



Interciencia

ISSN: 0378-1844

interciencia@ivic.ve

Asociación Interciencia

Venezuela

López-Romero, Gustavo; Santacruz-Varela, Amilio; Muñoz-Orozco, Abel; Castillo-González, Fernando; Córdova-Téllez, Leobigildo; Vaquera-Huerta, Humberto
Caracterización morfológica de poblaciones nativas de maíz del Istmo de Tehuantepec, México
Interciencia, vol. 30, núm. 5, mayo, 2005, pp. 284-290

Asociación Interciencia
Caracas, Venezuela

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33910407>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

COMUNICACIONES REPORTS COMUNICAÇÕES

CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE POBLACIONES NATIVAS DE MAÍZ DEL ISTMO DE TEHUANTEPEC, MÉXICO

Gustavo López-Romero, Amilio Santacruz-Varela, Abel Muñoz-Orozco,
Fernando Castillo-González, Leobigildo Córdova-Téllez y Humberto Vaquera-Huerta

RESUMEN

Con la finalidad de conocer la variación del maíz (*Zea mays L.*) de la región del Istmo de Tehuantepec, considerada el área de distribución de la raza Zapalote Chico, se colectaron 120 poblaciones nativas, más 12 poblaciones típicas de otras razas descritas. Las 132 poblaciones se evaluaron en tres localidades, caracterizándolas con 18 variables cuantitativas, principalmente sobre estructuras reproductivas. Con el auxilio de un análisis de componentes principales se observaron seis grupos, tres de ellos integraron poblaciones conocidas regionalmente como Maíz Chico, correspondientes a la raza Zapalote Chico con valores menores en variables de naturaleza reproductiva, vegetativa y fenológica; los otros tres grupos agregaron poblaciones denominadas regionalmente como Maíz Grande, con valores altos de

las mismas variables, y corresponden a una amplia base de la raza Zapalote Chico, con introgresión de las razas Vandéneo, Tepecintle y Tuxpeño. La variación genética del maíz se relaciona con la variación ambiental determinada por la altitud, humedad relativa y con la disponibilidad de humedad en el suelo, señalando a la planicie costera del Istmo Oaxaqueño como el área de distribución natural de la raza Zapalote Chico. Se obtuvo un dendrograma usando distancias euclidianas con el método de agrupamiento de vecinos, que revela que los grupos de Maíz Grande evolucionaron hacia poblaciones tardías, y los de Maíz Chico hacia poblaciones precoces y tardías. Se concluye que en la región existe variación genética a nivel de raza y entre poblaciones de la raza Zapalote Chico.

Introducción

La diversidad del maíz (*Zea mays L.*) ha sido objeto de estudio con diversos propósitos, siendo uno de éstos conocer la

variabilidad y plantear su clasificación en razas. Una raza puede definirse como un conjunto de poblaciones con cierto grado de semejanza, adaptadas a una región ecológica (Muñoz,

2003). La clasificación racial de maíz fue planteada por Anderson y Cutler (1942), quienes señalaron que la clasificación del maíz debe realizarse integrando múltiples caracte-

rísticas, principalmente de tipo reproductivo. Bajo este enfoque la diversidad del maíz en México fue clasificada por Wellhausen *et al.* (1951), en lo que ha sido considerada una

PALABRAS CLAVE / *Zea mays* / Diversidad / Zapalote Chico / Istmo de Tehuantepec / Variación Genética

Recibido: 27/08/2004. Aceptado: 30/03/2005.

Gustavo López-Romero. Ingeniero Agrónomo, Universidad Autónoma de Chapingo (UACH), México. Maestro en Ciencias y Cursante de Doctorado en Genética, Colegio de Postgraduados, México. Dirección: Colegio de Postgraduados, Km 35 Carretera Texcoco-México, Montecillo, Texcoco. C.P. 56230. México. e-mail: gustavolr@colpos.mx
Amilio Santacruz-Varela. Ingeniero Agrónomo, UACH,

Méjico. Maestro en Ciencias en Genética, Colegio de Postgraduados, México. Ph.D., Iowa State University, EEUU. Profesor Investigador, Colegio de Postgraduados, México.
Abel Muñoz-Orozco. Ingeniero Agrónomo, UACH, México. Maestro en Ciencias y Doctor en Genética, Colegio de Postgraduados, México. Profesor Investigador, Colegio de Postgraduados, México.

Fernando Castillo-González. Ingeniero Agrónomo, UACH, México. Maestro en Ciencias en Genética, Colegio de Postgraduados, México. Ph.D., North Carolina State University, EEUU. Profesor Investigador, Colegio de Postgraduados, México.
Leobigildo Córdova-Téllez. Ingeniero Agrónomo, UACH, México. M.S., Mississippi State University, EEUU. Ph.D., Iowa State University, EEUU.

Profesor Investigador, Colegio de Postgraduados, México.
Humberto Vaquera-Huerta. Ingeniero Agrónomo, UACH, México. Maestro en Ciencias en Estadística, Colegio de Postgraduados, México. Ph.D., Tulane University, EEUU. Profesor Investigador, Colegio de Postgraduados, México.

SUMMARY

With the purpose of knowing the variation of maize (*Zea mays L.*) at the Tehuantepec Isthmus region, considered as the distribution area of the Zapalote Chico maize race, 120 native populations were collected and evaluated along with 12 typical populations of other described races. The 132 populations were evaluated in three localities by using 18 quantitative traits, mainly related to reproductive structures. Six groups were observed with the aid of principal component analysis, three of them included populations regionally known as "Maíz Chico", corresponding to the Zapalote Chico race, with smaller values in reproductive, vegetative and phenological traits; the other three groups gathered populations locally denominated as "Maíz Grande", with higher values of the aforementioned traits, and

correspond to an ample base of the Zapalote Chico race, with genetic introgression of the races Vandeño, Tepecintle and Tuxpeño. Genetic variation of maize was related to environmental variation as determined by altitude, relative humidity and soil moisture availability, pointing out the coastal plain of the Oaxacan Isthmus as the area of natural distribution of the Zapalote Chico race. A dendrogram was constructed using Euclidian distances through the Neighbor-Joining method, revealing that the "Maíz Grande" groups evolved toward late populations, and those of "Maíz Chico" toward both late and early populations. It is concluded that genetic variation does exist in the maize populations of this region at the race level and among populations within the Zapalote Chico race itself.

RESUMO

Com a finalidade de conhecer a variação do milho (*Zea mays L.*) da região do Istmo de Tehuantepec considerada a área de distribuição do milho da raça Zapalote Chico, foram coletadas 120 populações nativas, mais 12 populações típicas de outras raças descritas. As 132 populações foram avaliadas em três localidades usando 18 variáveis quantitativas principalmente relacionadas com estruturas reprodutivas. Seis grupos foram observados com o auxílio de uma análise de componentes principais; três deles incluiram populações conhecidas regionalmente como Maíz Chico, correspondentes à raça Zapalote Chico que apresentaram valores menores nas variáveis de natureza reprodutiva, vegetativa e fenológica; os outros três grupos, agruparam populações denominadas regionalmente como Maíz Grande, que apresentaram valores altos com re-

lação à variável já mencionada, e correspondem a uma ampla base da raça Zapalote Chico, com introgresão genética das raças Vandeño, Tepecintle e Tuxpeño. A variação genética do milho foi relacionada com a variação ambiental determinada pela altitude, umidade relativa e com a disponibilidade da umidade no solo, indicando a planície costeira do Istmo Oaqueño como a área de distribuição natural da raça Zapalote Chico. Foi construído um dendrograma usando distâncias euclidianas com o método de agrupamento de vizinhos, revelando que os grupos de Maíz Grande evolucionaram até populações tardias, e os de Maíz Chico até populações precoces e tardias. Concluiu-se que existe variação genética nas populações de milho desta região com relação à raça e entre populações da raça Zapalote Chico.

obra clásica en el tema. Los estudios posteriores han tenido un enfoque más integral, mediante el uso de la taxonomía numérica (Sneath y Sokal, 1973), siendo Goodman (1967) un pionero en aplicar el análisis multivariado en estudios de diversidad del maíz. Posteriormente se han utilizado diversas técnicas multivariadas sobre información de diferente naturaleza para clasificar las razas de maíz de México. Cervantes *et al.* (1978) usaron los efectos genéticos y la interacción genotipo-ambiente, mientras que Sánchez (1983) involucró los efectos de interacción genotipo-ambiente y parámetros de estabilidad; Doebley *et al.* (1985) caracterizaron las poblaciones por su polimorfismo isoenzimático, mientras que Vázquez *et al.* (2003) usaron características físicas y químicas del grano. La taxonomía numérica se ha utilizado tanto para estudiar la clasificación de las razas descritas en México (Sánchez y Goodman, 1992), como para conocer la diversidad existente

dentro de una raza específica (Herrera *et al.*, 2004).

La raza de maíz Zapalote Chico, objeto de interés en este estudio, fue descrita por Wellhausen *et al.* (1951). Se trata de plantas pequeñas muy tempranas, con cubierta de brácteas (totomoxtle) más marcada con respecto a cualquier otra raza, y con distribución geográfica en el Istmo de Tehuantepec (tierras bajas costeras de Oaxaca y Chiapas, México) donde los vientos de octubre a marzo alcanzan una velocidad media de 90km·h⁻¹. La región es importante desde el punto de vista agrícola en el estado de Oaxaca, porque ocupa el primer lugar en superficie cultivada con especies anuales en el ciclo otoño-invierno y el tercer lugar en el verano. El maíz es el principal cultivo en la región, pues ocupa el 83% de las aproximadamente 149000ha cultivadas, y el 77% del maíz se siembra bajo condición de temporal con un rendimiento promedio regional de 1,25ton·ha⁻¹ (INEGI, 2002). La

importancia local de la raza Zapalote Chico radica en su tempranidad, lo que permite obtener al menos dos cosechas en el mismo terreno por año, así como por su aporte a la dieta de los habitantes de la cultura Zapoteca, ya que a los 60 días después de la siembra se obtienen "elotes" (mazorca tierna de maíz en estado lechoso o masoso) para consumirse cocidos, en atole y pan de elote; a los 70 días se obtiene "maíz nuevo", cuyo grado de madurez ya permite hacer tortillas, totopos y tamales; a los 80 días la planta se despuesa para favorecer el secado de la mazorca y a los 90 días ya se tiene maíz seco, listo para utilizarse en diversas preparaciones. Por estas características, el 96% de los productores prefieren sembrar dicha raza en lugar de los híbridos comerciales. En el ámbito internacional, la raza Zapalote Chico ha recibido particular atención por su resistencia a la mosca de seda *Euxesta stigmatias* Loew. (Diptera: Otidae), al gusano cogollero

Spodoptera frugiperda (J.E. Smith) y al gusano elotero *Heliocoverpa zea* (Boddie) (Lepidoptera: Noctuidae), razón por la que se registró una población de esta raza en los EEUU (Widstrom *et al.*, 2003).

En cuanto a la variabilidad de la raza Zapalote Chico, en un estudio realizado por Ramírez *et al.* (1988) se concluyó que dentro de una población nativa de Zapalote Chico se tenía estrecha variabilidad genética. Posteriormente Muñoz (2003) reportó 22 atributos genéticos ventajosos de esta raza. Con estos antecedentes, prevalece la idea de que no hay variación genética en ella, y que el mismo tipo está distribuido en toda la región del Istmo Oaqueño. Asimismo, se le ha calificado como raza de bajo rendimiento por hectárea, lo que ha motivado la introducción de híbridos y variedades mejoradas, con resultados poco exitosos. Esto lleva a considerar que existen criterios erróneos de evaluación y omisión de atributos genéticos valiosos por

lo cual debe ser mejor valorada, posiblemente relacionados con la respuesta a las condiciones del clima de la región, dadas sus particularidades. En el presente trabajo se delimitó el área geográfica de la planicie costera y sitios conexos de mayor altitud sobre la región del Istmo de Tehuantepec, Oaxaca, y se colectaron poblaciones de maíz local con los siguientes objetivos: 1) caracterizar genéticamente la diversidad de las poblaciones nativas de maíz, 2) identificar los límites geográficos de los grupos detectados de la raza Zapalote Chico, y 3) valorar el avance evolutivo de las poblaciones. Todo ello bajo la hipótesis que existe diversidad genética entre las poblaciones nativas factible de agruparse y que su adaptación es específica y guarda relación con las condiciones ambientales de los estratos de la micro región.

Materiales y Métodos

Colecta de poblaciones de maíz

Se consideró la región del Istmo de Tehuantepec, estado de Oaxaca, México, la cual comprende un total de 41 municipios (INEGI, 2002), distinguida como el área geográfica de distribución de la raza Zapalote Chico. En la Figura 1 se identifican los sitios de colecta en la región explorada, y se incluyen curvas de nivel de 100, 500 y 1000msnm. En la Tabla I se presenta la ubicación de algunas estaciones meteorológicas de la región. En enero de 2003 se colectaron 120 poblaciones de maíz al explorar 62 comunidades en 38 municipios de la región, colectando 30 mazorcas por cada población que fuera considerada diferente por los agricultores locales en cada comunidad visitada. A las 120 poblaciones se sumaron además 12 poblaciones típicas de otras razas que pudieran estar relacionadas con el material colectado: LADA-434 (Nal-Tel) y LADA-443 (Dzit-Bacal), proporcionadas por el banco de germoplasma de la Universidad Autónoma de Chapango, y las poblaciones YUCA-108 (Nal-

Tel), OAXA-54 (Zapalote Chico), CHIS-224 (Zapalote Grande), OAXA-244 (Olotillo), VERA-39 (Tuxpeño), GUER-96 (Vandeño), OAXA-40 (Bolita), VERA-168 (Dzit-Bacal), YUCA-117 (Dzit-Bacal) y CHIS-578 (Clavillo), suministradas por el CIMMYT.

Siembra en campo

Las 120 poblaciones colectadas y las 12 poblaciones típicas de razas de maíz se establecieron en tres localidades del Istmo de Tehuantepec: San Blas Atempa ($16^{\circ}20'16''N$, $95^{\circ}12'55''O$), Puente Madera ($16^{\circ}22'57''N$, $95^{\circ}11'27''O$) y Guichivere ($16^{\circ}22'51''N$, $95^{\circ}13'07''O$) y las fechas de siembra fueron 27 de febrero, 6 y 10 de marzo de 2003, respectivamente para los tres lugares. Se utilizó un diseño látice rectangular 11×12 con dos repeticiones (Martínez, 1988). El tamaño de parcela experimental fue de dos surcos de 6m de largo con separación de 0,55m y dos plantas por mata separadas a 0,55m. La siembra y manejo del cultivo se hicieron bajo el manejo convencional del productor, utilizando una dosis de fertilización de 110-40-00, aplicando la mitad del N y todo el

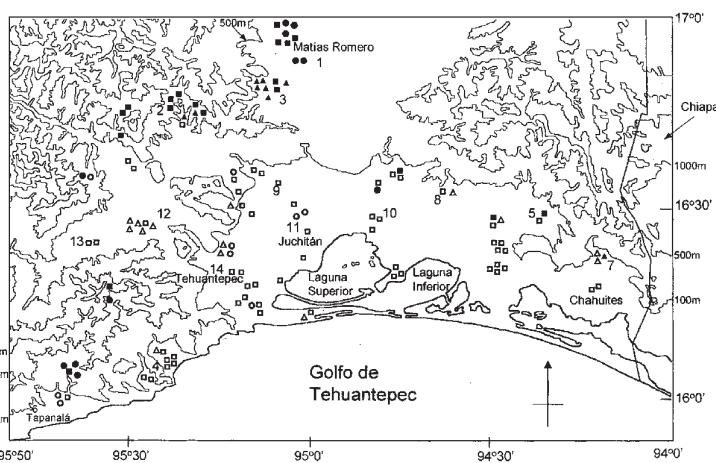


Figura 1. Sitios donde se colectaron poblaciones nativas de maíz. Maíz Chico grupo precoz (\triangle), intermedio (\square) y tardío (\circ). Maíz Grande grupo precoz (\blacktriangle), intermedio (\blacksquare) y tardío (\bullet). Los números (1 a 14) corresponden a la ubicación de estaciones meteorológicas en el Istmo de Tehuantepec, Oaxaca, México. (Ver Tabla I)

P al momento de la siembra, y la otra mitad del N antes del primer riego de auxilio.

Variables evaluadas

En cada parcela se marcaron al azar 10 plantas cuando presentaban 5 hojas liguladas, y se volvieron a marcar cuando desarrollaron 10 hojas liguladas. Posteriormente, en cinco de esas plantas se determinó altura de planta y de mazorca, número total de hojas y número de hojas arriba de la mazorca, y longitud y ancho de la hoja de la mazorca; de la espiga se midió la longitud total, la del pe-

dúnculo, la del tramo ramificado y de la rama central, y se contó el número de ramas. Se registró la floración masculina y femenina en días después de la siembra, cuando el 50% de las plantas de la parcela experimental presentaban anteras deshiscentes y emisión de estigmas en la estructura reproductiva femenina ("jilote") superior, respectivamente; se consideró la asincronía floral como la diferencia entre la floración femenina y la masculina.

En la cosecha, que tuvo lugar los días 13, 17 y 20 de junio de 2003, para las siembras del 27 de febrero, 6 y 10 de marzo de

TABLA I
LOCALIZACIÓN Y ELEMENTOS DEL CLIMA EN ALGUNAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS EN EL ISTMO DE TEHUANTEPEC, OAXACA, MÉXICO

Num.	Estación ¹	Altitud (msnm)	Lat. Norte	Long. Oeste	Precip. (mm)	Temp. (°C)	Evap. (mm)
1	Matías Romero	210	$16^{\circ}53'$	$95^{\circ}03'$	1491	25,5	1221
2	Guevea de Humboldt	600	$16^{\circ}48'$	$95^{\circ}23'$	1172	23,7	1610
3	Barrio La soledad	230	$16^{\circ}47'$	$95^{\circ}05'$	965	24,4	1705
4	Sta. Cruz Bamba	32	$16^{\circ}02'$	$95^{\circ}25'$	553	28,1	2001
5	Zanatepec	36	$16^{\circ}29'$	$94^{\circ}21'$	1413	28,0	2002
6	Tapanalá	30	$15^{\circ}57'$	$95^{\circ}43'$	604	27,6	2115
7	San Pedro Tapanatepec	35	$16^{\circ}22'$	$94^{\circ}13'$	1695	27,3	2151
8	Niltepec	83	$16^{\circ}33'$	$94^{\circ}36'$	1207	29,0	2193
9	Ciudad Ixtepec	120	$16^{\circ}34'$	$95^{\circ}06'$	859	27,6	2246
10	Unión Hidalgo	10	$16^{\circ}29'$	$94^{\circ}50'$	998	27,6	2330
11	Juchitán	46	$16^{\circ}26'$	$95^{\circ}02'$	930	27,1	2436
12	Jalapa del Marqués	180	$16^{\circ}27'$	$95^{\circ}27'$	639	27,4	2496
13	Magdalena Tequisistlán	170	$16^{\circ}25'$	$95^{\circ}36'$	575	26,4	2676
14	Tehuantepec	55	$16^{\circ}19'$	$95^{\circ}13'$	817	25,5	2682

¹Sistema Meteorológico Nacional. <http://smn.cna.gob.mx/SMN.html>

TABLA II
VARIABLES SELECCIONADAS POR REPETIBILIDAD R≥3 AL RELACIONAR ESTIMADORES DE VARIANZA,
COMPARACIÓN DE MEDIAS PARA SUBGRUPOS DE POBLACIONES DE MAÍZ Y VECTORES PROPIOS
DE LOS DOS PRIMEROS COMPONENTES PRINCIPALES*

Variable	Estimador de la Varianza				Medias de las variables						CP1	CP2
	$\hat{\sigma}_p^2$	$\hat{\sigma}_l^2$	$\hat{\sigma}_{pl}^2$	r	Maíz Chico			Maíz Grande				
ALPL	839,29	119,826	48,044	5,0	168f	190e	207d	224c	242b	256a	0,30	0,10
NHTO	9,50	0,375	0,237	15,5	16,2f	17,5e	18,6d	20,8c	23,2b	24,4a	0,31	-0,03
LHMA	40,42	3,023	3,337	6,4	69,9e	75,4d	81,9bc	80,9c	85,3b	89,3a	0,29	0,18
AHMA	0,58	0,049	0,060	5,3	6,8e	7,6d	8,0c	7,9cd	8,8b	9,2a	0,29	0,12
FLFE	107,90	7,563	0,322	13,7	48,6e	51,6e	55,5d	61,7c	70,5b	75,2a	0,31	-0,06
ASF	1,75	0,001	0,007	234,4	1,9e	2,3e	3,0d	3,9c	4,8b	5,5a	0,31	-0,03
LOES	11,85	0,000	1,245	9,5	53,9e	56,4de	58,6cd	59,8bc	61,9ab	63,0a	0,24	0,20
LPES	1,92	0,075	0,361	4,4	21,2a	21,1a	20,9a	20,4ab	19,4bc	18,5c	-0,20	0,14
LRCE	5,98	0,854	0,921	3,4	23,2e	24,6de	26,2c	25,8cd	28,8b	30,4a	0,28	0,18
LOMA	4,97	0,405	0,238	7,7	10,6e	11,4de	12,4cd	12,6c	15,2b	16,6a	0,29	0,06
NUHI	0,71	0,040	0,035	9,4	10,1c	10,1c	11,0b	10,0c	11,1ab	11,7a	0,20	-0,02
LPTO	0,95	0,019	0,058	12,5	6,3b	6,4b	6,9ab	7,5a	7,0ab	7,6a	0,13	0,11
DIOL	0,04	0,004	0,004	5,1	2,0c	2,3b	2,6a	2,0c	2,1c	2,4b	0,01	0,31
ADGR	0,24	0,001	0,014	15,2	0,46b	0,48a	0,49a	0,45c	0,44c	0,45bc	-0,21	0,39
LDGR	0,43	0,047	0,040	5,0	0,56a	0,56a	0,55ab	0,55ab	0,54ab	0,53b	-0,15	0,28
GDGR	0,07	0,001	0,005	12,2	0,17d	0,18c	0,19b	0,18cd	0,19b	0,21a	0,23	0,08
PDCG	4,15	0,989	0,156	3,6	23,4c	25,8ab	27,3a	23,3c	23,1c	24,5bc	-0,12	0,49
VDCG	2,66	0,178	0,000	15,0	20,5b	23,0a	24,2a	20,7b	21,5b	23,3a	-0,04	0,51

* Localidades de San Blas Atempa, Puente Madera y Guichivere 2003.

Medias con letras iguales no son significativamente diferentes (Tukey, 0,05), comparación horizontal entre grupos de poblaciones. $\hat{\sigma}_p^2$: estimador de la varianza de poblaciones, $\hat{\sigma}_l^2$: estimador de la varianza de localidades, $\hat{\sigma}_{pl}^2$: estimador de la varianza de la interacción, CP: componente principal, EV: eigenvalor, ALPL: altura de planta (cm), NHTO: número de hojas totales, LHMA: longitud de la hoja de la mazorca (cm), AHMA: ancho de la hoja de la mazorca (cm), FLFE: días a floración femenina, ASF: asincronía floral; LOES: longitud de la espiga (cm), LPES: longitud del pedúnculo de la espiga (cm), LRCE: longitud de la rama central de la espiga (cm), LOMA: longitud de la mazorca (cm), NUHI: numero de hileras de la mazorca, LPTO: longitud de la punta del totomoxtle (cm), DIOL: diámetro de oloote (cm), ADGR: ancho de grano (cm), LDGR: longitud del grano (cm), GDGR: grosor del grano (cm), PDCG: peso de 100 granos (g), VDCG: volumen de 100 granos (cm^3).

2003, respectivamente, se tomaron cinco mazorcas con brácteas provenientes de las plantas seleccionadas y en ellas se midió la longitud de la punta del “totomoxtle” (conjunto de brácteas que envuelven la estructura femenina) a la punta de la mazorca y del pedúnculo, así como la longitud de la mazorca, número de hileras, granos por hilera, y diámetro de mazorca, de la mazorca sin granos (“olote”), del raquis y de la médula; porcentaje de grano. De cada mazorca se tomaron 20 granos para medir ancho, longitud y grosor para obtener el promedio y en 100 granos se midió peso y volumen.

Coefficiente de repetibilidad

Las variables se discriminaron de acuerdo con el criterio de Goodman y Paterniani (1969), seleccionando aquellas con un coeficiente de repetibilidad $r = [\hat{\sigma}_p^2/\hat{\sigma}_p^2 + \hat{\sigma}_{pl}^2] \geq 3,0$ (Tabla II), donde $\hat{\sigma}_p^2$, $\hat{\sigma}_l^2$ y $\hat{\sigma}_{pl}^2$ son los estimadores de los componentes

de varianza debido a las diferencias entre poblaciones, entre localidades y entre efectos de interacción población-localidad, respectivamente. Los estimadores de los componentes de varianza se obtuvieron usando el procedimiento VARCOMP (SAS, 1999) con el método de máxima verosimilitud restringida (REML) considerando el modelo

$$Y_{ijkl} = l_i + r(l_{j(i)}) + b(r)x_{l_{k(j)i}} + p_i + p_{xl_{ki}} + m(p)_{m(l)} + \text{error}$$

donde Y_{ijkl} : variable respuesta, l_i : factor de variación correspondiente a localidades, r_j : repeticiones, b_k : bloques incompletos, p_i : poblaciones, m_p : plantas muestradas dentro de parcela. Para las variables en que se registró un valor único por unidad experimental, se omitió el término $m(p)_{m(l)}$ del modelo.

Caracterización morfológica y distribución geográfica

Sobre las medias ajustadas por población para las varia-

bles seleccionadas, se aplicó el análisis de componentes principales a partir de la matriz de correlaciones para observar la tendencia de agrupamiento de las poblaciones en una gráfica bidimensional determinada por los primeros dos componentes principales; análisis discriminante para estimar la distancia de Mahalanobis entre centroides de grupos de poblaciones. Se realizó análisis de varianza y las medias de grupos de poblaciones se compararon con la prueba de Tukey (0,05). Los grupos de poblaciones se ubicaron en el área de origen (Figura 1), señalando su relación con algunos elementos del clima como precipitación, temperatura y evapotranspiración, para lo cual se revisaron los datos de algunas estaciones meteorológicas en la región de estudio.

Análisis filogenético

Los valores de las medias ajustadas se estandarizaron con

media igual a cero y varianza igual a la unidad usando el paquete NTSYS-pc (Rohlf, 1993), y con la matriz de distancias euclidianas se aplicó el método de agrupamiento de vecinos para obtener un dendrograma bajo el principio de evolución mínima, usando a la raza Nal-Tel como grupo externo, dado que se reporta (Wellhausen *et al.*, 1951) como una raza indígena antigua y por lo tanto basal en el proceso evolutivo del maíz cultivado.

Resultados y Discusión

Caracterización morfológica y distribución geográfica

En las localidades de evaluación se observó que dos poblaciones nativas y la población LADA-443 (Dzit-Bacal) no germinaron; los datos faltantes para esta población se complementaron con los promedios de cada variable sobre las tres localidades y las 129

poblaciones, para conservar la ortogonalidad del diseño. En la Tabla II se listan las variables que presentaron repetibilidad ($r \geq 3$), así como los estimadores de los componentes de la varianza con los que se calculó el valor (r). A partir del análisis de componentes principales aplicado de manera global sobre los promedios de 118 poblaciones nativas y 11 poblaciones típicas de otras razas, y la dispersión de las poblaciones sobre el plano determinado por los dos primeros componentes principales, se pudo apreciar la separación de seis grupos de poblaciones (Figura 2). En el vector propio del primer componente principal (Tabla II) se observa que las variables que caracterizan la fenología, el tamaño de la planta, de la espiga, de la mazorca y del grano referido principalmente al grosor (GDGR) fueron determinantes en la diferenciación de los grupos. El segundo componente principal estuvo determinado por el diámetro del olate, longitud y ancho del grano y peso y volumen de 100 granos. Los grupos con letras a, b y c ubicados hacia el extremo negativo del primer componente principal involucran a 79 poblaciones denominadas localmente como Maíz Chico, y se denominan por su fenología como grupos: precox, intermedio y tardío, respectivamente; en contraparte, al lado positivo se ubicaron los grupos d, e y f con 39 poblaciones conocidas en la región como Maíz Grande y de la misma manera se denominan como precox, intermedio y tardío, respectivamente. Las distancias de Mahalanobis entre pares de centroides de los seis grupos fueron diferentes a un nivel de significancia estimado con $P \leq 0.001$. En la Tabla II se muestra el valor de la media y la comparación de medias entre los seis grupos para cada variable.

En relación a la información de las estaciones meteorológicas (Figura 1), se aprecia que las ubicadas en el área de distribución de las poblaciones de Maíz Grande son Matías Ro-

mero, Guevea de Humboldt y Barrio de la Soledad, mientras que las otras ocho estaciones se ubican en el área de distribución de las poblaciones de Maíz Chico. Se observa que las poblaciones de Maíz Chico se localizan en sitios de menor altitud (72m), con menor precipitación (935mm), mayor temperatura media anual (27°C) y mayor evaporación (2302mm); mientras que las poblaciones de Maíz Grande se localizan en sitios con mayor altitud (346m) donde es mayor la precipitación (1209mm), menor temperatura media anual (24°C) y menor evaporación (1512mm). Estas observaciones confirman la localización del maíz de la raza Zapalote Chico en tierras bajas de la región del Istmo (Wellhausen *et al.*, 1951; Muñoz, 2003). Los datos climatológicos caracterizan estas tierras bajas con alta temperatura y alta evaporación en verano y viento fuerte en invierno, ejerciendo una presión de selección natural sobre las poblaciones nativas de maíz, ya sea en verano en condición de temporal, o en invierno en condición de riego; dando como resultado una planta muy precoz, de porte bajo y con pocas hojas (Tabla II). En contraparte, las poblaciones del grupo Maíz Grande se distribuyen principalmente en sitios con elementos climáticos que permiten el desarrollo de una planta tardía, de porte alto y con mayor número de hojas por planta.

Grupos de Maíz Chico

El grupo de Maíz Chico tardío incluyó 9 poblaciones, el intermedio 56 y el precoz 14. Para explicar la diversidad de las poblaciones de Maíz Chico, es necesario considerar que en el área occidental de esta región se ubica el Distrito de Riego 019 Tehuantepec, en donde se aprovechan las aguas de los ríos Tequisistlán y Tehuantepec a través de la presa Lic. Benito Juárez, localizada en Jalapa del Marqués. De esta manera, la información proporcionada por los

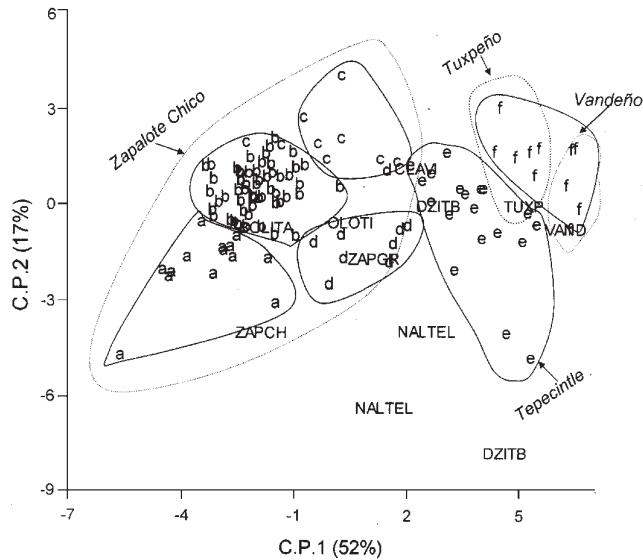


Figura 2. Dispersion de 118 poblaciones de maíz y 11 poblaciones típicas de diferentes razas en el plano determinado por los dos primeros componentes principales. Maíz Chico con 79 poblaciones en tres grupos, a: precoz, b: intermedio y c: tardío. Maíz Grande con 39 poblaciones en tres grupos, d: precoz, e: intermedio y f: tardío.

productores que aportaron muestras de maíz mostró que el 66% de las poblaciones del grupo Maíz Chico tardío se cultivan en condiciones de riego y 34% en temporal; del grupo intermedio el 37% son de riego y 63% de temporal; y del grupo precoz 36% son de riego y 64% son de temporal. Estos porcentajes muestran que la mayor proporción de poblaciones obtenidas en riego corresponden al grupo tardío, lo que sugiere que el productor ha seleccionado hacia plantas con los valores mayores para las variables vegetativas y fenológicas (Tabla II) en función de la disposición de agua de riego. El grupo intermedio fue el más numeroso y el más disperso, cultivándose en localidades con precipitación contrastante (Tabla I), y con altitud desde los 10 hasta 280m, en la zona de más de 2000mm de evaporación. Estas poblaciones parecen corresponder a lo típico de la raza Zapalote Chico, de acuerdo con lo descrito por Wellhausen *et al.* (1951), y sobre las que se señaló una variabilidad genética estrecha dentro de una población (Ramírez *et al.*, 1988). Sobre la distribución de las poblaciones del grupo precoz (Figura 1), se encontró que el 50% de ellas se localiza en la cercanía a las estaciones de Santa Cruz Bamba y Jalapa del Marqués, con los valores menores de precipitación (Tabla I), lo que implica que están adaptadas a clima seco. Esta variante precoz recibe el nombre local de "Cuarenteño", y de acuerdo con la caracterización morfológica (Tabla II), se trata de plantas pequeñas, adaptadas a temporal con muy poca disponibilidad de agua; por esta razón, parece ser una excelente fuente de resistencia a sequía. En las condiciones ambientales en las que se cultiva este tipo de maíz, difícilmente prosperarían variantes como los híbridos comerciales derivados de la raza Tuxpeño, razón por la cual son conservadas por los agricultores, concientes de la eventualidad de las lluvias para la agricultura de temporal. Los datos mostrados indican que existe variación entre las poblaciones del grupo Maíz Chico, con versiones tardías adaptadas a condiciones de riego, intermedias ampliamente distribuidas y variantes tempranas, adaptadas a clima seco. La definición de patrón etnofitogenético de Muñoz (2003) es aplicable a

la diversidad observada en las poblaciones de maíz, tanto de Maíz Grande como de Maíz Chico, con avance en la resolución ya que es posible dentro de una microregión diferenciar facetas, y dentro de ellas al menos tres estratos.

Con base en las características ambientales descritas en la Tabla I y de algunas estaciones aledañas a la región, se estima que el área de distribución natural de la raza de maíz Zapalote Chico, además de la explorada en este estudio, pudiera extenderse a la zona costera del Golfo de Tehuantepec, desde el Municipio de Santa María Huatulco, Oaxaca, ($15^{\circ}49'N$, $96^{\circ}19'W$), hasta el Municipio de Arriaga, Chiapas ($16^{\circ}14'N$, $93^{\circ}54'W$). Es posible que poblaciones de este tipo o algunas muy relacionadas, también se localicen al noroeste de la estación Magdalena Tequisistlán, en las inmediaciones de los municipios de San Carlos Yautepetec, Nejapa de Madero y San Pedro Totolapan.

Grupos de Maíz Grande

En este caso, el grupo de Maíz Grande tardío se integró por 11 poblaciones, el intermedio a 19 y el precoz a 9. De la información proporcionada por los productores al momento de la colecta, se pudo notar que de las 39 poblaciones del grupo Maíz Grande, sólo en una de ellas se cultiva en condición de riego; es decir, predominan en la agricultura de temporal. Respecto a la localización geográfica de las poblaciones de estos grupos, en la Figura 1 se observa que las del grupo Maíz Grande tardío se localizan principalmente en dos áreas geográficas, al noreste de Tapanalá

y en Matías Romero; las del grupo intermedio se distribuyen principalmente en el área de influencia de Guevea de Humboldt, y las del grupo precoz en el Barrio La Soledad. De acuerdo con los datos de estas estaciones meteorológicas (Tabla I), las variables que tienen relación con los grupos de poblaciones son la precipitación y la evaporación, esto es, que las poblaciones más tardías y de mayor altura de planta se cultivan en las áreas más húmedas y con la menor evaporación, y las del grupo precoz en el área con menor precipitación y evaporación más elevada. Lo anterior refleja una relación entre la diversidad genética del maíz y la variación ecológica ambiental, lo cual ya ha sido observado en otros estudios en maíz (Romero y Muñoz, 1996; Gil *et al.*, 1995). Una variable no mostrada en la Tabla II se refiere a la pigmentación de la vaina de la hoja. Cabe resaltar

que aun cuando las poblaciones del grupo tardío se agruparon, las colectadas al noreste de Tapanalá presentaron el 40% de plantas con vainas de las hojas pigmentadas, comparado con 13% en las colectadas en Matías Romero; las del grupo intermedio tuvieron 28% y las del precoz un 25%. Esta variable resultó más contrastante entre las poblaciones del grupo tardío, y puede ayudar en la definición de los tipos de raza en estos grupos de acuerdo a reportes previos (Wellhausen *et al.*, 1951).

Similitud con otras razas

Con excepción de la población incluida como típica de la raza Zapalote Chico, las restantes pudieron haberse expresado de manera poco precisa, dado que el área de caracterización no corresponde a su área de adaptación natural. Bajo esta consideración, se

observó que la raza Zapalote Chico se integró en el grupo precoz de Maíz Chico y la raza Bolita con el grupo intermedio; las variables que más separan a Bolita del grupo intermedio fueron floración femenina (59 días) y asincronía floral (5 días); a los grupos de Maíz Grande se integró

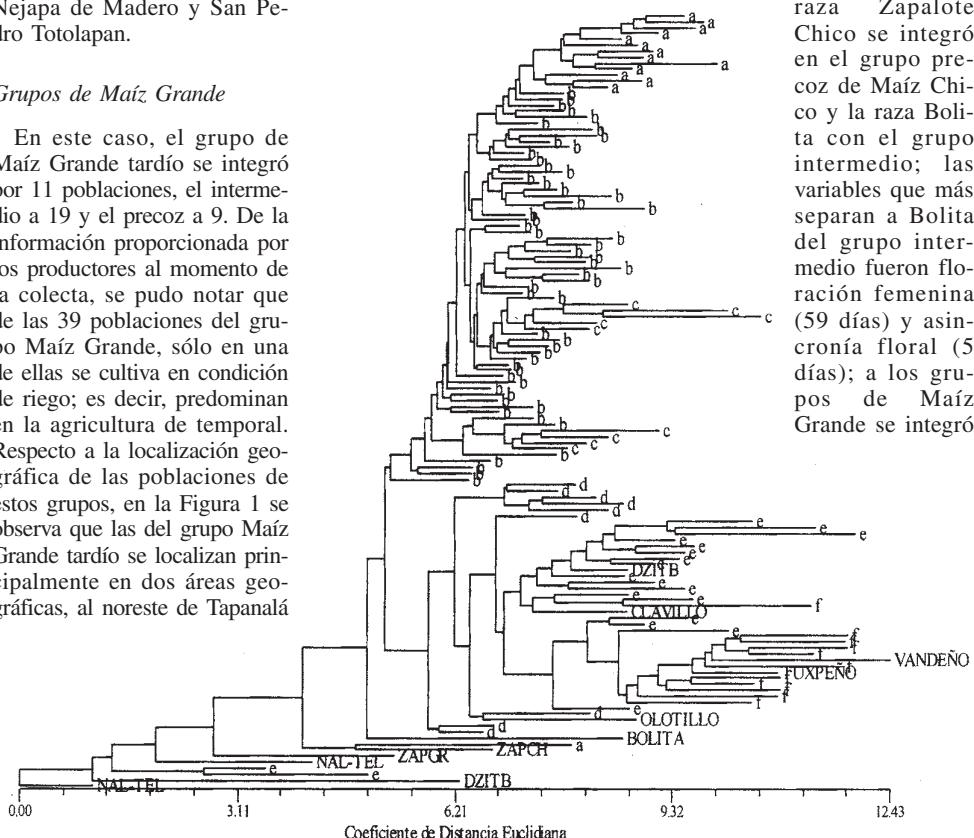


Figura 3. Dendrograma usando distancias euclidianas con el Método de Agrupamiento de Vecinos en 129 poblaciones de maíz. Maíz Chico, a: grupo precoz, b: intermedio, y c: tardío. Maíz Grande, d: grupo precoz, e: intermedio, y f: tardío.

la raza Olotillo y Zapalote Grande en el precoz; la raza Clavillo y la población VERA-168 tuvieron similitud con el grupo intermedio, mientras que Vandeno y Tuxpeño tuvieron más cercanía con el grupo tardío. Las poblaciones de la raza Nal-Tel y la YUCA-117 no se integraron con alguno de los grupos. Los datos obtenidos concuerdan con la clasificación de la raza Zapalote Chico en el Grupo de Maduración Temprana (Sánchez y Goodman, 1992) dada su mayor similitud con las poblaciones más tempranas; en tanto, la raza Tuxpeño y Vandeno integrados en el Grupo Dentados Tropicales (Sánchez y Goodman, 1992) también se mantienen juntos en este estudio.

En relación a los agrupamientos obtenidos, además de la comparación fotográfica de las mazorcas de las poblaciones cosechadas con las de otras razas, y la comparación de algunos datos obtenidos por Wellhausen *et al.* (1951) se puede sugerir que los grupos de poblaciones de Maíz Chico pertenecen a la raza Zapalote Chico y que la influencia de esta raza llega hasta en un 60% a las poblaciones del grupo precoz de Maíz Grande. Al revisar las poblaciones de Maíz Grande, se aprecia un continuo en el tamaño de mazorca, muchas de ellas con el carácter dentado. Este complejo puede corresponder al descrito para el grupo de Dentados Tropicales (Sánchez y Goodman, 1992), el cual incluye algunas poblaciones típicas que podrían localizarse en esta región, como la raza Vandeno, Tepecintle y Zapalote Grande (Wellhausen *et al.*, 1951). De las comparaciones realizadas, las poblaciones de Maíz Grande tardías colectadas al noreste de Tapanalá parecen versiones intermedias entre Zapalote Chico y la raza Vandeno, mientras que las de Matías Romero parecen corresponder a intermedias con la raza Tuxpeño; aquellas del grupo intermedio colectadas en las

cercanías de Guevea de Humbold parecen corresponder a formas intermedias de Zapalote Chico con la raza Tepecintle, las del Barrio de la Soledad del grupo precoz se pueden considerar de la raza Tepecintle con influencia de Zapalote Chico.

Análisis filogenético

Se identificaron las poblaciones de cada grupo con letras desde a hasta f, como en la Figura 2. Una vez identificadas se procedió a ubicarlas en un dendrograma (Figura 3) donde se aprecia la existencia de dos grandes grupos de poblaciones, correspondientes a Maíz Chico en la parte superior y a Maíz Grande en la inferior. En el caso de las poblaciones de Maíz Chico, las del grupo intermedio son basales con respecto a los grupos precoz y tardío, los cuales se separan de manera independiente, siendo más evolucionadas algunas poblaciones del grupo tardío, lo que puede indicar que éstas tienen más tiempo de separación del grupo basal. Dentro de las poblaciones de Maíz Grande, las del grupo precoz son basales, de las que posiblemente se derivaron las intermedias y de éstas a su vez las tardías, que se muestran como las más evolucionadas, mostrando un patrón evolutivo diferente al grupo Maíz Chico. Estas relaciones pueden apoyarse en base a la dispersión del maíz en dos grandes rutas a partir de las tierras altas de México (Matsuoka *et al.*, 2002) siendo el maíz de tierras altas de Oaxaca uno de los más basales. Los primeros pobladores de estas tierras llevaron el maíz a las tierras bajas en el Istmo de Tehuantepec, aprovechando este punto como una de las rutas prehispánicas de navegación costera por el Pacífico entre Mesoamérica y los Andes (Melgar-Tisoc, 2003). El maíz de tierras altas se adaptó a las condiciones ambientales de la planicie costera mediante un proceso de

selección por parte de los primeros agricultores (Muñoz, 2003). La raza de maíz resultante, denominada Zapalote Chico ha sido cultivada por más de 5000 años (Gutiérrez-Nava *et al.*, 1998). El maíz de la planicie costera se dispersó hacia localidades cercanas, adaptándose, por un lado, a localidades que aprovecharon el agua de los ríos para cultivar maíz en condición de riego y, por otro, hacia localidades de clima seco. El maíz de tierras altas que se dispersó hacia regiones más húmedas se separó morfológicamente del maíz de la planicie, prevaleciendo introducciones en los límites geográficos de ambos tipos de maíz.

Conclusiones

La diversidad genética del maíz en la región del Istmo de Tehuantepec, en 38 municipios de Santiago Astata al oeste a Chahuites al oriente, hasta Matías Romero al norte, se puede clasificar de acuerdo con la caracterización morfológica de 118 poblaciones en

1) Zapalote Chico, denominado localmente como Maíz Chico, distribuido en la porción más costera a altitudes de 10 a 100m, alrededor de las lagunas Superior e Inferior del Golfo de Tehuantepec, presentando tres subcategorías por ciclo biológico.

2) Formas intermedias de Zapalote Chico con razas del complejo dentado tropical. Se encuentran en las áreas relativamente más altas de la región de 200 a 800msnm. La denominación local es Maíz Grande, y la versión precoz pudiera considerarse aún como variantes de la raza Zapalote Chico, mientras que las formas de ciclo intermedio y tardío son formas intermedias de Zapalote Chico y Tuxpeño hacia el norte, Vandeño hacia el occidente y Tepecintle hacia el oriente.

La variación detectada está asociada con la capaci-

dad de tolerar la resequedad del ambiente y la disponibilidad de humedad. Los patrones evolutivos de las poblaciones de Zapalote Chico y de Maíz Grande son diferentes.

REFERENCIAS

- Anderson E, Cutler HC (1942) Races of *Zea Mays*: I. Their recognition and classification. *Ann. Mo. Bot. Gard.* 29: 69-89.
- Cervantes ST, Goodman MM, Casas E, Rawlings JO (1978) Use of genetic effects and genotype by environmental interactions for the classification of Mexican races of maize. *Genetics* 90: 339-348.
- Doebley JF, Goodman MM, Stuber CW (1985) Isozyme variation in races of maize from Mexico. *Amer. J. Bot.* 72: 629-639.
- Gil MA, Muñoz OA, Carballo CA, Trinidad SA (1995) El patrón varietal en la región sureste de la Sierra Purépecha. I. Variables importantes empleadas en su definición. *Rev. Fitotec. Mex.* 18: 163-173.
- Goodman MM (1967) The races of Maize. The use of Mahalanobis generalized distances to measure morphological similarity. *Fitotec. Latinoam.* 4: 1-22.
- Goodman MM, Paterniani E (1969) The races of maize. III. Choices of appropriate characters for racial classification. *Econ. Bot.* 23: 265-273.
- Gutiérrez-Nava ML, Warren CA, León P, Walbot V (1998) Transcriptionally active MuDR, the regulatory element of the mutator transposable element family of *Zea mays*, is present in some accessions of the mexican land race Zapalote Chico. *Genetics* 149: 329-346.
- Herrera CBE, Castillo GF, Sánchez GJJ, Hernández CJM, Ortega PRA (2004) Diversidad del maíz Chalqueño. *Agrociencia* 38: 191-206.
- INEGI (2002) Anuario estadístico del Estado de Oaxaca. Vol. 1. Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática. Aguascalientes, México. 935 pp.
- Martínez GA (1988) *Diseños Experimentales. Métodos y Elementos de Teoría*. Trillas, México. 756 pp.
- Matsuoka Y, Vigouroux Y, Goodman MM, Sánchez GJJ, Buckler E, Doebley J (2002) A single domestication for maize shown by multilocus microsatellite genotyping. *PNAS* 99: 6080-6084.
- Melgar-Tisoc ER (2003) *Navegación prehispánica y la ruta del maíz*. Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología. Santafé de Bogotá, Colombia. www.colciencias.gov.co/seial/M-IT3.htm
- Muñoz OA (2003) *Centli-maíz. Prehistoria e Historia, Diversidad, Potencial, Origen Genético y Geográfico*. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, México. 210 pp.
- Ramírez FA, Ángeles AH, Molina GJD (1988) Selección familiar de progenies autofecundadas en una población de maíz (*Zea mays* L.) de la raza Zapalote Chico. *Agrociencia* 74: 103-114.
- Rohlf FJ (1993) *NTSYS-pc Numerical Taxonomy and Multivariate Analysis System*. Versión 1.8. Exeter Software. Setauket, NY, EEUU.
- Romero PJ, Muñoz OA (1996) Patrón varietal y selección de poblaciones de maíz para los sistemas agrícolas en la región de Tierra Caliente. *Agrociencia* 30: 63-73.
- Sánchez GJJ, Goodman MM (1992) Relationships among the Mexican races of maize. *Econ. Bot.* 46: 72-85.
- Sánchez PP (1983) *Estudio de estabilidad de variables y razas de maíz de México*. Tesis. Colegio de Postgrados. Chapingo, México. 73 pp.
- SAS (1999) *SAS® Procedures Guide*, Ver 8. SAS Institute Inc. Cary, NC, EEUU. 1643 pp.
- Sneath PHA, Sokal RR (1973) *Numerical Taxonomy. The principles and practice of numerical classification*. Freeman, San Francisco, CA, EEUU. 573 pp.
- Vázquez CMG, Guzmán BL, Andrés GJL, Márquez SF, Castillo MJ (2003) Calidad de grano y tortilla de maíces criollos y sus retrocruzadas. *Rev. Fitotec. Mex.* 26: 231-238.
- Wellhausen EJ, Roberts LM, Hernández XE, Mangelsdorf PC (1951) *Razas de maíz en México*. Folleto Técnico N°5. Oficina de Estudios Especiales. S.A.G., México. 239 pp.
- Widstrom NW, Wiseman BR, Snook ME, Nussly GS, Scully BT (2003) Registration of the Maize Population Zapalote Chico 2451F. *Crop Sci.* 43: 444-445.