

Variación intra-racial de maíces nativos del altiplano de Puebla, México

Intra-racial variation of maize landraces from the highlands of Puebla, Mexico

Luis Flores-Pérez¹, Pedro Antonio López¹, Abel Gil-Muñoz¹, Amalio Santacruz-Varela², José Luis Chávez-Servia³

Originales: *Recepción: 22/05/2014 - Aceptación: 06/11/2014*

RESUMEN

En el altiplano del estado de Puebla, México, se ha estudiado la diversidad existente en poblaciones nativas de maíz a través de la asociación de éstas con alguna de las razas reportadas para valles altos; sin embargo, la variación de las poblaciones dentro de esas razas ha sido poco estudiada. El objetivo del estudio fue caracterizar morfológicamente a poblaciones de maíces nativos del altiplano del estado de Puebla y definir las relaciones existentes entre y dentro de las razas a las que pertenecen. En 2012 se evaluaron 41 poblaciones nativas de maíz procedentes de las regiones de los valles de Serdán, Libres-Huamantla y Puebla; se incluyeron 19 testigos raciales, dos testigos comerciales y dos variedades experimentales. Se registraron 40 variables morfológicas y se aplicó un análisis de varianza, además de técnicas multivariadas como el análisis discriminante stepwise, componentes principales y de conglomerados. Se detectaron diferencias estadísticas entre poblaciones para la mayoría de las variables, lo que se considera un indicador de diversidad. Las poblaciones nativas se asociaron con las razas Chalqueño, Cónico, Elotes Cónicos y con la sub-raza Elotes Chalqueños. Se identificó variación dentro de los grupos resultantes, lo que sugiere que el ambiente y el proceso dinámico de selección de los agricultores sobre las poblaciones nativas de maíz en el altiplano del estado de Puebla, favorecen una variación entre y dentro de grupos representativos de las razas en esta zona. La variación identificada puede ser la base para el mejoramiento y conservación *in situ* de razas de maíz.

Palabras clave

diversidad intra-racial • poblaciones nativas • raza • variación morfológica

-
- 1 Colegio de Postgraduados-Campus Puebla. Km. 125.5 Carretera Federal México-Puebla. Santiago Momoxpan, San Pedro Cholula, Puebla, México. C.P. 72760. palopez@colpos.mx
 - 2 Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo. Km. 36.5 Carretera Federal. México-Texcoco. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. C. P. 56230.
 - 3 Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Regional (CIIDIR) del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Oaxaca. Hornos No. 1003, Col. Noche Buena. Municipio de Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca. México. C. P. 71230.

ABSTRACT

Diversity among native maize populations in the highlands of the state of Puebla, Mexico has been studied through the association of those populations with some of the reported maize races; however, population variation within races has been little studied. The aim of the study was to characterize morphologically populations of native maize from the highlands of the state of Puebla and to define relationships among and within races to which they belong. In 2012, 41 native maize populations from the valleys of Serdan, Libres-Huamantla and Puebla were evaluated; 19 representative-race populations, two commercial and two experimental populations were included as controls in the trials. Forty morphological variables were recorded and an analysis of variance was applied, as well as multivariate techniques such as discriminant stepwise, principal component and cluster analyses. Statistical differences among populations for most of the variables were detected and it is considered as an indicator of diversity. Native populations were associated with Chalqueño, Conico, and Elotes Conicos races and with sub-race Elotes Chalqueños. Variation among and within groups was identified, suggesting that the environment and the dynamic process of selection from the farmers on native maize populations in the highlands of the state of Puebla, support an important variation among and within groups representative of the maize races in this area. On the basis of the identified variation, breeding and conservation *in situ* of maize races can be carried out.

Keywords

intra-racial diversity • native populations • race • morphological variation

INTRODUCCIÓN

El maíz es uno de los cereales de mayor importancia en la alimentación humana; en México constituye el alimento básico en la dieta de la población, sobre todo de los estratos con menores ingresos económicos. Según cifras del SIAP (45), durante el 2012 se produjeron poco más de 22 millones de toneladas de maíz a nivel nacional, de las cuales el 57,6 % se produjo en las zonas temporales; en el estado de Puebla el volumen de producción fue cercano a un millón de toneladas y el 79,5% se obtuvo bajo temporal, principalmente en los Distritos de Desarrollo Rural de Libres y Cholula.

Castillo *et al.* apuntan que la mayor parte de la diversidad de maíz nativo se encuentra en los campos de los agricultores debido, entre otros factores, a que

en México las variedades mejoradas se siembran en sólo el 15% del área destinada a este cultivo; particularmente en las partes altas y en los estados del sur del país predominan las poblaciones nativas o autóctonas.

Perales *et al.* señalan que el conocimiento de variedades modernas y tradicionales es común entre los productores de maíz; no obstante, en el altiplano de México es conocido el uso preponderante de materiales nativos, aunque son pocos los estudios orientados a explicar esa preferencia.

Chávez-Servia *et al.* señalan que las poblaciones de maíz cultivadas por los pequeños agricultores son altamente dinámicas, debido a diversos factores de manejo y del ambiente, tales como la recombinación genética por el flujo

de polen entre poblaciones vecinas y el movimiento de semilla entre agricultores mediante el intercambio, ya sea entre vecinos o con agricultores de regiones apartadas. Además, la intervención del hombre a través del manejo agronómico ha favorecido la amplia adaptación de las diferentes razas y variedades de maíz en México (41).

Anderson y Cutler se refieren a la categoría de “raza” como “un grupo de individuos relacionados, con suficientes características en común como para permitir su reconocimiento como tal”, y las poblaciones de una raza deben tener un número significativo de características y genes en común. Según los trabajos de Wellhausen *et al.*, los maíces nativos de México pueden agruparse en razas y destacan que México supera a cualquier otro país en términos de la riqueza de sus razas y variedades nativas de maíz.

De acuerdo con Kato *et al.*, el número de razas en México oscila entre 41 y 65, de las cuales destacan las razas Cónico, Elotes Cónicos, Chalqueño y Cacahuacintle, por su importancia económica para la Mesa Central (46), o de las tierras altas centrales (43), reportándose variantes inter-raciales como la sub-raza Elotes Chalqueños, caracterizada por el grano pigmentado (19).

La variación inter e intra-racial no es una variación discreta y debe considerarse como una variación de tipo continuo ya que no es posible establecer claramente límites de variación entre las poblaciones nativas de maíz las cuales, de acuerdo con López *et al.*, pueden definirse como un conjunto de individuos que se reproducen en un ambiente local, aunque su origen evolutivo no sea la localidad o región donde actualmente se reproducen. Este grupo de individuos es el resultado, en parte, de un proceso de selección dirigida por el agricultor para satisfacer sus

necesidades de consumo y representan opciones para enfrentar sus particulares condiciones socioeconómicas y naturales de producción. Estas poblaciones son diferentes y distinguibles unas de otras por lo que es posible precisar su identidad en términos agromorfológicos y genéticos. Una característica particular es que presentan una amplia variación en su estructura genética poblacional, aunque esta variación no es aleatoria, sino que es el producto de procesos de selección natural y artificial operados por los agricultores.

Por otro lado, la caracterización de las poblaciones nativas de maíz a través de la medición y análisis de las características morfológicas y fenológicas ha demostrado ser una técnica útil y confiable para estudiar la diversidad existente entre razas de maíz (43, 46), dentro de razas (19, 20) y entre poblaciones nativas de regiones específicas (18, 21, 22, 36).

En el centro del estado de Puebla, en los Valles de Serdán, Libres y Puebla, estudios previos han evidenciado que las poblaciones nativas de maíz poseen características similares a las descritas en poblaciones típicas de las razas Chalqueño y Cónico (1, 21, 22); sin llegar a establecer claramente el grado de correspondencia o similitud de las poblaciones nativas con las razas reportadas ni las relaciones entre esas poblaciones nativas. Con base en lo anterior y para orientar la selección de poblaciones nativas sobresalientes y con ello favorecer la conservación *in situ* de las razas de maíz representadas, se obtuvo el siguiente objetivo del trabajo.

Objetivo

Identificar el nivel de variación de poblaciones de maíces nativos en la región centro, en el altiplano del estado de Puebla.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación geográfica del área de estudio

Como parte de la actividad de conservación de razas de maíz *in situ*, adoptada por el Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (SINAREFI), y con base en estudios previos (21, 22), se organizó una colecta de germoplasma entre 2009 y 2010 en el altiplano del estado de Puebla, México, en los valles de Serdán (18°59'51" y 19°20'39" LN, 097°21'12" y 097°33'38" LO, altitud de 2405 a 2991 m s. n. m.), Libres- Huamantla (19°11'27" y 19°37'09" LN, 097°40'22" y 097°55'12" LO, altitud de 2345 a 2517 m s. n. m.) y Puebla (19°06'22" y 19°17'31" LN, 097°58'27" y 098°33'44" LO, altitud de 2209 a 2591 m s. n. m.) (24).

En los valles de Serdán y Libres-Huamantla predominan los suelos regosol y litosol, y prevalecen tres tipos de clima: el templado subhúmedo, semifrío subhúmedo y semiseco templado con lluvias en verano.

En el valle de Puebla predominan los suelos regosol, fluvisol y cambisol y los climas templado subhúmedo y semifrío subhúmedo con lluvias en verano (23).

Material genético

Se evaluaron y caracterizaron 41 poblaciones nativas de maíz, procedentes de 23 localidades del área de estudio (tabla 1, pág. 5). Se incluyeron 19 poblaciones como testigos raciales: seis típicas de la raza Chalqueño, cuatro de Cónico, tres de Cacahuacintle, cuatro de Palomero Toluqueño y dos de Elotes Cónicos; además de dos testigos comerciales: H-40 y Sintético Serdán y dos poblaciones experimentales del Sintético Serdán: SSC1 y SSC2, con características similares a la raza Chalqueño.

Diseño experimental, manejo agronómico y variables evaluadas

El diseño empleado fue un látice 8×8 con tres repeticiones (9). La unidad experimental consistió en dos surcos de cinco metros de largo por 85 cm de ancho, con 11 matas por surco, espaciadas cada 50 cm y con dos plantas por mata.

Los experimentos se sembraron en San Francisco Independencia (LOC 1, 19°04'08" LN, 097°25'49" LO, 2660 m s. n. m.), Acajete (LOC 2, 19°08'30" LN, 097°57'27" LO, 2602 m s. n. m.) y Santa María Zacatepec (LOC 3, 19°07'24" LN, 098°21'55" LO, 2209 m s. n. m.), en el estado de Puebla, México, el 21 y 31 de marzo y 3 de mayo del 2012, respectivamente.

Se emplearon dos fórmulas de fertilización: 150-60-00 (N-P-K) para los experimentos de San Francisco Independencia y Acajete, y 150-60-60 para el de Santa María Zacatepec.

En los primeros casos, en la primera labor se aplicó un tercio del nitrógeno (N) y todo el fósforo (P) y en el tercer caso un tercio del N todo el P y potasio (K). El resto del nitrógeno se aplicó en la segunda labor en las tres localidades. Todas las prácticas de cultivo se realizaron de acuerdo con el manejo del agricultor.

Se midieron dos variables fenológicas y 26 morfológicas que incluyeron variables vegetativas, de espiga, de mazorca, de grano y se calcularon 12 índices (tabla 2, pág. 5).

En el caso de las variables fenológicas, los datos se registraron tomando como base a toda la unidad experimental, mientras que para las variables restantes se trabajó con cinco plantas con competencia completa, marcadas después de la floración femenina.

Mayores detalles sobre la medición de estas variables puede consultarse en diversos estudios (20, 21, 33, 42).

Tabla 1. Información de las 41 poblaciones nativas de maíz estudiadas en el altiplano del estado de Puebla, 2012.

Table 1. Information about 41 maize landraces tested at the highlands of the state of Puebla, 2012.

Código	Municipio	Localidad	Color	Raza
Región Valle de Serdán (S)				
SAL210A6	Aljojuca (A)	San Antonio Jalapasco (L)	Azul (A)	Ch
SAL283B6	Aljojuca (A)	San Antonio Jalapasco (L)	Blanco (B)	Ch
Say628B4	San Juan Atenco (a)	Santa Cruz Coyotepec (y)	Blanco (B)	Ch×Eh
SaK629B4	San Juan Atenco (a)	San Juan Atenco (K)	Blanco (B)	Ch
STe632B6	Tlachichuca (T)	Santa Cecilia Tepetitlán (e)	Blanco (B)	Ch
STe423C6	Tlachichuca (T)	Santa Cecilia Tepetitlán (e)	Crema (C)	Ch
STf634B6	Tlachichuca (T)	San Francisco Independencia (f)	Blanco (B)	Ch
STf635B6	Tlachichuca (T)	San Francisco Independencia (f)	Blanco (B)	Ch
STG633B6	Tlachichuca (T)	San Miguel Zoapan (G)	Blanco (B)	Ch
STj644A4	Tlachichuca (T)	José María Morelos (j)	Azul (A)	Eh
STj630B4	Tlachichuca (T)	José María Morelos (j)	Blanco (B)	Ch
STu643A6	Tlachichuca (T)	Tlachichuca (u)	Azul (A)	Eh
STu642A6	Tlachichuca (T)	Tlachichuca (u)	Azul (A)	Eh
STu631B6	Tlachichuca (T)	Tlachichuca (u)	Blanco (B)	Ch
SVx404C4	Guadalupe Victoria (V)	San Luis Atexcac (x)	Crema (C)	Ch
Región Valle de Puebla (P)				
PES641A6	Acajete (E)	Nuestra Señora del Monte (S)	Azul (A)	Eh
PES626B6	Acajete (E)	Nuestra Señora del Monte (S)	Blanco (B)	Ch
PES627B6	Acajete (E)	Nuestra Señora del Monte (S)	Blanco (B)	Ch
PFM622B7	San Felipe Teotlalcingo (F)	San Matías Atzala (M)	Blanco (B)	Me
Phg639A4	Huejotzingo (h)	San Miguel Tianguizolco (g)	Azul (A)	Ec
Phg1A4	Huejotzingo (h)	San Miguel Tianguizolco (g)	Azul (A)	Ec
Phg3A4	Huejotzingo (h)	San Miguel Tianguizolco (g)	Azul (A)	Ec
Phg645R4	Huejotzingo (h)	San Miguel Tianguizolco (g)	Rojo (R)	Ec
Phg2R4	Huejotzingo (h)	San Miguel Tianguizolco (g)	Rojo (R)	Ec
Phm623B6	Huejotzingo (h)	San Mateo Capultitlán (m)	Blanco (B)	Ch
PJz651A4	Juan C. Bonilla (J)	Santa María Zacatepec (z)	Azul (A)	Eh
PJz524B6	Juan C. Bonilla (J)	Santa María Zacatepec (z)	Blanco (B)	Ch
PPn640A7	Puebla (P)	La Resurrección (n)	Azul (A)	Ec
PPQ625B7	Puebla (P)	San Miguel Canoa (a)	Blanco (B)	Ch×Co
PPn648P7	Puebla (P)	La Resurrección (n)	Pinto (P)	Ec
PPn646R7	Puebla (P)	La Resurrección (n)	Rojo (R)	Eh
PRr638A4	San Lorenzo Chiautzingo (R)	San Lorenzo Chiautzingo (r)	Azul (A)	Eh
Pti636A6	Santa Rita Tlahuapan (t)	San Rafael Ixtapalucan (i)	Azul (A)	Eh
Pti637A6	Santa Rita Tlahuapan (t)	San Rafael Ixtapalucan (i)	Azul (A)	Eh
Pti621B4	Santa Rita Tlahuapan (t)	San Rafael Ixtapalucan (i)	Blanco (B)	Ch×Co
Pti647R4	Santa Rita Tlahuapan (t)	San Rafael Ixtapalucan (i)	Rojo (R)	Ec
Región Libres-Huamantla (L)				
LcO149B4	San José Chiapa (c)	San José Ozumba (O)	Blanco (B)	Ch
LCX49M4	Cuyoaco (C)	Tenextla (X)	Amarillo (M)	Ch
LHZ356M4	Huamantla (H)	Ignacio Zaragoza (Z)	Azul (A)	Ch
LNI166A4	Nopalucan (N)	Santa María Ixtiyucan (I)	Azul (A)	Ch
LYU327C4	Altzayanca (Y)	Loma de Junguito (U)	Crema (C)	Ch

El código contiene la información relativa a cada accesión en el siguiente orden: región-municipio-localidad-número de accesión-color de grano-grupo de pertenencia. Razas: Ch= Chalqueño; C= Cónico; Eh= Elotes Chalqueños; Ec= Elotes Cónicos; Me= Influencia de mejorados.

Code contains information on each accession in the following order: region-municipality-location-number of accession-grain color-group. Races: Ch= Chalqueño; Co= Cónico; Eh= Elotes Chalqueños; Ec= Elotes Cónicos; Me= Influenced by improved cultivar.

Tabla 2. Variables fenológicas y morfológicas registradas.

Table 2. Phenological and morphological scored variables.

Variable	Descripción	Variable	Descripción
Fenológicas		Grano	
DFM	Días a 50% de floración masculina	LARGR	Largo de grano, en cm
DFE	Días a 50% de floración femenina	ANGR	Ancho de grano, en cm
Vegetativas		GRGR	Grosor de grano, en cm
HJARR	Hojas arriba de la mazorca	VOLGR	Volumen de grano, en cm ³
HJAB	Hojas debajo de la mazorca	P100GRA	Peso de 100 granos, en g
LHOJA	Longitud de hoja, en cm	PHECT	Peso hectolítrico
ANHOJA	Ancho de hoja, en cm	Índices calculados	
AREA	Área foliar, en cm ²	IHARR_HAB	Índice HARR/HAB
ALP	Altura de planta, en cm	IAH_LH	Índice ANHOJA/LHOJA
ALMZ	Altura de mazorca, en cm	IAM_APL	Índice ALMZ/ALP
Espiga		ILP_LTES	Índice LPED/LTES
LTES	Longitud total de espiga, en cm	IPR_LTES	Índice LPR/LTES
LPED	Longitud de pedúnculo, en cm	ILRC_LTES	Índice LRC/LTES
LPR	Longitud de la parte ramificada, en cm	IAP_LTES	Índice ALP/LTES
LRC	Longitud de la rama central, en cm	IAPLTES_LTES	Índice LTES/(ALP+LTES)
RAMPRIM	Ramificaciones primarias	IDMZ_LMZ	Índice DIAMMZ/LMZ
RAMSEC	Ramificaciones secundarias	IHIL_DMZ	Índice NHIL/DIAMMZ
PMS	Porcentaje de materia seca del grano	IPLYAGR	Índice GRGR/ANGR
LPEDM	Longitud de pedúnculo de mazorca, en cm	IGGR_LGR	Índice GRGR/LARGR
Mazorca			
LMZ	Longitud de mazorca, en cm		
DIAMMZ	Diámetro de mazorca, en cm		
NHIL	Número de hileras de grano		
PGRHIL	Promedio de granos por hilera		
DIAMOLO	Diámetro de olote, en cm		

Análisis estadístico

Con la información obtenida en las tres localidades se realizó un análisis de varianza combinado (31).

Posteriormente, y para precisar las variables a emplear en el análisis multivariado, se escogieron aquellas que presentaron diferencias ($p \leq 0,05$) entre poblaciones, se calculó la matriz de correlaciones de Pearson y de los pares de variables con valores altos de correlación ($r > 0,7$), se descartó a la menos informativa.

Posteriormente se aplicó el análisis discriminante de stepwise para definir variables que permitieran diferenciar a las poblaciones.

Con la combinación de los criterios arriba mencionados se seleccionaron 16 variables y con los promedios de repeticiones y localidades por población se realizó el análisis de componentes principales y se calculó la matriz de distancias euclidianas para llevar a cabo el análisis de conglomerados, aplicando el método de agrupamiento de mínima varianza

dentro de grupos de Ward, para finalmente construir el dendrograma correspondiente.

Sobre la base de los conjuntos y grupos identificados en el dendrograma, se aplicó la prueba de medias de Tukey ($p \leq 0,05$) para detectar diferencias entre conjuntos y entre grupos, considerando a las poblaciones como repeticiones en cada caso. Todos los análisis se llevaron a cabo con el paquete estadístico SAS versión 9.0 (44).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de varianza combinado

Se encontraron diferencias estadísticas entre "Poblaciones" ($p \leq 0,01$) en 39 de 40 variables e índices (tabla 3, pág. 8). Entre "Localidades" hubo diferencias estadísticas en 35 ($p \leq 0,01$) y tres variables e índices ($p \leq 0,05$).

Finalmente, sólo en 16 variables e índices existió significancia estadística ($p \leq 0,01$ y $p \leq 0,05$) para la interacción "Poblaciones×Localidades".

Como ha sido señalado por otros autores (3, 19, 21, 28, 33), las diferencias entre poblaciones indican que existe gran variación morfológica entre los genotipos evaluados y esa variación permite describir y clasificar a las poblaciones nativas en grupos distinguibles, así como las relaciones fenéticas dentro y entre los grupos (13, 34).

Las diferencias entre localidades denotan que la expresión de las características morfológicas de los genotipos es afectada por el ambiente, el cual influye sobre la fisiología y fenología de la planta (32), afectando la expresión del fenotipo (12) y evidenciando plasticidad fenotípica (10).

La no significancia de la interacción en diferentes variables demuestra que los ambientes afectaron de manera similar a esas características, las cuales son útiles en estudios de caracterización ya que las poblaciones mantienen su ordenamiento, según estas variables, cuando se cambia de ambiente de evaluación (20, 43).

Análisis de componentes principales (ACP)

Para este análisis se empleó un conjunto de 16 variables que mostraron significancia estadística (tabla 3, pág. 8), mayor capacidad informativa y que fueron escogidas en el análisis discriminante de stepwise.

Este último, como se muestra en la tabla 4 (pág. 9), determinó que 15 de las 16 variables seleccionadas por las dos primeras técnicas, cumplieron con los criterios estadísticos que denotan su poder discriminante.

Sólo la variable hojas arriba de la mazorca (HJARR) no fue seleccionada en esta etapa, pero se mantuvo en el análisis multivariado con base en el criterio del análisis de varianza, ya que mostró diferencias entre poblaciones y no para la interacción Poblaciones×Localidades.

Los tres primeros componentes principales (CP) explicaron el 59,2% de la variación total (figura 1, pág. 10). Con base en vectores propios con valor absoluto superior a 0,30, el primer CP se asoció de manera positiva con días a floración femenina, longitud y diámetro de mazorca y de manera negativa con el peso de materia seca del grano, diferenciando a poblaciones tardías y con mayor longitud y diámetro de mazorca.

El segundo CP se relacionó de forma positiva con el número de hojas arriba de la mazorca, con el diámetro de olote y con relación entre longitud de la rama central y longitud de la espiga, de manera negativa se asoció con la relación de altura de mazorca y de planta, siendo útil para identificar a poblaciones con más hojas arriba de la mazorca y olote más grueso, pero con baja altura de mazorca en relación con la altura total de la planta.

Tabla 3. Significancia estadística de cuadrados medios del análisis de varianza combinado de 40 variables morfológicas medidas en 64 poblaciones de maíz, en el altiplano de Puebla, México, 2012.

Table 3. Mean squares' statistical significance from analysis of variance for 40 morphological variables in 64 maize populations, in the highlands of Puebla, Mexico, 2012.

Variable	Fuentes de variación			Cuadrado medio del error	C.V. (%)
	Poblaciones	Localidades	Poblaciones x Localidades		
DFM	272,791 **	56297,974 **	35,521 **	20,0770	3,94
DFF	360,793 **	86902,537 **	62,029 **	42,6280	5,40
HJARR	0,582 **	12,799 **	0,258 ns	0,2445	13,52
HJAB	4,054 **	19,055 **	0,405 ns	0,3794	7,89
LHOJA	167,496 **	27738,225 **	62,964 **	36,9206	8,15
ANHOJA	3,613 **	281,907 **	0,405 ns	0,5084	8,01
AREA	30420,012 **	4180714,832 **	5231,163 ns	4260,6800	12,85
ALP	3395,50 **	608055,109 **	601,167 ns	521,7690	9,63
ALMZ	3080,546 **	330394,707 **	392,936 ns	356,7730	13,92
LTES	69,644 **	2512,425 **	30,824 *	22,2288	6,92
LPED	18,174 **	388,669 **	9,726 *	7,0265	9,33
LPR	15,094 **	772,646 **	3,495 ns	3,0230	26,96
LRC	29,473 **	136,318 **	14,732 **	9,4239	9,04
RAMPRIM	21,891 **	529,340 **	3,819 ns	4,4957	35,37
RAMSEC	0,388 **	35,167**	0,221 **	0,1546	65,54
PMS	0,025 **	0,108 **	0,004 **	0,0025	6,01
LPEDM	13,763 ns	12,171**	588,060 **	7,1070	16,29
LMZ	4,445 **	59,299 **	1,773 **	1,0396	6,92
DIAMMZ	0,724 **	12,219 **	0,057 ns	0,0484	4,48
NHIL	12,046 **	127,651 **	1,198 ns	1,0744	7,13
PGRHIL	25,912 **	1137,127 **	7,149 *	5,1766	8,06
DIAMOLO	0,429 **	2,683 **	0,106 ns	0,1102	13,72
LARGR	0,096 **	0,697 **	0,010 **	0,0057	4,74
ANGR	0,062 **	0,065 **	0,002 ns	0,0015	4,63
GRGR	0,009 **	0,089 **	0,001 ns	0,0007	5,90
VOLGR	0,119 **	0,075 **	0,004 ns	0,0034	9,42
P100GRA	346,923 **	0,427 ns	22,137 **	13,4123	8,63
PHECT	3975,319 *	3528,981 *	2328,153 **	850,6991	8,33
IHARR_HAB	0,022 **	0,047 **	0,005 ns	0,0052	15,21
IAH_LH	0,001 **	0,009 **	0,001 ns	0,0001	8,88
IAM_APL	0,013 **	0,448 **	0,002 ns	0,0019	7,84
IAP_LTES	0,006 **	0,774 **	0,002 *	0,0015	12,76
IAPLTES_LTES	0,002 **	0,255 **	0,001 ns	0,0004	9,21
ILP_LTES	0,003 **	0,004 *	0,002 ns	0,0013	8,59
IPR_LTES	0,003 **	0,127 **	0,001 ns	0,0007	27,93
ILRC_LTES	0,003 **	0,036 **	0,002 ns	0,0018	8,54
IDMZ_LMZ	0,002 **	0,004 *	0,001 ns	0,0007	7,94
IHIL_DMZ	0,724 **	0,022 ns	0,056 ns	0,0429	6,95
IPLYAGR	0,031 **	0,206 **	0,001 ns	0,0009	5,86
IGGR_LGR	0,007 **	0,119 **	0,001 **	0,0005	8,15

Grados de libertad: Poblaciones = 63; Localidades = 2; Poblaciones×Localidades = 126; Error = 315.

** = diferencias altamente significativas ($p \leq 0,01$); * =diferencias significativas ($p \leq 0,05$); ns = diferencias no significativas. Las variables en negritas fueron incluidas en el análisis multivariado.

Degrees of freedom: Populations = 63; Locations = 2; Populations×Locations = 126; Error = 315.** = highly significant differences ($p \leq 0.01$); * = significant differences ($p \leq 0.05$); ns = non-significant differences.

Variables in bold were included in multivariate analysis.

Tabla 4. Variables seleccionadas mediante el análisis discriminante de stepwise.

Table 4. Variables selected by the stepwise discriminant analysis.

Variable introducida	R ² -parcial	Valor de F	Pr > F	Lambda de Wilks	Pr < Lambda	ASCC	Pr > ASCC
IHIL_DMZ	0,8033	20,75	<,0001	0,1966626	<,0001	0,0127514	<,0001
IGGR_LGR	0,5872	7,20	<,0001	0,0811762	<,0001	0,0220499	<,0001
DIAMMZ	0,6511	9,42	<,0001	0,0283258	<,0001	0,0319923	<,0001
DFE	0,5152	5,35	<,0001	0,0137320	<,0001	0,0365008	<,0001
IAM_APL	0,4597	4,27	<,0001	0,0074192	<,0001	0,0432293	<,0001
PMS	0,3821	3,09	<,0001	0,0045841	<,0001	0,0482422	<,0001
PHECT	0,3627	2,84	<,0001	0,0029213	<,0001	0,0528731	<,0001
IAH_LH	0,3280	2,43	<,0001	0,0019630	<,0001	0,0577650	<,0001
LTES	0,3241	2,37	<,0001	0,0013268	<,0001	0,0625897	<,0001
IPR_LTES	0,3466	2,62	<,0001	0,0008669	<,0001	0,0675085	<,0001
IDMZ_LMZ	0,3106	2,22	<,0001	0,0005976	<,0001	0,0719182	<,0001
DIAMOLO	0,2786	1,89	0,0002	0,0004311	<,0001	0,0754033	<,0001
LPED	0,2581	1,70	0,0018	0,0003199	<,0001	0,0791208	<,0001
ILRC_LTES	0,2396	1,54	0,0098	0,0002432	<,0001	0,0823358	<,0001
LMZ	0,2106	1,30	0,0802	0,0001920	<,0001	0,0853259	<,0001

R²: correlación parcial cuadrada; Pr: nivel de significancia; ASCC: correlación canónica promedio cuadrada.

R²: squared partial correlation; Pr: significance level; ASCC: average squared canonical correlation.

El tercer CP estuvo relacionado positivamente sólo con la relación del número de hileras respecto del diámetro de mazorca y de forma negativa con la longitud total y del pedúnculo de la espiga y con la relación del grosor y largo del grano, ayudando a diferenciar poblaciones con una mayor densidad de hileras de grano en la mazorca, con menor longitud total y del pedúnculo de la espiga y con grano menos redondo (figura 1, pág. 10). Algunas de las variables que influyeron sobre los tres primeros CP coinciden con las identificadas por otros autores (4, 19, 21, 22, 33), por lo que constituyen

un conjunto de variables útiles para definir y clasificar la diversidad entre poblaciones nativas dentro de razas (20). Cabe señalar que al incluir en el análisis multivariado variables que manifestaron significancia en la interacción Poblaciones×Localidades pudo afectar los resultados del ACP y sobre todo en la estructura de variación obtenida con el análisis de conglomerados; sin embargo, esas variables fueron incluidas en estos análisis porque fueron consideradas útiles para discriminar entre poblaciones, con base al análisis discriminante de stepwise (44).

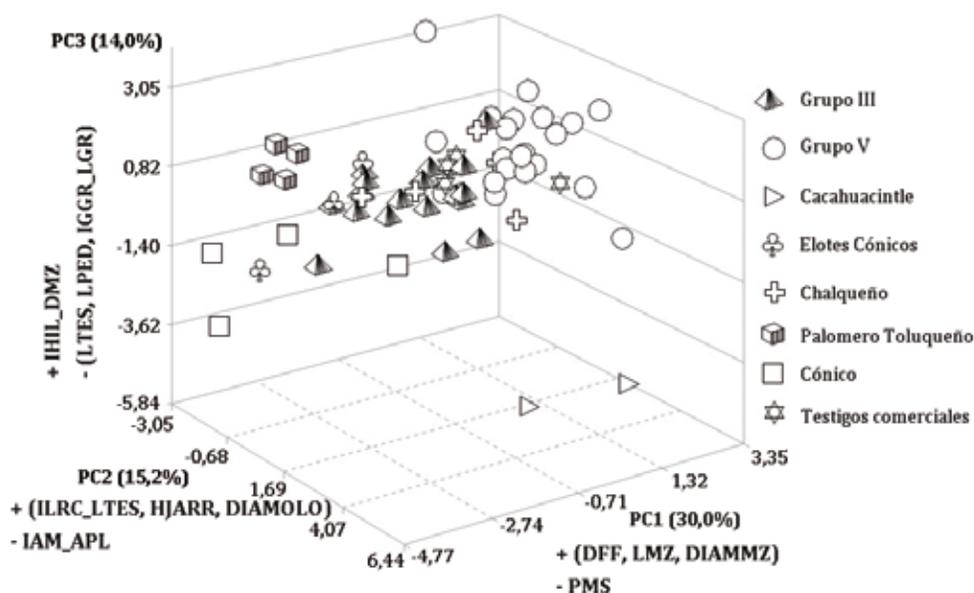


Figura 1. Dispersión de poblaciones de maíz, con base en los tres primeros componentes principales y su relación con las variables originales más importantes.

Figure 1. Scatter plot of maize populations, on the basis of the first three principal components and their relationship with the most important original variables.

Análisis de conglomerados

En la figura 2 (pág. 11) se observa que a una distancia de corte de 0,1 unidades se forman dos conjuntos de poblaciones (A y B); mientras que a un corte de 0,05 unidades se identifican cinco grupos distribuidos dentro de los conjuntos mencionados. El conjunto A se formó con los grupos I y II, los cuales incluyeron al híbrido comercial y a poblaciones raciales típicas de Chalqueño, Cónico, Elotes Cónicos y Palomero Toluqueño, todas introducidas.

En el conjunto B se agruparon las poblaciones nativas, distribuidas en los grupos III y V, con representantes de las razas Chalqueño, Cónico y Elotes Cónicos, así como un testigo comercial y dos experimentales (tipo Chalqueño); este conjunto también incluyó al

grupo IV, formado con dos poblaciones de la raza Cacahuacintle. Lo anterior demuestra que las características fenológicas y morfológicas usadas son útiles para identificar el patrón de variación *in situ* de poblaciones de maíz nativas (1, 21, 28, 33, 39).

El grupo III se integró con 26 poblaciones en total: 19 nativas provenientes de Serdán (26,3%), Puebla (47,4%) y Libres (26,3%), tres testigos raciales (Chalqueño, Cónico y Elotes Cónicos), un testigo comercial y dos variedades experimentales, estas tres últimas tipo Chalqueño.

En cuanto a color de grano, las poblaciones de este grupo fueron de grano blanco (44%), azul (28%), rojo (12%), crema (8%) y morado (8%).

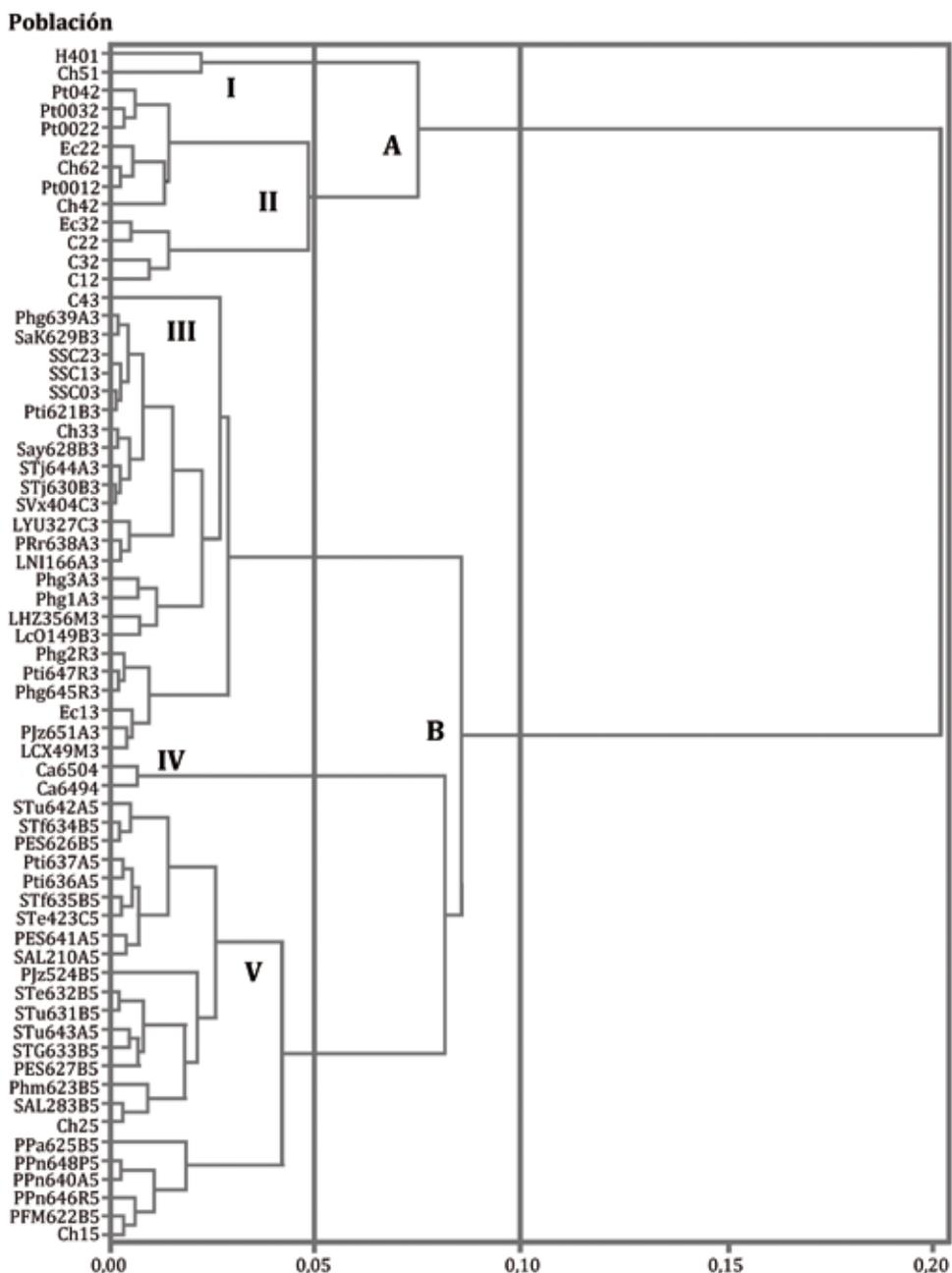


Figura 2. Patrón de variación morfológica de poblaciones nativas de maíz y testigos raciales y comerciales en el altiplano de Puebla, México.

Figure 2. Morphological variation pattern of maize landraces and racial and commercial controls at the highlands of Puebla, Mexico.

El grupo V se formó con 24 poblaciones en total: 22 nativas con origen en Serdán (45,5%) y Puebla (54,5%) y únicamente dos testigos de la raza Chalqueño.

El color de grano dentro de este grupo se distribuyó de la siguiente forma: blanco (58,3%), azul (29,1%), crema, rojo y pinto con una población por cada color (12,6% en total).

La tendencia de las poblaciones nativas a formar grupos con ciertos testigos raciales demuestra la afinidad de las primeras con algunas de las razas reportadas para valles altos (21, 35, 36, 37, 38, 40, 46).

En cuanto al origen, en el grupo III están representadas poblaciones provenientes de las tres regiones de estudio; estas poblaciones tienen relación con la raza Chalqueño, Cónico y Elotes Cónicos; es sabido que las dos últimas razas se distribuyen en valles altos en regiones con condiciones restrictivas, con bajas temperaturas y escasa precipitación (35, 36) y la región de Libres presenta esas características ambientales. En cambio, en el grupo V se agruparon únicamente poblaciones nativas provenientes de dos regiones: Serdán y Puebla y dichas poblaciones tienen relación con las razas Chalqueño y Elotes Chalqueños, lo cual es de esperarse ya que en ambas regiones las condiciones ambientales para la producción agrícola son más favorables, coincidiendo con las condiciones en las cuales prosperan estas razas (37, 38, 40, 46).

El color de grano predominante en ambos grupos III y V es el blanco, coincidiendo con lo reportado por otros autores (1, 21); es de hacer notar que las poblaciones con maíces pigmentados del grupo III guardan relación con la raza Elotes Cónicos, principalmente por su precocidad, mientras que las de grano de color del grupo V son afines a la raza

Chalqueño, y por ello pueden considerarse como pertenecientes a la sub-raza Elotes Chalqueños.

Los resultados aquí mencionados coinciden con la variación reportada para diferentes regiones del estado de Puebla (14), para el valle de Puebla (22) y para las regiones de Serdán y Libres (15), reafirmando que en estas regiones, como en muchas otras zonas temporales de México, existe variación entre los maíces nativos la cual ha sido generada por los agricultores, creando los patrones varietales (35), los cuales responden a las condiciones ambientales bajo las cuales se desarrollan los cultivos.

Otro aspecto a resaltar es que en las tres regiones de estudio se encuentran poblaciones nativas relacionadas con las razas reportadas para valles altos, lo que sugiere un intenso intercambio de germoplasma entre los agricultores de esas regiones, e incluso de regiones distantes, como ha sido reportado para otras zonas (7, 29, 33, 39, 40); sin embargo, las poblaciones nativas relacionadas con Elotes Cónicos se localizaron exclusivamente en la región de Libres.

Con base en la información de la tabla 5 (pág. 13), en la cual se presentan los promedios para las variables con mayor peso sobre los primeros tres componentes principales, los conjuntos A y B difieren en la mayoría de las características, siendo las poblaciones del conjunto B más tardías, con mazorcas más largas y anchas, al igual que el olote y con la mazorca principal ubicada arriba de la mitad de la altura total de la planta, y con grano más plano.

Las diferencias mencionadas en el párrafo anterior denotan una clara diferenciación a nivel morfológico de los materiales introducidos respecto de las poblaciones nativas, lo que ha sido

Tabla 5. Promedios por grupo de poblaciones para las variables morfológicas que presentaron mayor asociación con los tres primeros componentes principales (vectores propios > 0,30).

Table 5. Means for groups of populations for morphological variables with higher association with the first three principal components (eigenvectors > 0.30).

	Conjunto		Grupos				
	A	B	I	II	III	IV	V
DFE	114,9 b	122,6 a	124,7 ab	113,1 c	118,3 bc	115,6 c	127,6 a
LTES	64,3 b	69,1 a	62,4 c	64,6 bc	68,3 ab	71,9 a	69,7 a
LPED	27,7 a	28,5 a	24,8 b	28,3 a	28,6 a	30,6 a	28,3 a
HJARR	3,6 a	3,7 a	4,5 a	3,4 b	3,6 b	3,7 b	3,7 b
PMS	0,90 a	0,81b	0,87 ab	0,90 a	0,84 b	0,85 ab	0,77 c
LMZ	13,7 b	15,0 a	14,5 ab	13,6 b	14,6 ab	15,3 a	15,4 a
DIAMMZ	4,3 b	5,0 a	4,7 ab	4,3 c	4,9 ab	5,2 a	5,2 a
DIAMOLO	2,3 b	2,5 a	2,7 ab	2,2 c	2,3 bc	3,0 a	2,5 bc
IAM_APL	0,52 b	0,57 a	0,47 c	0,53 b	0,56 ab	0,51 bc	0,59 a
ILRC_LTES	0,50 a	0,50 a	0,54 a	0,50 b	0,50 b	0,52 ab	0,50 b
IGGR_LGR	0,30 a	0,28 b	0,35 b	0,29 c	0,27 c	0,41 a	0,28 c

Medias con la misma letra en hileras, entre conjuntos y entre grupos, no son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0,05$).

Means with same letter on rows, between sets and among groups, are not statistically different (Tukey, $p \leq 0.05$).

observado en otras regiones (6, 33), ya que las poblaciones nativas tienen una adaptación específica al ambiente local, por el proceso de selección por parte de los agricultores (21, 35).

El grupo I se formó con poblaciones intermedias y espigas relativamente cortas, pero con un mayor número de hojas arriba de la mazorca; la mazorca y el olote son intermedias en sus dimensiones y la mazorca se ubica por debajo de la parte media de la planta, mientras que la rama central de la espiga es mayor que la parte media de la longitud total de esta estructura y el grano es intermedio en cuanto a redondez.

El grupo II contó con las poblaciones más precoces, con espiga corta pero pedúnculo de la misma, largo; pocas hojas arriba de la mazorca y con dimensiones intermedias a cortas en la mazorca, con el olote más delgado; la mazorca se ubica en la mitad superior de la planta y la rama central de la

espiga es la mitad de la longitud total de la misma; el grano es plano.

En el grupo III se encontraron poblaciones intermedias en precocidad, con longitud de la espiga intermedia pero el pedúnculo de la misma es largo, pocas hojas arriba de la mazorca, con longitud y diámetro de la mazorca intermedios, pero con olote delgado; la mazorca se ubica arriba de la mitad de la altura total de la planta y la rama central de la espiga es la mitad de la longitud total de la misma, el grano es el más plano y de color variable, blanco y pigmentado.

El grupo IV se formó con las poblaciones más precoces y con espigas largas, con pocas hojas arriba de la mazorca y con mazorcas y olotes largos y anchos; la mazorca se ubica casi a la mitad de la longitud total de la planta y la rama central de la espiga es un poco más larga que la mitad de la longitud total de ésta; el grano es el más redondo y blanco. Estas

son características distintivas de la raza Cacahuacintle (46).

Finalmente, en el grupo V se concentraron las poblaciones más tardías, con espigas largas, con pocas hojas arriba de la mazorca, con mazorcas largas y anchas y el olote más delgado, la mazorca se ubica arriba de la mitad de la altura total de la planta y la rama central de la espiga es la mitad de la longitud total de la misma, el grano es plano y presenta colores blancos y pigmentados.

Los análisis de componentes principales y de conglomerados coincidieron en la estructura de variación identificada (figura 1, pág. 10 y figura 2, pág. 11).

Los materiales más precoces se concentraron en el grupo II, formado con testigos raciales de Palomero Toluqueño, Cónico, Elotes Cónicos y Chalqueños, confirmando las descripciones para las tres primeras razas, según lo propuesto por Wellhausen *et al.* y corroboradas por diversos autores (35, 36, 37, 38).

El grupo IV, formado con poblaciones de la raza Cacahuacintle, se distinguió claramente del resto de las poblaciones, por sus características particulares, principalmente en cuanto al tipo de mazorca y de grano (16, 17).

El grupo III, formado con poblaciones relacionadas con las razas Cónico y Elotes Cónicos, se distinguió por su ciclo precoz y por la presencia de grano pigmentado. Finalmente, el grupo V, que incluyó poblaciones relacionadas con las razas Chalqueño y sub-raza Elotes Chalqueños, fue el más tardío, con mazorcas largas y gruesas, con la presencia de granos pigmentados; este comportamiento concuerda con lo reportado para estas razas en diferentes regiones del altiplano de México (21, 22, 35, 36, 40, 46).

Las diferencias en precocidad entre las poblaciones nativas se relaciona con el hecho de que los productores realizan selección para las variantes de

condiciones ambientales de su región, siendo así que en ambientes favorables se cultivan poblaciones tardías tipo Chalqueño, en los ambientes intermedios se cultivan poblaciones de ciclo intermedio y en los ambientes restrictivos se siembran los materiales precoces tipo Cónicos y Elotes Cónicos, como ha sido reportado para valles altos (4, 19, 21, 26).

Por lo anterior, las poblaciones nativas del altiplano del estado de Puebla guardan relación con las razas reportadas como abundantes en la región, pero no existe un patrón de agrupamiento con base en su origen geográfico, como ha sido reportado en otras áreas (11). Esto es, que en toda el área explorada pueden encontrarse conviviendo poblaciones pertenecientes a las diferentes razas (Chalqueño, Cónico, Cacahuacintle, etc).

Una posible explicación de ello puede ser el intercambio de semilla que puede presentarse entre agricultores de regiones agrícolas vecinas, como lo han reportado otros investigadores (7, 29, 39). Lo anterior apoya el planteamiento de que las poblaciones nativas de maíz están involucradas en un proceso evolutivo muy dinámico; por un lado se están diferenciando unas de otras por los efectos de la selección que practica el agricultor sobre ellas en diferentes condiciones de manejo y tecnológicas (21, 22, 29, 30, 33, 40) y por otro lado comparten una proporción de su fondo genético por el intercambio de germoplasma entre agricultores, haciendo un tanto difusa su identidad a nivel racial. Todo esto evidencia que la diversidad en las poblaciones de maíces nativos es muy dinámica en la agricultura tradicional (7, 19).

Esa diversidad existente permite, por un lado, contar con material para el mejoramiento genético de las pobla-

ciones, siendo la variación la base para la mejora genética de las poblaciones de una especie (12).

Por otro lado, la variación detectada permite orientar de mejor manera la conservación *in situ* de la diversidad dentro de las razas de maíz, seleccionando a un conjunto de poblaciones que conformen una colección núcleo representativa de la variación de la raza bajo conservación.

CONCLUSIONES

Existe variación morfológica entre las poblaciones nativas de maíz del altiplano de Puebla; sin embargo, no se trata de una variación discreta, sino más bien continua ya que dentro de los grupos formados y relacionados con las razas de los valles altos de México, se mantiene un nivel de variación en precocidad y en características de la mazorca, color y forma del grano. Además, la variación identificada no necesariamente responde al origen geográfico de las poblaciones nativas.

BIBLIOGRAFÍA

1. Alvarado, B. G. 2010. Diversidad de maíces nativos de tres nichos ecológicos del altiplano Poblano-Tlaxcalteca. Tesis de grado de doctorado en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. 106 p.
2. Anderson, E.; Cutler, H. C. 1942. Races of *Zea mays*: I. Their recognition and classification. *Ann. Miss. Bot. Garden*. 29(2): 69-88.
3. Ángeles-Gaspar, E.; Ortiz-Torres, E.; López, P. A.; López-Romero, G. 2010. Caracterización y rendimiento de maíces nativos de Molcaxac, Puebla. *Rev. Fitotec. Mex.* 33(4):287-296.
4. Antonio, M. M.; Arellano, V. J. L.; García, de los S. G.; Miranda, C. S.; Mejía, C. J. A.; González, C. F. V. 2004. Variedades criollas de maíz azul raza Chalqueño. Características agronómicas y calidad de semilla. *Rev. Fitotec. Mex.* 27: 9-15.
5. Castillo, G. F.; Arias, R. L. M.; Ortega, P. R.; Márquez, S. F. 2000. Participatory breeding, seed networks and grassroot strengthening. Mexico. In: Jarvis, D.; Sthapit, B.; Sears, L. (eds.), *Conserving agricultural biodiversity in situ: A scientific basis for sustainable agriculture*. International Plant Genetic Resources Institute, Rome Italy. Proceedings of a workshop. Pokhara, Nepal. 5-12 July, 1999. p. 199-200.
6. Cervantes, S. T.; Mejía, A. H. 1984. Maíces nativos del Plan Puebla: recolección de plasma germinal y evaluación del grupo tardío. *Revista Chapingo*. 43-44: 64-71.
7. Chávez, S. J. L.; Diego, F. P.; Carrillo, R. J. C. 2011. Complejos raciales de poblaciones de maíz evaluadas en San Martín Huamelulpan, Oaxaca. *Ra Ximhai*. 7(1): 107-115.
8. Chávez-Servia, J. L.; Diego-Flores, P.; Carrillo-Rodríguez, J. C. 2013. Variación fenotípica de una muestra de maíces de la región de Chalcatongo de Hidalgo, Oaxaca. *Ciencia Ergo Sum*. 19(3): 251-257.
9. Cochran, W. G.; Cox, G. M. 1957. *Experimental designs*. 2nd ed. John Wiley & Sons, Inc. New York. 617 p.
10. DeWitt, T. J.; Scheiner, S. M. 2004. Phenotypic variation from single genotypes. In: DeWitt, T. J.; Scheiner, S. M. (eds) *Phenotypic Plasticity: Functional and Conceptual Approaches*. Oxford University Press. New York. p. 1-9.
11. Diego-Flores, P.; Chávez-Servia, J. L.; Carrillo-Rodríguez, J. C.; Castillo-González, F. 2012. Variabilidad en poblaciones de maíz nativo de la Mixteca Baja Oaxaqueña, México. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina*. 44(1):157-171.
12. Falconer, D. S.; Mackay, T. F. C. 1996. *Introduction to Quantitative Genetics*. Prentice Hall. Harlow, England. 464 p.
13. Franco, T. L.; Hidalgo, R. 2003. Análisis estadístico de datos de caracterización morfológica de recursos fitogenéticos. *Boletín Técnico N° 8*, Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI). Cali, Colombia. 89 p.

14. Gil, M. A.; López, P. A.; Muñoz, O. A.; López, S. H. 2004. Variedades criollas de maíz (*Zea mays* L.) en el estado de Puebla, México: diversidad y utilización. En: Chávez-Servia, J. L.; Tuxill, J., Jarvis, D. I. (eds). Manejo de la diversidad de los cultivos en los agrosistemas tradicionales. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos. Cali, Colombia. 18-25 p.
15. Gil, M. A.; López, P. A.; López, S. H.; Guerrero, R. J. de D.; Taboada, G. O. R.; Hernández, G. J. A.; Ortiz, T. E.; Santacruz, V. A., Hortelano, S. R. R.; Alvarado, B. G.; Hernández, G. C. del A.; Muñoz, T. F. 2013. Caracterización y aprovechamiento de la diversidad genética de maíz en los Valles de Libres-Serdán, Puebla. In: Álvarez, G. F.; Bahena, J. F.; Carranza, C. I.; Díaz, R. R.; Ocampo, F. I.; Ortiz, T. E.; Pérez, M. A.; Pérez, R. E.; Villanueva, J. J. A.; Villarreal, M. L. A. (eds). Agricultura Sostenible. México. 9: 2935-2951.
16. González, H. A.; Sahagún, C. J.; Pérez, L. D. J.; Domínguez, L. A.; Serrato, C. R.; Landeros, F. V.; Dorantes, C. E. 2006. Diversidad fenotípica del maíz Cacahuacintle en el Valle de Toluca, México. Revista Fitotecnia Mexicana. 29: 255-261.
17. González, H. A.; Pérez, L. D. de J.; Domínguez, L. A.; Franco, M. O.; Balbuena, M. A.; Ramos, M. A.; Sahagún, C. J. 2008. Variabilidad genética, diversidad fenotípica e identificación de poblaciones sobresalientes de maíz cacahuacintle. Ciencia Ergo Sum 15: 297-305.
18. Guillén-de la Cruz, P.; de la Cruz-Lázaro, E.; Rodríguez-Herrera, S.; Castañón-Nájera, G.; Gómez-Vázquez, A.; Lozano-del Río, A. 2014. Diversidad morfológica de poblaciones de maíces nativos (*Zea mays* L.) del estado de Tabasco, México Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 46(2): 239-247.
19. Herrera, C. B. E.; Castillo, G. F., Sánchez, G. J. J.; Ortega, P. R.; Goodman, M. M. 2000. Caracteres morfológicos para valorar la diversidad entre poblaciones de maíz en una región: caso la raza Chalqueño. Rev. Fitotec. Mex. 23:335-353.
20. Herrera, C. B. E.; Castillo, G. F., Sánchez, G. J. J.; Hernández, C. J. M.; Ortega, P. R.; Goodman, M. M. 2004. Diversidad del maíz Chalqueño. Agrociencia. 38:191-206.
21. Hortelano, S. R.; Gil, M. A.; Santacruz, V. A.; Miranda, C. S.; Córdova, T. L. 2008. Diversidad morfológica de maíces nativos del Valle de Puebla. Agric. Téc. Méx. 34:189-200.
22. Hortelano, S. R.; Gil, M. A.; Santacruz, V. A.; López, S. H.; López, P. A.; Miranda, C. S. 2012. Diversidad fenotípica de maíces nativos del altiplano centro-oriente del estado de Puebla, México. Rev. Fitotec. Mex. 35 (2): 97-109.
23. Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (INAFED). 2013. 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> (fecha de consulta: 02/07/2013).
24. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2010. Registro de Nombres Geográficos. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México. Disponible en: <http://mapserver.inegi.org.mx> (fecha de consulta: 03/07/2013).
25. Kato, Y. T. A.; Mapes, S. C.; Mera, O. L. M.; Serratos, H. J. A.; Bye, B. R. A. 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.
26. López, H. A. de J.; Muñoz, O. A. 1984. Relación de la coloración del grano con la precocidad y la producción de maíces de Valles Altos. Revista Chapingo. 43-44: 31-37.
27. López, P. A.; Villarreal, R. L.; Gil, M. A.; Ramírez, H.C.; Hernández, G.J. A., Vargas, L. S.; Delgado, A. A.; López, S.H.; Lagunes, E.L. del C.; Lobato, O. R.; Guerrero, R. J. de D.; Gutiérrez, R. N.; Herrera, C. B. E.; Valadez, R. M.; Díaz, R. R.; García, de los S. G.; Taboada, G. O. R. 2011. Diversidad de los recursos genéticos. In: Handall, S. A.; Cantú, M. B.; Villarreal, E. B. O. A.; López, P. A.; López, R. L.; Cruz, A. A.; Camacho, R. F. (eds.). La Biodiversidad en Puebla: Estudio de Estado. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Gobierno del Estado de Puebla, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. México, D. F. 195-242 p.
28. López-Romero, G.; Santacruz-Varela, A.; Muñoz-Orozco, A.; Castillo-González, F.; Córdova-Tellez, L.; Vaquera-Huerta, H. 2005. Caracterización morfológica de poblaciones nativas de maíz del Istmo de Tehuantepec, México. Interciencia 30:284-290.

29. Louette, D.; Charrier, A.; Berthaud, J. 1997. *In situ* conservation of maize in Mexico: genetic diversity and maize seed management in a traditional community. *Economic Botany*. 51: 20-38.
30. Louette, D.; Smale, M. 2000. Farmers' seed selection practices and traditional maize varieties in Cuizalapa, Mexico. *Euphytica*. 113:25-41.
31. Martínez, G. A. 1988. Diseños Experimentales. Métodos y Elementos de Teoría. Ed. Trillas. México. 405-419 p.
32. Mercer, K.; Martínez, V. A.; Perales, H. R. 2008. Asymmetrical local adaptation of maize landraces along an altitudinal gradient. *Evolutionary Applications*. 1: 489-500.
33. Mijangos-Cortes, J. O.; Corona-Torres, T.; Espinosa-Victoria, D.; Muñoz-Orozco, A.; Romero-Peñalosa, J.; Santacruz-Varela, A. 2007. Differentiation among maize (*Zea mays* L.) landraces from the Tarasca Mountain Chain, Michoacan, Mexico and the Chalqueño complex. *Genetics Resources and Crop Evolution*. 54: 309-325.
34. Mohammadi, S. A.; Prasanna, B. M. 2003. Analysis of genetic diversity in crop plants—salient statistical tools and considerations. *CropScience*. 43:1235-1248.
35. Muñoz, O. A. 2005. Centli Maíz. 2ª ed. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 211 p.
36. Nava, P. F.; Mejía, C. A. 2002. Evaluación de maíces precoces e intermedios en valles altos centrales de México. II. Divergencia genética. *Rev. Fitotec. Mex.* 25:187-192.
37. Ortega, P. R.; Sánchez, G. J. de J. 1989. Aportaciones al estudio de la diversidad de maíz de las partes altas de México. *Rev. Fitotec. Mex.* 12(2): 105-119.
38. Ortega, P. R.; Sánchez, G. J. de J.; Castillo, G. F.; Hernández, C. J. M. 1991. Estado actual de los estudios sobre maíces nativos de México. En: Avances en el Estudio de los Recursos Fitogenéticos de México. Ortega, P. R.; Palomino, H. G.; Castillo, G. F.; González, H. V. A.; Livera, M. M. (eds). Sociedad Mexicana de Fitogenética. Chapingo, Edo. de México. 161-185 p.
39. Perales, R. H., Brush, S. B.; Qualset, C. O. 2003. Landraces of maize in central Mexico: an altitudinal transect. *Economic Botany*. 57: 7-20.
40. Romero, P. J.; Castillo, G. F.; Ortega, P. R. 2002. Cruzas de poblaciones nativas de maíz de la raza chalqueño: II Grupos genéticos, divergencia genética y heterosis. *Rev. Fitotec. Mex.* 25(1): 107-115.
41. Ruiz, C. J. A.; Sánchez, G. J. de J.; Hernández, C. J. M.; Wilcox, M. C.; Ramírez, O. G.; Ramírez, D. J. L.; González, E. D. R. 2013. Identificación de razas mexicanas de maíz adaptadas a condiciones deficientes de humedad mediante datos biogeográficos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 4(6): 829-842.
42. Sánchez, G. J. J.; Goodman, M. M.; Rawlings, J. O. 1993. Appropriate characters for racial classification in maize. *Economic Botany*. 47:44-59.
43. Sánchez, G. J. J.; Goodman, M. M.; Stuber, C. W. 2000. Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. *Economic Botany*. 54:43-59.
44. SAS, Institute. 2002. SAS Procedures Guide. Ver. 8. SAS Institute Inc. Cary, NC, U. S. A. 1643 p.
45. Servicio de Información Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2013. Servicio de Información Estadística Agroalimentaria y Pesquera. SAGARPA, México. Disponible en: <http://www.siap.gob.mx> (fecha de consulta: 06/07/2013).
46. Wellhausen, E. J.; Roberts, L. M.; Hernández, X. E.; Mangelsdorf, P. C. 1951. Razas de Maíz en México: Su origen, características y distribución. Folleto Técnico No. 5. Oficina de Estudios Especiales. Secretaría de Agricultura y Ganadería. México, D. F. 239 p.

AGRADECIMIENTOS

Al Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (SINAREFI) del Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS) de la SAGARPA, por el apoyo financiero para el desarrollo de esta investigación.

También se agradece el apoyo financiero complementario del Colegio de Postgraduados, a través de la Línea Prioritaria de Investigación 6 'Conservación y Mejoramiento de Recursos Genéticos'.