

Variabilidad en poblaciones de maíz nativo de la Mixteca Baja Oaxaqueña, México

Variability in populations of native maize from Low Mixtec-Oaxaca, Mexico

Prisciliano Diego-Flores ¹
José Cruz Carrillo-Rodríguez ¹

José Luis Chávez-Servia ²
Fernando Castillo-González ³

Originales: Recepción: 03/08/2011 - Aceptación: 05/05/2012

RESUMEN

La diversidad genética poblacional de maíz en México es muy dinámica y depende de factores biológicos, agroecológicos y socio-económicos, y necesidades familiares. En este trabajo se describió y clasificó la variabilidad morfológica de una colección de 60 muestras poblacionales de maíz, colectadas en 44 municipios de la Mixteca Baja Oaxaqueña (846 msnm a 1842 msnm). Las muestras se sembraron y cultivaron durante el ciclo primavera-verano de 2010, en Santo Domingo Tonala, Oaxaca, bajo un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Se evaluaron 19 caracteres morfológicos de planta, mazorca, grano y espiga (panoja), y se determinaron diferencias significativas entre poblacionales en estos caracteres. Los caracteres altura de planta y mazorca, días a floración masculina y femenina, y número de granos por hilera en la mazorca fueron determinantes para describir la variabilidad morfológica total. La variación morfológica y fenológica de las poblaciones de maíz se asocia con los patrones altitudinales y geográficos de donde proceden. Se determinaron seis grupos fenotípicos significativamente diferentes con características de mazorca, grano y planta semejantes a las descritas para las razas Celaya, Bolita, Pepitilla, Ancho, y ciertos complejos raciales entre Ancho, Mixteco, Celaya y Bolita.

ABSTRACT

Genetic diversity of the maize populations in Mexico is very dynamic and depends on biological, agroecological, and socio-economic factors and familiar needs. In this study, the morphological variability of a collection of 60 population samples of maize were described and classified, such samples were collected in 44 communities from Low Mixtec-Oaxaca region (846 masl to 1842 masl). The samples were sown and cultivated during crop cycle Sprig-Summer 2010 at Santo Domingo Tonala, Oaxaca, under a randomized complete design with four replications. Nineteen morphological traits of plant, ear, kernel and tassel were evaluated and significant differences among maize populations were determined in these characters. The traits height plant and ear, number of kernels per row were determinants to describe the total morphological variability. Morphological and phenological variation of the maize populations was associated with patterns of altitudinal and geographic variation of the sample origin. Six phenotypic groups with significant differences among them but with similar ear, kernel and plant traits to describes for races Celaya, Bolita, Pepitilla, Ancho and some racial complexes among Ancho, Mixteco, Celaya and Bolita.

-
- 1 Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca, Ex-Hacienda Nazareno, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México, C. P. 71230.
 - 2 Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR Unidad Oaxaca, Hornos # 1003, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México. C. P. 71230. jchavez@ipn.mx
 - 3 Colegio de Postgraduados, km 38,5 Carr. México-Texcoco, C. P. 56230, Texcoco, México.

Palabras clave

Zea mays • recursos genéticos •
variación fenotípica

Keywords

Zea mays • genetic resources •
phenotypic variation

INTRODUCCIÓN

En México existe una evolución de las formas de consumo, producción y procesamiento de harinas de maíz para la venta de tortilla y otros productos, y también una alta demanda de tortilla en las zonas urbanas y en ciertas comunidades rurales, principalmente elaboradas con harinas de variedades mejoradas o maíz importado, y escasa o nula utilización de maíces nativos. En oposición, la nixtamalización, elaboración tradicional y consumo de tortilla a partir de la gran variedad de maíces nativos está asociada con comunidades rurales, de bajos ingresos e indígenas, en las cuales representa la principal fuente de alimentos y calorías para su consumidores (8, 22). Todo esto plantea nuevos escenarios y retos para la conservación de los maíces nativos, entre las formas de aprovechamiento tradicional y la explotación comercial de harinas y de los productos derivados.

Los maíces nativos de México son de interés especial por su contribución a la diversidad mundial de la especie, al desarrollo de variedades modernas y productivas o como fuentes de genes, por su aporte de energía (45% de calorías consumidas en tortilla), fuente de compuestos nutraceuticos como antioxidantes (p. ej. antocianinas, flavonoides y polifenoles), aceites y también porque forman parte esencial de la cultura mexicana (6, 9, 15, 19, 20, 23). Además, se ha documentado una relación importante entre la elaboración de ciertos alimentos tradicionales (tortilla, atoles, tamales, pinole, sopes, tejate, etc.) y algunos maíces nativos (10, 31).

El presente trabajo se realizó en la Mixteca Oaxaqueña donde habita el grupo indígena Mixteco, el que se caracteriza por altos niveles de pobreza, marginación y migración de la población económica activa hacia las principales ciudades de México y de Estados Unidos (1, 25). En este contexto sociodemográfico y agroecológico se desarrolla la agricultura a base de maíz como eje principal, en suelos altamente erosionados, con tracción animal o alto uso de mano de obra, y en pequeñas parcelas que dependen de la precipitación escasa e irregular (7, 11, 12). No obstante, existen algunos micronichos agroecológicos de cultivos bajo riego y en suelos profundos. Aun cuando prevalecen altas presiones de selección natural y antropocéntrica sobre el maíz, en la Mixteca Alta Oaxaqueña (> 2000 msnm) se conserva *in situ* un gran número de variantes locales, entre los que se destacan los llamados "cajete", "violentos" y "tempraneros", y diversos complejos raciales de las combinaciones de Chalqueño, Mixteco, Cónico, Pepitilla y Ancho, entre otras razas (11, 13, 24). En la Mixteca Baja (< 2000 msnm) también se han reportado diversas variantes de maíz (32): en la década de los 50, las razas Bolita, Tepecintle, Zapalote Chico, Pepitilla, y en zona de altura media (2000 a 2500 msnm) ciertas variantes de Chalqueño y Cónico. Aragón *et al.* (3) en su trabajo de exploración y colecta, señalaron que en la Mixteca Baja se distribuyen diversas variantes de las razas Celaya, Elotes Occidentales, Olotillo, Pepitilla, Bolita, Comiteco y Olotón, entre otras.

Las prácticas de manejo del cultivo, el flujo de polen entre parcelas contiguas y la selección e intercambio de lotes de semilla entre agricultores, producen cambios, frecuentemente reducciones, en la diversidad genética de las poblaciones de maíz (5, 26). De ahí que las diversas experiencias de descripción y clasificación de la diversidad de maíz en México han mostrado que existe una alta dinámica en la estructura de las poblaciones cultivadas, y que cambian en el tiempo por influencias ambientales y manejo del hombre.

Objetivo

- Describir y clasificar la variabilidad morfológica de una muestra de poblaciones nativas de maíz colectadas en 44 municipios de la Mixteca Baja Oaxaqueña (846 msnm a 1842 msnm).

MATERIALES Y MÉTODOS

Región de estudio y colecta de germoplasma

La Mixteca Oaxaqueña colinda al noreste con los Estados de Puebla y Guerrero, y comprende 155 municipios con una extensión de 16.333 km² (4).

En la región se siembran anualmente alrededor de 120 mil hectáreas de maíz como unicultivo o asociado con *Phaseolus* spp. y/o *Cucurbita* spp., regularmente con un rendimiento promedio de 1,2 ton ha⁻¹ (29).

En este trabajo se define la Mixteca Baja Oaxaqueña como la región comprendida por debajo de 2000 m de altitud de 77 territorios municipales dentro de los distritos geopolíticos de Huajuapán de León, Silacayoapan, gran parte de Santiago Juxtlahuaca, y pequeñas porciones de Tlaxiaco, Asunción de Nochixtlán y Coixtlahuaca (figura 1, pág. 160). Todo esto dentro de la cuenca del río Mixteco.

Los climas varían de cálido semiseco, (Bw h' wg), templado semiseco (Bs h' wg), semicálido sub-humedo (A (c) w) a cálido subhúmedo (A w), con lluvias en verano y de un promedio anual de 600 mm a 1500 mm.

La temperatura promedio varía de 12°C a 26°C (14). Los suelos predominantes son del tipo litosoles, regosoles y cambisoles, y la erosión es uno de los problemas más importantes de la región con oscilaciones de ligera, moderada a severa en pendientes del 10% a 40% (17).

La agricultura está supeditada al régimen de precipitación estacional, y se basa en la producción de alimentos básicos para autoconsumo: maíz, frijol y cucurbitáceas (7). También es una región con altos niveles de migración a las principales ciudades de México o de Estados Unidos (1, 25).

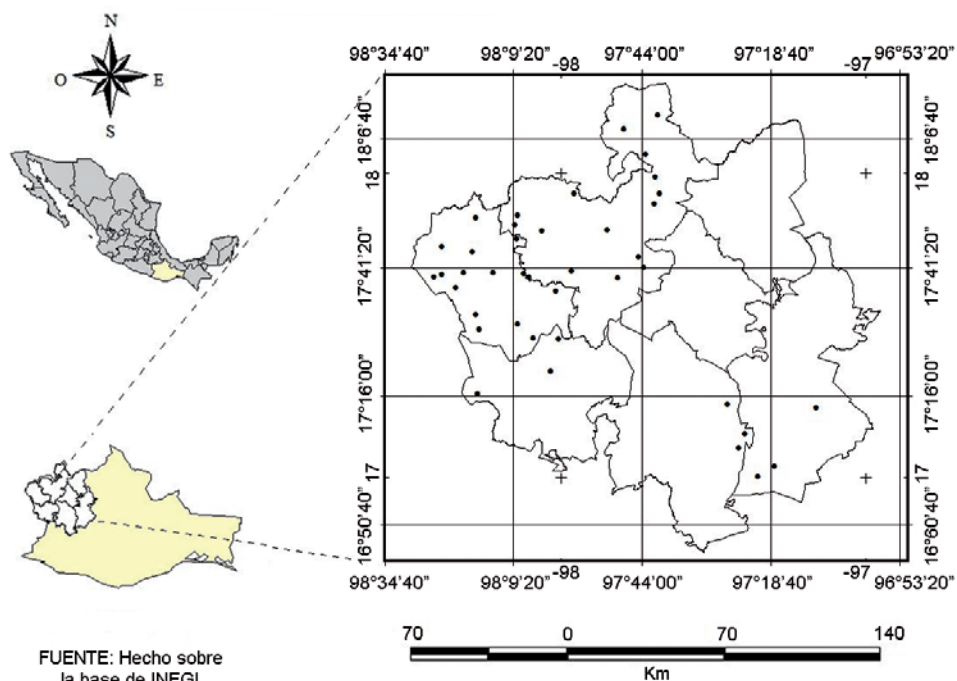


Figura 1. Regionalización de la zona de colecta de muestras de maíces en la Mixteca Baja Oaxaqueña.

Figure 1. Regionalization of the collect zone of maize samples in the Low Mixtec-Oaxaca.

En la Mixteca Baja Oaxaqueña se colectaron, con los agricultores de 44 comunidades, 60 muestras poblacionales de maíz: 34 de grano blanco, 11 de rojo, 8 de amarillo, 6 de azul y 1 de pinto (azul-rojo-blanco). Cada muestra se integró con 30 a 40 mazorcas o con 4 a 5 kg de grano. Se obtuvieron 28 muestras de 20 municipios del distrito geopolítico de Huajuapán de León, 21 de 15 municipios de Silacayoapan, 4 de 3 municipios de Nochixtlán, 4 de 3 municipios de Tlaxiaco, y 3 muestras en 3 municipios de Santiago Juxtlahuaca (tabla 1, pág. 162-163). Las comunidades de origen de las muestras presentan una variación altitudinal de 846 msnm a 1842 msnm. En este trabajo se asume cada muestra como población independiente por la diferenciación y manejo diferencial que hace el agricultor.

Siembra, manejo y caracterización morfológica de poblaciones

Un experimento de caracterización morfológica se estableció en la parcela de un agricultor cooperante del municipio de Santo Domingo Tonalá, ubicado a 17° 40' 30" LN y 97° 57' 45" LO, a una altitud de 1390 msnm. En el lugar prevalece un clima semicálido subhúmedo con lluvias en verano, la temperatura promedio varía de 16°C a 24°C y la precipitación anual promedio es de 700 mm a 1000 mm (14), y en la parcela los suelos son de textura franco-arenosa. La siembra se realizó el 10 de abril de 2010, después de aplicar un riego, bajo un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones en unidades experimentales de dos surcos de 5 m de largo separados a 0,8 m.

El crecimiento y desarrollo de plantas, después de la emergencia, dependió completamente de la estación de lluvias, de acuerdo con las prácticas tradicionales de manejo de los agricultores. Se aplicó la fórmula de fertilización 120-100-60 de N, P y K, respectivamente. El N se dividió en dos aplicaciones: 50% a la primera escarda y el resto en la segunda y cercano a la floración de las plantas.

La caracterización se realizó mediante 19 caracteres morfológicos, seleccionados con base en los trabajos de Sánchez y Goodman (27), Sánchez *et al.* (28), Herrera *et al.* (16) y Chávez-Servia *et al.* (11).

El registro de información en campo de cada carácter se hizo con base en los criterios de los descriptores para maíz del International Board for Plant Genetic Resources (IBPGR) (18): altura de planta y mazorca, longitud de espiga (espiga), pedúnculo, parte ramificada y total de la espiga, número de ramas primarias y secundarias, longitud y diámetro de mazorca, diámetro de olote (marlo, zuro o *cob* -en inglés-; corazón de la mazorca) y médula, número de hileras y granos por hilera en la mazorca, longitud, ancho y grosor de grano, y días a floración masculina y femenina.

Análisis estadístico

Con la matriz de datos de 19 caracteres evaluados en 60 poblaciones se realizó un primer análisis de varianza con un modelo lineal de bloques completos al azar, con el objetivo de probar la existencia de diferencias entre poblaciones.

Posteriormente, con los promedios estandarizados, por el valor máximo de cada carácter (variación de 0 a 1 unidades), de cada población por carácter, se hizo un análisis de componentes principales a partir de la matriz de varianzas y covarianzas con el propósito de seleccionar los caracteres de mayor valor descriptivo de la variación total, sobre la base del coeficiente de determinación ($r^2_{V/CP} > 0,5$) entre los caracteres (V) y los tres primeros componente principales (CP) que describieron el 96,7% de la varianza total.

Con 11 caracteres seleccionados se realizó otro análisis de componentes principales, el que se describe más adelante. También, a partir de la matriz de datos de 60 poblaciones y 11 caracteres seleccionados, se realizó un análisis de agrupamiento jerárquico utilizando la distancia euclídea y el método de Ward.

El punto de corte, para definir los grupos fenotípico se basó en la significancia de t ($P \leq 0,05$).

Complementariamente, se hizo un análisis de varianza y una comparación múltiple de medias por el método de Tukey ($P \leq 0,05$) para probar y determinar las diferencias entre los grupos formados, respectivamente. Todos los análisis se hicieron con apoyo de los paquetes estadísticos SAS (30) y Clustan Graphics (Clustan®; Clustan Graphics Versión 5.22, Dec. 2001. Clustan Ltd Edinburgh, Scotland).

Table 1. Listado de muestras poblacionales de maíz nativo, colectado en la Mixteca Baja Oaxaqueña de México.
Table 1. List of population samples of native maize, collected in the Low Mixtec-Oaxaca region from Mexico.

Población	Localidad o agencia y/o cabecera municipal	Altitud (m)	Latitud (N)	Longitud (O)	Color de grano
CIIDIR-296	Asunción Cuyotepeji	1760	17° 55' 49"	97° 40' 24"	Blanco
CIIDIR-291	San Juan Joluxtlá, Cosoltepec	1640	18° 09' 21"	97° 44' 54"	Blanco
CIIDIR-302	Mariscala de Juárez	1080	17° 51' 35"	98° 08' 27"	Blanco
CIIDIR-285	San Andrés Dinicuiti	1620	17° 41' 20"	97° 43' 35"	Blanco
CIIDIR-287	San Andrés Dinicuiti	1620	17° 41' 20"	97° 43' 35"	Blanco
CIIDIR-299	San Jerónimo Silacayoapilla	1696	17° 48' 31"	97° 50' 44"	Blanco
CIIDIR-307	San Jorge Nuchita	1190	17° 39' 17"	98° 06' 22"	Azul
CIIDIR-306	San Jorge Nuchita	1190	17° 39' 17"	98° 06' 22"	Blanco
CIIDIR-301	San José Ayuquilla	1555	17° 56' 27"	97° 58' 09"	Blanco
CIIDIR-295	San Juan Bautista Suchitepec	1840	17° 58' 18"	97° 39' 34"	Blanco
CIIDIR-315	San Martín Zacatepec	1540	17° 48' 25"	98° 03' 35"	Blanco
CIIDIR-303	San Miguel Amatitlán	1580	17° 53' 28"	98° 01' 26"	Blanco
CIIDIR-292	San Pedro y San Pablo Tequistepec	1840	18° 03' 37"	97° 43' 08"	Blanco
CIIDIR-293	San Pedro y San Pablo Tequistepec	1840	18° 03' 37"	97° 43' 08"	Blanco
CIIDIR-297	Santa María Camotlán	1715	17° 53' 55"	97° 41' 35"	Rojo
CIIDIR-300	Santiago Ayuquilla	1580	17° 56' 03"	97° 57' 29"	Blanco
CIIDIR-283	Santiago Cacaloxtepepec	1760	17° 43' 15"	97° 44' 30"	Azul
CIIDIR-284	Santiago Cacaloxtepepec	1760	17° 43' 15"	97° 44' 30"	Blanco
CIIDIR-290	San Juan Nochitlán, Santiago Chazumba	1810	18° 06' 27"	97° 38' 56"	Pinto
CIIDIR-294	Santiago Miltepec	1842	17° 59' 02"	97° 41' 20"	Blanco
CIIDIR-367	Natividad, Santo Domingo Tonala	1360	17° 41' 28"	97° 58' 06"	Amarillo
CIIDIR-369	Natividad, Santo Domingo Tonala	1360	17° 41' 28"	97° 58' 06"	Azul
CIIDIR-368	Natividad, Santo Domingo Tonala	1360	17° 41' 28"	97° 58' 06"	Rojo
CIIDIR-305	San S. del Monte, Santo Domingo Tonala	1680	17° 40' 40"	98° 01' 19"	Azul
CIIDIR-286	Santo Domingo Yodohino	1720	17° 37' 00"	97° 41' 00"	Blanco
CIIDIR-357	Tacache de Mina	1080	17° 49' 38"	98° 08' 58"	Rojo
CIIDIR-282	Villa Tezoatlán de Segura y Luna	1560	17° 39' 08"	97° 48' 40"	Amarillo
CIIDIR-281	Villa Tezoatlán de Segura y Luna	1560	17° 39' 08"	97° 48' 40"	Blanco
CIIDIR-328	Calihualá	1320	17° 31' 50"	98° 16' 42"	Blanco
CIIDIR-309	San Agustín Atenango	1160	17° 36' 37"	98° 00' 54"	Blanco
CIIDIR-310	San Agustín Atenango	1160	17° 36' 37"	98° 00' 54"	Rojo

Tabla 1 (cont.). Listado de muestras poblacionales de maíz nativo, colectado en la Mixteca Baja Oaxaqueña de México.
Table 1 (cont.). List of population samples of native maize, collected in the Low Mixtec-Oaxaca region from Mexico.

CIIDIR-311	San Mateo Libres, San Agustín Atenango	1290	17° 34' 01"	98° 00' 13"	Rojo
CIIDIR-337	San Andrés Tepetlapa	1460	17° 39' 54"	98° 23' 27"	Azul
CIIDIR-329	San Francisco Tiapancingo	1380	17° 29' 00"	98° 16' 05"	Blanco
CIIDIR-338	San Juan Bautista Tlachichilco	1320	17° 37' 19"	98° 20' 43"	Rojo
CIIDIR-331	San Juan Cieneguilla	1380	17° 51' 02"	98° 16' 48"	Rojo
CIIDIR-330	San José Chepetlán, San Juan Ihualtepec	1760	17° 44' 20"	98° 17' 20"	Blanco
CIIDIR-308	San Lorenzo Victoria	1180	17° 40' 03"	98° 07' 12"	Blanco
CIIDIR-335	San Mateo Nejápam	1340	17° 39' 21"	98° 25' 00"	Amarillo
CIIDIR-339	San Miguel Ahuehuetitlán	1370	17° 40' 14"	98° 19' 17"	Azul
CIIDIR-358	San Nicolás de Hidalgo	1100	17° 46' 58"	98° 08' 37"	Blanco
CIIDIR-324	Santiago del Río	1600	17° 27' 20"	98° 05' 20"	Blanco
CIIDIR-325	Santiago del Río	1600	17° 27' 20"	98° 05' 20"	Blanco
CIIDIR-360	San Luis Morelia, Santiago Tamazola	1660	17° 42' 16"	98° 12' 56"	Blanco
CIIDIR-361	San Luis Morelia, Santiago Tamazola	1660	17° 42' 16"	98° 12' 56"	Rojo
CIIDIR-323	San Isidro, Silacayoapan	1840	17° 29' 03"	98° 07' 43"	Blanco
CIIDIR-359	San Juan Trujano, Silacayoapan	1260	17° 44' 10"	98° 10' 44"	Rojo
CIIDIR-332	Guadalupe del Recreo, Zapotitlán Lagunas	1450	17° 48' 01"	98° 19' 56"	Blanco
CIIDIR-333	Guadalupe del Recreo, Zapotitlán Lagunas	1450	17° 48' 01"	98° 19' 56"	Rojo
CIIDIR-210	San Mateo Sindhui	1460	17° 00' 07"	97° 21' 05"	Blanco
CIIDIR-211	San Mateo Sindhui	1460	17° 00' 07"	97° 21' 05"	Rojo
CIIDIR-217	Santa Inés de Zaragoza	1750	17° 13' 41"	97° 09' 30"	Amarillo
CIIDIR-209	Yutanduchi de Guerrero	1650	17° 02' 10"	97° 17' 45"	Blanco
CIIDIR-356	San Bartolomé Yucuañe	1780	17° 14' 20"	97° 27' 00"	Amarillo
CIIDIR-355	San Juan Teita	1320	17° 05' 45"	97° 24' 52"	Amarillo
CIIDIR-354	San Juan Teita	1320	17° 05' 45"	97° 24' 52"	Blanco
CIIDIR-353	Santa María Tataltepec	1600	17° 08' 25"	97° 23' 35"	Blanco
CIIDIR-348	Jicaral, Coicoyan de las Flores	846	17° 07' 33"	98° 11' 48"	Blanco
CIIDIR-319	San Miguel Tlacotepec	1710	17° 27' 15"	98° 00' 21"	Amarillo
CIIDIR-318	San Juan Joluxtla, San Sebastián Tecomaxtlahuaca	1660	17° 20' 43"	98° 01' 51"	Amarillo

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el primer análisis de varianza hubo diferencias significativas entre poblaciones en todos los caracteres evaluados. En Santo Domingo Tonalá, sitio de caracterización de los materiales, se observó una variación reducida en los días a floración masculina y femenina, $CV < 3,0\%$. En contraposición, se determinó una mayor variación ($CV > 20,0\%$) para los caracteres longitud del pedúnculo y parte ramificada de la espiga (panoja), número de ramas primarias y secundarias en la espiga, granos por hilera en la mazorca y diámetro de medula del olote (*cob*) o marlo (tabla 2). Los resultados indican que los caracteres de espiga y mazorca pueden ayudar a diferenciar las poblaciones cultivadas de maíz en la Mixteca Baja Oaxaqueña.

Tabla 2. Cuadrados medios, promedios generales y coeficientes de variación (CV) de 19 caracteres evaluados en 60 poblaciones de maíz en Santo Domingo Tonalá, Oaxaca, en la primavera-verano 2010.

Table 2. Mean squares, average and coefficients of variation (CV) of 19 characters evaluated in 60 populations of maize in Santo Domingo Tonalá, Oaxaca, during Spring-Summer 2010.

Caracteres evaluados	Cuadrado medio	Media	CV (%)
Altura de planta (cm)	9343,98**	198,34	11,2
Altura de mazorca (cm)	7615,27**	127,51	15,1
Longitud del pedúnculo de la espiga o panoja (cm)	58,25*	22,40	23,1
Longitud de espiga (cm)	121,06**	41,72	13,7
Longitud total de la espiga (cm)	218,94*	64,13	13,0
Longitud parte ramificada de espiga (cm)	61,39**	12,58	24,0
Número de ramas primarias de la espiga	94,36**	12,98	27,6
Número de ramas secundarias de la espiga	0,80**	2,06	21,1
Longitud de la mazorca (cm)	34,22**	14,09	15,6
Diámetro de la mazorca (cm)	3,76**	4,26	11,8
Número de hileras en la mazorca	44,94**	10,69	15,3
Granos por hilera en la mazorca	425,45**	28,75	20,2
Diámetro de olote (<i>cob</i>) o marlo (cm)	1,62**	2,36	14,5
Diámetro de médula (cm)	0,40**	0,65	26,4
Longitud de grano (mm)	8,62**	12,14	15,1
Ancho de grano (mm)	5,68**	10,28	15,3
Grosor grano (mm)	0,51*	4,07	15,5
Días a floración masculina	78,46**	73,59	2,7
Días a floración femenina	88,22**	79,79	2,9

*= $P < 0,05$; ** = $P < 0,01$.

En el análisis de componentes principales (CP), los tres primeros ejes explicaron el 96,72% de la varianza total. En la figura 2 (pág. 165) fue notorio en el cuadrante uno (C-I) que las poblaciones de Santiago Juxtlahuaca [1], Tlaxiaco [3] y Silcayoapan [1], de las zonas semi-templadas fueron las más alta y tardías a floración, en los cuadrantes tres y cuatro (C-II y C-IV) las poblaciones de Huajuapán y Silcayoapan, de las zonas semicálidas y semisecas se comportaron como precoces a la floración.

Se nota que la expresión fenotípica de algunos de los caracteres morfológicos (altura de planta y mazorca) y fenológicos (días a floración) se asocia a las variaciones de altitud y climatológicas de los lugares de procedencia de las poblaciones.

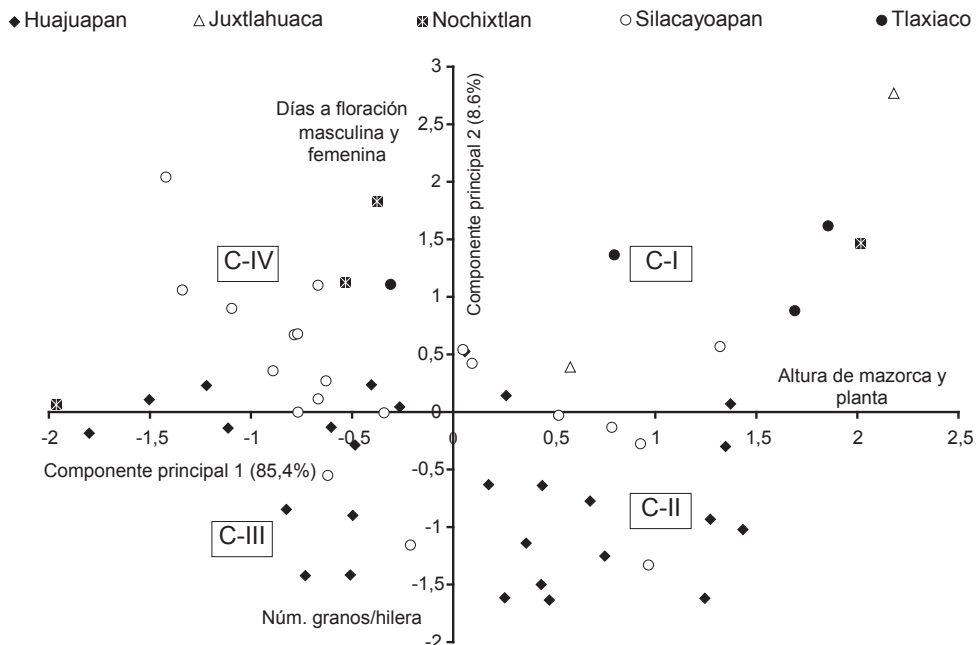


Figura 2. Dispersión de 60 poblaciones de maíz, según el origen distrital de las mismas, en el plano formado por los dos primeros componentes principales y 11 caracteres morfológicos.

Figure 2. Scatter plot of 60 maize populations according to origin district, on based to first two principal components and 11 morphological traits.

El CP1 explica el 85,4% de la varianza total. Los caracteres de mayor contribución a este componente fueron: altura de planta y mazorca, días a floración masculina y femenina, con valores propios asociados de 0,738; 0,66; 0,083 y 0,098 respectivamente. El CP2 explica el 8,6% de la varianza total y los caracteres que más contribuyeron fueron: altura y número de granos por hilera de la mazorca, y de acuerdo con los valores propios (-0,134; -0,447; 0,579), los días a floración masculina y femenina (0,623) tienen mayor peso en el CP2.

Los caracteres de menor contribución o peso para explicar la variabilidad morfológica fueron: la espiga (panoja), mazorca (largo y ancho) y grano. Los resultados difieren respecto de otros trabajos: por ejemplo, Ángeles-Gaspar *et al.* (2), en su descripción morfológica de las poblaciones de maíz de Molcaxac, Puebla, reportan que las características de mazorca (largo y ancho), diámetro de olote (*cob* o marlo) y médula, y grosor de grano fueron determinantes en la descripción de la variabilidad total.

También Martín *et al.* (21), en el trabajo sobre la descripción de los maíces del noroccidente de México, determinaron que los caracteres de espiga y mazorca fueron relevantes en la explicación de la variabilidad morfológica de 90 poblaciones de maíz.

En el análisis de conglomerados se identificaron seis grupos fenotípicos ($t = 9,79$, $gl = 58$, $P < 0,05$). En la figura 3 (pág. 167) se observa que los grupos I al V se correlacionan con la altitud de origen de las poblaciones y denotan patrones fenotípicos a distintas alturas sobre el nivel del mar.

El grupo I presentó dos subgrupos: a) formado por las poblaciones CIIDIR-209, CIIDIR-353 y CIIDIR-354 colectadas entre 1320 msnm a 1650 msnm y b) CIIDIR-315, CIIDIR-323 y CIIDIR-330 colectado desde 1540 msnm a 1840 msnm.

En el grupo II, los subgrupos IIa y IIb, las muestras se colectaron en comunidades de 1320 msnm a 1460 msnm y de 1580 msnm a 1840 msnm, respectivamente.

En el caso del grupo III no se observó un patrón tan específico como en el I y II; no obstante, los subgrupos pueden clasificarse como de zona intermedia (IIIa, 1340 msnm a 1450 msnm) y de origen altitudinal variable (IIIb y IIIc, desde 1080 msnm a 1660 msnm).

En el grupo IV la mayoría de las poblaciones son originarias de las zonas más altas de la Mixteca Baja, entre 1560 msnm y 1840 msnm de altitud, y se caracterizan por presentar mazorcas y granos grandes pero con espigas poco ramificadas.

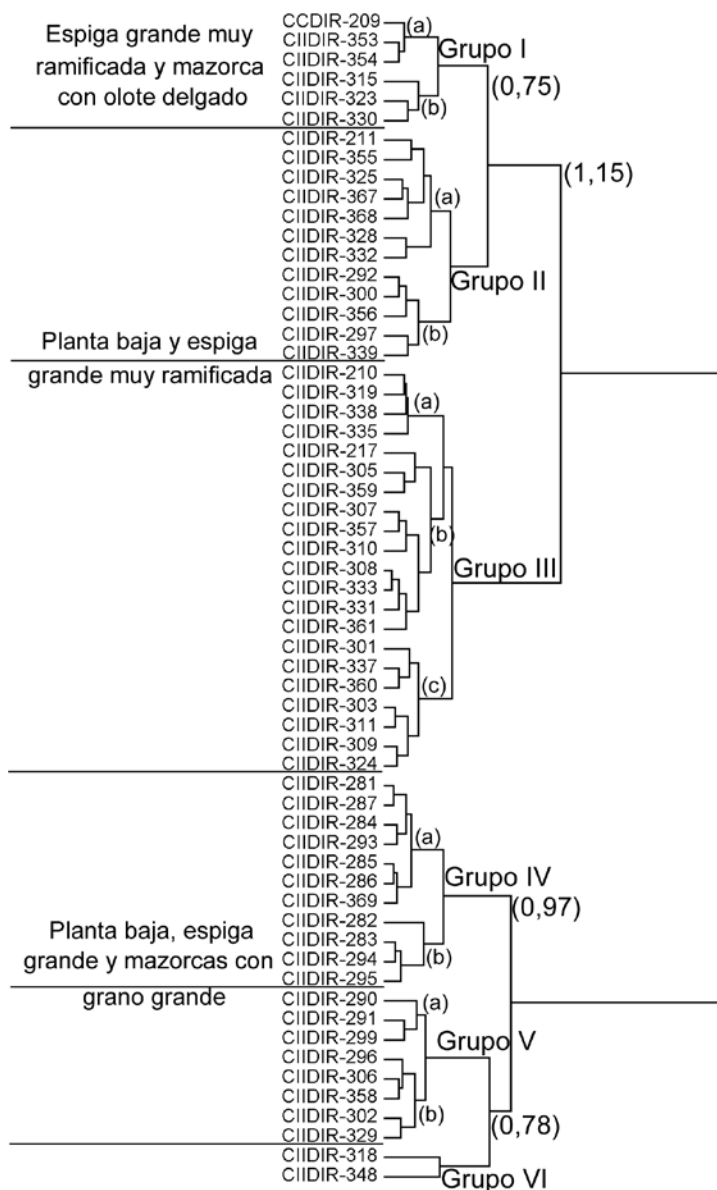
El grupo V repitió el patrón previo: en el subgrupo Va se concentraron las poblaciones de comunidades ubicadas de 1640 msnm a 1810 msnm, y en el subgrupo Vb ciertos materiales colectados entre 1080 msnm y 1380 msnm.

Finamente en el grupo VI se agruparon las poblaciones más tardías a la floración masculina y femenina entre 92 días y 99 días después de la siembra.

En el análisis de varianza se determinaron diferencias significativas ($P < 0,01$) entre grupos para todos los caracteres evaluados. El grupo I se distingue por presentar los valores mayores en caracteres relacionados con la espiga, menor longitud de mazorca (11,87 cm) y en diámetro de olote o marlo (1,88 cm) y una altura de planta de 2,15 m.

El grupo I, II y III comparten en común una mayor longitud de pedúnculo, panoja y total de la espiga. En estos grupos se observó que las poblaciones presentaban mazorcas semejantes a las descritas por Wellhausen *et al.* (32) y Aragón *et al.* (3) para las razas Bolita, Celaya y Ancho (figura 3 -pág. 167- y tabla 3 -pág. 168-).

Los grupos II y III presentaron semejanzas en altura de mazorca (1,22 m a 1,23 m respectivamente), pero se diferenciaron en característica de grano. Los valores más bajos se determinaron en el grupo I y en más altos en el grupo II (tabla 3, pág. 168).



Valores y letras entre paréntesis indican distancia de ligamiento y subgrupos, respectivamente.

Values and letters in brackets indicate linkage distance and subgroups, respectively.

Figura 3. Dendrograma de 60 poblaciones de maíz de la Mixteca Baja Oaxaqueña. Se utiliza la distancia euclídea y el método de Ward.

Figure 3. Dendrogram of 60 maize populations from Low Mixtec-Oaxaca. Euclidean distance and Ward's method.

Tabla 3. Promedios, cuadrados medios y coeficientes de variación (CV) de caracteres morfológicos y fenológicos de grupos fenotípicos, obtenidos a través del análisis de agrupamiento, de maíces nativos de Mixteca Baja Oaxaqueña.
Table 3. Averages, mean squares and coefficients of variation (CV) of morphologic and phenologic traits of the groups phenotypic (from cluster analysis) of native maize from the Low Mixtec-Oaxaca.

Caracteres evaluados	Promedios por grupo fenotípico								Cuadrado medio	CV (%)
	I (6)	II (12)	III (21)	IV (11)	V (8)	VI (2)				
Altura de planta (cm)	214,84 a ¹	193,04 c	193,72 bc	201,24 b	197,67 bc	219,57 a	25492,0**	14,7		
Altura de mazorca (cm)	142,30 b	122,52 d	123,41 d	131,12 c	125,24 cd	151,79 a	23414,8**	19,8		
Longitud del pedúnculo de la espiga (cm)	22,61 ab	22,47 ab	23,19 a	22,06 ab	21,30 b	18,71 c	364,9**	23,4		
Longitud de panoja o espiga (cm)	42,68 a	41,49 ab	42,60 a	40,18 bc	41,78 ab	38,85 c	488,8**	14,3		
Longitud total de la espiga (cm)	65,30 ab	63,96 abc	65,80 a	62,25 c	63,08 bc	57,56 d	1448,5**	13,3		
Longitud parte ramificada de espiga (cm)	13,93 a	12,80 bc	13,22 ab	11,34 d	11,40 d	12,32 c	384,1**	25,1		
Número de ramas primarias en la espiga	14,45 a	14,07 ab	13,04 b	11,65 c	11,81 c	14,14 a	476,7**	29,7		
Número de ramas secundarias en la espiga	4,24 a	3,64 b	3,57 bc	2,78 d	3,06 cd	4,27 a	85,6**	21,7		
Longitud de la mazorca (cm)	11,87 d	13,27 c	14,11 bc	14,26 ab	15,10 a	14,39 ab	176,8**	17,8		
Diámetro de la mazorca (cm)	3,41 c	3,95 b	4,10 b	4,57 a	4,65 a	3,95 b	38,5**	14,1		
Número de hileras de la mazorca	9,56 c	10,82 b	10,06 c	10,07 c	12,75 a	13,03 a	392,7**	17,9		
Granos por hilera de la mazorca	22,85 c	26,03 b	27,03 b	31,91 a	31,59 a	25,43 bc	2701,2**	24,2		
Diámetro de olote (cob) o marlo (cm)	1,88 d	2,21 c	2,30 bc	2,39 b	2,71 a	2,60 a	12,8**	16,8		
Diámetro de médula (cm)	0,48 d	0,58 c	0,60 bc	0,67 b	0,84 a	0,86 a	3,5**	6,1		
Longitud de grano (mm)	11,04 bc	10,48 c	12,52 ab	13,64 a	12,61 ab	10,32 c	59,1**	15,4		
Ancho de grano (mm)	9,30 cd	8,95 cd	10,96 ab	11,46 a	9,87 bc	8,43 d	45,7**	14,9		
Grosor grano (mm)	3,98 ab	3,65 b	4,36 a	4,03 ab	4,11 ab	4,08 ab	3,0**	14,9		
Días a floración masculina	78,12 b	74,73 c	73,49 c	69,27 d	72,37 cd	92,00 a	556,0**	4,4		
Días a floración femenina	84,63 b	80,85 c	79,89 c	75,34 d	78,09 cd	98,75 a	603,4**	4,5		

¹ En la misma fila, medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0,05$). ** = $P < 0,01$.

¹ At same row, means with the same letter are not significantly different (Tukey, $P \leq 0,05$). ** = $P < 0,01$.

En los grupos IV, V y VI predominan las poblaciones de las regiones más altas (entre 1400 msnm y 1840 msnm) y se observó con mayor frecuencia características de planta y mazorca muy cercanas a las descritas por Aragón *et al.*, (3) y Chávez-Servia *et al.* (11) para las razas Pepitilla, Ancho, Celaya y combinaciones de Ancho, Mixteco, Celaya y Bolita. Los grupos IV y V presentaron semejante altura de mazorca (de 1,25 m a 1,31 m), longitud de la parte ramificada de la espiga (panoja), número de ramas secundarias, longitud (14,3 cm a 15,1 cm) y diámetro (4,6 cm) de mazorca, características de grano y días a floración masculina y femenina, pero se diferenciaron en longitud de la panoja, número de hileras en la mazorca y diámetro de olote (marlo o *cob*) y médula. En el grupo VI se observaron mazorcas de características similares a las descritas por Wellhausen *et al.*, (32) para las razas de Celaya y Olotón con las mayores alturas de planta y mazorca, de espiga pequeña en su longitud total (< 58 cm), de mazorca grande y el mayor valor en número de hileras, y fueron los más tardíos a la floración masculina y femenina, 92 días y 98 días, respectivamente (tabla 3, pág. 168).

Entre las diferentes poblaciones predominaron en primer lugar las mazorcas cilíndricas y en segundo lugar las cónicas, de 9 a 13 hileras de granos, y la forma del grano es regularmente ancho aplanado o redondeado.

De acuerdo con la clasificación propuesta por Sánchez *et al.* (28), con base en caracteres morfológicos, las poblaciones evaluadas corresponderían al grupo de maíces de medias y bajas elevaciones (en este caso de 846 msnm a 1842 msnm) en los cuales se han observado diversas combinaciones de las razas Celaya, Bolita y probables introducciones de Comiteco. En el mismo sentido, gran parte de las variantes raciales de maíz reportadas por Aragón *et al.* (3) también se encontraron en este trabajo, como Bolita, Pepitilla y Celaya. Especialmente se distingue la raza Pepitilla y sus combinaciones como la más adaptada y frecuente en la Mixteca Baja Oaxaqueña.

Las magnitudes en características de planta y días a floración de las poblaciones de maíz caracterizadas difieren de los patrones determinado por Chávez-Servia *et al.* (11) para un grupo de maíces de la Mixteca Alta. En este estudio, los grupos fenotípicos presentaron alturas de planta de 1,93 m a 2,19 m y mazorca de 1,22 m a 1,52 m, mientras que Chávez-Servia *et al.* (11) reportaron que en maíces de la Mixteca Alta la altura de planta y mazorca fueron de 1,09 m a 1,83 m y de 0,58 m a 1,15 m, respectivamente.

Respecto de los días a floración masculina y femenina fueron de 69 a 92 días y de 75 a 98 días, y en los de la Mixteca Alta de 95 a 113 días y de 95 a 112 días, respectivamente. No obstante, la diferencia entre los materiales evaluados y el sitio de evaluación de la experiencia aquí reportada y del trabajo de Chávez-Servia *et al.* (11), puede inferirse que en la Mixteca Baja las poblaciones de maíz son más precoces y más altas en comparación con los maíces de la Mixteca Alta que son tardíos a floración masculina y femenina y de porte bajo, y en conjunto denotan la variabilidad de micronichos ecológicos y poblaciones cultivadas por los agricultores.

CONCLUSIONES

Se detectaron diferencias significativas en caracteres morfológicos de planta, espiga (panoja), mazorca y grano entre poblacionales de maíz de la Mixteca Baja Oaxaqueña. Los caracteres de mayor relevancia para describir la variabilidad morfológica y fenológica total fueron altura de planta y mazorca, número de granos por hilera en la mazorca, y días a floración masculina y femenina. La variación de las poblaciones se asocia con patrones altitudinales y geográficos. Se determinaron seis grupos fenotípicos significativamente diferentes con características de mazorca, grano y planta, semejantes a las descritas para las razas Celaya, Bolita, Pepitilla, Ancho, y ciertos complejos raciales entre Ancho, Mixteco, Celaya y Bolita.

BIBLIOGRAFÍA

1. Alvarado, A. M. 2008. Migración y pobreza en Oaxaca. *El cotidiano* 23: 85-94.
2. Ángeles-Gaspar, E.; Ortiz, E.; López, P. A.; López, G. 2010. Caracterización y rendimiento de poblaciones de maíz nativas de Molcaxac. Puebla. *Revista Fitotecnia Mexicana* 33: 287-296.
3. Aragón, F.; Taba, S.; Hernández, J. M.; Figueroa, J. D.; Serrano, V.; Castro, F. H. 2006. Catálogo de Maíces de Oaxaca. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Libro Técnico N° 6. Oaxaca, México. 344 p.
4. Arellanes, A. V.; de la Cruz, V.; Romero, M. A.; Ruiz, F. J.; Martínez, V. R.; López, E. 2006. Historia y Geografía de Oaxaca. Oaxaca, México. Carteles Editores. 207 p.
5. Badstue, L. B.; Bellon, M.; Berthaud, J.; Juárez, X.; Rosas, I. M.; Solano, A. M.; Ramírez, A. 2006. Examining the role of collective action in an informal seed system: A case study from the Central Valley of Oaxaca, Mexico. *Human Ecology* 34: 249-273.
6. Bellon, M. R.; Adato, M.; Becerril, J.; Mindek, D. 2005. Impact of Improvement Germplasm on Poverty Alleviation: The Case of Tuxtepeño-Derived Materials in Mexico. *CIMMYT. Mexico D. F.* 58 p.
7. Berumen, M. E. 2004. Región Mixteca. EUMED. NET. Huajuapán de León, Oaxaca, México, 66 p.
8. Boege, E. 2010. El patrimonio biocultural de los pueblos indígenas de México: hacia la conservación *in situ* de la biodiversidad y agrobiodiversidad en los territorios indígenas. Instituto Nacional de Antropología e Historia y Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas. México, D. F. 342 p.
9. Brush, S. B.; Perales, H. R. 2007. A maize landscape: Ethnicity and agro-biodiversity in Chiapas Mexico. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 121: 211-221.
10. Cazares, E.; Interian, V. M.; Chávez, J. L.; Sauri, E.; González, M. E.; Guadarrama, M. E.; Latorunerie, L. 2005. Recetas de las mujeres de Yaxcabá, Yucatán, cocinadas con ingredientes locales. Centro de Investigación y Estudios Avanzados del IPN Unidad Mérida, Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos, IDRC, Instituto Tecnológico de Mérida y Fundación PRODUCE Yucatán, Mérida, México. 78 p.
11. Chávez-Servia, J. L.; Diego-Flores, P.; Carrillo-Rodríguez, J. C. 2011. Complejos raciales de poblaciones de maíz evaluadas en San Martín Huamelulpán, Oaxaca. *Ra Ximhai* 7: 107-115.
12. Contreras, J.; Volke, V.; Oropeza, J.; Rodríguez, C.; Martínez, T.; Martínez, A. 2005. Reducción del rendimiento de maíz por la erosión del suelo en Yanhuitlan, Oaxaca, México. *Terra Latinoamericana* 23: 399-408.
13. Diego-Flores, P.; Chávez-Servia, J. L.; Carrillo-Rodríguez, J. C.; Pérez-León, M. I. 2010. Variación fenotípica de maíces Mixtecos en Santa Catarina Ticua, Oaxaca. En: XXXV Congreso Internacional de la Ciencia del Suelo y XIII Congreso Internacional de Ciencias Agrícolas. Universidad Autónoma de Baja California. Mexicali, México. p. 1009-1013.
14. García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía, UNAM. México, D. F. 90 p.
15. Hayano-Kanashiro, C.; Calderón-Vázquez, C.; Ibarra-Laclette, E.; Herrera-Estrella, L.; Simpson, J. 2009. Analysis of gene expression and physiological responses in three Mexican maize landraces under drought stress and recovery irrigation. *PLoS ONE* 4 (10): e 7531. doi:10.1371/Journal.pone.0007531.

16. Herrera, B. E.; Castillo, F.; Sánchez, J. J.; Ortega, R.; Goodman, M. M. 2000. Caracteres morfológicos para valorar la diversidad entre poblaciones de maíz en una región: Caso la raza Chalqueño *Revista Fitotecnia Mexicana* 23: 335-354
17. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) 2010. Marco Geoestadístico Municipal. Información Topográfica Digital Escala 1: 250 000 serie III.
18. International Board for Plant Genetic Resources (IBPGR). 1991. Descriptors for Maize. International Maize and Wheat Improvement Center. México City/IBPGR. Rome, Italy. 87 p.
19. Lee, C.; García, H. S.; Parkin, K. L. 2010. Bioactivities of kernel extracts of 18 strains of maize (*Zea mays*). *Journal of Food Science* 75: 667-672.
20. López, L. X.; Oliart, R. M.; Valerio, G.; Lee, C. H.; Parkin, K. L.; García, H. S. 2009. Antioxidant activity, phenolic compounds and anthocyanins content of eighteen strains of Mexican maize. *Food Science and Technology* 42: 1187-1192.
21. Martín, J. G.; Ron, J.; Sánchez, J. J.; De la Cruz, L.; Morales, M. M.; Carrera, J. A.; Ortega, A.; Vidal, V. A.; Guerrero, M. J. 2008. Caracterización agronómica y morfológica de maíces nativos del noroccidente de México *Revista Fitotecnia Mexicana* 31: 331-340.
22. Massieu, Y.; Lechuga, J. 2002. El maíz en México: biodiversidad y cambios en el consumo. *Análisis Económico* 17: 281-303.
23. Mora, S.; Gutiérrez, J. A.; Serna, S. O.; Sánchez, P.; Reyes, C.; Milán, J. 2010. Phenolic content and antioxidant activity of tortillas produced from pigmented maize processed by conventional nixtamalization or extrusion cooking. *Journal of Cereal Science* 52: 502-508.
24. Muñoz, A.; Pérez, G.; López, P. A.; Salvador, R. J. 2002. Maíz de cajete: agrosistema y resistencia a sequía. En: *Antología sobre Pequeño Riego, Vol. III. Sistemas de Riego no Convencionales*. J. Palerm V. (ed.). Colegio de Postgraduados, Texcoco, México. p. 137-164.
25. Pinzón, P. 2007. Políticas migratorias en el estado de Oaxaca. En: *Las políticas migratorias en los Estados de México: una evaluación*. Fernández, R.; García, R.; Clariond, R.; Vila, A. (Coords.). Instituto Tecnológico Autónomo de México, Universidad Autónoma de Zacatecas y Miguel Ángel Porrúa Editores, México, D. F. p. 183-217.
26. Pressoir, G.; Berthaud, J. 2004. Population structure and strong divergent selection shape phenotypic diversification in maize landraces. *Heredity* 92: 95-101.
27. Sánchez, J. J.; Goodman, M. M. 1992. Relationships among the Mexican races of maize. *Economic Botany* 46: 72-85.
28. Sánchez, J. J.; Goodman, M. M.; Rawlings, O. 1993. Appropriate characters for racial classification in maize. *Economic Botany* 47: 44-59.
29. Sistema Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable (SEIDRUS). 2010. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola 2008, Oaxaca. Servicio de Información Agroalimentaria de México. Disponible en: http://www.oeidrus-portal.gob.mx/oeidrus_oax/, consultada el 4 de julio de 2011.
30. Statistical Analysis System (SAS). 1999. SAS® Procedures Guide. Version 8. SAS Institute Inc. Cary. NC. USA. 1643 p.
31. Soleri, D.; Cleveland, D. A.; Aragon, F. C. 2008. Food globalization and diversity the case of Tejate. *Current Anthropology* 49: 281-290.
32. Wellhausen, E. J.; Roberts, L. M.; Hernández, E.; Mangelsdorf, P. C. 1951. Razas de maíz de México: su origen, características y distribución. Folleto Técnico N° 5. Oficina de Estudios Especiales. Secretaría de Agricultura y Ganadería. México, D. F. 720 p.