

ADAPTACIÓN A CLIMA TEMPLADO DE RAZAS TROPICALES Y SUBTROPICALES DE MAÍZ DE MÉXICO POR SELECCIÓN MASAL VISUAL. RENDIMIENTO, ALTURA DE PLANTA Y PRECOCIDAD

ADAPTATION OF TROPICAL AND SUBTROPICAL MEXICAN RACES OF MAIZE TO TEMPERATE CLIMATE THROUGH VISUAL MASS SELECTION. YIELD, PLANT HEIGHT AND EARLINESS

Alberto Pérez Colmenarez^{1,3*}, José D. Molina Galán¹ y Ángel Martínez Garza²

¹ Programa de Genética, Instituto de Recursos Genéticos y Productividad, Colegio de Postgraduados. Km. 36.5 Carr. México-Texcoco. C.P. 56230. Montecillo, Edo. de México. ² Programa de Estadística, Instituto de Socioeconomía, Estadística e Informática. ³ Programa de Cereales, INIA. Apartado Postal 102. Km 5 Carr. Nacional Araure-Barquisimeto. Araure, Edo. Portuguesa. Venezuela. Correo electrónico: perezcol@cantv.net; jmolina@colpos.mx

* Autor responsable

RESUMEN

En los Valles Altos de México, la obtención de variedades mejoradas e híbridos de maíz (*Zea mays* L.) se ha restringido al uso de variedades de las razas locales Cónico y Chalqueño. La introducción y posterior adaptación de germoplasma exótico es una opción valiosa para ampliar la variabilidad genética en los programas de mejoramiento de maíz. La selección masal es un método que ha mostrado ser eficiente para mejorar caracteres agronómicos de alta heredabilidad y aun el rendimiento de grano. Diez razas tropicales y subtropicales de maíz fueron sometidas a selección masal visual para adaptación en Montecillo, Estado de México, donde prevalecen condiciones de clima templado. El criterio de selección utilizado fue el aspecto visual de planta y mazorca. La variedad original, tres compuestos de selección masal visual (C3, C6, C8 ó C9) de cada raza y cinco variedades locales fueron evaluadas en dos localidades del Estado de México, durante dos años. Los análisis de regresión combinando los cuatro ambientes mostraron cambios significativos en los tres caracteres evaluados. El rendimiento de mazorca por planta se incrementó significativamente de 2.6 a 24.7 %. Los días a floración masculina disminuyeron significativamente de 0.5 a 1.2 % en ocho de las diez razas. La altura de planta mostró cambios significativos en dos direcciones: un incremento de 0.9 a 2.1 % en tres de las razas una disminución de 0.6 a 0.9 % en otras tres y no hubo cambios en las razas restantes. La selección masal visual resultó efectiva para adaptar las diez razas introducidas a condiciones de clima templado. Los cambios en el número de días a floración masculina y en la altura de planta del material exótico, ocurrieron hasta el grado de igualar a las variedades locales. El compuesto del último ciclo de selección en la mayoría de las razas, superó significativamente en rendimiento de mazorca a algunas de las variedades locales.

Palabras claves: *Zea mays* L., germoplasma exótico, selección masal, adaptación.

SUMMARY

Maize breeding in the high valleys of Mexico destined to obtain improved open-pollinated varieties and hybrids has been limited to the use of the Conico and Chalqueño races. Introduction and a

posterior adaptation of exotic germplasm is a valuable alternative to increase the genetic variability in a maize breeding program. Mass selection is an efficient method to improve high heritability characters, as well as grain yield. Ten tropical and subtropical maize races were visually mass selected for adaptation at Montecillo, State of México where temperate climate conditions prevail. The visual aspect of the plant and the ear were used as criteria for mass selection. The original variety, three visually mass selection composites (Cycle 3, Cycle 6 and Cycle 8 or 9) of each race, and five local varieties were evaluated at two locations during two years. The regression analysis applied to the four environments showed significant changes in the three characters evaluated. Significant increases ranged from 2.6 to 24.7 % for ear yield per plant, while the number of days to tasseling decreased from 0.5 to 1.2 % in eight of ten races. Plant height changed in two directions: an increase in the range of 0.9 to 2.01 % in three races and a decrease in the range of 0.6 to 0.9 % in other three races, and there was no change in the remaining races. Visual mass selection was effective to adapt the ten exotic races to temperate climate conditions. The change in number of days to tasseling and plant height due to selection occurred progressively so that magnitude of these traits equalled those of the local varieties. The most advanced cycle of selection in the majority of the races surpassed significantly the ear yield of some local varieties.

Index words: *Zea mays* L., exotic germplasm, mass selection, adaptation.

INTRODUCCIÓN

La abundante variabilidad genética del maíz (*Zea mays* L.) en México, descrita en 30 razas (Wellhausen *et al.*, 1951; Hernández y Alanís 1970), ha sido poco utilizada en los programas de mejoramiento genético; su aprovechamiento se ha limitado principalmente al uso de germoplasma localmente adaptado, del que se han obtenido variedades mejoradas e híbridos de las razas Tuxpeño en el trópico húmedo, Celaya y Cónico Norteño en el Bajío, y de Cónico y Chalqueño en los Valles Altos (Castillo, 1994). La introducción y posterior adaptación

de germoplasma exótico, representan una opción muy valiosa para ampliar la variabilidad genética del maíz en los programas de mejoramiento genético (Goodman, 1985) y con ello disponer de una fuente de genes de resistencia a enfermedades y plagas (Russell y Guthrie, 1961), y de alelos favorables para rendimiento e incremento de la heterosis (Goodman, 1992). La dificultad en la utilización del germoplasma exótico es su pobre adaptación a áreas ecológicas diferente a las de su origen.

Los métodos de selección recurrente fueron desarrollados para mejorar en forma sistemática las características heredables de una población (Hallauer, 1994). La selección masal, el método más antiguo y simple utilizado en maíz (Pandey y Gardner, 1992), tomó gran interés después que Gardner (1961) sugirió y desarrolló la metodología de selección masal estratificada para controlar el efecto ambiental en el rendimiento individual de las plantas. Debido a las limitaciones de tipo práctico de la metodología de Gardner (1961), Molina (1983) propuso y desarrolló la selección masal estratificada en forma visual.

Numerosos trabajos han sido realizados utilizando la selección masal como método para mejorar el rendimiento y sus componentes (Pandey y Gardner, 1992), para modificar caracteres agronómicos de importancia económica (Hallauer, 1985; Pandey y Gardner, 1992), y para adaptar poblaciones exóticas a áreas específicas (San Vicente y Hallauer, 1993; Pérez *et al.*, 2000).

Los objetivos del presente trabajo fueron: 1) Determinar si por selección masal visual, tomando como criterio de selección el aspecto de planta y mazorca, es posible adaptar a las condiciones de clima templado, variedades de maíz del trópico y subtropical de México; 2) Determinar los cambios ocurridos en el número de días a floración masculina y altura de planta, asociados con cambios en el rendimiento de mazorca, por efecto de la selección masal visual. Se partió de la hipótesis de que los factores de clima templado, aunados al efecto de la selección natural y artificial, producen cambios significativos en los caracteres evaluados.

MATERIALES Y MÉTODOS

El germoplasma utilizado en el presente estudio estuvo constituido por nueve colecciones del banco de germoplasma de maíz del CIMMYT y una variedad de maíz de polinización libre, representativas de 10 de las 25 razas descritas por Wellhausen *et al.*, (1951), adaptadas al trópico y subtropical de México (Cuadro 1).

La selección para adaptación se inició en el ciclo de primavera-verano de 1989 en el Campo Agrícola Experimental del Colegio de Postgraduados en Montecillo, Estado de México, donde prevalecen condiciones de clima templado (García, 1981). Las diez razas, representadas cada una por una colección típica, fueron sometidas a selección masal visual utilizando como criterio de selección, el aspecto de la planta y la mazorca.

La selección en cada variedad se realizó en una parcela de 15 surcos de 10 m de longitud y separación de 80 cm entre surcos y 30 cm entre plantas, con un total de 510 plantas por parcela. En cada parcela se hicieron cruzamientos fraternales entre las plantas que por apreciación visual eran las más sanas y vigorosas. Durante la cosecha fueron seleccionadas las mazorcas más grandes y sanas, desechando las podridas y malformadas. Con las mazorcas seleccionadas se formó un compuesto balanceado con igual número de semillas de cada mazorca. Con este procedimiento se logró obtener ocho ciclos de selección en Zapalote Chico y Tuxpeño, y nueve en las ocho razas restantes.

En el ciclo de primavera-verano de 1998 y 1999, la variedad original y tres compuestos de selección de cada raza, más cinco variedades locales usadas como testigos, fueron evaluadas en los campos experimentales del Colegio de Postgraduados, en Montecillo y Tecámac, Estado de México. Las cinco variedades locales fueron cinco compuestos, uno formado con variedades de la raza Cónico y los otros con variedades de la raza Chalqueño, de ciclo precoz e intermedio, respectivamente.

En la evaluación de los 45 materiales se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Cada repetición se subdividió en tres sub-bloques de 15 parcelas cada uno, con el fin de tener la repetición en un bloque compacto. El tamaño de la parcela experimental fue de dos surcos de 4.5 m de longitud con 10 matas de dos plantas cada uno y una separación de 80 cm entre surcos y 50 cm entre matas, con lo cual se obtuvo una densidad de 50 000 plantas por hectárea.

Los caracteres medidos fueron: números de días a floración masculina (FM), altura de planta (AP) en centímetros, y rendimiento de mazorca por planta (RMP) en gramos. El rendimiento de mazorca por planta se obtuvo al dividir el peso de mazorca a humedad constante de cada parcela entre el número de plantas cosechadas.

Los datos fueron sometidos a análisis de varianza de bloques completos al azar combinando los cuatro ambientes. El análisis para cada carácter se hizo considerando ambientes y materiales genéticos como factores de efectos fijos, de modo que el cuadrado medio del error general pudo ser usado para las pruebas de significancia de cada factor de variación (McIntosh, 1983).

Las sumas de cuadrados de materiales genéticos y de la interacción ambientes por materiales genéticos fueron divididas en fuentes de variación debidas a razas, ciclos dentro de razas, testigos y el contraste razas contra testigos. Igualmente, la suma de cuadrados de ciclos de selección dentro de razas fue dividida en sus componentes lineal y cuadrática y desviaciones de regresión, mediante el ajuste de un modelo de regresión cuadrática.

La respuesta a la selección de cada raza se estimó mediante el coeficiente de regresión lineal simple (b_1) de los caracteres evaluados sobre el número de ciclos de selección, y el avance genético promedio por ciclo de selección se expresó en porcentaje de b_1 en relación con el valor de la variedad original (C_0).

La comparación de medias entre compuestos de selección de cada raza, y entre compuestos de selección y testigos, se efectuó mediante la prueba de Tukey a 5 % de probabilidad. La diferencia mínima significativa de Tukey (DSH) se calculó con los grados de libertad y el cuadrado medio del error general.

RESULTADOS

El análisis de varianza combinado de los cuatro ambientes (dos años y dos localidades) indicaron efectos significativos de ambientes en los caracteres días a floración masculina (FM), altura de planta (AP) y rendimiento de mazorca por planta (RMP) en las razas estudiadas, excepto en Zapalote Chico, en la cual ninguno de los caracteres evaluados resultó afectado por los ambientes (datos no presentados). Los ciclos de selección dentro de razas (Cuadro 2) también produjeron efectos significativos en los caracteres rendimiento de mazorca por planta y días a floración masculina excepto, en la raza Zapalote Chico, la cual no varió significativamente en estos caracteres. La altura de planta sólo mostró diferencias estadísticas entre ciclos de selección en las razas Tepecintle, Nal-Tel y Tuxpeño.

La interacción de los ciclos de selección con los ambientes fue significativa para rendimiento de mazorca por planta en la raza Olotillo, para la altura de planta en

la raza Nal-Tel, y para días a floración masculina en Pepitilla, Vandeño, Olotillo y Tuxpeño (Cuadro 2).

Cuadro 1. Razas de maíz utilizadas, colección representativa de cada raza, altitud de distribución y región de origen.

Raza	Colección	Altitud (msnm)	Región de Origen
Pepitilla	Morelos-17	1000-1500	Trópico seco
Tabloncillo	Jalisco-63	0-1500	Subtrópico
Comiteco	Chiapas-39	1100-1500	Subtrópico
Celaya	Guanajuato-20	1200-1800	Subtrópico
Vandeño	Chiapas-30	0-500	Trópico seco
Tepecintle	Chiapas-76	100-600	Trópico húmedo
Olotillo	Chiapas-56	300-700	Trópico húmedo
Nal-Tel	Yucatán-7	100	Trópico húmedo
Zapalote	Oaxaca-48	100	Trópico húmedo
Chico			
Tuxpeño	V-520 C	0-500	Trópico húmedo

Cuadro 2. Cuadrados medios del análisis de varianza de tres caracteres en compuestos de selección masal visual de razas tropicales y subtropicales de maíz. Análisis de cuatro ambientes.

Fuente de variación	gl	RMP (g)	FM (días)	AP (cm)
Ambientes Amb	3	105149.8*	1873.8*	1862.0*
Repeticiones Amb	12	1227.7*	40.0*	1632.1*
Materiales genéticos	44	20086.9**	2817.6**	25998.4**
Pepitilla	3	28655.5**	432.6**	128.5*
Tabloncillo	3	15368.0**	373.7**	199.0
Comiteco	3	7773.0**	357.1**	572.4
Celaya	3	2814.1**	81.6**	1115.4
Vandeño	3	2720.1**	131.9**	1232.2
Tepecintle	3	10292.5**	50.5**	3892.2*
Olotillo	3	11505.5**	257.5**	1053.5*
Nal-tel	3	6294.7**	106.2**	2317.4*
Zapalote chico	3	690.8*	4.2*	1384.4*
Tuxpeño	3	7354.6*	35.9*	1634.9*
Entre razas	9	51749.2**	11270.3*	108343.0*
Variedades testigos	4	24168.5**	2564.8**	26910.3**
Razas vs Var. Testigos	1	40997.9**	6290.4**	17125.8**
Mat. Genéticos x Amb.	132	1921.3**	37.0**	833.7**
Razas x Amb	117	1406.9**	38.2**	744.1**
Pepitilla por Amb	9	375.9	33.0**	557.2
Tabloncillo x Amb	9	528.7	20.3	999.7
Comiteco x Amb	9	166.8	19.8	299.1
Celaya x Amb	9	116.2	20.0	171.5
Vandeño x Amb.	9	152.4	25.0*	893.4
Tepecintle x Amb	9	164.0	18.3	865.8
Olotillo x Amb	9	834.2*	49.1*	565.3
Nal-tel x Amb	9	153.9	15.4*	1314.9*
Zap. Chico x Amb.	9	60.0	1.0	446.4
Tuxpeño x Amb.	9	415.7	29.8*	852.9
Entre razas por Amb	27	5107.5*	88.4*	902.4
Var. Testigos por Amb	12	3425.0**	33.9**	541.4
(Razas vs Var. Testigos) x Amb	3	23700.5**	3.2**	16484.4*
Error	528	3148.6*	11.9*	565.7*

*, **: Significativo a 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente; gl = Grados de libertad; RMP = Rendimiento de mazorca por planta (g); FM = Días a floración masculina; AP = Altura de planta.

En los análisis de regresión del rendimiento de mazorca por planta sobre ciclos de selección de cada raza, la respuesta lineal fue altamente significativa (Cuadro 3), y explica entre 81 y 98 % de la variación ocurrida entre ciclos de selección (Cuadro 4).

Cuadro 3. Coeficientes de regresión lineal (L) y cuadrática (C) de tres caracteres evaluados en compuestos de selección masal visual en razas tropicales y subtropicales de maíz.

Raza	RMP+ (g pta ⁻¹)		FM (días)		AP (cm)	
	L	C	L	C	L	C
Pepitilla	20.3**	-1.1**	-2.95**	0.19**	3.99*	-0.20
Pablancillo	6.5**	0.3	-2.37**	0.13**	3.00	-0.31
Comiteco	0.8**	0.5	-2.48**	0.15**	-3.65	0.25
Celaya	2.7**	0.1	-1.54**	0.12*	0.81*	-0.31
Vandño	-1.4**	0.5	-1.09**	0.04	-7.46	8.84
Tepecintle	1.4**	0.6	0.05	0.00	3.43**	0.06
Olotillo	10.3**	-0.4	-1.67**	0.07	-2.88*	0.11
Nal-tel	6.3**	-0.1	0.07**	-0.08	2.84**	0.02
Zap. Chico	1.3**	0.1	-0.38	0.04	-2.87	0.50
Tuxpeño	13.7**	-1.0*	0.65**	0.03	-6.25**	0.46

*, **: Significativo a 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente. RMP = Rendimiento de mazorca por planta (g); FM = Número de días a floración masculina; AP = altura de planta

En el rendimiento de mazorca por planta se observó respuesta cuadrática negativa y significativa en las razas Pepitilla y Tuxpeño (Cuadro 3); sin embargo, el término cuadrático de la regresión sólo fue responsable de 7 y 14 % de la variación entre ciclos de selección, respectivamente (Cuadro 4).

Cuadro 4. Porcentaje de variación genética explicada por la regresión lineal (L) y cuadrática (C) en tres características de compuestos obtenidos por selección masal visual en razas tropicales y subtropicales de maíz.

Raza	RMP+ (g pta ⁻¹)		FM (días)		AP (cm)	
	L	C	L	C	L	C
Pepinilla	92.6	7.1	80.4	15.1	85.4	5.6
Pablancillo	96.8	0.3	92.2	7.8	4.1	84.8
Comiteco	93.4	6.1	94.1	11.0	80.0	19.1
Celaya	97.89	0.4	63.5	30.4	83.6	14.8
Vandño	81.0	15.1	97.3	2.1	0.2	98.6
Tepecintle	94.8	5.2	0.2	0.0	99.2	0.2
Olotillo	95.6	2.3	96.3	3.6	79.2	2.1
Nal-tel	98.3	0.5	86.0	9.5	96.2	0.0
Zap. Chico	98.8	0.7	36.3	32.4	16.1	17.7
Tuxpeño	94.6	14.0	83.4	3.1	79.5	13.1

+ RMP = Rendimiento de mazorca por planta; FM = Número de días a floración masculina; AP = Altura de planta.

Los análisis de regresión del carácter días a floración masculina sobre ciclos de selección, mostraron una respuesta lineal negativa y significativa en todas las razas, excepto en Tepecintle y Zapalote Chico en las que la respuesta lineal no fue significativa estadísticamente (Cuadro 3). La respuesta lineal para días a floración masculina fue responsable de 63 a 97 % de la variación total entre ciclos de selección (Cuadro 4). La respuesta

cuadrática fue significativa sólo en las razas Tabloncillo, Comiteco, Pepitilla y Celaya, y explicó 7, 11, 15 y 30 % de la variación total entre ciclos de selección, respectivamente (Cuadros 3 y 4).

En el carácter altura de planta, en las razas Pepitilla, Nal-Tel y Tepecintle, la mayor variación entre ciclos de selección fue explicada por una respuesta lineal positiva y significativa, que equivale a 85, 96 y 99 % de la variación entre ciclos de selección, respectivamente (Cuadros 3 y 4); mientras que en las razas Olotillo, Tuxpeño y Celaya se observó una respuesta lineal significativa pero negativa que explicó 79, 79 y 83 % de la variación total entre ciclos de selección, respectivamente. La respuesta cuadrática no fue significativa para altura de planta en ninguna de las razas.

La comparación de medias entre compuestos de selección de cada raza indica que la selección masal visual produjo incrementos significativos en el rendimiento de mazorca por planta, excepto en Zapalote Chico (Cuadro 5). Tales incrementos en el rendimiento de mazorca se produjeron a partir del tercer ciclo de selección en las razas Pepitilla, Tabloncillo, Olotillo, Nal-Tel y Tuxpeño, y a partir del sexto ciclo de selección en las razas Comiteco, Celaya y Tepecintle; mientras que en la raza Vandño el incremento fue significativo hasta el último ciclo de selección.

Tomando en cuenta que la mayoría de las razas consideradas en el presente estudio son de ciclo intermedio, excepto Olotillo y Tuxpeño que son de ciclo tardío y Zapalote Chico de ciclo precoz (Wellhausen *et al.*, 1951), al comparar el comportamiento de las variedades locales con los compuestos de selección (Cuadro 5), se observa que el compuesto del último ciclo de selección (C₉) de la raza Celaya superó en rendimiento de mazorca a las cuatro variedades locales Compuesto Universal y México Grupo 10 (original y ciclo avanzado), ambas de la raza Chalqueño de ciclo intermedio. Igualmente, el compuesto del último ciclo de selección de las razas Pepitilla, Tabloncillo, Comiteco, Tepecintle y Tuxpeño superaron a las variedades originales del Compuesto Universal y México Grupo 10, de la raza Chalqueño, aunque sólo en algunos casos esta superioridad resultó estadísticamente significativa. Las variedades locales resultaron superiores a los compuestos de selección de las razas Vandño, Olotillo y Nal-Tel. Finalmente, el compuesto del último ciclo de selección de la raza Zapalote Chico superó a la variedad Cónico Compuesto de ciclo precoz.

Cuadro 5. Medias de tres caracteres de compuestos obtenidos por selección masal visual y variedades testigos, y respuesta promedio por ciclo de selección (b_1 %) en razas tropicales y subtropicales de maíz.

Raza	Ciclo	RMP (g/planta)	FM (días)	AP (cm)
Pepitilla	C0	42.6	111.5	241.9
	C3	97.2	102.7	247.8
	C6	123.3	101.6	260.5
	C9	139.0	99.8	259.1
b_1 (%) ⁺		24.7**	-1.1	0.9*
Tabloncillo	C0	67.0	100.1	223.3
	C3	96.1	94.1	231.3
	C6	107.4	90.6	229.1
	C9	142.0	89.3	225.8
b_1 (%)		11.7**	-1.2**	0.1
Comiteco	C0	83.4	118.6	271.4
	C3	92.8	110.9	263.6
	C6	105.7	110.0	258.1
	C9	134.1	107.8	259.4
b_1 (%)		6.6**	-0.9	-0.5
Celaya	C0	128.9	95.7	252.3
	C3	140.2	93.0	250.3
	C6	146.4	90.3	246.9
	C9	160.7	91.9	233.8
b_1 (%)		2.6**	-0.5**	-0.8*
Vandeño	C0	53.7	112.4	219.2
	C3	58.0	109.1	225.9
	C6	61.1	107.4	212.6
	C9	83.0	105.6	210.6
b_1 (%)		5.6**	-0.6**	0.0
Tepecintle	C0	56.4	99.3	194.1
	C3	66.3	102.1	206.0
	C6	84.4	98.1	216.0
	C9	114.2	100.8	231.1
b_1 (%)		11.3*	0.0	2.1**
Olotillo	C0	29.9	125.3	296.6
	C3	63.3	120.8	294.4
	C6	74.5	118.6	280.6
	C9	93.9	116.1	282.5
b_1 (%)		22.6**	-0.8**	-0.6*
Nal-Tel	C0	34.8	95.5	169.4
	C3	55.8	95.9	174.5
	C6	65.9	92.8	189.1
	C9	82.2	90.4	195.5
b_1 (%)		14.6**	-0.6	1.8**
Zap.Chico	C0	41.2	78.3	161.5
	C3	46.5	77.1	162.6
	C6	51.2	77.6	148.4
	C9	56.6	77.3	170.3
b_1 (%)		4.5	-0.1	0.7
Tuxpeño	C0	62.9	120.6	294.4
	C3	98.2	119.7	283.4
	C6	106.2	117.4	270.9
	C9	109.7	118.0	276.4
b_1 (%)		9.0**	-0.3*	-0.9**
Var. testigo				
C.Comp.(C ₁₀)		52.1	70.9	181.4
Comp.U.(C ₀)		109.2	91.4	238.3
Comp.U.(C ₁₂)		159.9	99.1	279.1
Méx.Grupo 10 (C ₀)		107.2	102.7	276.3
Méx. Grupo 10 (C ₀)		123.7	97.6	269.1
DSH ciclos		16.2	3.1	21.6
DSH ciclos y testigos		19.6	3.8	26.1

⁺ b_1 (%): Avance genético por ciclo de selección en % de C₀.

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

El número de días a floración masculina, disminuyó significativamente en la mayoría de las razas, excepto en Tepecintle y Zapalote Chico. La mayor ganancia en precocidad se produjo en las razas Pepitilla, Tabloncillo, Comiteco y Olotillo, con una reducción entre la variedad original y el compuesto del último ciclo de selección de 11, 10 y 9 días a la floración masculina, respectivamente. El compuesto del último ciclo de selección de las razas Pepitilla, Comiteco, Vandeño, Olotillo y Tuxpeño, cuyas variedades originales fueron significativamente más tardías que las variedades localmente adaptadas, a través del proceso de selección igualaron estadísticamente en días a floración a algunas de las variedades locales (Cuadro 5).

Los análisis de regresión lineal simple del rendimiento de mazorca por planta sobre ciclos de selección (Cuadro 5), indican que la selección masal visual produjo incrementos significativos en todas las razas; sin embargo, estos incrementos variaron considerablemente entre razas, ya que las ganancias por ciclo de selección, con respecto a la variedad original, fueron relativamente altas en Pepitilla (24.7 %), Olotillo (22.6 %), Nal-Tel (14.6 %), Tabloncillo (11.7 %) y Tepecintle (11.4 %); moderadas en Tuxpeño (9.0 %), Comiteco (6.6 %) y Vandeño (5.6 %), y bajas en Zapalote Chico (4.5 %) y Celaya (2.6 %). En relación con el número de días a floración masculina, las razas mostraron una disminución significativa en el mencionado carácter; la excepción fue observada en las razas Tepecintle y Zapalote Chico, las cuales no sufrieron cambio alguno en la duración del ciclo por efecto de la selección visual (Cuadro 5). La mayor precocidad se produjo en las razas Tabloncillo, Pepitilla, Comiteco y Olotillo, con reducciones que variaron entre 0.8 y 1.2 %, con respecto a la variedad original. Finalmente, en el carácter altura de planta se observaron cambios en dos direcciones: las razas Tepecintle, Nal-Tel y Pepitilla incrementaron su altura significativamente en 4.0, 3.1 y 2.1 cm por ciclo (2.1, 1.8 y 0.9 %), respectivamente (Cuadro 5), mientras que las razas Tuxpeño, Celaya y Olotillo la disminuyeron significativamente en 2.6, 2.0 y 1.9 cm por ciclo de selección, equivalentes a 0.9, 0.8 y 0.6 %, respectivamente.

DISCUSIÓN

Las diferencias altamente significativas observadas entre los ambientes de prueba se debieron principalmente a marcadas diferencias climáticas entre los años 1998 y 1999; las elevadas temperaturas ocurridas durante el primer año de evaluación, provocaron que en todas las razas, los caracteres rendimiento de mazorca y altura de planta tuvieran mayor expresión que en el segundo año,

mientras que el número de días a floración masculina disminuyó en el primer año (datos no presentados). Un comportamiento similar fue obtenido por Pandey *et al.* (1987) y por De León y Pandey (1989) en compuestos de ciclos de selección de familias de hermanos completos y de medios hermanos, respectivamente, de diferentes poblaciones de maíz. Estos autores atribuyeron a la temperatura las diferencias observadas entre ambientes de evaluación.

Por otra parte, la falta de significancia estadística de la interacción de los compuestos de selección de cada raza con los ambientes, para la variable rendimiento de mazorca por planta, indica que los compuestos tuvieron un comportamiento estable para este carácter. La excepción fue la raza Olotillo, la cual sí interaccionó significativamente. La distribución geográfica de esta raza, restringida a las tierras bajas cálidas húmedas del estado de Chiapas, pudo haber sido la causa de tal interacción.

Las diferencias estadísticas entre compuestos de selección dentro de razas, en los caracteres rendimiento de mazorca por planta, número de días a floración masculina y altura de planta, reflejan la amplia variabilidad genética en el germoplasma introducido, y la efectividad de la selección masal visual para modificar dichos caracteres (Cuadro 2). En estudios previos se ha determinado que en la selección para adaptación, el incremento en el rendimiento está fuertemente asociado con cambios en el número de días a floración masculina y altura de planta (Genter, 1976; San Vicente y Hallauer, 1993).

La respuesta lineal significativa observada en el rendimiento de mazorca por planta en todas las razas (Cuadros 3 y 4), muestra que la selección masal visual, utilizada es altamente efectiva para incrementar la frecuencia de alelos favorables en loci que afectan el rendimiento, lo que favorece la adaptación de germoplasma exótico en áreas predominantemente con clima templado. Estos y otros resultados similares (Genter, 1976; San Vicente y Hallauer, 1993; Pérez *et al.*, 2000), corroboran la efectividad de la selección masal para adaptar germoplasma exótico en áreas diferentes a las de su origen.

El incremento en el rendimiento de mazorca por planta como resultado de la selección masal para adaptación, estuvo asociado con una respuesta lineal negativa en el número de días a floración masculina en la mayoría de las razas (Cuadros 3 y 4). El número de días se redujo por un efecto combinado de la selección natural en contra de las plantas más tardías y de la selección artificial de

las mazorcas con mejor aspecto, supuestamente provenientes de las plantas más precoces. Estos resultados son similares a los obtenidos por San Vicente y Hallauer (1993) y Pérez *et al.* (2000), quienes observaron una disminución significativa en los días a floración masculina, asociados con el incremento en el rendimiento, en programas de adaptación de variedades tropicales a regiones de clima templado.

La selección masal visual provocó de manera indirecta una respuesta positiva en la altura de la planta de las razas Tepecintle, Nal-Tel y Pepitilla, mientras que en las razas Tuxpeño, Celaya y Olotillo, la respuesta fue significativamente negativa. En términos generales, se observa una asociación positiva entre rendimiento de mazorca y altura de planta en las razas de planta baja y negativa en las razas de planta alta, de tal manera que la altura de planta está fuertemente relacionada con diferencias morfológicas entre grupos de germoplasma, las cuales son influenciadas por el ambiente y modificadas favorablemente por efecto de la selección natural. Por su parte, Genter (1976), San Vicente y Hallauer (1993) observaron una disminución significativa en la altura de planta al practicar el método de selección masal en áreas de clima templado en variedades de maíz de origen tropical, mientras que Pérez *et al.* (2000) registraron un aumento en altura de planta al evaluar 12 ciclos de selección masal visual estratificada para adaptación en el compuesto tropical Tuxpeño Crema 1.

Aun cuando podría suponerse que la selección masal visual modificó favorablemente las frecuencias génicas de las razas introducidas hasta lograr en buen grado su adaptación, se observaron diferencias en las respuestas obtenidas en éstas, que dependen de la adaptabilidad del material genético introducido (Cuadro 5), razón por la cual la mayor respuesta a la selección se observó en las razas más desadaptadas. Estos resultados concuerdan con los de Genter (1976), quien señala que entre más desadaptada se encuentre una población, mayor será la respuesta a la selección, ya que ésta reducirá la frecuencia de individuos menos productivos e incrementará el rendimiento de la población.

En las razas más desadaptadas, Pepitilla, Tabloncillo, Olotillo, Nal-Tel y Tuxpeño, los más altos incrementos en rendimiento ocurrieron entre la variedad original y el compuesto del tercer ciclo de selección; mientras que en las razas Comiteco, Vandeño y Tepecintle, de adaptación moderada el mayor incremento en el rendimiento se produjo entre el sexto y el noveno ciclo de selección. Las ganancias obtenidas en estas razas fueron relativamente altas. A diferencia de las anteriores, las razas Celaya y Zapalote Chico presentaron un

incremento gradual a través del proceso de selección, con ganancias relativamente bajas, las cuales son típicas de los programas de selección masal practicada en poblaciones adaptadas (Pandey y Gardner, 1992). De lo anterior se infiere que el incremento observado en Celaya y Zapalote Chico podría atribuirse a que presentan un proceso rápido de adaptación por provenir la primera, de condiciones subtropicales, mientras que la segunda ha evolucionado en las condiciones tropicales críticas que ocurren en la región de La Ventosa del Istmo de Tehuantepec, Oaxaca. Asociados al incremento en el rendimiento por efecto de la selección masal durante el proceso de adaptación, ocurrieron cambios significativos en los días a floración masculina y en altura de planta en las razas Pepitilla, Comiteco, Celaya, Olotillo, Nal-Tel y Tuxpeño, hasta igualar a las variedades locales en los caracteres antes mencionados. Esto indica que en estas razas ocurrieron modificaciones morfológicas por efecto de la selección natural.

CONCLUSIONES

La selección masal visual, tomando como criterio de selección el aspecto visual de la planta y la mazorca, fue efectiva para adaptar a condiciones de clima templado a las razas tropicales y subtropicales consideradas en el presente estudio.

La selección natural produjo importantes cambios en los caracteres días a floración masculina y altura de planta en las razas Pepitilla, Comiteco, Celaya, Olotillo, Nal-Tel y Tuxpeño hasta igualar en estos caracteres a las variedades localmente adaptadas.

De acuerdo con el comportamiento observado por las razas a través del proceso de selección y la magnitud del avance genético obtenido, en el presente trabajo se considera a las razas Pepitilla, Tabloncillo, Olotillo, Nal-Tel y Tuxpeño como las de menor adaptabilidad; a Comiteco, Vandeño y Tepecintle de adaptabilidad moderada; y a Celaya y Zapalote Chico como de alta adaptabilidad.

BIBLIOGRAFÍA

- Castillo G F (1994)** Aprovechamiento de la diversidad genética del maíz en México. *In: Memorias del II Congreso Latinoamericano de Genética. XV Congreso de Fitogenética. Sociedad Mexicana de Fitogenética. Monterrey. N.L., México. pp:78-98.*
- De León C, S Pandey (1989)** Improvement of resistance to ear and stalk rots and agronomy traits in tropical maize gene pools. *Crop Sci. 29: 12-17.*
- García E (1981)** Modificaciones al Sistema de Köppen para Adaptarlo a las Condiciones de la República Mexicana. 4a ed. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 217 p.
- Gardner C O (1961)** An evaluation of effects of mass selection and seed irradiation with thermal neutrons on yield of corn. *Crop Sci. 1:241-245.*
- Genter C F (1976)** Mass selection in a composite of Mexican Races of maize. *Crop Sci.16:556-558.*
- Goodman M M (1985)** Exotic maize germplasm: Status prospects and remedies. *Iowa State J. Res. 59(4): 497-527.*
- Goodman M M (1992)** Choosing and using tropical corn germplasm. *Annu. Corn Sorghum Res. Conf. Proc. 47:47-64. In:*
- Hallauer A R (1985)** Compendium of recurrent selection methods and their application. *Crit. Rev. Plant Sci. 3:1-33.*
- Hallauer A R (1994)** Recurrent selection in maize. *Plant Breed. Rev. 9:115-179.*
- Hernández X E, G Alanís F (1970)** Estudio morfológico de cinco nuevas razas de maíz de la Sierra Madre Occidental de México. Implicaciones filogenéticas y fisiogeográficas. *Agrociencia 5 (1) 3-30.*
- McIntosh M S (1983)** Analysis of combined experiments. *Agron. J. 75:153-155.*
- Molina G J D (1983)** Selección Masal Visual Estratificada en Maíz. Publicación Especial. Centro de Genética, Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 36 p.
- Pandey S, C O Gardner (1992)** Recurrent selection for population, variety and hybrid improvement in tropical maize. *Adv. Agron. 48:1-87.*
- Pandey S, A O Diallo, T M T Islam, J Deutsch. (1987)** Response to full-sib selection in four medium maturity maize populations. *Crop Sci. 27: 617-622.*
- Pérez C A A, J D G Molina, A G Martínez (2000)** Adaptación a clima templado de una variedad de maíz tropical mediante selección masal visual estratificada. *Agrociencia 34: 533-542.*
- Russel W A, W D Guthrie (1991)** Registration of BS17(CB)C4 and BS16(CB)C4 maize germplasm. *Crop Sci. 31:238-239.*
- San Vicente F M, A R Hallauer (1993)** Mass selection for adaptation in Antigua maize (*Zea mays* L.) Composite. *J. Iowa Acad. Sci. 100:9-12.*
- Wellhausen E J, L M Roberts, E X Hernández, en colaboración con P C Mangelsdorf (1951)** Razas de Maíz en México. Su Origen, Características y Distribución. Folleto Técnico No 5. Oficina de Estudios Especiales. Secretaría de Agricultura y Ganadería. México. 37. p.