

DIVERSIDAD FENOTÍPICA DE MAÍCES NATIVOS DEL ALTIPLANO CENTRO-ORIENTE DEL ESTADO DE PUEBLA, MÉXICO

PHENOTYPIC DIVERSITY OF MAIZE LANDRACES FROM THE CENTRAL-EASTERN HIGHLAND PLATEAU OF PUEBLA STATE, MÉXICO

René Hortelano Santa Rosa¹, Abel Gil Muñoz^{2*}, Amalio Santacruz Varela¹, Higinio López Sánchez², Pedro Antonio López² y Salvador Miranda Colín¹

¹Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo. Km. 36.5 Carretera Federal México-Texcoco. 56230, Montecillo, Texcoco, Edo. de México. ²Colegio de Postgraduados-Campus Puebla. Km. 125.5 Carretera Federal México-Puebla. 72760, Santiago Momoxpan, San Pedro Cholula, Puebla, México. Tel. 01(222)285-00-13 Fax. 01(222)285-14-44.

*Autor para correspondencia (gila@colpos.mx)

RESUMEN

En México, el Estado de Puebla ocupa el noveno lugar en producción de maíz (*Zea mays* L.) y 41 % de ésta proviene del Distrito de Desarrollo Rural de Libres en el cual se cultivan preponderantemente poblaciones nativas. En la presente investigación se evaluó el grado de diversidad fenotípica de los maíces nativos existentes en este Distrito, así como las relaciones fenéticas que éstos presentan con las razas reportadas para los Valles Altos de México. En los años 2006 y 2007 se colectaron 134 poblaciones nativas provenientes de 22 localidades de la región, que se evaluaron en 2007 en tres localidades, junto con seis testigos que representaron a las razas Palomero Toluqueño, Cónico Norteño, Cónico y Chalqueño (con sus variantes Crema y Palomo). Se registraron 22 variables (fenológicas, de espiga, mazorca y grano). Los análisis de varianza, de conglomerados y de componentes principales evidenciaron la presencia de una amplia diversidad fenotípica entre poblaciones de maíz, la cual se manifestó como un continuo de variación en atributos como días a 50 % de floración femenina, altura de planta y de mazorca, longitud de la rama central de la espiga, diámetro de mazorca, número de hileras y longitud de grano. Se detectó cierta similitud de las poblaciones nativas con la raza Chalqueño y su variante Chalqueño Crema, pero no con los demás testigos raciales. Esto sugiere que una fracción de las poblaciones nativas está diferenciándose morfológicamente de las razas reportadas para la región. También se observó que la selección que los agricultores están imponiendo sobre características como precocidad, porte de planta y componentes del rendimiento del grano, está conduciendo al desarrollo de distintos grupos de poblaciones.

Palabras clave: *Zea mays*, poblaciones nativas, raza Chalqueño, recursos fitogenéticos.

SUMMARY

In México, the State of Puebla is on the ninth place in maize production; 41 % comes from the District for Rural Development 'Libres', where maize landraces are the main varieties sown. The present study was conducted with the purpose of assessing the level of phenotypic diversity present in the maize landraces cultivated in that District, and studying the phenetic relationships among such materials and the races reported for the Highlands of México. A total of 134 landraces from 22 communities of the District were collected in the years 2006 and 2007, and were evaluated in 2007 at three sites, along with six controls representing the races Palomero Toluqueño, Conico Norteño, Cónico and Chalqueño (with its variants Crema and Palomo). Twenty-two traits were measured (phenological, of the tassel, ear and grain). The analyses of variance, clusters and principal components indicated the presence of a considerable phenotypic diversity among maize populations, which was expressed as a continuous of variation in attributes such as days to 50 % silking, plant and ear height, length of the central branch of the tassel, ear diameter, row number and grain length. Certain similarity was detected among native populations and the Chalqueño race and its variant Chalqueño Crema, but none with the other racial controls. These findings suggest that a fraction of the native populations is departing morphologically from the races reported for the region. It was also observed that the selection that farmers are imposing on traits such as precocity, plant height and yield components is resulting in the development of distinct groups of populations.

Index words: *Zea mays*, landraces, Chalqueño race, plant genetic resources.

INTRODUCCIÓN

En México, una proporción importante de los estudios en torno al maíz (*Zea mays* L.) se han enfocado a cuantificar y ordenar la diversidad existente, y como referente se ha usado el concepto de raza. Para efectuar la clasificación racial se ha recurrido a atributos morfológicos (Wellhausen *et al.*, 1951; Sánchez *et al.*, 1993), polimorfismos en loci de isoenzimas (Sánchez *et al.*, 2000) y efectos de interacción genotipo x ambiente (Cervantes *et al.*, 1978), entre otras variables. La primera clasificación racial del maíz en México fue hecha por Wellhausen *et al.* (1951), quienes reportaron un total de 25 razas. Posteriormente, Sánchez *et al.* (2000) retomaron diversos trabajos previos y reportaron la presencia de 59 razas; Benz (1997) estima el número de razas en más de 75.

Esta amplia variabilidad ha sido agrupada en complejos raciales por varios autores. Así, Doebley *et al.* (1985), con base en resultados de análisis isoenzimáticos propusieron la existencia de tres complejos: el Piramidal Mexicano de Altura, el Norteño y uno más que agrupa al resto de razas. Benz (1986)¹, al considerar caracteres morfológicos internos de la mazorca, hizo referencia a dos complejos: el Mexicano de Maíz Piramidal y el Mexicano de Mazorca Estrecha. Sánchez y Goodman (1992), a partir de agrupamientos generados por taxonomía numérica de caracteres morfológicos, identificaron tres subdivisiones y seis grupos, con cierta similitud a los reportados por otros autores. Finalmente, Kato *et al.* (2009) definieron cinco complejos raciales basados en estudios con nudos cromosómicos: Zapalote, Pepitilla, Mesa Central, Altos de Guatemala y Tuxpeño.

La amplia variabilidad del maíz en México también se percibe en las numerosas poblaciones nativas cultivadas en diferentes nichos del país, las cuales, de acuerdo con los resultados condensados por Muñoz (2005), presentan niveles de variación importantes en atributos morfológicos, agronómicos y utilitarios. Por ello, en los últimos años en México se ha comenzado a estudiar la diversidad del maíz dentro de regiones geográficas; ejemplo de ello son los trabajos conducidos en el Valle de Puebla, Puebla (Hortelano *et al.*, 2008), en la Sierra

Tarasca, Michoacán (Mijangos *et al.*, 2007) y en el Istmo de Tehuantepec, Oaxaca (López *et al.*, 2005), que se han enfocado a revisar el parentesco de las poblaciones nativas, a conocer su diversidad y a entender la dinámica de la diversidad genética dentro de un grupo racial o una microrregión.

En el 2008, el Estado de Puebla ocupó el noveno lugar en la producción nacional de maíz (SIAP, 2010), con alrededor de 1 020 000 t producidas en cerca de 547 000 ha, 92 % de ellas de temporal o secano. Al interior del Estado, el Distrito de Desarrollo Rural (DDR) que más contribuye a la producción estatal es el de Libres (DDR 04), el cual para 2008 concentró 21.5 % de la superficie sembrada con maíz, y aportó 41 % de la producción estatal (SIAP, 2010). En esta región, al igual que a nivel estatal, se emplean predominantemente maíces nativos (INEGI, 2002). A pesar de la trascendencia agrícola de esta región, a la fecha no se han conducido estudios para evaluar la diversidad morfológica de los maíces nativos allí cultivados, ni para precisar las razas de maíz presentes en dicha zona. Por ello la presente investigación tuvo como objetivo evaluar el grado de diversidad fenotípica de los maíces nativos colectados en la región del Altiplano Centro-Oriente del Estado de Puebla y estudiar las relaciones fenéticas que presentan éstos con las razas reportadas para los Valles Altos de México.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio fue el DDR 04 Libres, ubicado entre los 18° 38' 44" y 19° 41' 10" LN y los 96° 59' 30" y 98° 01' 34" LO. Su perfil altitudinal va de 2340 a 2980 msnm (INEGI, 2010). Para hacer la recolecta se escogieron diez municipios de la porción oriental de dicho DDR (Cuadro 1), debido a que cubren un transecto Norte-Sur a lo largo del cual hay variación en altitud y en condiciones ambientales. Según el INAFED (2009), en los municipios ubicados al norte (Tepeyahualco, San Nicolás Buenos Aires, Guadalupe Victoria y La Fragua) predominan los suelos regosol y litosol, y tienen tres tipos de climas (semiseco, templado subhúmedo y semifrío) cuya precipitación promedio anual va de 402 a 446 mm y su temperatura promedio es de 14.3 °C, con alta incidencia de sequías y heladas. En los municipios localizados hacia el sur (Tlachichuca, San Salvador el Seco, Chalchicomula de Sesma, San Juan Atenco y Aljojuca) predominan los suelos regosoles y el clima es templado; la precipitación y

¹Benz B F (1986) Taxonomy and evolution of Mexican maize. Ph. D. Dissertation. University of Wisconsin, Madison, Wisconsin. USA. 433 p.

la temperatura promedio anual son de 600 a 700 mm y 14 °C, respectivamente.

Para la recolecta de maíces nativos, las localidades contenidas en la región de estudio se ubicaron sobre un mapa orográfico, y después se eligieron las que permitieran obtener muestras que abarcaran toda el área de trabajo; la lista final se muestra en el Cuadro 1. En cada localidad se procuró obtener un mínimo de cinco muestras que reflejaran los tipos de maíz más comúnmente sembrados en la población. La recolecta se efectuó entre octubre de 2006 y febrero de 2007 y como producto de esta actividad se reunieron 134 accesiones, las

cuales se evaluaron junto con poblaciones representativas de razas reportadas para el Altiplano de México (Welhausen *et al.*, 1951): Mex. 5, de Palomero Toluqueño; Criollo del Mezquital, de Cónico; Zac-58, de Cónico Norteño, y Mex-158, de Chalqueño. También se incluyeron los materiales 7CSM y Col-6583, representativos de las variantes Chalqueño Crema y Chalqueño Palomo, reportadas por Herrera *et al.* (2004) para la raza Chalqueño. Se agregaron cuatro materiales mejorados con potencial de adaptación a la región: 'Sintético Serdán', 'AS-722', 'Gavilán' y 'Promesa'.

Cuadro 1. Localidades de colecta y número de accesiones de maíz nativo por color de grano acopiadas por localidad. Altiplano Centro-Oriente de Puebla.

| Municipio | Datos de las localidades de colecta | | | Color de grano | | | |
|--------------------------|-------------------------------------|---------------|----------------|----------------|-----------|-----------|-----------|
| | Localidad | Latitud Norte | Longitud Oeste | Altitud (m) | Cr. | Az. | Am. |
| Aljojuca | Aljojuca | 19° 05' | 97° 31' | 2480 | 3 | 1 | 0 |
| | San Antonio Jalapasco | 19° 05' | 97° 28' | 2520 | 3 | 1 | 2 |
| Chalchicomula de Sesma | Ciudad Serdán | 18° 59' | 97° 26' | 2530 | 3 | 3 | 0 |
| | Guadalupe Sabinal | 18° 55' | 97° 24' | 2540 | 4 | 0 | 0 |
| | San Miguel Ocotenco | 19° 03' | 97° 27' | 2600 | 4 | 2 | 0 |
| Esperanza | Santa Catarina los Reyes | 18° 52' | 97° 26' | 2410 | 1 | 0 | 0 |
| Guadalupe Victoria | Santa Cruz Quechulac | 19° 22' | 97° 20' | 2360 | 4 | 0 | 2 |
| | San Luis Atexcac | 19° 20' | 97° 27' | 2415 | 3 | 2 | 1 |
| La Fragua | Saltillo | 19° 13' | 97° 20' | 2700 | 6 | 0 | 1 |
| | Cuauhtémoc | 19° 17' | 97° 17' | 2860 | 4 | 1 | 0 |
| San Juan Atenco | San Juan Atenco | 19° 05' | 97° 32' | 2440 | 3 | 0 | 1 |
| | Santa Cruz Coyotepec | 19° 01' | 97° 33' | 2420 | 4 | 2 | 1 |
| San Nicolás Buenos Aires | Miguel Hidalgo | 19° 12' | 97° 31' | 2380 | 4 | 0 | 0 |
| San Salvador El Seco | Paso Puente Santa Ana | 19° 04' | 97° 36' | 2420 | 4 | 1 | 0 |
| Tepeyahualco | San Miguel Itzoteno | 19° 25' | 97° 26' | 2340 | 4 | 1 | 0 |
| | Techachalco | 19° 22' | 97° 26' | 2340 | 4 | 1 | 2 |
| Tlachichuca | Santa Cecilia Tepetitlán | 19° 11' | 97° 26' | 2420 | 4 | 1 | 0 |
| | José María Morelos | 19° 08' | 97° 28' | 2480 | 5 | 2 | 4 |
| | Tlachichuca | 19° 06' | 97° 25' | 2600 | 10 | 3 | 3 |
| | San Francisco Independencia | 19° 04' | 97° 25' | 2660 | 2 | 1 | 1 |
| | Paso Nacional | 19° 08' | 97° 21' | 2760 | 8 | 1 | 1 |
| | San Miguel Zoapan | 19° 05' | 97° 21' | 2980 | 3 | 1 | 1 |
| TOTAL | 22 localidades | | | | 90 | 24 | 20 |

Fuente: elaboración propia a partir de datos de INEGI (2010). Cr = crema; Az = azul; Am = amarillo.

Las 144 poblaciones se sembraron en tres localidades de la región de estudio: Guadalupe Sabinal (18° 55' 19" LN, 97° 24' 07" LO, 2540 msnm), Tlachichuca (19° 06' 51" LN, 97° 25' 08" LO, 2600 msnm) y Guadalupe Victoria (19° 17' 22" LN, 97° 20' 30" LO, 2400 msnm). Las fechas de siembra fueron 26 de marzo, 3 y 17 de abril de 2007, respectivamente. La siembra y manejo del cultivo se hizo conforme a las prácticas convencionales de cada agricultor, excepto para la dosis de fertilización que fue de 110N-50P-00K en Guadalupe Sabinal y Tlachichuca, y de 100N-30P-00K en Guadalupe Victoria; se aplicó la tercera parte del nitrógeno y todo el fósforo a la siembra y el resto del nitrógeno en la segunda labor.

Se utilizó un diseño experimental láctice 12x12 (Martínez, 1989) con dos repeticiones por localidad. La unidad experimental estuvo constituida por dos surcos de 5 m de largo, con separación de 0.85 m. En cada surco se sembraron tres semillas cada 0.50 m, para después de seis semanas ajustar a dos plantas por punto y obtener una densidad de población de 47 mil plantas por hectárea. Como recomendaron López *et al.* (2005), en cada parcela se marcaron cinco plantas con competencia completa en la etapa de 10 hojas liguladas, las cuales se utilizaron para obtener la información de las variables reportadas en el Cuadro 2, con excepción de la floración masculina y femenina, así como la asincronía floral, que se obtuvieron de la unidad experimental completa. Al concluir la antesis se tomaron las cinco espigas de las plantas marcadas para registrar las variables sugeridas por Sánchez *et al.* (1993). A la cosecha se tomaron las mazorcas de las plantas marcadas para recabar la información de mazorca y grano sugerida por Mijangos *et al.* (2007).

Con los datos registrados se hizo un análisis de varianza combinado para las tres localidades (Martínez, 1989). Después, y para precisar las variables a considerar en los análisis multivariados, se aplicó el procedimiento STEPDISC de SAS (SAS Institute, 1999) a las que habían mostrado diferencias estadísticas ($\alpha \leq 0.05$); también se obtuvo la matriz de correlaciones de Pearson para tales variables. El primer procedimiento declaró como poco discriminante a longitud del tramo ramificado de la espiga y a su longitud total. Las correlaciones que resultaron altas ($r \geq |0.7|$) y significativas ($P \leq 0.05$) fueron: días a floración masculina con días a floración femenina (0.87), índice altura de planta/altura de mazorca (APL/AMZ) con

altura de mazorca (0.85), longitud del tramo ramificado de la espiga con número de ramificaciones primarias de la espiga (0.70), longitud total de la espiga con longitud del tramo ramificado (0.75) y con altura de planta (0.76), y longitud del pedúnculo de la espiga con altura de planta (0.76). Se optó entonces por escoger, de cada par, el carácter cuyo análisis proporcionara mayor información. Al considerar los resultados de ambos procedimientos se excluyó de los análisis multivariados a las variables longitud del tramo ramificado de la espiga, longitud total de la espiga, días a floración masculina y al índice APL/AMZ, debido a que resultaron poco relevantes para diferenciar las poblaciones (procedimiento STEPDISC) o a que estuvieron correlacionadas con otras variables (análisis de correlación) consideradas más informativas. En esta etapa, también se procuró mantener las variables sugeridas por Herrera *et al.* (2000), debido a que presentan valores altos de repetibilidad y a que constituyen un conjunto mínimo para definir y clasificar la diversidad entre poblaciones en espacios de poca amplitud geográfica.

El paso anterior generó un conjunto de 17 variables (identificadas en el Cuadro 2), para las cuales se calcularon los promedios por población a través de localidades. Con esta matriz de datos se obtuvo una matriz de distancias euclidianas con la que se generó un dendrograma mediante el método de agrupamiento de mínima varianza dentro de grupos de Ward. Para este análisis se empleó el procedimiento CLUSTER de SAS (SAS Institute, 1999). La revisión del dendrograma condujo a la identificación de grupos. A fin de definir las variables con mayor poder explicativo, se recurrió a un análisis de componentes principales, empleando el procedimiento PRINCOMP de SAS (SAS Institute, 1999). Con los resultados de este análisis se elaboró una gráfica en la que se ubicó a cada población en un plano tridimensional según los valores de sus tres primeros componentes principales; donde también se muestran los grupos precisados en el análisis de conglomerados. Al usar exclusivamente los datos de cada grupo se condujo un análisis de varianza; las medias de grupos de poblaciones se compararon con la prueba de Tukey (0.05). Para tener un referente, también se calcularon las medias aritméticas por variable para cada testigo racial.

Cuadro 2. Variables registradas por unidad experimental.

| Tipo de variable | Variable | Abreviatura ^{§§} | Unidad de medida | Tamaño de muestra |
|------------------|-----------------------------------------|---------------------------|------------------|-------------------------|
| Vegetativas | Días a floración masculina [†] | DFM | días | Unidad experimental |
| | Días a floración femenina ^{††} | DFF | días | Unidad experimental |
| | Asincronía floral [‡] | ASF | días | Unidad experimental |
| | Altura de planta | APL | cm | Cinco plantas |
| | Altura de mazorca | AMZ | cm | Cinco plantas |
| | Índice APL/AMZ | APL/AMZ | adimensional | Cinco plantas |
| Espiga | Hojas arriba de la mazorca | HMZ | número | Cinco plantas |
| | Ramificaciones primarias | RPE | número | Cinco espigas |
| | Longitud del pedúnculo | LPE | cm | Cinco espigas |
| | Long. del tramo ramificado | LTR | cm | Cinco espigas |
| | Longitud de la rama central | LRC | cm | Cinco espigas |
| | Longitud total de la espiga | LTE | cm | Cinco espigas |
| Mazorca | Longitud de mazorca | LMZ | cm | Cinco mazorcas |
| | Diámetro de mazorca | DMZ | cm | Cinco mazorcas |
| | Índice LMZ/DMZ | LMZ/DMZ | adimensional | Cinco mazorcas |
| | Número de hileras | NHIL | número | Cinco mazorcas |
| | Número de granos por hilera | GHIL | número | Cinco mazorcas |
| Grano | Grosor de grano | GGR | mm | 50 granos ^{‡‡} |
| | Longitud de grano | LGR | mm | 50 granos |
| | Ancho de grano | AGR | mm | 50 granos |
| | Índice LGR/AGR | LGR/AGR | adimensional | 50 granos |
| | Volumen de grano [§] | VGR | mm ³ | 50 granos |

[†] Días transcurridos desde la siembra hasta que 50 % de las plantas presentó anteras dehiscentes; ^{††}Días transcurridos desde la siembra hasta que 50 % de las plantas presentó estigmas expuestos. [‡]Diferencia DFF-DFM; ^{‡‡}Para diez granos de cada mazorca evaluada; [§] VGR = GGR x LGR x AGR; ^{§§} En negritas, variables consideradas en los análisis multivariados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de varianza combinado

Aun cuando las poblaciones de maíz estudiadas provinieron de localidades relativamente cercanas, la fuente de variación “Poblaciones” presentó diferencias significativas ($P \leq 0.01$) para todas las variables, excepto

para longitud del pedúnculo de la espiga (Cuadro 3). Ello denota la existencia de variabilidad genética (expresada como diversidad fenotípica) entre poblaciones nativas, testigos y sus efectos confundidos, y en el caso de las primeras constituye un indicio de que se trata de variantes genotípicas, que según Muñoz (2005) y Gil *et al.* (2004) han sido cultivadas y seleccionadas por los agricultores en respuesta a la variación ambiental y a los usos del cultivo.

Para la fuente de variación “Localidades” se presentaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en todas las variables (Cuadro 3), lo que indica que las localidades también influyeron en la variación encontrada. Tal efecto puede atribuirse al ambiente prevaleciente en cada localidad: en Guadalupe Victoria el clima se ubica en el grupo de los secos, con precipitaciones promedio anuales de 466 mm y presencia de sequías y heladas, condiciones que aunadas a los suelos arenosos que ahí prevalecen resultan en un ambiente restrictivo para la agricultura. En contraste, en Guadalupe Sabinal y Tlachichuca el ambiente físico es más propicio para la producción de maíz, pues sus climas son templados, la precipitación promedio anual es próxima a los 600 mm, y hay suelos andosoles y fluvisoles (INAFED, 2009). La interacción “Localidades x Poblaciones” resultó no significativa en 17 de las 22 variables evaluadas (Cuadro 3) lo cual es conveniente según Sánchez *et al.* (1993), quienes sugieren que en estudios de caracterización, siempre que sea posible, se trabaje con aquellos caracteres menos sujetos a efectos ambientales. Once de las 17 variables también fueron reportadas como no significativas para tal interacción por Hortelano *et al.* (2008), Mijangos *et al.* (2007) y López *et al.* (2005).

Análisis de conglomerados y caracterización de grupos

El dendrograma empleado para identificar patrones de agrupamiento así como el grado de asociación entre las poblaciones nativas colectadas y los testigos raciales (Figura 1), muestra que con un valor de 0.25 para la R^2 (correlación múltiple al cuadrado) se generan dos grandes grupos de poblaciones nativas; sin embargo, al interior de ambos, es factible identificar conjuntos que dan información más detallada sobre el nivel de variación fenotípica presente. Por ello, se optó por tomar como distancia de corte una R^2 de 0.50, con lo cual se definieron cinco grupos de poblaciones nativas. El Grupo I quedó integrado por 47 poblaciones, 87 % de ellas de grano cremoso. El Grupo II lo conformaron 19 accesiones de maíz nativo (84 % de grano cremoso) y dos testigos raciales (Chalqueño y Chalco Crema). El Grupo III incluyó a 34 materiales, en tanto que al Grupo IV lo

constituyeron 29; la frecuencia de poblaciones pigmentadas en ambos fue alta: 50 y 64 %, respectivamente. Finalmente, el Grupo V concentró solamente a seis poblaciones nativas, todas de grano cremoso. Los testigos Cónico, Chalco Palomo, Cónico Norteño y Palomero Toluqueño se ubicaron en el extremo derecho del dendrograma.

Según las variables que contribuyeron a explicar en mayor medida la variación observada (Cuadro 4), el Grupo II se caracterizó por tener las plantas con los valores más altos para altura de planta y de mazorca, longitud de mazorca y granos por hilera, así como para otros componentes de rendimiento; esto sugiere que se trata de materiales más vigorosos y productivos, hecho atribuible a que prácticamente 90 % de ellos se colectaron en la zona de mayor potencial ambiental en el DDR 04. Los materiales de este conjunto fueron los que tuvieron mayor semejanza con Chalqueño y Chalco Crema (Figura 1), aunque al parecer en ellos se ha efectuado selección hacia plantas de menor porte y mayor precocidad. El Grupo I, aun cuando también concentró un alto porcentaje de poblaciones de grano blanco (muy parecido al del Grupo II), se distinguió por sus plantas de menor porte, mazorcas significativamente más cortas y con menos granos por hilera que las del Grupo II; no obstante, mantuvieron el mismo diámetro, número de hileras, longitud y ancho de grano. El Grupo I no contuvo a testigo racial alguno.

Los Grupos III y IV tuvieron plantas menos vigorosas que las de los Grupos anteriores, lo cual puede atribuirse en parte a que incluyeron una mayor proporción de poblaciones de grano pigmentado (50 % en el Grupo III y 64 % en el IV), las cuales cuando se comparan con las de grano blanco usualmente resultan ser de menores dimensiones (Hortelano *et al.*, 2008). Las características distintivas de los Grupos III y IV fueron que el primero presentó el valor más bajo de longitud de mazorca entre todas las poblaciones nativas, en tanto que el segundo lo tuvo en la longitud de grano (Cuadro 4).

Cuadro 3. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado de 22 caracteres evaluados en 134 poblaciones nativas de maíz y 10 testigos. Altiplano Centro-Oriente de Puebla.

| Variables | Cuadrados medios [†] | | | | Media | CV (%) |
|-----------|-------------------------------|-------------------|-----------|---------|-------|--------|
| | Poblaciones (Pob) | Localidades (Loc) | Pob x Loc | Error | | |
| DFM | 178.2** | 4922.0** | 28.3ns | 26.5 | 113.7 | 4.5 |
| DFP | 198.2** | 15128.9** | 32.0ns | 28.9 | 124.9 | 4.3 |
| ASF | 19.8** | 3043.3** | 12.4ns | 12.6 | 11.2 | 31.5 |
| APL | 852.4** | 180770.7** | 146.2** | 109.5 | 165.7 | 7.3 |
| AMZ | 507.0** | 21423.8** | 81.1ns | 76.1 | 92.6 | 10.4 |
| APL/AMZ | 0.08** | 7.1** | 0.02** | 0.0 | 1.8 | 7.0 |
| HMZ | 0.32** | 8.5** | 0.1ns | 0.1 | 4.5 | 6.8 |
| RPE | 8.24** | 15.9* | 4.5ns | 4.6 | 7.2 | 29.6 |
| LPE | 5.90* | 4910.8** | 5.7* | 4.6 | 23.0 | 10.1 |
| LTR | 2.45** | 33.6** | 1.4ns | 1.6 | 6.2 | 21.1 |
| LRC | 28.0** | 547.4** | 11.7* | 9.1 | 33.3 | 9.0 |
| LTE | 43.0** | 8237.0** | 21.1** | 15.3 | 62.4 | 6.6 |
| LMZ | 3.7** | 239.1** | 1.6ns | 1.5 | 12.0 | 10.7 |
| DMZ | 39.1** | 2193.7** | 6.2ns | 5.4 | 46.6 | 5.2 |
| LMZ/DMZ | 0.0** | 0.01** | 0.0ns | 0.0 | 0.3 | 10.1 |
| NHIL | 6.7** | 24.0** | 1.2ns | 1.1 | 13.7 | 7.4 |
| GHIL | 19.2** | 1206.2** | 7.6ns | 8.2 | 21.7 | 13.7 |
| GGR | 36.3** | 883.9** | 12.4ns | 14.1 | 45.4 | 8.3 |
| LGR | 420.6** | 3417.7** | 80.2ns | 72.7 | 149.5 | 5.8 |
| AGR | 184.0** | 632.9** | 19.2ns | 23.2 | 82.9 | 5.8 |
| LGR/AGR | 0.1** | 0.5** | 0.0ns | 0.0 | 1.8 | 7.0 |
| VGR | 27238.4 | 26864.4 | 4529.2 | 5115.23 | 566.0 | 12.7 |

[†]Grados de libertad respectivos: Poblaciones = 143, Localidades = 2, Localidades x Poblaciones = 286, Error = 363; Repeticiones/Localidades = 3; Bloques ignorando

El Grupo V se caracterizó por tener los valores más bajos en las variables días a floración femenina, altura de planta y mazorca, diámetro de mazorca y número de granos por hilera entre las poblaciones nativas; sin embargo, presentó el valor más alto en la variable ancho de grano (Cuadro 4). Dos rasgos adicionales e importantes de este grupo son que se formó exclusivamente por materiales de grano blanco cremoso, que provinieron de localidades y municipios próximos: cuatro se obtuvieron en el municipio de Tlachichuca (una en Tlachichuca, otra en San Miguel Zoapan y dos en Paso Nacional) y las otras dos en el municipio de San Nicolás Buenos Aires (comunidad de Miguel Hidalgo). Estas localidades se ubican en un radio no mayor de 23 km en las faldas del volcán Pico de Orizaba, a altitudes entre 2380 y 2600 m. Los pobladores de las comunidades de Tlachichuca señalan que allí las heladas son un problema importante para el maíz, mientras que en Miguel Hidalgo lo son las

sequías. Una forma de hacer frente a estos problemas es a través de la siembra de variedades precoces (Barrales *et al.*, 2002; Cattivelli *et al.*, 2008), a las que se puede recurrir cuando la estación de crecimiento es limitada o cuando se retrasa la fecha de siembra. Los datos del Cuadro 4 indican que las poblaciones del Grupo V cubren tales características, por lo que se trata de materiales que han sido seleccionados más intensamente por el agricultor (hacia precocidad) para enfrentar este tipo de condiciones.

Los resultados expuestos evidencian que los agricultores han estado practicando selección hacia cuando menos tres tipos de planta: las más productivas, aptas para localidades de alto potencial ambiental (Grupos I y II), las de mayor precocidad (y por tanto, de menor crecimiento) para ambientes con restricciones a la producción (Grupo V), y las de características intermedias (Grupos III y IV), adecuadas para las condiciones

intermedias de producción. Estos resultados concuerdan con los expuestos por Romero y Muñoz (1996) y Gil *et al.* (1995), en el sentido de que los productores que cultivan maíces nativos en las microrregiones de México han desarrollado auténticos sistemas de variedades para enfrentar los diferentes potenciales ambientales donde desarrollan sus actividades productivas.

Relaciones fenéticas

De acuerdo con Doebley *et al.* (1985), en los Valles Altos de México se ubica el complejo “Piramidal Mexicano de Altura”, que incluye a las razas Arrocillo Amarillo, Cacahuacintle, Cónico, Palomero Toluqueño y Chalqueño, las cuales tienen en común el poseer vainas foliares rojizas pubescentes, espigas ramificadas poco

densas y mazorcas de forma cónica. Benz (1997) agrupa a esas razas en lo que denomina la alianza “Altiplanos centrales” (parte del Complejo Mexicano de Maíz Piramidal, en su clasificación). Estas cinco razas (con excepción de Cacahuacintle), forman parte del “Grupo Cónico” reportado por Sánchez y Goodman (1992), quienes consideran que las razas del grupo comparten las mazorcas de forma cónica, con alto número de hileras (14 a 20), granos de 4 a 8 mm de ancho, de textura variable (de harinoso a reventador), pocas ramas de la espiga, un sistema radical débil, hojas caídas y vainas foliares muy pubescentes con presencia de antocianinas. Según Kato *et al.* (2009), dentro del Complejo “Mesa Central” se encuentran las razas Cónico, Palomero Toluqueño, Arrocillo Amarillo y Chalqueño.

Cuadro 4. Promedios a nivel de grupo y testigo racial para las variables con mayor asociación (vector propio ≥ 0.3) a los tres primeros componentes principales.

| Grupo | DFE [†] (días) | APL (cm) | AMZ (cm) | LRC (cm) | LMZ (cm) | DMZ (mm) | NHIL (núm) | GHIL (núm) | LGR (mm) | AGR (mm) |
|-----------------------------------------|----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|---------------|-------------|-------------|
| Poblaciones nativas^{††} | | | | | | | | | | |
| I | 127.7a | 170.8b | 95.9ab | 34.1ab | 11.6c | 48.2a | 14.1a | 21.0c | 15.53a | 8.26b |
| II | 129.1a | 177.8a | 99.8a | 35.3a | 13.0a | 48.9a | 14.0a | 23.1a | 15.43a | 8.33b |
| III | 122.7b | 161.4cd | 91.6bc | 32.2c | 11.5c | 46.0b | 13.6ab | 20.4c | 14.85b | 8.35b |
| IV | 122.7b | 163.6c | 91.7bc | 32.9bc | 12.4b | 45.1b | 13.3b | 22.5ab | 14.56b | 8.22b |
| V | 120.5b | 156.8d | 87.6c | 32.2c | 12.2b | 43.5c | 10.2c | 21.6bc | 14.84b | 10.05a |
| Tukey (0.05) | 4.3 | 6.7 | 5.4 | 1.5 | 0.5 | 1.5 | 0.6 | 1.2 | 4.86 | 3.86 |
| Testigos raciales[‡] | | | | | | | | | | |
| Cónico | 121.7 | 145.0 | 75.8 | 33.5 | 11.2 | 39.2 | 15.4 | 23.2 | 11.97 | 6.64 |
| Cónico N. | 97.5 | 94.1 | 38.0 | 23.3 | 9.5 | 35.1 | 12.3 | 17.7 | 11.06 | 7.37 |
| Chalqueño | 130.5 | 169.8 | 95.1 | 38.6 | 12.8 | 45.4 | 16.2 | 27.3 | 13.59 | 7.32 |
| Chalco Crema | 130.8 | 196.1 | 111.9 | 38.3 | 13.9 | 47.2 | 15.2 | 26.2 | 15.41 | 7.70 |
| Chalco P. | 131.5 | 123.5 | 54.0 | 29.4 | 10.4 | 41.2 | 15.2 | 20.6 | 12.56 | 6.79 |
| Palomero T. | 103.0 | 122.4 | 59.4 | 27.3 | 10.8 | 32.7 | 17.3 | 30.1 | 11.24 | 4.95 |

[†] DFE = días a floración femenina; APL = altura de planta; AMZ = altura de mazorca; LRC = longitud de la rama central de la espiga; LMZ = longitud de mazorca; DMZ = diámetro de mazorca; NHIL = número de hileras de la mazorca; GHIL = número de granos por hilera; LGR = longitud de grano; AGR = ancho de grano; ^{††} Medias con la misma letra en una columna no son significativamente diferentes (Tukey, 0.05); [‡] N= Norteño; P= Palomo; T= Toluqueño.

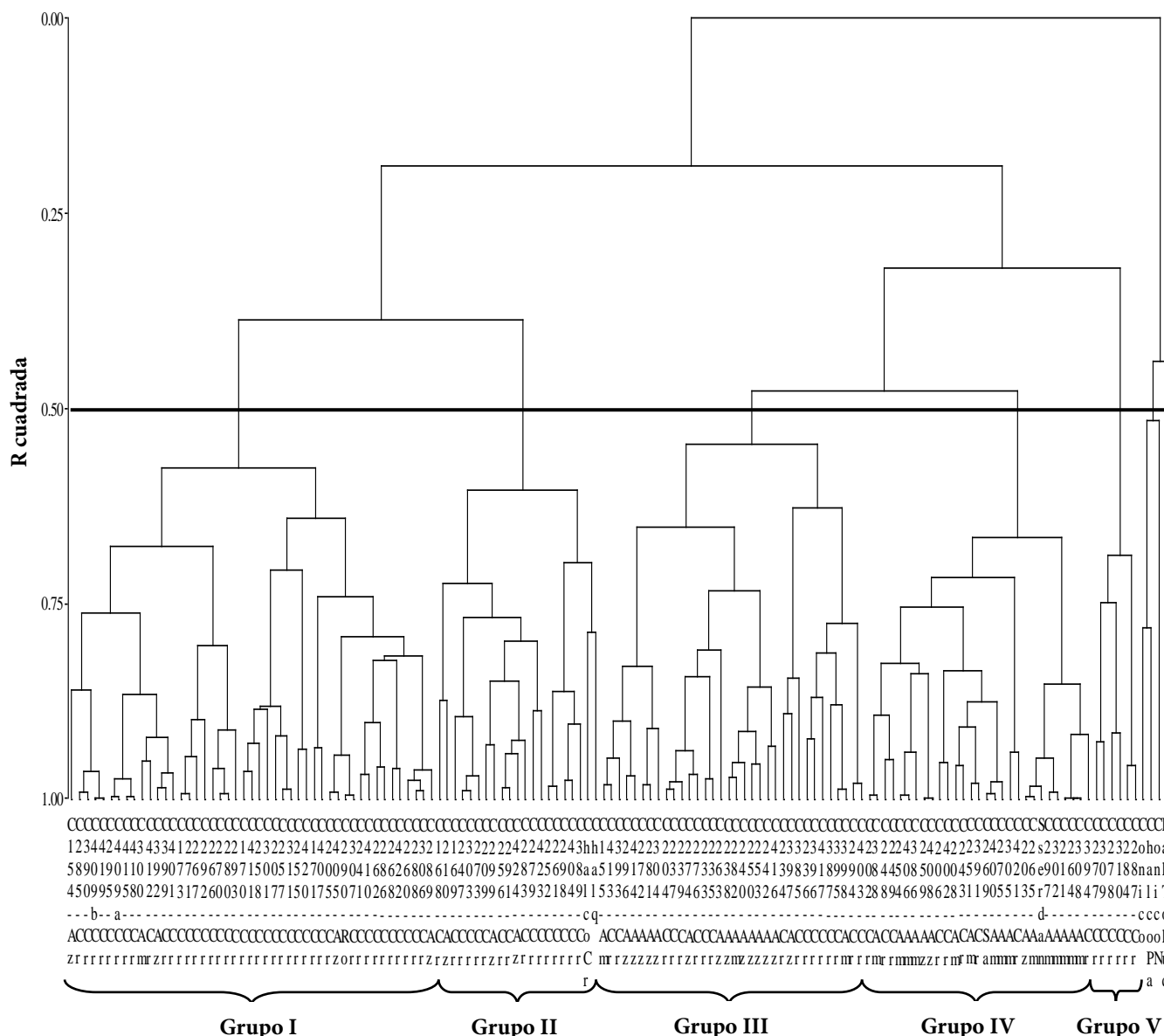


Figura 1. Dendrograma de 134 poblaciones nativas de maíz y seis poblaciones representativas de diferentes razas reportadas para el Altiplano Centro-Oriente de Puebla, México. La línea horizontal en negritas marca la altura de corte. Am = Amarillo; Az = Azul; Cr = Crema; Ro = Rojo.

Los conjuntos de poblaciones nativas aquí precisados (Figura 1, Cuadro 4), comparados con las características generales del “Grupo Cónico” definido por Sánchez y Goodman (1992), tuvieron un número de hileras próximo al límite inferior del grupo mencionado, con granos igual o más anchos y un número promedio de ramas primarias de la espiga de 7.3 (ramas para los Grupos I a V: 7.3, 6.9, 7.5, 7.5 y 7.5, respectivamente), que efectivamente es bajo, comparado con las demás razas reportadas por Wellhausen *et al.* (1951). En este sentido, puede afirmarse

que, en lo general, los maíces nativos del Altiplano Centro-Oriente de Puebla pertenecen al “Grupo Cónico”.

Un análisis más detallado de la Figura 1 evidencia tres aspectos: a) Que el Grupo II fue el que tuvo mayor similitud con los testigos Chalqueño y su variante Chalco Crema; b) Que hubo grupos (I y III al V) en los cuales no quedó incluido alguno de los testigos raciales empleados; c) Que las accesiones representativas de las razas Cónico, Chalco Palomo, Cónico Norteño y Palomero Toluqueño

se mantuvieron independientes de los grupos mencionados. Estos resultados sugieren que una fracción de las poblaciones de maíz que se cultivan actualmente en el Centro-Oriente del Altiplano Poblano sigue manteniendo las características más distintivas de Chalqueño (y Chalco Crema), pero que otra parte podría estar diferenciando (en una proporción variable) de ésta y otras razas o tipos.

En este sentido, Romero *et al.* (2002) señalaron que en la raza Chalqueño es posible identificar grupos genéticos regionales, con variación en atributos como rendimiento de grano, floración femenina y altura de planta; este planteamiento fue reforzado por Herrera *et al.* (2004) quienes reportaron que la raza aludida presenta diferentes grados de variación, y que en una región determinada es factible encontrar grupos de poblaciones con características intermedias entre razas. En un trabajo conducido en el Valle de Puebla (ubicado a 100 km del área de estudio), Hortelano *et al.* (2008) encontraron resultados parecidos a los de la presente investigación: cierta afinidad de los materiales de grano blanco con la raza Chalqueño, en su variante Chalco Crema, no así con las accesiones 'tipo' de otras razas incluidas en dicho estudio, como Cónico y Cónico Norteño. La diferenciación morfológica aquí observada es atribuible al curso evolutivo normal de las poblaciones nativas y a la selección que practican los productores, la cual se enfatiza hacia variables asociadas con el color de grano, ciclo biológico y rendimiento (Gil *et al.*, 2004; Muñoz, 2005).

Aun cuando en conjunto los maíces nativos de la región presentaron características propias del "Grupo Cónico" definido por Sánchez y Goodman (1992), particularmente con la raza Chalqueño y su variante Chalco Crema, no se encontró asociación con otras razas que integran el grupo mencionado (como Palomero Toluqueño, Cónico Norteño y Cónico). En el caso de Palomero Toluqueño, ello pudo deberse a que aun cuando se distribuye en algunos lugares de la Mesa Central a altitudes que varían entre los 2200 y los 2800 m, su presencia ya es poco frecuente por factores tales como pérdida de pureza genética y reemplazo por otras razas más productivas (Wellhausen *et al.*, 1951). En cuanto al Cónico Norteño, su separación puede explicarse por el hecho de que es una raza más propia de ambientes transicionales (Durán *et al.*, 2007), por lo que se desarrolla en estratos altitudinales menores a los de la región de

estudio. En lo que respecta a Cónico, el que se haya mantenido aparte puede atribuirse a que es una raza que según Wellhausen *et al.* (1951), por su precocidad, se emplea en terrenos sin suficientes reservas de humedad, en siembras de temporal estricto (principios de junio). Las muestras acopiadas, según información de los agricultores que las cultivan, se siembran preponderantemente entre fines de marzo y durante abril, en terrenos que guardan humedad. Esto mismo explicaría el agrupamiento de un conjunto importante de poblaciones en torno a Chalqueño (y su variante Chalco Crema), que es la raza empleada predominantemente en la Mesa Central para estas condiciones (Wellhausen *et al.*, 1951). En el presente estudio no hubo materiales que mostraran afinidad con la variante Chalco Palomo (Herrera *et al.*, 2004), debido posiblemente a que es un tipo muy específico del oriente del Estado de México.

Análisis de componentes principales

Los tres primeros componentes principales (CP) explicaron 70.7 % de la variación total. El primer componente presentó una mayor asociación con altura de planta (vector propio de 0.368), altura de mazorca (0.355), diámetro de mazorca (0.372) y días a 50 % de floración femenina (0.306); es decir, con porte de planta, precocidad y grosor de mazorca. El segundo componente estuvo asociado con número de hileras en la mazorca (0.417), ancho de grano (-0.395) e índice LGR/AGR (0.435). El tercer componente se asoció mayormente con longitud de mazorca (0.527), número de granos por hilera (0.453) e índice LMZ/DMZ (0.558); en estos dos últimos componentes predominaron caracteres de mazorca y grano.

En la Figura 2 se observa que las poblaciones ubicadas en el lado positivo del CP1 tendieron a ser más tardías, a presentar mayor altura de planta y mazorca y un mayor diámetro de esta (Cuadro 4). Para el CP2, las poblaciones con mayor número de hileras e índice LGR/AGR más alto se ubicaron en el lado positivo de tal componente; las de granos más anchos estuvieron en el lado negativo del eje. En el CP3, en el lado positivo se encontraron las poblaciones con mayor longitud de mazorca, número de granos por hilera y mayor índice LMZ/DMZ. Se infiere, por tanto, que las variables que explican en mayor medida la diversidad presente en las poblaciones nativas de maíz son las que se asocian con componentes del rendimiento.

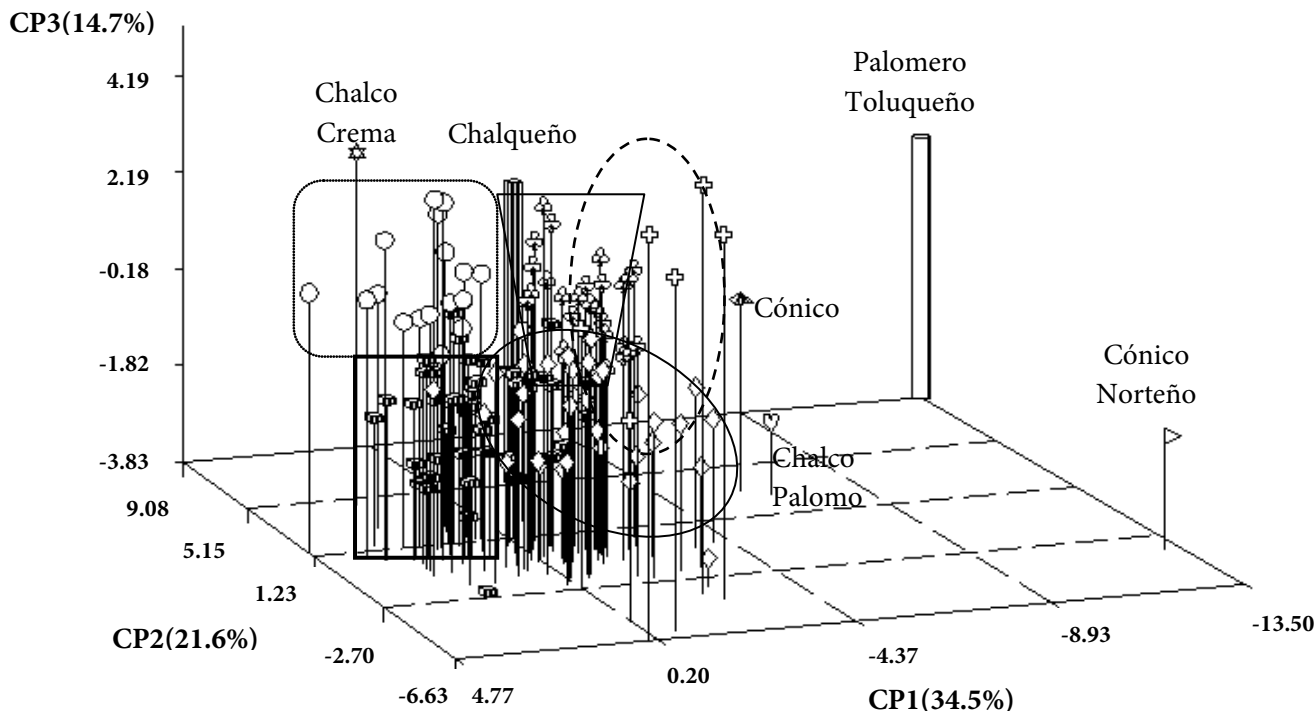


Figura 2. Dispersión de 134 poblaciones nativas de maíz y seis poblaciones típicas de diferentes razas en el plano determinado por los tres primeros componentes principales (CP). Se muestran los grupos identificados en el análisis de conglomerados. Figuras delimitadoras de Grupo: I (rectángulo); II (rectángulo redondeado); III (elipse); IV (trapecio); V (elipse punteada). Símbolos que identifican a las poblaciones pertenecientes a cada Grupo: I (prisma rectangular); II (círculo); III (rombo); IV (trébol); V (cruz).

Al sobreponer en la figura de dispersión de las poblaciones (Figura 2) a los grupos identificados en el dendrograma (Figura 1), se observó que los materiales nativos mantuvieron el patrón de agrupamiento precisado a través del análisis de conglomerados. También fue evidente la poca asociación de testigos raciales como Cónico, Cónico Norteño y Palomero Toluqueño (Figura 2), que si bien pertenecen al mismo complejo racial que Chalqueño, en este caso no se integraron a algún conjunto de poblaciones nativas; una situación similar ocurrió para la variante Chalco Palomo. De todos los testigos raciales, Chalqueño y Chalco Crema fueron los más próximos a los grupos formados, particularmente al grupo II (Figura 2). Es de resaltar lo peculiar del Grupo V, el cual se encontró relativamente alejado de los demás conjuntos que formaron las poblaciones nativas, y se mantuvo diametralmente opuesto a todos los testigos raciales, lo que confirma que se trata de un conjunto con rasgos

distintivos (Cuadro 4), comparado con el resto de materiales estudiados.

La disposición de los grupos (Figura 2) delinea la presencia de un continuo fenotípico en características tales como días a 50 % de floración femenina, altura de planta y de mazorca, longitud de la rama central de la espiga, diámetro de mazorca, número de hileras y longitud de grano, que se manifiesta en una progresión gradual en el nivel de expresión de tales atributos a nivel de grupos (Cuadro 4), desde el más precoz con plantas más pequeñas (Grupo V) hasta los más tardíos con plantas de mayor porte (Grupos I y II), pasando por los de expresión intermedia (Grupos III y IV). Este patrón de distribución puede atribuirse a los factores reportados por Pressoir y Berthaud (2004) para explicar la diversificación fenotípica de los maíces nativos de los Valles Centrales de Oaxaca, México: la presencia de flujo génico dentro y entre

localidades, las decisiones de los agricultores en cuanto a las prácticas de manejo (guardado de semilla año tras año, poco uso de materiales mejorados, intercambio y mezcla de semilla, mantenimiento de numerosas poblaciones en un área pequeña, etc.) y las estrategias de selección. La existencia de una variación continua en la diversidad de maíz ha sido reportada por Ortega (2003), quien señaló que es más evidente en caracteres cuantitativos, como dimensión de la mazorca y del grano; por Herrera *et al.* (2004), que concluyeron que la raza Chalqueño puede encontrarse como un complejo de variantes en formas intermedias con otras razas, y por Hortelano *et al.* (2008) para los maíces nativos del Valle de Puebla.

CONCLUSIONES

Se detectó una amplia diversidad fenotípica entre las poblaciones nativas de maíz cultivadas en el Altiplano Centro-Oriente del Estado de Puebla. Tal variación se manifestó como un continuo en el nivel de expresión de las diferentes características medidas, atribuible principalmente a las prácticas de selección empleadas por los agricultores.

La selección que los agricultores están ejerciendo se ha orientado a desarrollar poblaciones nativas de maíz aptas para producir en las diferentes condiciones ambientales prevalentes en la región. Algunas de las características sujetas a selección son precocidad, porte de planta y componentes del rendimiento de grano.

Las poblaciones nativas de maíz del Altiplano Centro-Oriente del Estado de Puebla presentaron cierta asociación solamente con los testigos raciales Chalqueño y Chalco Crema. Tal relación fue más evidente en una fracción de las poblaciones de grano cremoso, pero no en las pigmentadas que se apartaron de dichos materiales. Ello sugiere que una proporción de las poblaciones nativas puede estar diferenciando morfológicamente de estos testigos raciales por efectos de la selección.

BIBLIOGRAFÍA

- Barrales D J S, M Livera M, V A González H, C Peña V, J Kohashi-Shibata, F Castillo G (2002)** Relaciones térmicas en el sistema suelo-planta-atmósfera durante la influencia del fenómeno de enfriamiento o helada. *Rev. Fitotec. Mex.* 25:289-297.
- Benz B F (1997)** Diversidad y distribución prehispánica del maíz mexicano. *Arqueol. Mex.* 5:16-23.
- Cattivelli L, F Rizza, F W Badeck, E Mazzucotelli, A M Mastrangelo, E Francia, C Marè, A Tondelli, A M Stanca (2008)** Drought tolerance improvement in crop plants: an integrated view from breeding to genomics. *Field Crops Res.* 105:1-14.
- Cervantes S T, M M Goodman, E Casas D (1978)** Efectos genéticos y de interacción genotipo-ambiente en la clasificación de las razas mexicanas de maíz. *Agrociencia* 30:25-30.
- Doebley J F, M M Goodman, C W Stuber (1985)** Isozyme variation in the races of maize from Mexico. *Am. J. Bot.* 72:629-639.
- Durán P N, J A Ruiz C, J de J Sánchez G, J Ron P, D R González E (2007)** Adaptación climática y distribución geográfica potencial del grupo racial Cónico de maíz (*Zea mays* L.) en la República Mexicana. *Scientia-CUCBA* 9:57-67
- Gil M A, A Muñoz O, A Carballo C, A Trinidad S (1995)** El patrón varietal de maíz en la región sureste de la Sierra Purépecha. I. Variables importantes empleadas en su definición. *Rev. Fitotec. Mex.* 18:163-173.
- Gil M A, P A López, A Muñoz O, H López S (2004)** Variedades criollas de maíz (*Zea mays* L.) en el estado de Puebla, México: diversidad y utilización. *In:* J L Chávez-Servia, J Tuxill, D I Jarvis (eds). Manejo de la Diversidad de los Cultivos en los Agrosistemas Tradicionales. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos. Cali, Colombia. pp:18-25.
- Herrera C B E, F Castillo G, J J Sánchez G, R Ortega P, M M Goodman (2000)** Caracteres morfológicos para valorar la diversidad entre poblaciones de maíz en una región: caso la raza Chalqueño. *Rev. Fitotec. Mex.* 23:335-353.
- Herrera C B E, F Castillo G, J J Sánchez G, J M Hernández C, R Ortega P, M M Goodman (2004)** Diversidad del maíz Chalqueño. *Agrociencia* 38:191-206.
- Hortelano S R, A Gil M, A Santacruz V, S Miranda C, L Córdova T (2008)** Diversidad morfológica de maíces nativos del Valle de Puebla. *Agric. Téc. Méx.* 34:189-200.
- INAFED, Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (2009)** Enciclopedia de los Municipios de México. Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, Gobierno del Estado de Puebla. Disponible en: http://www.e-local.gob.mx/wb2/ELOCAL/EMM_Puebla (Noviembre 2011).
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2002)** Anuario Estadístico del Estado de Puebla. Tomo II. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Aguascalientes, Ags. México. 508 p.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2010)** Registro de Nombres Geográficos. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México. Disponible en: <http://mapserver.inegi.org.mx/rnng/index.cfm?s=geo&c=1312> (Noviembre 2011).
- Kato Y T A, C Mapes S, L M Mera O, J A Serratos H, R A Bye B (2009)** Origen y Diversificación del Maíz, una Revisión Analítica. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D. F. 116 p.
- López R G, A Santacruz V, A Muñoz O, F Castillo G, L Córdova T, H Vaquera H (2005)** Caracterización morfológica de poblaciones nativas de maíz del Istmo de Tehuantepec, México. *Interciencia* 30:284-290.

- Martínez G A (1989)** Manual de Diseño y Análisis de los Látices. Centro de Estadística y Cálculo. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, México. 71 p.
- Mijangos C J O, T Corona T, D Espinosa V, A Muñoz O, J Romero P, A Santacruz V (2007)** Differentiation among maize (*Zea mays* L.) landraces from the Tarasca Mountain Chain, Michoacan, Mexico and the *Chalqueño* complex. *Genet. Res. Crop Evol.* 54:309-325.
- Muñoz O A (2005)** Centli Maíz. 2ª ed. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 211 p.
- Ortega P R (2003)** La diversidad del maíz en México. *In: Sin Maíz no Hay País.* G Esteva, C Marielle (coords). Consejo Nacional para la Cultura y las Artes. México, D. F. pp:123-154.
- Pressoir G, J Berthaud (2004)** Population structure and strong divergent selection shape phenotypic diversification in maize landraces. *Heredity* 92:95-101.
- Romero P J, A Muñoz O (1996)** Patrón varietal y selección de variedades de maíz para los sistemas agrícolas en la región de Tierra Caliente. *Agrociencia* 30:63-73.
- Romero P J, F Castillo G, R Ortega P (2002)** Cruzas de poblaciones nativas de maíz de la raza chalqueño: II. Grupos genéticos, divergencia genética y heterosis. *Rev. Fitotec. Mex.* 25: 107-116.
- Sánchez G J J, M M Goodman. 1992.** Relationships among the mexican races of maize. *Econ. Bot.* 46:72-85.
- Sánchez G J J, M M Goodman, J O Rawlings (1993)** Appropriate characters for racial classification in maize. *Econ. Bot.* 47:44-59.
- Sánchez G J J, M M Goodman, C W Stuber (2000)** Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. *Econ. Bot.* 54:43-59.
- SAS Institute (1999)** SAS Procedures Guide. Ver. 8. SAS Institute Inc. Cary, NC, U.S.A. 1643 p.
- SIAP, Servicio de Información Estadística Agroalimentaria y Pesquera (2010)** Servicio de Información Estadística Agroalimentaria y Pesquera. SAGARPA, México. Disponible en: <http://www.siap.gob.mx> (Noviembre 2011).
- Wellhausen E J, L M Roberts, E Hernández X, P C Mangelsdorf (1951)** Razas de Maíz en México: Su Origen, Características y Distribución. Folleto Técnico No. 5. Oficina de Estudios Especiales. S. A. G. México, D.F. 239 p.