembra de riego, se hizo la selección intrafamiliar con la semilla remanente de las 30 familias seleccionadas, las cuales se sembraron en dos surcos de 5 m de longitud, con una población de 22 plantas por surco para hacer cruzas planta a planta, en cadena y entre familias adyacentes (Dhillon *et al.*, 1987); de esta forma se recombinaron genéticamente los pares de familias y a la cosecha se aplicó una presión de selección intrafamiliar de 24 % para formar 155 nuevas familias de hermanos completos, con las cuales se hizo el siguiente ciclo de selección.

En la siembra de riego también se recombinaron genéticamente las mejores 10 familias de cada localidad de prueba y las mejores 10 en promedio de localidades, para formar las variedades experimentales de ese ciclo de selección. Con la semilla remanente se sembró un surco con 20 plantas por familia y se hicieron cruzas planta a planta en cadena; a la cosecha se hizo un compuesto mecánico ba-

lanceado con el mismo número de mazorcas (8 a 10) obtenidas por familia y esta semilla constituyó la variedad experimental, la cual se identificó con el nombre de su población original, el nombre de la localidad de evaluación y el respectivo ciclo de selección.

Durante la selección de estas 10 familias se escogieron las que tuvieran floración y altura de planta similares a las de la población original y los rendimientos de grano más altos; así, para las variedades derivadas de 'V-424' precoz la selección se enfocó a plantas menores a 170 cm de altura y 53 d a floración; para las variedades formadas de 'V-534' intermedia se seleccionaron familias con floraciones menores a 56 d y altura de planta de 210 cm; y para las derivadas de 'V-526' tardía las familias escogidas tuvieron floraciones de 60 d y plantas de 255 cm de altura. El motivo de realizar la selección de esta forma fue para conservar la similitud del fenotipo y el tiempo a madurez de las poblaciones originales, las cuales son muy apreciadas por los productores de maíz de la región.

Cuadro 1. Actividades de selección realizadas en tres poblaciones de maíz. Centro de Chiapas, 2002-2006. (Temporal equivale a secano)

Año	Régimen hídrico	Actividad realizada	Sitios experimentales
2002	Riego	<i>Ciclo 1.</i> Formación de 155 familias de hermanos completos (FHC).	Ocozocoautla.
	Temporal	Evaluación de 155 FHC más la población original.	Ocozocoautla, Jiquipilas, Villaflorres, Frontera Hidalgo y Tuxtla Chico.
2003	Riego	Recombinación genética de las mejores 30 FHC y formación de nuevas 155 FHC. Recombinación genética para formar 6 variedades del ciclo 1.	Villaflorres.
	Temporal	<i>Ciclo 2.</i> Evaluación de 155 FHC más la población original. Evaluación de las 6 variedades del ciclo 1.	Ocozocoautla, Villaflorres y Tuxtla Chico.
2004	Riego	Recombinación genética de las mejores 30 FHC y formación de nuevas 155 FHC. Recombinación genética para formar 4 variedades del ciclo 2.	Ocozocoautla.
	Temporal	<i>Ciclo 3.</i> Evaluación de 155 FHC más la población original Evaluación de las 11 variedades de los ciclos 0, 1 y 2.	Ocozocoautla, Villaflorres y Venustiano Carranza.
2005	Riego	Recombinación genética de las mejores 30 FHC y formación de nuevas 155 FHC. Recombinación genética para formar 4 variedades del ciclo 3.	Ocozocoautla.
	Temporal	Evaluación de las 15 variedades (ciclos 0, 1, 2 y 3).	Ocozocoautla y Villaflorres.
2006	Riego	Evaluación de las 15 variedades (ciclos 0, 1, 2 y 3).	Ocozocoautla y Villaflorres.

Material genético y diseño experimental

Como producto de los tres ciclos de selección recurrente, en este trabajo se reporta la evaluación de variedades experimentales derivadas de las poblaciones originales ('V-424', 'V-534' y 'V-526'). En el primer ciclo se formaron seis variedades y en el segundo y tercer ciclos fueron cuatro. Las 14 variedades, con semilla F_1 , más la población original (ciclo cero), se evaluaron en un diseño experimental bloques completos al azar con cuatro repeticiones, en parcelas de cuatro surcos de 5 m de longitud, y como parcela útil se tomó a las 11 matas de dos plantas separadas a 50 cm de los dos surcos centrales. Los tres experimentos se sembraron en Ocozocoautla y Villaflorres a fines de junio, durante el ciclo agrícola de temporal del 2005, y a principios de enero durante el ciclo de riego del 2006. El manejo del cultivo se hizo de acuerdo con las recomendaciones del INIFAP para los Distritos de Desarrollo Rural antes mencionados.

Variables medidas y análisis estadístico

Durante la etapa reproductiva se midieron variables de planta y mazorca: días a floración femenina, días a floración masculina, altura de planta y altura de mazorca (datos no mostrados). En la etapa de madurez comercial, las plantas de los dos surcos centrales se cortaron a nivel del suelo y se pesaron para determinar materia seca total (únicamente en Ocozocoautla 2005 en condiciones de temporal, para calcular el índice de cosecha); después se desprendieron las mazorcas y se desgranaron en forma mecanizada, y el peso de grano se midió en una báscula electrónica de 20 kg de capacidad y se obtuvo la humedad del grano con un determinador portátil (Dickey-John Mod. 462331247). Se calculó el rendimiento de grano en toneladas por hectárea, ajustado a 16 % de humedad; el índice de cosecha se estimó al dividir el peso de grano entre la materia seca total. A cada variable se le aplicó un análisis de varianza combinado, para cada grupo de variedades, para probar la hipótesis nula de igualdad entre variedades; se aplicó la prueba de medias Diferencia Mínima Significativa ($P \leq 0.05$) para detectar la variedad experimental más sobresaliente de cada población. Se utilizó el procedimiento GLM del Statistical Analysis System (SAS versión 9.1), con el modelo estadístico siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \text{Localidad}_i + \text{Bloque}(\text{Localidad})_j + \text{Variedad}_k + (\text{Localidad} \times \text{Variedad})_{ik} + \text{Error}_{ijk}$$

Con los datos del rendimiento de grano de la mejor variedad experimental de cada población y de sus correspondientes ciclos 0, 1, 2 y 3, se hizo un análisis de regresión sobre las cuatro localidades, y la suma de cuadrados de variedades se descompuso en sus componentes lineal, cu-

drático y cúbico, por medio del procedimiento GLM del SAS. La significancia del componente lineal indicaría cambios significativos debidos a los ciclos de selección. Para calcular la respuesta a la selección, al rendimiento promedio de la población original (C_0) se le consideró 100 % y al mayor porcentaje obtenido por la mejor variedad experimental se le consideró como la respuesta total a la selección, la cual se dividió entre el número de ciclos realizados para calcular la respuesta por ciclo de selección.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis estadístico combinado de las cuatro localidades (Cuadro 2) indicó variación significativa entre localidades y entre variedades experimentales para el rendimiento de grano en los ensayos de variedades de las tres poblaciones, y la interacción localidades x variedades sólo fue significativa en los ensayos de variedades de 'V-534'. Los coeficientes de variación de los ensayos combinados de los tres experimentos variaron de 11.9 a 16.6 %, lo que indica confiabilidad en los resultados obtenidos.

Cuadro 2. Cuadrados medios y significancia del rendimiento de grano del análisis de varianza combinado de las variedades experimentales de tres poblaciones de maíz. 2006.

Fuente de variación	Grados de libertad	Poblaciones		
		V-424	V-534	V-526
Localidades (Locs.)	3	52.65 **	30.74 **	24.48 **
Repeticiones dentro de Locs.	12	3.14 **	4.23 **	1.55 **
Variedades (Vars.)	14	0.78 **	1.46 *	2.38 **
Lineal	1	0.71	0.08	4.87 *
Cuadrático	1	0.18	3.66	1.15
Cúbico	1	0.28	1.25	0.06
Interacción Vars. x Locs.	42	0.52	1.35 **	0.89
Error	168	0.41	0.87	0.71
C.V.		11.9	16.6	14.5

*, ** = Significativo a 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente.

Las diferencias encontradas entre localidades se debieron principalmente a las condiciones contrastantes de humedad entre temporal y riego; las variedades intermedias y tardías rindieron más en las localidades de temporal, mientras que las tempranas rindieron mejor en condiciones de riego, en donde el "riego rodado" fue menos eficiente que las lluvias. Las variedades experimentales florecieron 15 a 18 d más tarde en las siembras de riego y las plantas crecieron de 25 a 32 cm menos que en las de temporal, lo que se atribuye a las bajas temperaturas registradas en invierno (datos no mostrados).

Entre las variedades experimentales de 'V-424' (Cuadro 3), seis superaron ($P \leq 0.02$) a la población original (C0); la mejor variedad 'V-424 Coita C3' rindió 5.7 t ha^{-1} que representó 0.474 t ha^{-1} más que el C0, con un incremento total de 9 % y de 3 % por ciclo de selección. No obstante las ganancias, el coeficiente de regresión ($\beta = 0.094$) de los ciclos C0, C1, C2 y C3 de la variedad 'V-424 Coita' no fue significativo (Figura 1). Las variedades también difirieron ($P \leq 0.01$) en índice de cosecha (I.C.), variable en la que la variedad 'V-424 Coita C3' tuvo el valor mayor (0.461) debido a su mayor rendimiento de grano, lo que parece indicar que posee plantas más eficientes para transportar los fotoasimilados hacia el grano en crecimiento, en comparación a la población original (0.441). Bolaños y Edmeades (1993) registraron incrementos de 108 kg ha^{-1} por ciclo en ocho ciclos de selección re-

urrente practicados bajo condiciones controladas de sequía, atribuibles principalmente a las ganancias en el índice de cosecha. Similarmente, Monneveaux *et al.* (2006) reportaron que esta metodología estuvo asociada con una disminución en el peso seco de la espiga y del tallo y un incremento en el peso seco de la mazorca y en el índice de cosecha, al evaluar nueve ciclos de selección.

La floración promedio de las variedades experimentales de 'V-424' en temporal fue de 53 d, mientras que en riego se incrementaron a 70 d, las alturas de planta y mazorca fueron de 171 y 82 cm en temporal y se redujeron a 140 y 57 cm en riego. Es de destacar que la variedad sobresaliente 'V-424 Coita C3' no cambió significativamente su periodo de floración ni sus alturas de planta y mazorca con respecto al C0 (datos no mostrados).

Cuadro 3. Índice de cosecha y rendimiento de grano (t ha^{-1}) de variedades formadas de tres ciclos de selección en la población V-424, evaluadas en el Centro de Chiapas. 2005- 2006.

Variedad	IC	Temporal 2005		Riego 2006		Rendimiento	
		Ocoz.	Villaflor	Ocoz.	Villaflor	promedio	%
V-424 Coita C3	0.461	4.646	5.221	6.222	6.815	5.726 a	109.0
V-424 Frontera Hidalgo C1	0.434	5.017	5.764	6.363	5.676	5.705 a	108.6
V-424 Tuxtla Chico C2	0.436	4.230	6.006	6.082	6.205	5.631 ab	107.2
V-424 Jiquipilas C1	0.447	4.264	5.583	6.447	6.076	5.592 ab	106.5
V-424 Regional C2	0.424	3.881	5.571	6.388	5.875	5.429 abc	103.4
V-424 Coita C2	0.425	4.043	5.686	5.624	6.219	5.393 abc	102.7
V-424 Tuxtla Chico C1	0.402	4.084	5.350	5.730	5.916	5.270 bc	100.3
V-424 Original	0.411	4.218	5.240	5.738	5.811	5.252 bc	100.0
V-424 Villaflor C3	0.432	3.680	5.164	5.937	6.203	5.246 bc	99.9
V-424 Carranza C3	0.449	3.809	5.247	5.849	5.598	5.126 c	97.6
V-424 Coita C1	0.428	4.342	4.714	6.010	5.422	5.122 c	97.5
V-424 Regional C1	0.418	3.635	4.904	6.174	5.689	5.101 c	97.1
V-424 Villaflor C2	0.430	3.551	5.138	6.102	5.595	5.096 c	97.0
V-424 Villaflor C1	0.416	4.007	4.918	6.183	5.169	5.069 c	96.5
V-424 Regional C3	0.445	3.612	4.249	6.085	6.256	5.050 c	96.2
Promedio	0.431	4.068	5.250	6.062	5.902	5.320	
DMS _{0.05}	0.049	0.871	0.908	0.815	1.005	0.441	
CV (%)	4.5	15.2	12.1	9.4	11.9	11.9	

Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes ($P \leq 0.05$). IC = Índice de cosecha; CV = Coeficiente de variación; DMS = Diferencia mínima significativa ($P \leq 0.05$).

Entre las variedades derivadas de 'V-534', sobresalieron ($P \leq 0.04$) en rendimiento de grano 11 de las 15 variedades (Cuadro 4). La mejor fue 'V-534 Coita C3' con un rendimiento de 6.0 t ha^{-1} para superar en 0.841 t ha^{-1} al C0, con incremento total de 15.7 % y de 5.2 % por ciclo de selección. A pesar de ello, el coeficiente de regresión del rendimiento sobre los ciclos C0, C1, C2 y C3 de esta variedad ($\beta = 0.235$) no fue diferente (Figura 1). En el índice de cosecha hubo poca variación entre variedades, lo que muestra que este carácter no fue modificado por la selección aplicada. En temporal, la floración promedio de estas variedades experimentales fue de 56 d y en riego se incrementó a 71 d; las plantas crecieron 208 cm en temporal y 183 cm en riego, pero el rendimiento promedio en temporal fue 1.1 t ha^{-1} mayor que en riego. Tanto en floración como en alturas de planta y mazorca, 'V-534 Coita C3' fue estadísticamente igual que C0. La mejor combinación variedad-localidad fue la variedad 'V-534 Villaflor C3' sembrada en Villaflor en condiciones de temporal, con un rendimiento de 7.7 t ha^{-1} .

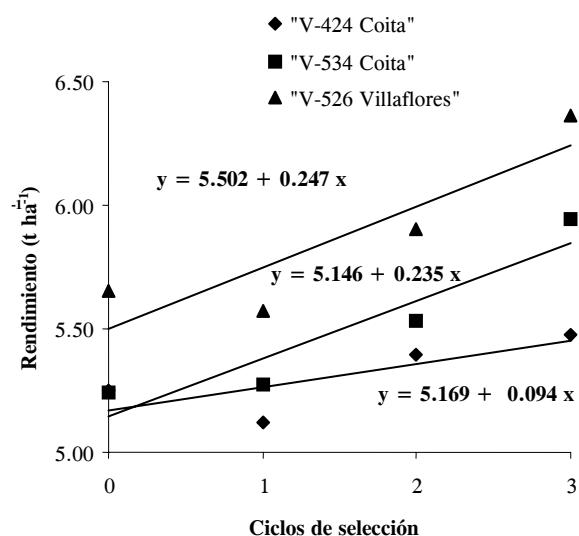


Figura. 1. Tendencia a tres ciclos de selección recurrente de tres variedades experimentales de maíz. 2006.

Cuadro 4. Índice de cosecha y rendimiento de grano (t ha^{-1}) de variedades formadas de 3 ciclos de selección en la población V-534, evaluadas en el Centro de Chiapas. 2005- 2006.

Variedad	IC	Temporal 2005		Riego 2006		Rendimiento	
		Ocoz.	Villaflor	Ocoz.	Villaflor	promedio	%
V-534 Coita C3	0.413	6.432	6.399	6.334	5.109	6.068 a	115.7
V-534 Regional C2	0.419	6.158	6.808	5.900	4.986	5.963 a	113.7
V-534 Regional C3	0.409	5.902	7.035	6.459	4.399	5.949 a	113.4
V-534 Carranza C3	0.414	5.932	6.841	6.267	4.691	5.933 a	113.1
V-534 Frontera Hidalgo C1	0.438	6.259	7.107	5.330	4.694	5.848 ab	111.5
V-534 Villaflor C2	0.405	5.486	7.054	5.796	4.589	5.731 ab	109.3
V-534 Villaflor C3	0.423	6.073	7.710	5.057	4.003	5.711 ab	108.9
V-534 Tuxtla Chico C2	0.424	5.880	6.036	5.635	4.882	5.608 ab	106.9
V-534 Coita C2	0.405	5.898	6.353	5.094	4.787	5.533 ab	105.5
V-534 Jiquipilas C1	0.425	6.090	5.873	4.411	4.866	5.435 ab	103.6
V-534 Villaflor C1	0.432	6.187	5.101	5.559	4.830	5.419 ab	103.3
V-534 Regional C1	0.410	5.898	5.410	5.123	4.956	5.347 b	101.9
V-534 Coita C1	0.424	5.735	5.835	4.410	5.111	5.273 b	100.5
V-534 Tuxtla Chico C1	0.414	6.093	6.547	3.926	4.447	5.253 b	100.2
V-534 Original	0.419	5.742	5.079	5.925	4.232	5.245 b	100.0
Promedio	0.418	5.984	6.346	5.415	4.705	5.621	
DMS _{0.05}	0.063	0.865	1.831	1.183	1.256	0.651	
CV (%)	5.9	10.1	20.22	15.3	18.7	16.6	

Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes ($P \leq 0.05$). IC = Índice de cosecha; CV = Coeficiente de variación; DMS = Diferencia mínima significativa ($P \leq 0.05$).

Entre las variedades experimentales de 'V-526' sobresalieron ($P \leq 0.01$) en rendimiento de grano nueve de las 15 variedades (Cuadro 5) y la variedad 'V-526 Villaflores C3' fue la de mayor producción con 6.3 t ha^{-1} , que superó en 0.713 t ha^{-1} al C0, lo que equivale a un incremento total de 12.6 % y de 4.2 % por ciclo de selección. En este caso, el coeficiente de regresión ($\beta = 0.247$) sobre los ciclos C0, C1, C2 y C3 fue mayor de cero ($P \leq 0.03$), así como el componente lineal de la suma de cuadrados de variedades ($P \leq 0.02$), lo que evidencia que el rendimiento de grano se incrementó con los ciclos de selección realizados, con incrementos de 0.247 t ha^{-1} por ciclo de selección (Figura 1). En índices de cosecha, las variedades no fueron estadísticamente diferentes. En las localidades de temporal las plantas florecieron a los 60 d y crecieron 260 cm; en condiciones de riego la floración se incrementó en 18 d y la altura disminuyó en 32 cm. La variedad sobresaliente 'V-526 Villaflores C3' fue estadísticamente similar al C0 en estas características (datos no mostrados).

De acuerdo con estos resultados, se puede afirmar que los tres ciclos de selección recurrente de familias de hermanos completos permitieron incrementar el rendimiento de grano de las tres poblaciones originales, sin modificar significativamente la floración ni la altura de planta, con respecto a la población original (C0). Lo anterior se puede atribuir a que durante la selección y recombinación genética de las familias de hermanos completos se descartaron los genotipos que diferían de las variedades originales, aunque tuvieran un rendimiento elevado. Por lo mismo, las ganancias por selección no fueron las máximas posibles y no todos los coeficientes de regresión en rendimiento de grano resultaron significativos a través de los ciclos de selección. Las familias eliminadas de alto rendimiento eran más altas y más tardías que las poblaciones originales, ya que se procuró obtener variedades similares a las originales que son las que cultivan los productores de maíz de la región desde hace más de 20 años, y son menos altas que las variedades criollas regionales.

Cuadro 5. Índice de cosecha y rendimiento de grano (t ha^{-1}) de variedades formadas de tres ciclos de selección de la población V-526, evaluadas en el Centro de Chiapas. 2005- 2006.

Variedad	IC	Temporal 2005		Riego 2006		Rendimiento	
		Ocoz.	Villaflores	Ocoz.	Villaflores	promedio	%
V-526 Villaflores C3	0.395	6.619	6.518	6.777	5.540	6.363 a	112.6
V-526 Regional C2	0.385	6.337	6.194	7.800	4.902	6.308 a	111.7
V-526 Regional C3	0.383	5.905	6.610	6.571	5.856	6.236 ab	110.4
V-526 Carranza C3	0.373	6.493	6.560	6.989	4.281	6.081 abc	107.6
V-526 Regional C1	0.375	5.858	5.929	6.795	5.100	5.920 abcd	104.8
V-526 Villaflores C2	0.369	5.925	6.529	6.240	4.918	5.903 abcd	104.5
V-526 Tuxtla Chico C2	0.377	5.994	5.611	6.743	5.230	5.895 abcde	104.3
V-526 Coita C2	0.382	6.384	5.260	7.389	4.520	5.888 abcde	104.2
V-526 Coita C3	0.375	6.456	5.490	5.488	5.693	5.782 abcde	102.3
V-526 Original	0.369	5.291	5.909	6.565	4.836	5.650 bcde	100.0
V-526 Jiquipilas C1	0.378	5.481	6.049	5.973	4.827	5.582 cde	98.8
V-526 Villaflores C1	0.376	5.668	4.882	6.438	5.310	5.574 cde	98.7
V-526 Frontera Hidalgo C1	0.401	5.559	5.658	6.106	4.542	5.466 def	96.7
V-526 Tuxtla Chico C1	0.366	5.341	5.521	6.185	4.182	5.307 ef	93.9
V-526 Coita C1	0.370	5.379	4.706	5.303	4.417	4.951 f	87.6
Promedio	0.378	5.913	5.828	6.491	4.943	5.794	
DMS _{0.05}	0.044	0.947	1.244	1.335	1.239	0.587	
CV (%)	5.5	11.2	14.9	14.4	14.6	14.5	

Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes ($P \leq 0.05$). IC = Índice de cosecha; CV = Coeficiente de variación; DMS = Diferencia mínima significativa ($P \leq 0.05$).

La recombinación genética tiene una importancia fundamental en este esquema de selección porque regenera la variabilidad genética y gradualmente incrementa la frecuencia de los genes favorables y de las combinaciones de genes deseables, lo que mejora el comportamiento de la población para las características en selección. La respuesta a la selección varió entre poblaciones porque provienen de germoplasma diferente del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), cuya variabilidad genética ha sido explotada en forma indistinta, y cuando las entregaron al INIFAP se les aplicaron otros ciclos de mejoramiento genético, para luego ser liberadas como variedades mejoradas (Cota *et al.*, 1983; Ramírez *et al.*, 1990).

Los resultados obtenidos demuestran incrementos por ciclo de 3.0 a 5.2 % en sólo tres ciclos de selección, y coinciden con los incrementos reportados por otros autores que han aplicado más ciclos de selección en diferentes poblaciones base y en diferentes ambientes. Según Weyhrich *et al.* (1998), se pueden esperar incrementos del rendimiento de 2 a 7 % por ciclo, en función de la población base y del método de selección. Stojsin y Kannenberg (1994) mejoraron simultáneamente el rendimiento y otros caracteres en cinco poblaciones de maíz, y las respuestas más significativas fueron obtenidas con selección recurrente de líneas. Edmeades *et al.* (1999) compararon el rendimiento de grano del C8 vs. el C0 de 'Tuxpeño sequía', tanto en ambientes desfavorables como en favorables, y encontraron incrementos significativos de 0.64 y 0.30 t ha⁻¹, que equivalen a ganancias de 0.08 y 0.038 t ha⁻¹ o 3.8 y 0.5 % por ciclo de selección, respectivamente. Byrne *et al.* (1995) tuvieron ganancias en rendimiento de grano de 1.68 % y 1.06 % por ciclo, en ocho y seis ciclos de selección en dos poblaciones de maíz.

Se puede afirmar entonces que las variedades sobresalientes aquí detectadas del tercer ciclo de selección podrían reemplazar a las variedades comerciales y lograr buena aceptación entre los productores de la región, puesto que tienen mayor potencial de rendimiento y sus características fenotípicas y de madurez no cambiaron con la selección recurrente.

CONCLUSIONES

Entre las variedades tempranas sobresalió la variedad 'V-424 Coita C3' con un incremento de 0.474 t ha⁻¹ (9 %) sobre la población original y un mayor índice de cosecha (0.461) que la población original (0.411). En las variedades intermedias, la más sobresaliente fue 'V-534 Coita C3', que rindió 0.823 t ha⁻¹ (15.7 %) más que la población original. De las variedades experimentales tardías, sobresalió 'V-526 Villaflor C3', con una ganancia de

0.713 t ha⁻¹ (12.6 %) sobre la variedad original. En las tres variedades sobresalientes del tercer ciclo de selección, su floración y altura de planta se mantuvieron similares a las poblaciones originales.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a la Fundación Produce Chiapas, A. C. por el financiamiento parcial, durante los años 2001 a 2004, del proyecto de investigación 2685: "Mejoramiento poblacional de las razas de maíz Comiteco y Tuxpeño para formar variedades mejoradas".

BIBLIOGRAFÍA

- Abedon B G, W F Tracy (1998)** Direct an indirect effects of full-sib recurrent selection for resistance to common rust (*Puccinia sorghi* Schw.) in three sweet corn populations. *Crop Sci.* 38:56-61.
- Bolaños J, G O Edmeades (1993)** Eight cycles of selection for drought tolerance in lowland tropical maize. I. Responses in grain yield, biomass, and radiation utilization. *Crop Sci.* 31:233-252.
- Byrne J D, G Edmeades, D E Eaton (1995)** Gains from selection under drought versus multilocation testing in related tropical maize populations. *Crop Sci.* 35:63-69.
- Cota A O, R Valdivia, J M Valenzuela, S Peraza, P Félix, A Soqui (1983)** V-424, V-425, V-455, V-526, nuevas variedades de maíz de libre polinización para el trópico de México. Folleto Técnico No. 3. Campo Experimental Valle del Yaqui. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Cd. Obregón, Sonora. 25 p.
- Darrah L L (1986)** Evaluation of population improvement in the Kenya maize breeding methods study. *To Feed Ourselves: In: Proc. 1st Eastern, Central and Southern Africa Reg. Maize Workshop.* B Gelaw (ed). CIMMYT. Mexico City. pp:160-176.
- Dhillon B S, A S Khehra, N S Malhi (1987)** Modified full-sib selection and estimation of genetic parameters. *Theor. Appl. Genet.* 73:672-674.
- Edmeades G O, J Bolaños, S C Chapman, H R Lafitte, M Bänziger (1999)** Selection improves drought tolerance in tropical maize populations: I. Gains in biomass, grain yield, and harvest index. *Crop Sci.* 39:1306-1315.
- Khehra A S, B S Dhillon, V K Saxena, V V Malhotra, W R Kapoor, N S Malhi (1989)** Full-sib selection and simultaneous improvement of grain yield, maturity and plant height in an open-pollinated population of maize. *Sarabao J.* 20:109-117.
- Monneveux P, C Sanchez, D. Beck, G O Edmeades (2006)** Drought tolerance improvement in tropical maize source populations. Evidence of progress. *Crop Sci.* 46:180-191.
- Pandey S, A O Diallo, T M T Islam, J A Deutsch (1986)** Progress from selection in eight tropical maize populations using international testing. *Crop Sci.* 26:879-884.
- Pandey S, A O Diallo, T M T Islam, J A Deutsch (1987)** Response to full-sib selection in four medium maturity maize populations. *Crop Sci.* 27:617-622.
- Pixley K V, T Dhliwayo, P Tongona (2006)** Improvement of a maize population by full-sib selection alone versus full-sib with selection during inbreeding. *Crop Sci.* 46:1130-1136.
- Ramírez F A, B Coutiño, N Gómez, M Sierra (1990)** V-534 Nueva variedad de maíz de polinización libre para la región Central de Chiapas. Folleto Técnico No. 3. Campo Experimental

- Centro de Chiapas. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Ocozocoautla, Chiapas. 15 p.
- SIAP (2007)** Avance de siembras y cosechas en el estado de Chiapas. Primavera-Verano 2006. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. <http://www.siap.sagarpa.gob.mx>. (15 diciembre 2007).
- 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.
- Souza C L (1999)** Recurrent selection and heterosis. In: The Genetics and Exploitation of Heterosis in Crops. J G Coors, S Pandey (eds). CIMMYT. American Society of Agronomy-Crop Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA. pp:247-253.
- Stojsin D, Kannenberg LW (1994)** Genetic changes associated with different methods of recurrent selection in maize populations. I. Directly selected traits. *Crop Sci.* 34:1466-1472.
- Vasal S K, B S Dhillon, S Pandey (1997)** Recurrent selection methods based on evaluation-cum-recombination block. *Plant Breed. Rev.* 14:139-163.
- Weyhrych R A, K R Lamkey, A R Hallauer (1998)** Response to seven methods of recurrent selection in the BS11 maize population. *Crop Sci.* 38:308-321.