Caracterización física, contenido de fenoles y capacidad antioxidante de maíces nativos *(Zea mays* L.) del Estado de México

J. Corona-Terán[1,+], C.A. López-Orona[2,+], S.J. Romero-Gómez[3] y A.R. Martínez-Campos[1,*]

[1] Universidad Autónoma del Estado de México, Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales, Km. 14.5, Autopista Toluca-Atlacomulco, San Cayetano de Morelos, Toluca, Estado de México, CP 50295, México
[2] Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Agronomía, Carretera Culiacán-Eldorado, Km. 17.5, Culiacán de Rosales, Sinaloa, CP 80398, México
[3] Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Química, Av. Hidalgo S/N, Col. Niños Héroes, Querétaro, CP 76010, México

Resumen

El estudio de la diversidad genética y fenotípica de los maíces nativos (*Zea mays* L.) propicia la conservación y aprovechamiento de los mismos. Se evaluaron 32 variedades nativas de maíz, recolectadas en el municipio de San Felipe del Progreso, Estado de México (México); los granos de dichas variedades varían en color desde blanco, amarillo, blanco-amarillo, negro y morado. Se analizaron las características estructurales, el contenido de fenoles totales, el contenido de antocianinas y la actividad antioxidante para estimar la variabilidad fenotípica de estas variedades de maíz y contar con elementos que permitan darle valor añadido. Los resultados muestran que los maíces de color negro son de estructura suave, presentaron el mayor contenido de endospermo harinoso (80,34%) y menor porcentaje de endospermo corneo (4,8%); fueron diferentes ($P < 0,05$) al resto de las variedades de color. El potencial antioxidante de las variedades amarillas fue el más bajo (32,3% de remanente de DPPH) y fue diferente ($P < 0,05$) a los demás grupos. No se encontró una correlación entre el potencial antioxidante y el contenido de fenoles totales.

Palabras clave: *Zea mays,* potencial antioxidante, diversidad fenotípica.

Abstract

Physical characterization, phenol content and antioxidant capacity of native maize (*Zea mays* L.) of the State of Mexico

Genetic diversity and phenotypic knowledge of native maize (*Zea mays* L.) contribute to its use and conservation. Varieties of native maize (n = 32), collected in the municipality of San Felipe del Progreso, Mexico State (Mexico), were studied in the current study. Maize grains of several different colours including white, yellow, white-yellowish, black and purple were analysed for grain structure, total content of phenols and anti-oxidant activity with the aim of assigning an added value to this native maize as well as considering the knowledge of its structure and anti-oxidant activity as a strategy for its conservation. Re-

* Autor para correspondencia: amartimacar@yahoo.com.mx

+ Ambos autores contribuyeron por igual al presente trabajo.

http://doi.org/10.12706/itea.2017.001

sults showed that black coloured maize registered a fragile structure, the highest content of floury endosperm (80.34%), the lowest percentage of horny endosperm (4.8%), and were different to the rest of coloured varieties. The yellow maize varieties had the lowest anti-oxidant potential (32.3% of residual DPPH). No correlation between anti-oxidant potential and total content of phenols was found.

Key words: *Zea mays,* antioxidant activity, phenotypic diversity.

Introducción

México es considerado el principal centro de origen del maíz (*Zea mays* L.), donde la diversidad que existe sobre esta gramínea es muy amplia y así lo demuestran las más de 59 razas de maíz descritas (Sánchez *et al.*, 2000; Matsuoka, 2005). El maíz es el cultivo agrícola más importante en México, debido a que constituye el alimento básico de su población; las costumbres y la cultura van ligadas a este cultivo, sin embargo, los maíces nativos de México, se encuentran amenazados por diferentes factores: migración, bajos precios, altos costes de producción, sequías, nuevas variedades y sustitución por otros cultivos más rentables (Aragón Cuevas *et al.*, 2006; Larson, 2008; Suárez *et al.*, 2013).

En el cultivo de maíz existe una gran diversidad en cuanto a tamaño y forma de la semilla debido a factores genéticos, ambientales y a la ubicación de ésta en la mazorca (Boyer y Hannah, 2001; Pérez de la Cerda *et al.*, 2007). México tiene una gran cantidad de variedades de maíz, cuyos granos presentan diversos colores: morados, azules, rojos, guindas, blancos, negros y amarillos. A estos maíces se les ha otorgado un valor agregado debido a su alto contenido de compuestos fenólicos del grupo de los flavonoides, entre los que destacan las antocianinas, a las cuales se les atribuye actividad antioxidante (Miguel *et al.*, 2004; Leyva, 2009). Los compuestos fenólicos son metabolitos secundarios de las plantas, de los que se han identificado más de 8 000 que difieren en estructuras químicas y en actividad (Ruíz Torres *et al.*, 2008). En el maíz, estos compuestos se han encontrado principalmente en el pericarpio, la aleurona, el endospermo y el embrión (Ruíz Torres *et al.*, 2008; Cabrera Soto *et al.*, 2009). El maíz contiene mayor cantidad de fenoles y capacidad antioxidante que otros cereales como el trigo, el arroz y la avena. Un compuesto fenólico es una molécula que incluye en su estructura un anillo bencénico con uno o más grupos hidroxilo. Estos compuestos son derivados de las sales 2-fenil-benzopirilo que existen en plantas generalmente como glucósidos, con excepción de unos pocos compuestos amino, los compuestos fenólicos del maíz se incluyen dentro del grupo de moléculas bioactivas no nutritivas (Liu, 2004).

Las antocianinas pertenecen a los flavonoides, un subgrupo importante de los compuestos fenólicos, y son pigmentos ampliamente distribuidos en las plantas. Estos compuestos son los responsables de los colores azul, púrpura y rojo en plantas comestibles, principalmente cereales y frutas. En estudios recientes, se ha determinado que los antioxidantes son esencialmente importantes para el cuerpo humano por la capacidad que tienen de proteger a las macromoléculas biológicas contra el daño oxidativo, ya que previenen o demoran el daño molecular producido por los radicales libres; y son utilizados para tratar desórdenes cardiovasculares, neurológicos y prevenir algunos cánceres (Kuskoski *et al.*, 2004; Blasco León, 2010). Las antocianinas son el grupo más importante de pigmentos que se hallan en las células epidermales o subepidermales de la planta, principalmente en flores y frutos. Para la industria, las antocianinas tienen un potencial considerable en la rama

alimentaria como aditivo, por su carácter inocuo. Debido a la presencia de las antocianinas, se abre una posibilidad de emplear maíces pigmentados para uso en la industria de alimentos, cosmética y de salud (Cuevas Montilla *et al.,* 2008). El tipo de uso del maíz está determinado principalmente por la estructura y composición química del grano, las diferencias dependen de la variedad así como de las prácticas de manejo, el clima, el suelo y los métodos de cosecha y postcosecha.

A partir de lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue determinar las características estructurales, el contenido de fenoles totales y el potencial antioxidante de 32 variedades de maíz nativo del Estado de México. Dichas características, contribuirán a identificar la diversidad fenotípica del maíz nativo, siendo un paso importante para establecer una estrategia de conservación.

Material y métodos

Muestras

En 2008 se realizó la colecta de material genético de 32 variedades de maíz nativo, cultivadas en distintas localidades del municipio de San Felipe del Progreso, Estado de México (México), la selección de las muestras se realizó mediante muestreo dirigido, a partir de la selección de informantes clave, Lazos Chavero en 2008 tiene registrados 26 variedades de maíz nativas en San Pedro el Alto y 31 variedades en San Pablo Tlachichilpan Ejidos pertenecientes a San Felipe del Progreso. Las muestras y la coloración de las variedades utilizadas en este estudio se muestran en la Tabla 1. Se realizaron dos siembras, la primera siembra se realizó el 8 de mayo de 2009 y la segunda el 9 de mayo de 2010, se utilizó un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones, cada unidad experimental constó de tres surcos de 100 m por variedad (densidad de 8 plantas por metro lineal). Se mantuvieron como cultivos de temporal con un riego de auxilio. La textura del suelo donde se establecieron los ensayos fue arcillosa. La distancia entre surcos fue de 80 cm y se les aplicó una fertilización química en pre-siembra de 136 kg de nitrógeno (300 kg de urea) por ha. La cosecha se realizó de manera manual al llegar al estado de madurez fisiológica del cultivo (180 días después de la fecha de siembra). Se obtuvieron 750 granos de muestra por repetición, los cuáles fueron extraídos de 30 mazorcas, procurando que no presentaran ataque por hongos o plagas y que no fueran vanas.

Preparación de la muestra

Cada muestra se deshidrató en una estufa de convección a 51°C durante 24 horas. Las muestras se molieron en molino de trituración (The Straus Company), se tamizaron con malla de 0,5 mm y posteriormente se almacenaron en frascos color ámbar hasta el momento de su análisis.

Características estructurales

El análisis de las características estructurales se llevó a cabo con la aplicación de la técnica de textura por disección, siguiendo la metodología propuesta por el Laboratorio Central de Desarrollo Industrial y Tecnológico, S.A. de C.V. (Leyva Ovalle *et al.*, 2002), la cual permite determinar los porcentajes de pedicelo, pericarpio, embrión, endospermo harinoso y endospermo córneo en granos de maíz.

Determinación de fenoles totales

La extracción de fenoles totales se realizó mezclando 10 ml de solución acuosa de metanol (30:70 v/v; agua: metanol) con 200 mg de muestra, se aplicaron dos ciclos de extracción de 10 minutos en un sonicador (Branston). Las

Tabla 1. Origen y pigmentación del grano de las variedades de maíz utilizadas en el estudio
Table 1. Origin and grain pigmentation of maize varieties used in the study

Nº	Código	Comunidad de origen	Pigmentación
1	LCC-23	La Concepción el Chico	Blanco
2	GC-21	Guadalupe Cote	Blanco
3	FN-42	Fresno Nichi	Blanco
4	LCA-16	La Carrera	Blanco
5	RS-24	La Soledad	Blanco
6	SNM-40	San Nicolás Mavati	Blanco
7	SJC -33	San Juan Cote	Blanco
8	LP-28	Las Palomas	Blanco
9	TE-9	Tres Estrellas	Blanco
10	FN1-35	Fresno Nichi	Blanco
11	SNM-38	San Nicolás Mavati	Blanco
12	FN-41	Fresno Nichi	Blanco
13	LM-7	La Manzana	Blanco
14	SNG-14	San Nicolás Guadalupe	Blanco
15	SNM-32	San Nicolás Mavati	Blanco
16	FN-43	Fresno Nichi	Blanco
17	RB-17	Rioyos Buenavista	Blanco-amarillo
18	LV-10	La Virgen	Blanco-amarillo
19	FN3-37	Fresno Nichi	Amarillo
20	RS-25	La Soledad	Amarillo
21	SNM-26	San Nicolás Mavati	Negro
22	SNG-B	San Nicolás Guadalupe	Negro
23	T-3	Tlachichilpa	Negro
24	FN2-36	Fresno Nichi	Negro
25	CC-15	Calvario del Carmen	Negro
26	B-30	Boreje	Morado
27	SML-22	San Miguel La Labor	Morado
28	SNM-34	San Nicolás Mavati	Morado
29	SIM-18	San Jerónimo Mavati	Morado
30	D-29	Dotegiare	Morado
31	LC-12	La Cienega	Morado
32	SJM-39	San Jerónimo Mavati	Morado

muestras se centrifugaron a 3000 rpm durante 10 minutos para separar el sobrenadante (Makkar, 2000).

Los fenoles totales en los extractos se determinaron mediante el método de Folin-Ciocalteau modificado (Makkar, 2000) para lo cual 0,05 ml de los extractos fueron diluidos con 450 ml de agua destilada, posteriormente se agregaron 0,25 ml de una solución (1:1) de Folin-Ciocalteau y finalmente se agregaron 1,25 ml de una solución de Na_2CO_3 al 20%. Posteriormente se incubaron en baño a 38ºC durante 40 minutos, y se determinó la absorbancia a 725 nm en un espectrofotómetro (Genesys 10 UV). El análisis se realizó por triplicado. Los resultados fueron expresados como mg de ácido tánico por cada 100 g de harina de maíz.

Determinación de antocianinas

La extracción de antocianinas se realizó mezclando 1 g de la muestra con 20 ml de una solución etanólica al 20% y pH = 2. Posteriormente, se aplicó un ciclo de extracción de 10 minutos en un sonicador, y se incubaron en baño a 75ºC durante 60 minutos, finalmente se procedió a centrifugar por 10 minutos a 3000 rpm (Gorriti Gutiérrez *et al.,* 2009).

Se tomaron dos muestras de 0,2 ml del extracto, a una se le agregaron 1,8 ml del tampón de KCl a pH = 1 y a la otra 1,8 ml de tampón de acetato de sodio (pH = 4,5). Posteriormente se leyeron las absorbancias a 510 nm y 700 nm. Las antocianinas fueron estimadas mediante el método de pH diferencial y su contenido se expresó como cianidina-3-glucósido, de acuerdo a la siguiente ecuación:

Donde:

ΔA (cambio en la absorbancia) = $(A_{510}-A_{700})$ a pH1.0 – $(A_{510}-A_{700})$ a pH4,5;

MW = masa molecular = 449,2 g/mol para cianidina-3-gluósido;

FD = factor de dilución;

1 = longitud de paso de celda en cm;

= 26900 (coeficiente de extinción molar) para cianidina-3-gluósido;

1000 = factor de conversión de gramos a miligramos (mg).

Determinación de la actividad antioxidante

Para determinar la actividad antioxidante se extrajeron 0,5 g de la muestra con 40 ml de una solución etanólica al 20% y pH 2. El efecto antioxidante de las muestras sobre el radical estable 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH) se evaluó siguiendo la técnica de Gorriti Gutiérrez *et al.* (2009), los resultados se presentan en % de DPPH remanente después de 90 minutos. Los análisis fueron realizados por triplicado.

Análisis estadístico

El diseño experimental empleado para el análisis de los resultados fue bloques completamente al azar, cada variedad representa un tratamiento. El análisis de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$) del contenido de fenoles, antocianinas y composición estructural fue realizado con el paquete estadístico Statistica13 (StatSoft, 2014), donde la variable independiente fue el color y las variables dependientes fueron los componentes estructurales, fenoles, antocianinas y DPPH. Adicionalmente se realizó un análisis de correlación múltiple entre los componentes estructurales, y otro entre fenoles, antocianinas y DPPH. Así mismo, los datos de los componentes estructurales fueron normalizados por raíz cuadrada para la realización de dendogramas por el método de Ward.

Resultados y discusión

No se encontró interacción significativa entre genotipo y ambiente (R^2: 0.002) en ambos ciclos de cultivo, por lo cual la media que se presenta es de ambos ciclos cultivo.

Características estructurales

Los porcentajes de pedicelo en todas las variedades analizadas estuvieron comprendidos en un rango de 3,72 a 5,88%, siendo la variedad amarilla RS-25 la que presentó el mayor porcentaje de pedicelo. Estos valores son superiores al 2,0% que establece la industria de harina nixtamalizada, como el mínimo necesario para facilitar el moldeado de la masa y mejorar su textura (Vázquez Carrillo *et al.,* 2003). No se observó correlación entre el pedicelo y el color del grano (Tabla 2), y en el dendrograma (Figura 1) se observa que se formaron 2 grupos mayores (distancia euclediana de 13.5) y 4 subrupos, dentro de los cuales están distribuidos todos los colores de granos.

Los valores de contenido de pericarpio de las variedades analizadas (Tabla 3) coinciden con los valores obtenidos de las variedades blandas reportadas por Vázquez Carrillo *et al.* (2003). Así mismo, Vázquez Carrillo *et al.* (2010) establecen que en esta estructura se encuentran las gomas que contribuyen a la cohesión de las partículas que constituyen la masa. El % del pericarpio no está correlacionado con el color del grano (Tabla 2). En el dendrograma se formaron 2 grupos mayores (distancia euclediana de 11) y 4 subgrupos (Figura 2).

El porcentaje de embrión varió de 9,59 (FN-41, variedad blanca) a 6,4 (SJC-33, variedad blanca), el cual se relaciona con un mayor contenido de aceite en el grano lo que contribuye a una mejor textura de las tortillas y una mejor nutrición para los consumidores, debido a la cantidad de ácidos grasos insaturados y niveles elevados de antioxidantes naturales (Bressani, 2008). El % del embrión no está relacionado con el color del grano (Tabla 2) y se observó en el dendrograma que en ambos grupos formados se encuentran diferentes colores; sin embargo, se observa una mayor fluctuación entre los granos de color blanco (Figura 3).

En cuanto al endospermo harinoso, el rango de los valores observados fue de 26,62 a 81,91% (Tabla 3). Se encontró una correlación entre el color del grano y la textura del grano, entre más oscuro es el grano es más suave, y entre más cristalino es más duro (Tabla 2). En el dendrograma se formaron dos grupos muy marcados con relación al endospermo harinoso, observándose, en general, que los granos de color negro tienen mucho más endospermo harinoso que los granos de otro color (Figura 4**)** (distancia euclediana de 230), caso contrario con el endospermo corneo, donde los granos de color negro son los que menos endospermo corneo tienen (Figura 5).

De acuerdo con estos valores de endospermo córneo y harinoso, el maíz negro se ubica como variedad blanda debido al contenido de endospermo harinoso, por lo que puede ser utilizado en la industria del nixtamal, pero debido a que la norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002 (SAGARPA, 2002), establece que los granos con coloraciones negras están asociados a daños por calor, mientras que la presencia de coloraciones azules, moradas, anaranjadas o amarillas corresponden a granos contaminados con hongos, las variedades de color dentro de estas especificaciones encuentran un limitado campo de uso.

Determinación de fenoles totales

El contenido de fenoles totales, expresados como equivalentes de ácido tánico (TAE)/100 g de harina, estuvieron comprendidos entre 2813,7 y 5638,8 mg de TAE/100 g de harina. El valor más bajo correspondió a FN-42 (blanca) y el más alto a SNG-14 (blanca) (Tabla 4). No

Tabla 2. Correlación múltiple entre los componentes estructurales de los granos de maíz nativo del Estado de México, México
Table 2. Multiple correlation between the structural components of the grains of native corn from the State of Mexico, Mexico

Variable	Media[a]	Color	Pedicelo	Pericarpio	Embrión	Endospermo harinoso	Endospermo corneo
Color	2,46 ± 1,64	1,00					
Pedicelo	4,17 ± 0,66	0,25	1,00				
Pericarpio	5,45 ± 0,64	-0,18	0,13	1,00			
Embrión	8,03 ± 0,85	-0,04	0,14	0,20	1,00	–	
Endospermo harinoso	44,83 ± 14,15	0,50	0,17	-0,30	-0,07	1,00	
Endospermo corneo	37,48 ± 14,08	-0,50	-0,23	0,24	-0,00	-0,99	1,00

Nivel de significación de 0,05.

[a] Porcentaje de los componentes estructurales. El valor indicado es el promedio de ambos ciclos de cultivo y desviación estándar de seis repeticiones.

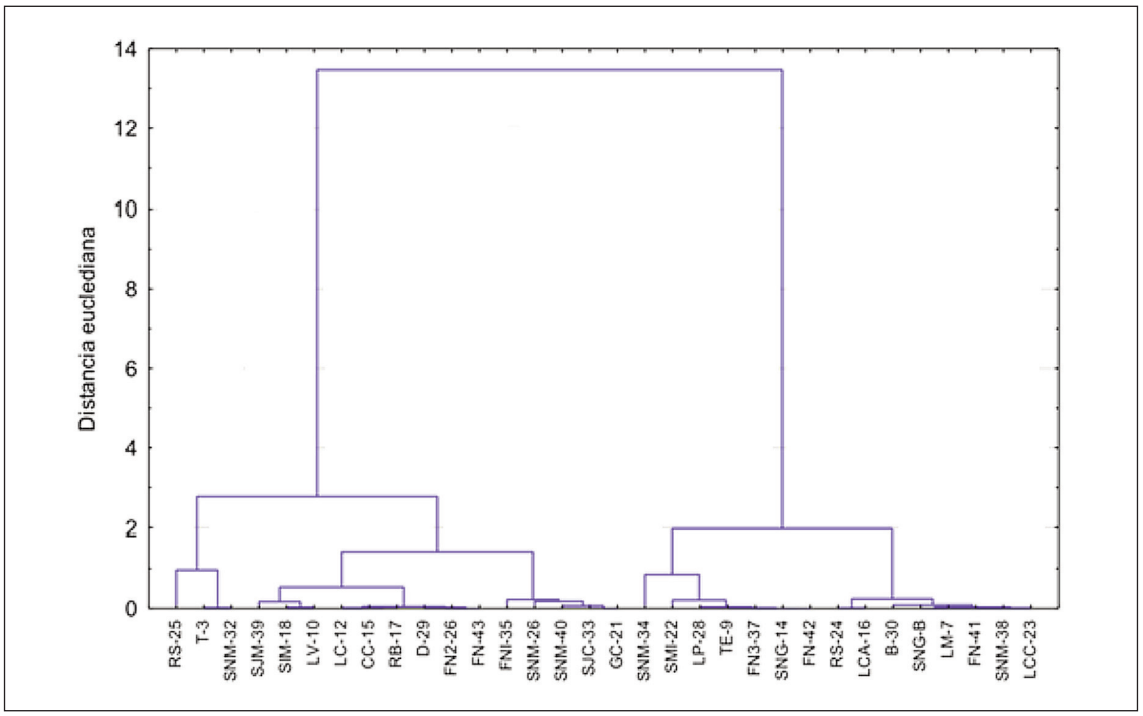


Figura 1. Dendrograma en base a los porcentajes de pedicelo de los maíces nativos del Estado de México.
Figure 1. Dendogram of native maize pedicel of the State of Mexico, Mexico.

Tabla 3. Porcentaje de los componentes estructurales del grano de los maíces nativos del Estado de México, México
Table 3. Structural components of native maize grain of the State of Mexico, Mexico

Código	Pedicelo	Pericarpio	Embrión	Endospermo harinoso	Endospermo corneo
LCC-23	3,72	4,7	6,64	26,62	58,33
GC-21	4,35	6,78	8,2	41,65	38,62
FN-42	3,47	6,05	7,43	39,3	43,75
LCA-16	3,8	5,52	8,19	37,62	44,88
RS-24	3,81	5,72	6,48	50,24	33,75
SNM-40	4,4	4,91	7,48	50,61	32,61
SJC -33	4,35	4,74	6,4	43,74	40,73
LP-28	3,44	4,78	8,22	37,92	45,65
TE-9	3,46	5,89	8,38	41,31	40,95
FN1-35	4,23	6,02	8,41	32,75	48,59
SNM-38	3,73	6,78	8,44	35,84	45,22
FN-41	3,73	4,79	9,59	37,78	44,11
LM-7	3,71	5,57	8,83	38,24	43,65
SNG-14	3,47	6,04	9,4	33,73	47,37
SNM-32	5,16	5,41	9,3	68,7	11,42
FN-43	4,63	5,74	8,61	33,68	47,34
RB-17	4,62	5,56	6,41	35,71	47,7
LV-10	4,74	4,7	7,65	47,5	35,41
FN3-37	3,47	4,57	8,8	35,71	47,22
RS-25	5,88	5,57	8,91	32,76	46,87
SNM-26	4,5	5,3	7,21	81,91	1,08
SNG-B	3,71	4,32	7,81	80,28	3,88
T-3	5,14	5,47	8,05	53,73	27,61
FN2-36	4,63	4,65	8,46	67,86	14,4
CC-15	4,61	5,62	8,61	69,64	11,53
B-30	3,66	4,74	7,51	43,9	40,15
SML-22	3,33	5,56	7,19	50,46	33,46
SNM-34	2,92	5,24	7,56	39,33	44,95
SIM-18	4,77	5,79	8,62	35,25	45,57
D-29	4,65	5,62	8,59	37,33	43,81
LC-12	4,6	5,69	7,46	34,45	47,79
SJM-39	4,89	6,78	8,42	39,28	41,25

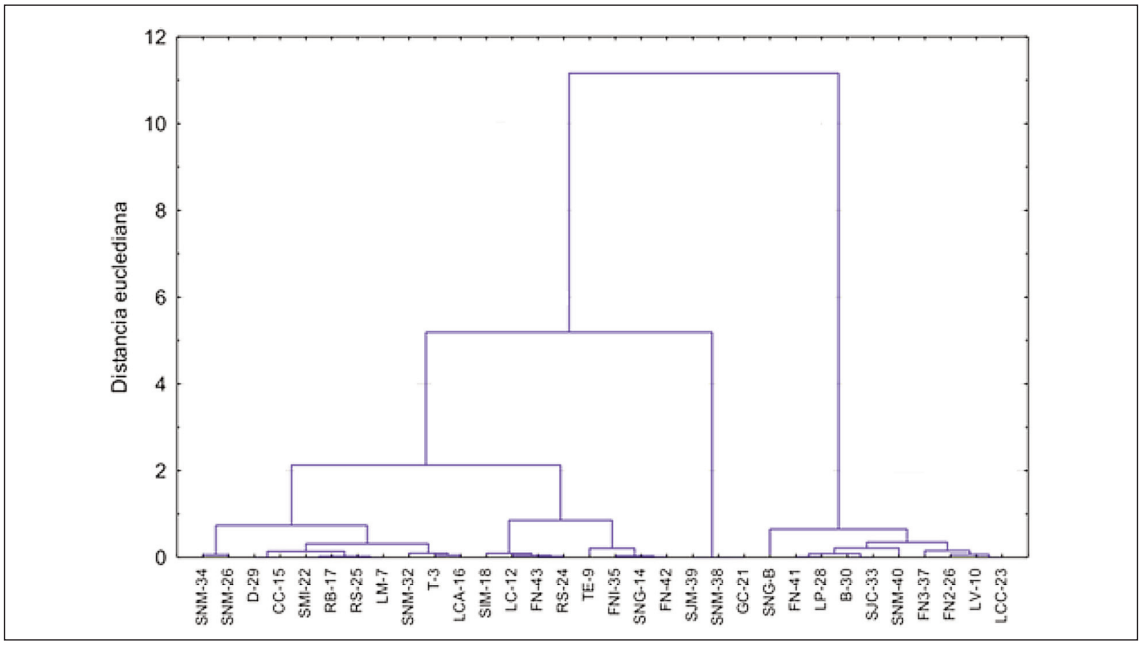


Figura 2. Dendrograma en base a los porcentajes de pericarpio de los maíces nativos del Estado de México.
Figure 2. Dendogram of native maize pericarp of the State of Mexico, Mexico.

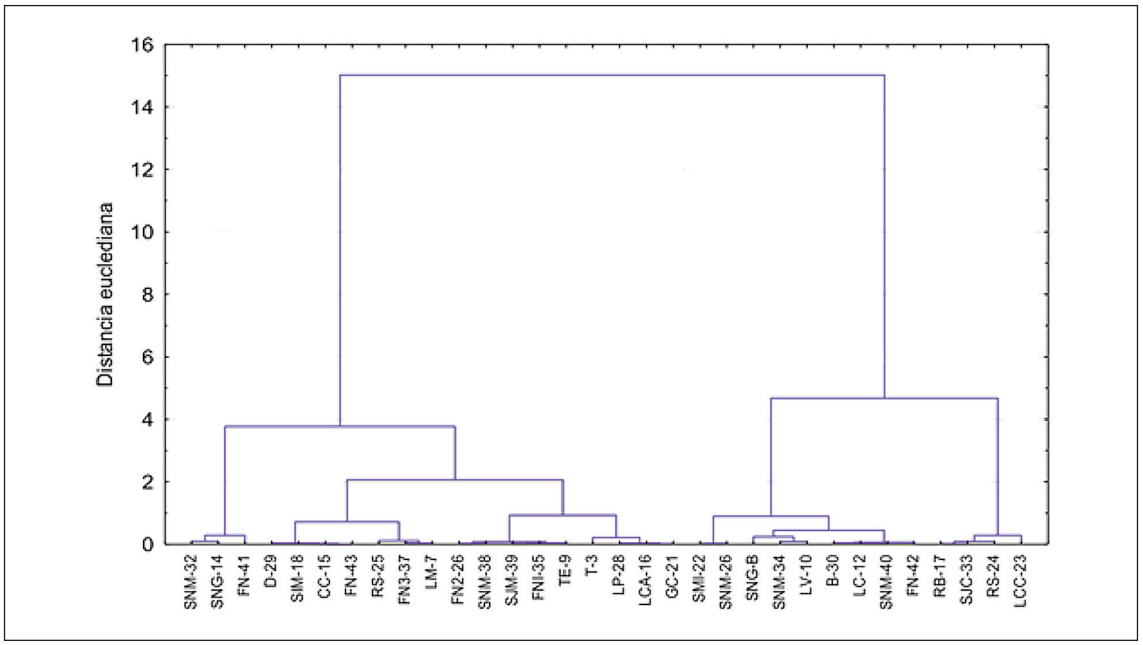


Figura 3. Dendrograma en base a los porcentajes de embrión de los maíces nativos del Estado de México.
Figure 3. Dendogram of native maize embryo of the State of Mexico, Mexico.

Tabla 4. Contenido de fenoles totales, antocianinas y % de DPPH remanente del grano de las variedades de maíz nativo del Estado de México, México
Table 4. Total grain phenols, anthocyanins and DPPH% remnant of native maize varieties from the State of Mexico, Mexico

Código	Fenoles, equivalentes de ácido tánico (mg de AT/100 de harina)	Antocianinas, mg de cianidina-3-glucósido	DPPH, % de DPPH remanente
LCC-23	4998,1 a	6,79 g,h	32,35 a,b
GC-21	4242,5 a,b,c,d,e,f,g	4,56 i,j,k,l	29,73 a,b,c,d,e
FN-42	2813,7 j,k,l	234 n	26,13 b,c,d,e,f
LCA-16	4979,8 m	7,57 f,g	13,29 g
RS-24	5091,2 a,b,c,d,e,f,g,h	2,45 m,n	32,30 a,b,c
SNM-40	4978,8 a,b,c,d,e,f	7,01 g,h	27,46 a,b,c,d,e,f
SJC -33	5591,1 a,b,c,d,e,f,g,h	4,34 j,k,l,m	32,39 a,b
LP-28	3630,4 a,b	3,68 j,k,l,m,n	22,96 f
TE-9	4510,6 l	2,67 l,m,n	26,04 b,c,d,e,f
FN1-35	4322,8 e,f,g,h,i,j,k	2,67 l,m,n	32,04 a,b,c
SNM-38	5057,2 h,i,j,k	4,79 i,j,k	33,08 a
FN-41	5093,2 a,b,c,d,e,f,g	3,12 k,l,m,n	23,15 f
LM-7	5183,8 a,b,c,d	4,01 j,k,l,m,n	22,68 f
SNG-14	5638,8 a	5,23 h,i,j	21,49 f
SNM-32	4206,2 j,k,l	5,23 h,i,j	32,27 a,b,c
FN-43	5171,8 a,b,c,d,e	2,67 l,m,n	25,20 d,e,f
RB-17	4249,8 j,k,l	7,01 g,h	29,65 a,b,c,d,e
LV-10	4354,2 g,h,i,j,k	6,46 g,h,i	25,46 d,e,f
FN3-37	4576 c,d,e,f,g,h,i,j,k	3,56 j,k,l,m,n	32,56 a
RS-25	4971,2 b,c,d,e,f,g,h,i	6,35 g,h,i	32,04 a,b,c
SNM-26	4460,8 f,g,h,i,j,k	21,71 b	30,90 a,b,c,d
SNG-B	3859,3 k,l	16,36 c	25,91 c,d,e,f
T-3	4637,3 c,d,e,f,g,h,i,j,	13,36 d	22,08 f
FN2-36	4307,1 i,j,k	20,37 b	33,08 a
CC-15	4581 c,d,e,f,g,h,i,j	9,35 e,f	21,36 f
B-30	4351 g,h,i,j,k	13,36 d	32,90 a
SML-22	4536,8 b,c,d,e,f,g,h,i,j	9,35 e	29,96 a,b,c,d,e
SNM-34	5236,5 a,b,c	21,26 b	32,28 a,b,c
SIM-18	5589,3 a,b	22,26 b	27,53 a,b,c,d,e,f
D-29	5234,2 a,b,c	13,92 d	31,16 a,b,c,d
LC-12	5362,6 a,b	21,71 b	25,47 d,e,f
SJM-39	5490,9 a,b	25,04 a	24,27 e,f

Las medias seguidas por la misma letra dentro de una misma columna son estadísticamente iguales (P < 0,05).

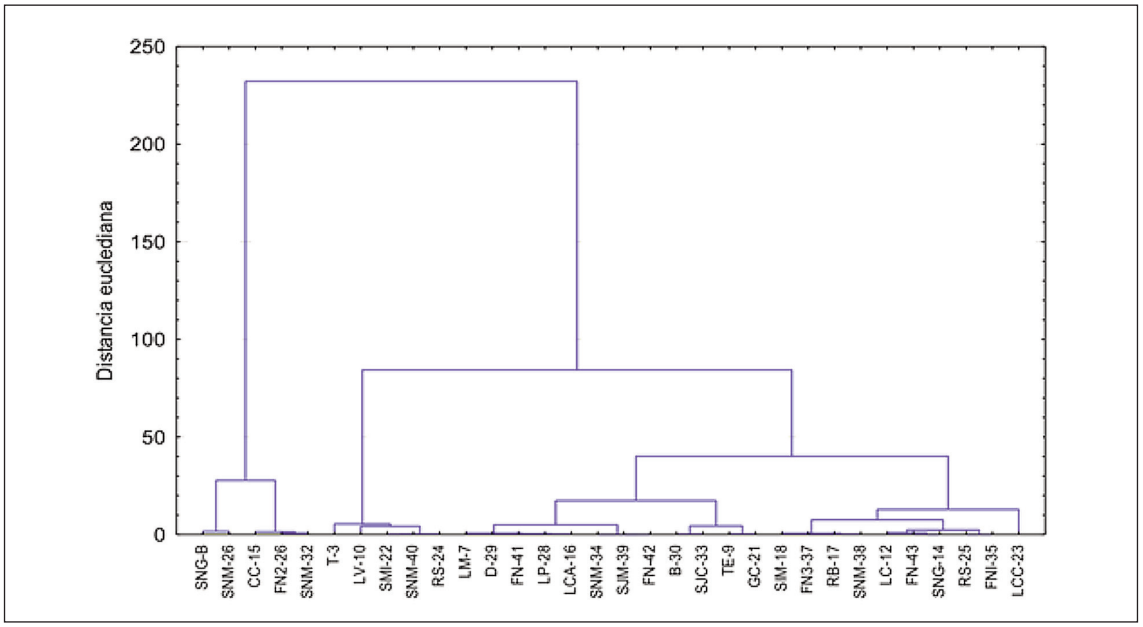


Figura 4. Dendrograma en base a los porcentajes de endospermo harinoso de los maíces nativos del Estado de México.
Figure 4. Dendogram of native maize floury endosperm of the State of Mexico, Mexico.

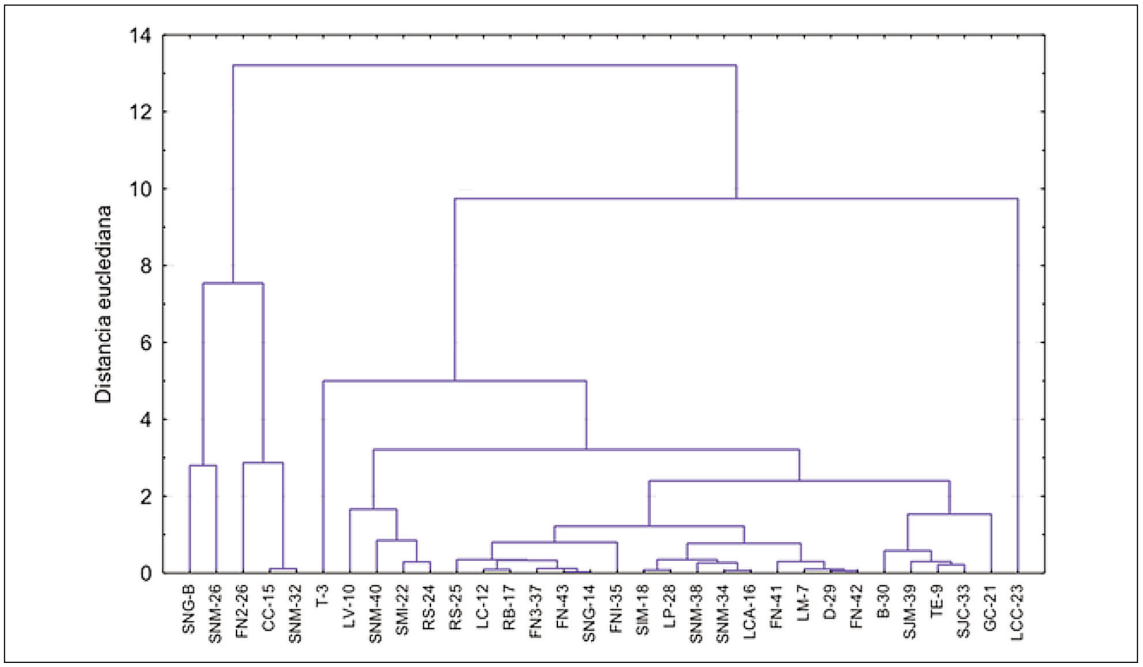


Figura 5. Dendrograma en base a los porcentajes de endospermo corneo de los maíces nativos del Estado de México, México.
Figure 5. Dendogram of native maize flint endosperm of the State of Mexico, Mexico.

se encontró una relación significativa entre el color del grano y el contenido de fenoles totales (Tabla 5).

Los valores de contenido de fenoles del presente estudio son superiores a los encontrados por Escribano Bailón *et al.* (2004) para maíz morado (1776 mg/100 g de harina base seca) y los valores de contenido de fenoles de las variedades moradas fueron 30% menores a los 7694 mg/100 g de harina presentados por Gorriti Gutiérrez *et al.* (2009), en extractos metanólicos de corontas de maíz morado. Asimismo, los valores son superiores a lo reportado por López Martínez *et al.* (2009) para 18 variedades de maíz mexicano, con un rango de entre 170 a 3,400 mg de harina/100 g de muestra. De acuerdo con Kim *et al*. (2003), los fenoles son útiles en los mecanismos de defensa bajo situación de estrés y contra el ataque de organismos patógenos (Bakan *et al*., 2003).

Tabla 5. Correlación múltiple entre color, fenoles, antocianinas y actividad antioxidante de los granos de maíz nativo del Estado de México, México
Table 5. Multiple correlation between phenols, anthocyanins and antioxidant activity of native grains corn from the State of Mexico, Mexico

Variable	Media[a]	Color	Fenoles[b]	Antocianinas[c]	DPPH[d]
Color	2,46 ± 1,64	1,00			
Fenoles[b]	4728,37 ± 623,32	0,00	1,00		
Antocianinas[c]	9,39 ± 7,15	0,81	0,23	1,00	
DPPH [d]	27,78 ± 4,78	0,09	-0,04	0,05	1,00

Nivel de significación de 0,05.

[a] El valor indicado es el promedio de ambos ciclos de cultivo y desviación estándar de seis repeticiones.

[b] El contenido de fenoles se presenta en equivalentes de ácido tánico (mg de AT/100 de harina).

[c] Las antocianinas se presentan en mg de cianidina-3-glucósido.

[d] El DPPH (actividad antioxidante) se presenta en % de DPPH remanente.

Determinación de antocianinas

El contenido de antocianinas muestra valores comprendidos en un rango entre 2,45 a 25,04 mg de cianidina-3-glucósido/100 g de muestra, correspondientes a las variedades RS-24 (blanca) y SJM-39 (morada), respectivamente (Tabla 4). Los resultados obtenidos se encuentran por debajo de lo encontrado por López Martínez *et al.* (2009), en 18 variedades de maíz mexicano con un rango de entre 1,54 a 850,9 mg de cianidina-3-glucósido/100 g de muestra, donde estas diferencias probablemente sean por la diversidad genética de las variedades utilizadas en este estudio. Del Valle Leguizamón *et al.* (2005), concluyen que la concentración y perfil de antocianinas varían entre especies, cultivares, estados de madurez, condiciones estacionales, y niveles de rendimiento. Además, la luminosidad y la temperatura son las principales variables ambientales que regulan la síntesis de estos compuestos; la primera la estimula y las altas temperaturas parecen inhibirla.

Actividad antioxidante

La actividad antioxidante de los fenoles totales presentes en los extractos de las diferentes variedades de maíz nativo, frente al radical estable 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH), muestra valores de DPPH remanente entre 13,29 y 33,08%, para las variedades LCA-16 (blanca) y FN2-36 (morada) respectivamente (Tabla 4), valores consistentes con los encontrados por Gorriti Gutiérrez *et al.* (2009) para los extractos etanólicos de corontas de *Zea mays*.

El análisis estadístico muestra que no existe una relación directa entre el DPPH remanente (%) y el color del grano, contrario a lo que reportan varios autores (Tabla 5). Así mismo, tampoco se encontró una relación significativa entre la cantidad de fenoles totales y la actividad antioxidante de las semillas en contraste a lo encontrado por Gorriti Gutiérrez *et al.* (2009), Netzel *et al.* (2007) y Cai *et al.* (2004), quienes encontraron una correlación entre fenoles totales y el contenido de antioxidantes, en contraste nuestros resultados indican que los compuestos fenólicos no son las únicas moléculas que contribuyen a la capacidad antioxidante en estos granos.

Conclusiones

Los maíces negros son de textura suave, y con alto contenido de almidón, además presentan la mayor actividad antioxidante, por lo tanto tienen alto potencial de alimento biofuncional.

El contenido de fenoles totales de las muestras de maíz analizadas es alto, esto puede estar relacionado con la resistencia a sequias, heladas y plagas que se ha observado en estas variedades.

No se encontró correlación entre el potencial antioxidante y el contenido de fenoles totales, lo que sugiere que los compuestos fenólicos no son las únicas moléculas que contribuyen a la capacidad antioxidante.

Agradecimientos

Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada a Jarinzi Corona Terán, para la realización de sus estudios de Doctorado. A la SEP en su programa PIFI 2009-2010 por el financiamiento para el desarrollo del proyecto "Análisis de la diversidad genética de maíz" y a la Secretaría de Investigación de Estudios Avanzados de la Universidad Autónoma del Estado de México, por el apoyo complementario para la realización del trabajo de investigación, con su programa de fortalecimiento a cuerpos académicos de calidad.

Bibliografía

Aragón Cuevas F, Taba S, Hernández Casillas J M, Figueroa Cárdenas J D, Serrano Altamirano V (2006). Actualización de la información sobre los maíces criollos de Oaxaca. Informe final SNIB-CONABIO, proyecto Nº CS002. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México. 119 p.

Bakan B, Bily A, Melcion D, Cahagnier B, Regnault-Roger C, Philogene B, Richard-Molard D (2003). Possible role of plant phenolics in the production of tricho-thecenes by *Fusarium graminearum* strains on different fractions of maize kernels. Journal of Agricultural and Food Chemistry 51: 2826-2831.

Blasco León (2010). Biofortificación con yodo en plantas de lechuga (*Lactuca sativa* L.): implicaciones fisiológicas y nutricionales. Tesis doctoral. Universidad de Granada. Facultad de Ciencias. Departamento de Fisiología Vegetal. España. 221 p.

Boyer CD, Hannah LC (2001). Kernel mutants of corn. In: Hallauer, A. R. (ed.). Specialty Corns. 2nd ed. CRC Press. Boca Raton, FL. EE.UU. p. 1-31.

Cabrera Soto ML, Salinas Moreno Y, Velázquez Cardelas GA, Espinosa Trujillo, E (2009). Contenido de fenoles solubles e insolubles en las estructuras del grano de maíz y su relación con propiedades físicas. Agrociencia 43: 827-839.

Cai Y, Luo Q, Sun M, Corke H (2004). Antioxidant activity and phenolic compounds of 112 tradicional Chinese medicinal plants associated with anticancer. Life Sciences 74: 2157-2184.

Cuevas Montilla E, Antezana A, Winterhalter P (2008). Análisis y caracterización de antocianinas en diferentes variedades de maíz (*Zea mays*) boliviano. Red Alfa Lagrotech. Memorias. Colombia. 79-95.

Del Valle Leguizamón G, González León A, Báez Sañudo R (2005). Antocianinas en uva (*Vitis vinífera* L.) y su relación con el color. Revista Fitotecnia Mexicana 28: 359-368.

Escribano Bailón MT, Santos Buelga C y Rivas Gonzalo JC. 2004. Anthocyanins in cereals. Journal of Chromatography A 1054: 129-141.

Gorriti Gutiérrez A, Arroyo Acevedo J, Negron Ballarte L, Jurado Teixeira B, Purizaca Llajaruna H, Santiago Aqise I, Taype Espinoza E, Quispe Jacobo F (2009). Antocianinas, fenoles totales y actividad antioxidante de las corontas del maíz morado (*Zea mays* L). Método de extracción. Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas, 8(6): 509-518.

Kim DO, Chun OK, Kim YJ, Moon HY, Lee CY (2003). Quantification of polyphenolics and their antioxidant capacity in fresh plums. Journal of Agricultural and Food Chemistry 51(22): 6509-6515.

Kuskoski E M, Asuero AG, García Parrilla MC, Troncoso AM, Fett R, (2004). Actividad antioxidante de pigmentos antociánicos. Ciência e Tecnología de Alimentos 24: 691-693.

Larson J (2008). Importancia de la conservación del maíz. En: Taller sobre agrodiversidad en México: el caso del maíz incentivos para la conservación, memorias. INE-SEMARNAT. 50 p.

Lazos Chavero E (2008). La Fragilidad de la biodiversidad. Semillas y suelos entre una conservación y un desarrollo empobrecido. En: Desde los colores del maíz. Una agenda para el campo mexicano (Coord. Luis Seefoó Luján), vol II, El Colegio de Michoacán, México, p. 457-488.

Leyva DE (2009). Determinación de antocianinas, fenoles totales, y actividad antioxidante en licores y fruto de mora. Tesis Licenciatura. Universidad Tecnológica de la Mixteca. México. 69 p.

Leyva Ovalle OR, Carballo Carballo A, Mejía Contreras JA, Vázquez Carrillo MG (2002). Procesamiento digital de imágenes para la estimulación de textura de endospermo en líneas de maíz. Revista Fitotecnia Mexicana 25: 355-365.

Liu RH 2004. Potential synergy of phytochemicals in cancer prevention: Mechanism of action. The American Journal of Clinical Nutrition 134: 3479S-3485S.

López Martínez LX, Oliart Ros RM, Valerio Alfaro G, Lee C H, Parkin KL, García HS (2009). Antioxidant activity, phenolic compounds and anthocyanins content of eighteen strains of Mexican maize. Food Science and Techonology 42: 1187-1192.

Makkar HPS (2000). Quantification of Tannins in Tree Foliage. A Laboratory Manual for the FAO/IAEA. FAO/IAEA. Viena, Austria, 40 p.

Matsuoka Y (2005). Origin matters: Lessons from the search for the wild ancestor of maize. Breeding Science *55*(4): 383-390.

Miguel MA, Arellano Vázquez JL, García de los Santos G, Miranda Colín S, Mejía Contreras JA, González Cossío FV (2004). Variedades criollas de maíz azul raza chalqueño. Características agronómicas y calidad de semilla. Revista Fitotecnia Mexicana 27(1): 9-15.

Netzel M, Netzel G, Tian Q, Schwartz S, Konczak I (2007). Native Autralian fruits – a novel source of antioxidants for food. Innovative Food Science and Emerging Technologies 8: 339-346.

Pérez de la Cerda FJ, Carballo Carballo A, Santacruz Varela A, Hernández A, Celestino J, Moreno M (2007). Calidad fisiológica en semillas de maíz con diferencias estructurales. Agricultura Técnica En México 33(1): 53-61.

Ruíz Torres NA, Rincón Sánchez F, Hernández López VM, Figueroa Cárdenas JD, Loarca Piña MG (2008). Determinación de compuestos fenólicos y su actividad antioxidante en granos de maíz. Revista Fitotecnia Mexicana 31(3): 29-34.

SAGARPA (2002). Productos alimenticios no industrializados para consumo humano. Cereales-maíz blanco para proceso alcalino para tortillas de maíz y productos de maíz nixtamalizado. Es-

pecificaciones y Métodos de prueba. Ed. SAGARPA, México, D.F. 18 p.

Sánchez GJJ, Goodman MM, Stuber CW (2000). Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. Economy Botany 54: 43-59.

Suárez RF, Morales LA, Gálvez A (2013). Importance of mexican maize landraces in the national diet. An essential review. Revista Fitotecnia Mexicana 36(3.A): 275-283.

StatSoft, Inc. 2014. STATISTICA (data analysis software system), Version 13.

Vázquez Carrillo MG, Guzmán Báez L, Andrés García J. L, Márquez Sánchez F, Castillo Merino J (2003). Calidad de grano y tortillas de maíces criollos y sus retrocruzas. Revista Fitotecnia Mexicana 26(4): 231-238.

Vázquez Carrillo MG, Pérez Camarillo JJ, Hernández Casillas JM, Marrufo Díaz ML, Martínez Ruíz E (2010). Calidad de grano y de tortillas de caíces criollos del Altiplano y Valle del Mezquital, México. Revista Fitotecnia Mexicana 33(4): 49-56.

(Aceptado para publicación el 8 de noviembre de 2016)