

CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y COMPOSICIÓN QUÍMICA DE RAZAS DE MAÍZ DE GRANO AZUL/MORADO DE LAS REGIONES TROPICALES Y SUBTROPICALES DE OAXACA

PHYSICAL CHARACTERIZATION AND CHEMICAL COMPOSITION OF MAIZE RACES WITH BLUE/PURPLE GRAIN FROM TROPICAL AND SUBTROPICAL REGIONS OF OAXACA

Yolanda Salinas Moreno^{1*}, Flavio Aragón Cuevas², Carmen Ybarra Moncada³, Jessica Aguilar Villarreal³, Bernabé Altunar López³ y Eliseo Sosa Montes⁴

¹Laboratorio de Maíz, Campo Experimental Valle de México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Km 38.5 carretera México-Textcoco, Apdo. Postal 10. 56230, Chapingo, Edo. de México. Tel: 01 (595) 9521500 ext. 5372. ²Programa de Mejoramiento Genético de Maíz, Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca, INIFAP. Melchor Ocampo 7, Col. Santo Domingo Barrio Bajo. 68200, Villa de Etla, Oaxaca. ³Departamento de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Autónoma Chapingo. Km 38.5 carretera México-Textcoco. 56230, Chapingo, Edo. de México. ⁴Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Km 38.5 carretera México-Textcoco. 56230, Chapingo, Edo. de México.

*Autor responsable (yolysamx@yahoo.com)

RESUMEN

En este estudio se caracterizó física y químicamente el grano de 61 colectas de maíz (*Zea mays* L.) azul/morado asociadas a 10 razas procedentes de regiones tropicales y subtropicales del Estado de Oaxaca, México. Las variables físicas fueron: humedad, peso hectolítrico (PH), peso de cien granos (PCG), color, dureza (índice de flotación, IF) y porcentajes relativos de pedicelo, pericarpio y germen. Las químicas fueron proteína, aceite y contenido de antocianinas totales (CAT). Se utilizó el análisis de componentes principales (ACP) para agrupar las razas en función de las variables medidas, excepto CAT. En el trópico predominaron las razas de grano duro (Elotes Occidentales, Olotillo y Tepecintle) e intermedio (Conejo y Tuxpeño), en tanto que en el subtropico fueron las de dureza intermedia. La mayor variabilidad en CAT se presentó entre las razas del trópico, con valores desde 186.5 hasta 1512.1 mg equivalentes de cianidina 3-glucósido/kg de MS. En aceite y proteína no hubo diferencia entre razas, excepto en Bolita cuyas colectas de grano duro tuvieron más proteína que las de grano suave. Con el ACP se formaron cuatro grupos. El Grupo I (Bolita, Chiquito, Mushito y Elotes Occidentales, del Subtrópico) sobresalió por sus mayores valores de PH, proteína y germen; el Grupo II (Conejo y Zapalote Chico) destacó por su mayor contenido de aceite y altos valores de IF; el Grupo III (Tuxpeño y Tepecintle) destacó por su elevada proporción de pericarpio en el grano; el Grupo IV (Elotes Occidentales de Trópico, Elotes Cónicos y Olotillo), por su ubicación próxima al cruce de los ejes, no se distinguió por alguna variable física o química. La caracterización física y química del grano de las diferentes razas permite identificar aquellas con la calidad requerida para su aprovechamiento industrial.

Palabras clave: *Zea mays*, características físicas, proteína, aceite, antocianinas.

SUMMARY

The objective of this work was the physical and chemical characterization of blue/purple grain of 61 landraces of maize (*Zea mays* L.) related within 10 races, from tropical and subtropical regions of Oaxaca, Mexico. The physical variables were: test weight (TW), weight of 100 grains (WHG), color, hardness (floatation index, FI), and percentages of pedicel, pericarp and germ. Chemical variables were: protein, oil and total anthocyanin content (TAC). The principal components analysis (PCA) was used for grouping the races in function of the variables measured, except CAT. In the tropical region dominated the races with hard (Elotes Occidentales, Olotillo and Tepecintle) and intermediate (Conejo and Tuxpeño) grain hardness, while in the subtropical region predominated races with intermediate

grain hardness. The highest variability in TAC was observed among tropical races, with values ranging from 186.5 to 1521.1 mg of cyanidin 3-glucoside equivalents/kg DM. Oil and protein content did not show any statistical difference among races, except in Bolita, in which the landraces with hard grain presented higher protein content than that with soft grain. The PCA showed four groups. Group I (Bolita, Chiquito, Mushito and Elotes Occidentales Subtrópico) was outstanding by high values of TW, protein and germen percentage; Group II (Conejo and Zapalote Chico) was remarkable by high values in oil and FI; Group III (Tuxpeño and Tepecintle) was distinguished by high percentages of pericarp in the grain. Group IV (Elotes Occidentales Trópico, Elotes Cónicos and Olotillo), by its location close to central values of the axis, the races in this group were not remarkable by any of the analyzed variables. Physical and chemical characterization of the grain in Mexican maize races allows the identification of those with the quality require for their industrial use.

Index words: *Zea mays*, physical characteristics, protein, oil, anthocyanins.

INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es el cultivo más importante en México por el área destinada a la producción, país que es considerado como uno de los centros de origen de esta especie. La diversidad de condiciones climatológicas y geográficas a las que se adapta esta gramínea, junto con la gran variedad de usos que se le da (Wellhausen *et al.*, 1951), confirman la relevancia del cultivo. En cada región agroecológica existen variedades de maíz adaptadas, y todas ellas están relacionadas con algunas de las más de 50 razas de maíz que han sido descritas para México (Wellhausen *et al.*, 1951; Sánchez *et al.*, 2000).

En el Estado de Oaxaca cerca de 90 % de la superficie cultivada de maíz se siembra con maíces criollos de diferentes razas, colores, texturas y ciclos de cultivo. Las razas predominantes son Bolita, Zapalote Chico, Cónico, Olotón, y Mushito. En este estado se ubica una alta diversidad de colores de grano: blanco (62.9 %), amarillo (20.1 %), azul

(7.0 %), negro (3.4 %), naranja (2.0 %) y rojo (4.6 %) (Aragón *et al.*, 2006). Los maíces con granos de color azul agrupan a los de color morado, azul y negro, que representan 10.4 %, de todas las razas establecidas en la entidad. Aunque la utilización de genotipos de grano blanco es mayor por la disponibilidad de variedades y hábitos de consumo, un sector de la población prefiere productos nixtamalizados derivados de maíces de grano azul, principalmente tortillas, tlacoyos y gorditas (Salinas *et al.*, 2012).

A pesar de la enorme diversidad que se tiene en México en cuanto a razas y variedades de maíz nativas o criollas, son pocos los trabajos publicados sobre las características físicas y químicas de sus granos (Vázquez *et al.*, 2003; Antuna *et al.*, 2008), y más reducido aún es el número de estudios realizados en maíces con pigmentos del tipo antociano (Salinas *et al.*, 2010; Salinas *et al.*, 2012). Solamente en algunas razas de maíz que presentan variantes de grano con pigmentos antociano se ha determinado el contenido de antocianinas (Salinas *et al.*, 1999; Salinas *et al.*, 2005; Lopez-Martinez *et al.*, 2009). Sin embargo, es necesario ampliar este tipo de estudios para cubrir una mayor cantidad de razas que presenten variantes de grano pigmentado de coloraciones rojas y azules. El objetivo de este estudio fue caracterizar física y químicamente el grano de 61 colectas de maíz azul/morado cultivadas en las regiones tropicales (0-1000 msnm) y subtropicales (1000-1800 msnm) del Estado de Oaxaca, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material genético

Se analizaron 61 colectas de maíz con grano azul/morado procedentes de regiones tropicales (18) y subtropicales (43) del Estado de Oaxaca, México. La semilla evaluada de las colectas fue reproducida mediante cruza planta a planta en el ciclo otoño-invierno 2010/2011; los materiales tropicales se regeneraron en la comunidad de Río Grande, Tututepec, y los subtropicales en Villa de Etla, Oaxaca. Las colectas fueron clasificadas por raza de acuerdo con características de planta, mazorca y grano, según lo indicado por Aragón *et al.* (2006). Los maíces de la región tropical correspondieron a las razas Conejo, Elotes Occidentales (EO), Olotillo, Tepecintle, Tuxpeño y Zapalote Chico (ZC). Los de la región subtropical conformaron dos bloques, el primero representativo de las razas Chiquito, Mushito, Elotes Cónicos (EC) y Elotes Occidentales (EO), y el segundo conformado por colectas de la raza Bolita, que fueron subagrupadas en función de la dureza de sus granos.

Caracterización física del grano

La caracterización física consistió en la determinación

de humedad de grano, peso hectolítrico, peso de 100 granos, índice de flotación, y porcentajes de pedicelo, pericarpio y germen (Salinas y Vázquez, 2006). El color del grano se midió con un equipo Hunter Lab MiniScan XE Plus® (Modelo 45/O-L) en escala CIE LAB, con el que se obtuvieron los valores de luminosidad L, a* y b*. A partir de estos dos últimos parámetros se calculó el ángulo de tono (Hue) y el índice de saturación de color (croma), conforme a lo descrito por McGuire (1992).

La medición de color en los maíces pigmentados se ve afectada por la forma en la cual se presentan los granos al colorímetro para tomar la lectura. En maíces de grano azul/morado los datos obtenidos (luminosidad, ángulo de tono y croma) no guardaron relación con el color que se apreciaba visualmente, lo que se atribuyó a que los granos no tienen una coloración uniforme en la superficie (Salinas *et al.*, 2012). Por ello, en este tipo de maíces la lectura de color debe tomarse en la mazorca. Si no se cuenta con mazorcas, es necesario montar el grano sobre una superficie de plastilina gris para simular la forma en que se encuentra en la mazorca. En este trabajo la medición de color se hizo sobre la superficie de una muestra de 30 g de grano montada en plastilina gris, que de acuerdo con resultados no publicados del Laboratorio de Maíz del INIFAP, es lo recomendado.

Todas las determinaciones físicas de grano se hicieron cuando las muestras alcanzaron una humedad entre 10 y 12 %, para uniformar el efecto de este factor en estas determinaciones (Salinas *et al.*, 1992).

Composición química del grano

El análisis químico se hizo en harina obtenida de la molienda del grano crudo en un molino tipo ciclónico (UDY, Mod. 3010-080P®), con malla de 0.5 mm. En la harina se determinó contenido de proteína por el método Kjeldahl (Technicon Instruments, 1976), y el extracto etéreo por el método 7.044 de la AOAC (1984).

El análisis de antocianinas totales se hizo a partir de harina de grano sin germen, proveniente de 25 granos a los cuales se les había removido esta estructura con un bisturí. Los granos así preparados se molieron en un molino tipo ciclónico (UDY, Mod. 3010-080P®) provisto con malla de 0.5 mm, y la harina se deshidrató en estufa a 40 °C durante 12 h. El método usado para la cuantificación fue el descrito por Salinas *et al.* (2005). Los resultados se expresaron en equivalentes de cianidina 3-glucósido, para lo cual se preparó una curva patrón con esta antocianina.

Análisis estadístico de la información

Los datos sobre características físicas y químicas (aceite

y proteína) de los maíces se sometieron a análisis de varianza con un diseño completamente al azar, mediante el procedimiento GLM y comparación de medias por Tukey ($\alpha = 0.05$) del programa SAS (Statistical Analysis System 9.0 for Windows). Los resultados de la caracterización física y química del grano de las colectas de la raza Bolita se analizaron conforme a su clasificación por dureza medida con el índice de flotación. El análisis de componentes principales (ACP) se aplicó para agrupar por características comunes las diferentes razas (Johnson y Wichern, 2007). La información sobre contenido de antocianinas se procesó en gráficas de caja mediante el programa estadístico Minitab 16 (Minitab, 2012).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características físicas de los maíces

Entre los maíces de la región del trópico, el grano con el peso hectolitrico (PH) más elevado correspondió a la raza Elotes Occidentales (EO, 79.9 kg hL⁻¹), que superó (P

≤ 0.05) al de la raza Conejo con el valor más bajo (75.1 kg hL⁻¹) (Cuadro 1). En el índice de flotación (IF), la colecta de Zapalote Chico (ZC) fue la que tuvo el mayor valor, y fue estadísticamente mayor a las razas Tepecintle y EO que presentaron los valores más bajos. De acuerdo con la clasificación propuesta por Gomes (Com. pers.)¹ con base en el IF, las razas Elotes Occidentales, Olotillo y Tepecintle resultaron de textura dura, en tanto que Tuxpeño y Conejo fueron de textura intermedia, y la raza Zapalote Chico resultó de grano suave. En el porcentaje de pericarpio, las razas Tuxpeño, Tepecintle y Olotillo presentaron el mayor valor y fueron estadísticamente superiores a la raza ZC. En el resto de las variables analizadas no se detectaron diferencias entre razas.

Un indicador de calidad para el maíz destinado a la elaboración de productos nixtamalizados es la dureza de grano,

¹Gomes H J (1993) Métodos comparativos para determinar dureza en maíz (*Zea mays* L.) y su influencia en el tiempo de nixtamalización. Tesis de licenciatura en Ingeniería Agroindustrial. Universidad Autónoma Chapingo. 82 p.

Cuadro 1. Características físicas del grano de maíz de razas provenientes de regiones tropicales y subtropicales del Estado de Oaxaca.

Razas	Núm. de colectas	PH (kg hL ⁻¹)	IF (%)	PCG (g)	Pedicelo (%)	Pericarpio (%)	Germen (%)
Tropicales							
Conejo	3	75.1 b	61 ab	32.9 a	1.3 a	4.8 ab	11.9 a
Elotes Occidentales	2	79.9 a	16 c	27.2 a	1.5 a	4.6 ab	12.3 a
Olotillo	6	77.7 ab	37 abc	33.4 a	1.3 a	5.1 a	12.1 a
Tepecintle	4	78.8 ab	35 bc	30.1 a	1.6 a	5.4 a	12.0 a
Tuxpeño	2	76.0 ab	51 abc	33.7 a	1.0 a	5.4 a	11.7 a
Zapalote Chico	1	76.4 ab	73 a	29.6 a	2 a	4.3 b	11.7 a
DMS (0.05)		4.2	38	6.57	1.09	0.83	1.25
Subtropicales							
Chiquito	3	80.7 a	22 a	34.5 b	0.7 a	5.1 ab	12.1 a
Elotes Occidentales	3	77.9 b	41 a	40.6 a	1.1 a	4.6 b	13.1 a
Elotes Cónicos	1	79.0 ab	37 a	36.5 ab	1.4 a	5.3 a	12.4 a
Mushito	1	80.0 ab	33 a	37.3 ab	0.7 a	4.7 ab	12.2 a
DMS		2.35	19.83	4.94	0.81	0.63	1.36
Bolita*							
Muy duros	3	79.7 a	8 d	37.3 b	0.7 b	4.6 a	12.2 b
Duros	13	78.9 a	23 c	39.3 b	1.0 ab	4.6 a	13.0 a
Intermedios	14	77.5 b	48 b	44.0 a	1.1 a	4.5 a	13.4 a
Suaves	5	75.9 c	69 a	47.5 a	1.0 a	4.6 a	12.6 ab
DMS (0.05)		1.32	7.16	3.91	0.35	0.39	0.85

Medias con letras iguales en cada columna, no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). PH = peso hectolitrico; PCG = peso de cien granos; IF = índice de flotación; DMS = diferencia mínima significativa. *La raza Bolita es procedente de la región subtropical.

propiedad que se estima indirectamente con los valores de PH e IF, variables que se correlacionan inversamente entre sí (Salinas *et al.*, 1992). De acuerdo con la NMX-FF-034/1-SCFI-2002 (SAGARPA, 2002), los granos de maíz aptos para la industria de productos nixtamalizados deben tener un IF máximo de 40 % y un peso hectolítrico mínimo de 74 kg hL⁻¹. Todas las razas de la región del trópico presentaron un peso hectolítrico dentro de lo establecido en la NMX-FF-034/1-SCFI-2002 para ser procesadas en la industria de los productos nixtamalizados. Sin embargo, las razas Conejo, Tuxpeño y Zapalote Chico tienen dureza de grano fuera de la referida norma, de acuerdo con su IF. Los valores de las variables físicas aquí analizadas en maíces de granos azul/morado, fueron parecidos a los informados por otros autores para maíces nativos de grano blanco (Vázquez *et al.*, 2003; Vázquez *et al.*, 2010).

En las razas del subtrópico, sin incluir a la raza Bolita cuya información se analizó por separado, la de mayor peso hectolítrico fue Chiquito que fue estadísticamente mayor que Elotes Occidentales, pero igual que las razas Elotes Cónicos (EC) y Mushito (Cuadro 1). La dureza del grano fue igual entre las razas de esta región. El mayor peso de 100 granos (PCG) correspondió a la raza EO que mostró diferencia estadística con Chiquito pero no con Mushito ni con EC.

En las razas de maíz se ha detectado que las de granos más grandes (como Cacahuacintle y Ancho) son de textura suave, en tanto que las de granos pequeños (como Palomero Toluqueño, Arroccillo y Reventador) son de textura dura (Wellhausen *et al.*, 1951). Según Bonifacio *et al.* (2005), Cacahuacintle presenta valores más elevados de PCG (60 a 70 g/100 granos), que razas como Palomero Toluqueño y Arroccillo (18 a 22 g). El PCG de las razas de la región subtropical mostró valores más elevados que en las razas de la región tropical. Las colectas tropicales de la raza Elotes Occidentales presentaron mayor dureza que las subtropicales de la misma raza, ya que estas últimas resultaron clasificadas con dureza intermedia.

En la raza Bolita se detectó diferencia estadística entre los grupos separados por la dureza del grano, para todas las variables analizadas, con excepción del porcentaje de pericarpio en el grano. El grano azul/morado de esta raza se caracterizó por tener un peso hectolítrico superior a 75.0 kg hL⁻¹, una proporción de pedicelo inferior a 1.2 % y una proporción de germen entre 12.2 % y 13.4 %. Los valores en esta última variable son elevados en comparación con las razas de trópico y con el promedio reportado para maíz tipo dentado que es de 11.1 % (Watson, 1987).

El tamaño de grano es una variable de interés en el proceso de nixtamalización, por su impacto en el procesamiento de cocción y absorción de agua (Sánchez *et al.*, 2007; Sali-

nas *et al.*, 2010). De acuerdo con Billeb y Bressani (2001), el peso de mil granos sugiere el tamaño del grano de la variedad, y para el proceso de nixtamalización son más favorables las variedades de mayor peso. Los porcentajes encontrados de las fracciones estructurales del grano de maíz en las razas de las dos regiones, concuerdan con los reportados por otros autores (Vázquez *et al.*, 2003).

El color de los granos de maíz es un atributo de importancia para los que procesan este cereal, porque determina la aceptación o rechazo por los consumidores, de los productos obtenidos. La luminosidad (L), que se relaciona con el grado de brillantez de la muestra (0 = negro, y 100 = blanco), mostró valores promedios de 23.0 a 43.8 % en las razas de la región tropical (Cuadro 2), que corresponden con una baja luminosidad. Los valores del ángulo de tono (h°), aunque numéricamente muy distantes fueron estadísticamente iguales ($P > 0.05$), lo que se atribuye al efecto de la media y variabilidad en la raza Tepecintle. Tres de sus colectas presentaron valores de h° entre 24.9° y 28.2°, que corresponden a un color morado rojizo; la cuarta colecta presentó un tono de 356.6° que corresponde al tono morado (Jha, 2010).

Si se usara la media de tono para definir el color de grano en la raza Tepecintle (109.2°), se concluiría que tiene granos amarillo verdosos, lo cual difiere de la apreciación visual. En estos casos es recomendable que el análisis se efectúe después de separar los valores de tono entre 0° y 25° que corresponden al color morado rojizo, de las que presenten valores entre 270° y 360° que son de color azul/morado, ya que el color azul presenta un tono de 270° en tanto que el del color morado corresponde a 360° y 0° (Jha, 2010).

Las razas Conejo, Olotillo y Tuxpeño presentaron valores de tono cercanos a 25°, y se caracterizan por un grano de color morado rojizo, con tono mate y baja pureza de color. Las colectas de la raza Elotes Occidentales tienden más hacia tonos morados, de aspecto mate y baja pureza de color. Un aspecto adicional al cual debe ponerse atención cuando se mide el color de granos azul/morados o azules, es determinar si el pericarpio se encuentra adherido completamente a la aleurona o si se aprecia desprendido. Si ocurre esto último se tendrán resultados como el que se obtuvo en la colecta de la raza Zapalote Chico cuyo pericarpio no estaba adherido a la aleurona, de modo que al tomar la lectura con el colorímetro dominó el tono amarillento del pericarpio (53.3°).

En las razas subtropicales se apreció un comportamiento parecido al de las del trópico en las variables que definen el color del grano, en el sentido que valores de h° entre 270° y 360° en algunas colectas desplaza la media por raza a valores ilógicos. En la raza Elotes Occidentales una colecta presentó un valor de tono de 347.2° que al incorporarse para el cálculo del valor medio por raza conduce al valor de 123.4°, que

Cuadro 2. Color del grano de maíz de razas procedentes de regiones tropicales y subtropicales del Estado de Oaxaca.

Razas	Núm. de colectas analizadas	Luminosidad (%)	Tono (h°)	Croma
Tropicales				
Conejo	3	30.6 ± 3.4 b	27.4 ± 10.0 a	7.5 ± 3.3 a
EO	2	23.0 ± 2.5 b	10.4 ± 10.5 a	4.9 ± 0.0 a
Olotillo	6	27.4 ± 4.4 b	23.5 ± 14.7 a	8.2 ± 4.5 a
Tepecintle	4	30.2 ± 4.1 b	109.2 ± 161.1 a	8.8 ± 2.1 a
Tuxpeño	2	26.7 ± 5.6 b	21.5 ± 11.2 a	5.1 ± 3.0 a
ZC	1	43.8 ± 2.0 a	53.3 ± 4.9 a	9.2 ± 0.1 a
DMS (0.05)		8.8	153.5	7.0
Subtropicales				
Chiquito	2	30.8 ± 1.4 a	25.7 ± 13.7 a	4.8 ± 0.6 a
EC	1	30.9 ± 0.6 a	24.1 ± 0.6 a	8.8 ± 0.2 a
EO	3	25.6 ± 1.6 a	123.4 ± 173.1 a	2.2 ± 0.3 a
Mushito	1	29.4 ± 1.1 a	61.8 ± 3.6 a	3.2 ± 0.2 a
DMS (0.05)		3.5	315.6	1.0

Medias con letras iguales en cada columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). Los valores después del signo ± corresponden a la desviación estándar de la media por raza. EO = Elotes Occidentales; ZC = Zapalote Chico; EC = Elotes Cónicos; DMS = diferencia mínima significativa.

corresponde a un color amarillo verdoso que no es el que se observa visualmente.

En cuanto al color del grano para la raza Bolita, el Cuadro 3 muestra el promedio de la variable tono (h°) así como el intervalo de valores observado dentro de la tonalidad morado/rojizo y azul/morado de sus colectas. Respecto a la luminosidad, no hubo diferencias estadísticas entre colectas de distinta dureza. Sus valores fueron poco variables, y en general numéricamente inferiores a los del resto de razas. Los valores promedio de la variable tono (h°) no guardaron relación con el color visual observado en estas colectas, debido a lo mencionado anteriormente en el sentido de que si alguna colecta presenta valores de tono entre 270° y 360°, el promedio de colectas da un valor que no corresponde con el color observado. Los resultados del análisis del color en las 61 colectas de grano azul/morado revelan que el color morado rojizo predomina sobre el azul/morado.

Dado que el color del grano determina el color de sus productos, es posible que las tortillas o tlacoyos obtenidos de las colectas analizadas resulten diferentes a los que se han observado en los de razas como Chalqueño o Cónico, en los que predomina el tono azul/morado (Salinas *et al.*, 2010).

Composición química del grano

Los contenidos de proteína y aceite fueron iguales entre las razas del trópico (Tukey, 0.05). Los valores de proteína se ubicaron entre 9.5 % y 10.4 %, en tanto que los de aceite variaron entre 4.2 % y 4.8 % (Figura 1A). En ambos compuestos los valores observados en los maíces de grano azul-morado de las diferentes razas se encuentran dentro de la variación informada por otros autores para maíces criollos mexicanos (Vázquez *et al.*, 2010).

Entre las razas de la región subtropical, sin incluir a Bolita, no hubo diferencias estadísticas en el contenido de proteína (Tukey, 0.05), con valores entre 10.1 % y 10.9 %. Este rango corresponde a una variabilidad similar a la observada entre las razas del trópico. El contenido de aceite se ubicó entre 4.7 % y 5.3 %, sin diferencia estadística entre razas. En la raza Bolita, cuya información se analizó por separado, el contenido de proteína en las colectas de grano muy duro fue mayor ($P \leq 0.05$) al de las colectas con menor dureza. La relación positiva entre dureza de grano y contenido de proteína en cereales como maíz y sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench.) ha sido previamente publicada (Mazhar y Chandrashekar, 1995; Fox y Manley, 2009), y se atribuye a una mayor presencia de cuerpos proteínicos (prolaminas) que rodean a los gránulos de almidón en el endospermo. El contenido de aceite entre los grupos de dureza también fue diferente ($P \leq 0.05$), con el menor valor en colectas de grano suave (Figura 1B).

Cuadro 3. Color del grano en colectas de la raza Bolita de la región Subtropical del Estado de Oaxaca.

Raza	Núm. de colectas	L (%)	Tono (h°)	Morado/rojizo ^{††}	Azul/morado [§]	Croma
Bolita[†]						
MD	2	27.2 ± 1.3 a	181.8 ± 231.9 a	17.8-62.3 (1)	345.3 (1)	5.3 ± 3.8 a
D	12	27.6 ± 3.4 a	45.8 ± 76.8 a	7.1-48.9 (11)	291.3 (1)	4.3 ± 1.5 a
I	16	26.2 ± 2.9 a	138.5 ± 160.0 a	1.2-47.7 (10)	331.3-354.0 (6)	2.3 ± 1.2 b
S	4	27.2 ± 2.7 a	97.6 ± 146.8 a	7.2-28.8 (3)	335.4 (1)	2.4 ± 1.3 b
DMS (0.05)		3.8	169.8			1.9

Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). Los valores después del signo ± corresponden a la desviación estándar de la media por raza. [†]MD = muy duro; D = duro; I = intermedio; S = suave; DMS = diferencia mínima significativa. ^{††}Valores mínimo y máximo observados en las colectas de tono morado/rojizo. El valor entre paréntesis representa el número de colectas. [§]Valor mínimo y máximo observado en las colectas de tono azul/morado.

En el contenido de antocianinas (CAT) se observó una variabilidad alta entre las razas tropicales, en contraste con las del subtrópico cuyo contenido de antocianinas fue más homogéneo (Figura 2). En cinco de las seis colectas de la raza Olotillo el CAT varió entre 186.5 y 396.5 mg equivalentes de cianidina-3-glucósido (ECG)/kg de muestra seca (MS). La mediana, representada por la línea oscura dentro de las barras en el gráfico, marca que 50 % de los datos están sobre esta línea y el otro 50 % por debajo. Sin embargo, la sexta colecta presentó un contenido muy elevado de antocianinas (1512.1 mg ECG/kg de MS), que se considera como valor atípico, y se marca con asteriscos sobre la barra correspondiente a esta raza. Salinas *et al.* (2012), al examinar el contenido de antocianinas totales en colectas de esta misma raza cultivadas en diferentes localidades de Chiapas, reportaron un valor máximo de 904.0 mg ECG/kg de MS.

Las razas Conejo y Tuxpeño del trópico mostraron la mayor variabilidad en el contenido de antocianinas, pero en este caso su mediana estuvo por debajo de la media muestral. En las colectas de la raza Conejo el CAT osciló entre 284.8 y 1309.6, mientras en la raza Tuxpeño fue de 335.5 a 1141.7 mg ECG/kg de MS.

Siete razas mostraron una distribución simétrica para el contenido de antocianinas, ya que tuvieron igual cantidad de datos por encima que por debajo de la mediana. Para las razas EC y Mushito únicamente se analizó una colecta por raza, con valores de CAT de 396.3 y 414.5 mg ECG/kg de MS, en ese orden.

El contenido de antocianinas totales en el grano de maíz puede variar por el color del grano (Salinas *et al.*, 1999), el material genético (Salinas *et al.*, 2005; Lopez-Martinez *et al.*, 2009) y el ambiente de producción (Jing *et al.*, 2007). Los valores de CAT en todas las colectas y razas aquí evaluadas se encuentran dentro de los reportados por diversos investigadores en maíces con coloraciones de grano similares (Salinas *et al.*, 1999; Lopez-Martinez *et al.*, 2009;

Zilic *et al.*, 2012; Salinas *et al.*, 2012).

Análisis de componentes principales entre variables físicas y químicas

En el análisis de componentes principales (ACP) se excluyó la variable peso de cien granos (PCG), debido a su correlación casi perfecta y altamente significativa ($P \leq 0.01$) con el peso hectolítrico (PH), así como a las variables de color de grano y contenido de antocianinas porque generaron resultados no interpretables. Los primeros tres componentes creados por el ACP explicaron 81.5 % de la variabilidad de cada raza. Las proyecciones de las observaciones de los componentes principales 1 (CP1) y 2 (CP2) separaron cuatro grupos de razas de maíz (Figura 3). El CP1 presentó correlaciones positivas con las variables peso hectolítrico, contenido de proteína y porcentaje de germen, y una correlación negativa con índice de flotación (IF) y contenido de pedicelo. El CP2 tuvo correlación positiva con el IF y con el contenido de aceite, y una negativa con el porcentaje de pericarpio. El CP3 se caracterizó por tener una correlación positiva con el porcentaje de endospermo, pero una negativa con el porcentaje de germen (datos no mostrados), lo que permite contrastar a las razas por el contenido de sus fracciones estructurales.

Las razas Mushito, Bolita, Elotes Occidentales (subtrópico) y Chiquito integraron al Grupo I, que se caracterizó por conglomerar a las razas de maíz con pesos hectolítricos más elevados y mayor contenido de proteína y porcentaje de germen. Las razas Zapalote Chico y Conejo se ubicaron en el Grupo II, caracterizado por tener los más elevados contenidos de aceite e IF, y bajos contenidos de pericarpio. El Grupo III estuvo conformado por las razas Tuxpeño y Tepecintle, y se caracterizó por presentar en sus granos la mayor proporción de pericarpio, combinado con valores medios de IF. En el Grupo IV las razas Elotes Occidentales (del trópico), Elotes Cónicos y Olotillo tuvieron la ubicación más cercana a los valores centrales de los ejes, y por ello se consideran como razas que no sobresalieron por un

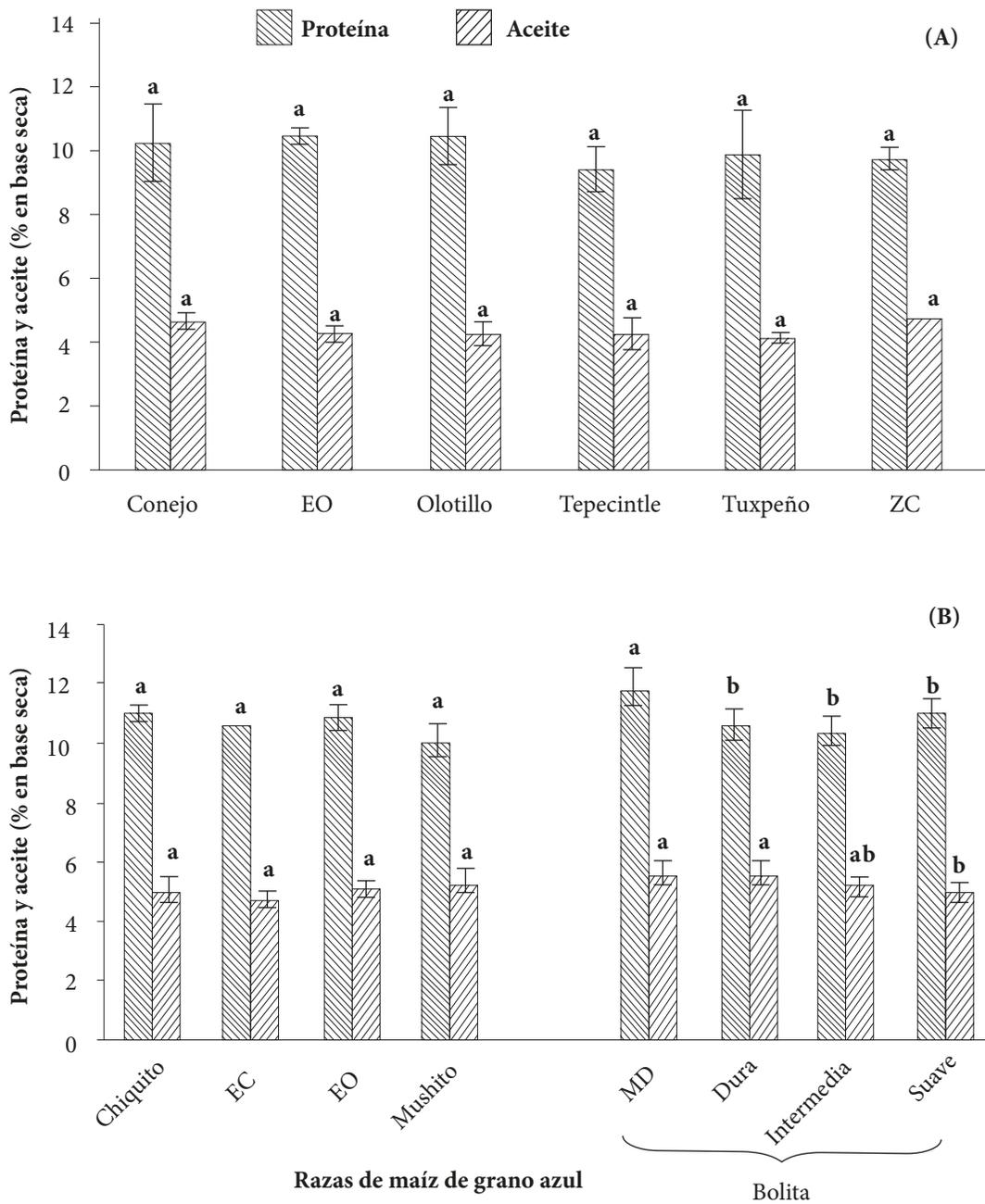


Figura 1. Contenidos de proteína y aceite en razas de maíz de grano azul/morado de regiones tropicales (A) y subtropicales (B) del Estado de Oaxaca. EC = elotes cónicos; EO = elotes occidentales; ZC = zapalote chico; MD = muy duro. La raza Bolita no se incluyó en la comparación de medias para las razas subtropicales, porque se analizó por separado.

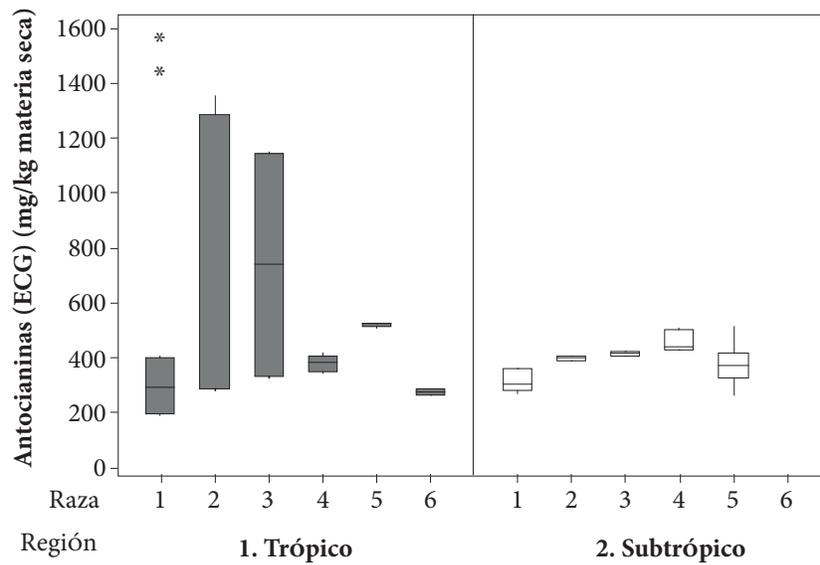


Figura 2. Variación en el contenido de antocianinas en razas de maíz de grano azul/morado procedentes del trópico y subtrópico del Estado de Oaxaca. Trópico: 1 = Olotillo; 2 = Conejo; 3 = Tuxpeño; 4 = Tepecintle; 5 = Elotes Occidentales; 6 = Zapalote Chico. Subtrópico: 1 = Chiquito; 2 = Elotes Cónicos; 3 = Mushito; 4 = Elotes Occidentales; 5 = Bolita. *Valores atípicos del contenido de antocianinas.

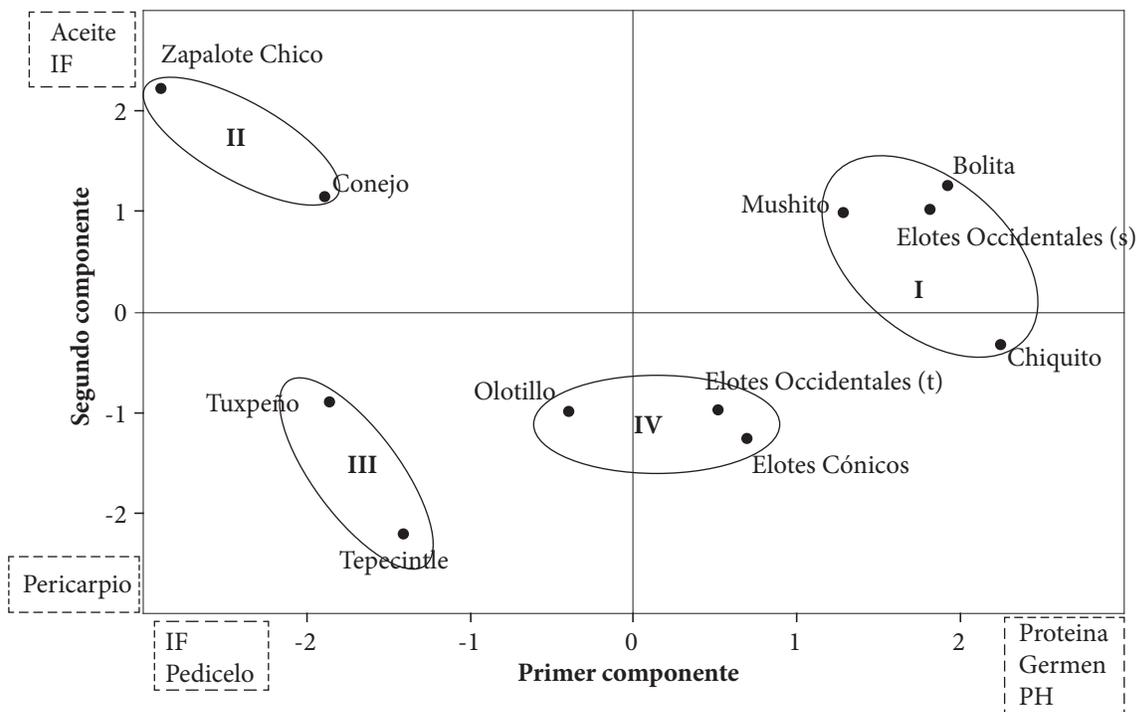


Figura 3. Agrupación de razas de maíz de grano azul/morado colectadas en regiones tropicales y subtropicales del Estado de Oaxaca, con base en las características físicas y químicas de sus granos y en el análisis de dos componentes principales, CP1 y CP2. ● : representa la posición de la raza en el plano de los componentes principales.

elevado o bajo contenido de alguno de los componentes, tanto físicos como químicos, evaluados en esta investigación.

CONCLUSIONES

En las colectas de grano azul/morado de las razas de maíz del Estado de Oaxaca, las variables peso hectolítrico, dureza de grano y porcentaje de pericarpio mostraron diferencia estadística entre razas. Las variables químicas no mostraron diferencias entre razas, sino sólo una tendencia a tener un mayor contenido de aceite en los granos de la región subtropical. El color del grano de las colectas fue morado rojizo oscuro, de aspecto mate, con una amplia variabilidad en el tono de color. El contenido de antocianinas totales presentó mayor variabilidad en las razas tropicales que en las del subtrópico. El análisis de componentes principales efectuado con las variables físicas y químicas seleccionadas, permitió formar cuatro grupos de razas independientes de su origen agroecológico (tropical o subtropical). La raza Bolita presentó mayor variabilidad en las características analizadas, atribuible al mayor número de colectas evaluadas. Los maíces de grano morado rojizo de las diferentes razas de Oaxaca representan una oportunidad para elaborar productos alimenticios diferenciados por su color.

BIBLIOGRAFÍA

- Antuna G O, S A Rodríguez H, G Arámbula V, A Palomo G, E Gutiérrez A, A Espinosa B, E F Navarro O, E Adrio E (2008) Calidad nixtamalera y tortillera en maíces criollos de México. *Rev. Fitotec. Mex.* 31:23-27.
- Aragón C F, S Taba, J M Hernández C, J D Figueroa C, V Serrano A, F H Castro G (2006) Catálogo de Maíces Criollos de Oaxaca. INIFAP-SAGARPA. Libro Técnico No. 6. Oaxaca, México. 344 p.
- AOAC, Association of Official Analytical Chemists, (1984) Official Methods of Analysis. 14th ed. St. Paul, MN.
- Billeb S A C, R Bressani (2001) Características de cocción por nixtamalización de once variedades de maíz. *Arch. Latinoam. Nutr.* 51:86-94.
- Bonifacio V E I, Y Salinas M, A Ramos R, A Carrillo O (2005) Calidad pozolera en colectas de maíz Cacahuacintle. *Rev. Fitotec. Mex.* 28:253-260.
- Fox G, M Manley (2009) Hardness methods for testing maize kernels. *J. Agric. Food Chem.* 57:5647-5657.
- Jha N S (2010) Color measurement and modeling. *In: Nondestructive Evaluation of Food Quality.* S N Jha (ed). Springer-Verlag. Berlin, Heidelberg. pp:17-40.
- Jing P, V Noriega, S J Schwartz, M M Giusti (2007) Effects of growing conditions on purple corncob (*Zea mays L.*) anthocyanins. *J. Agric. Food Chem.* 55:8625-8629.
- Johnson R A, D W Wichern (2007) Applied Multivariate Statistical Analysis. 6th ed. Pearson Prentice Hall. N.J. 773 p.
- Lopez-Martinez L X, R M Oliart-Ros, G Valerio-Alfaro, C-H Lee, K L Parkin, H S Garcia (2009) Antioxidant activity, phenolic compounds and anthocyanins content of eighteen strains of Mexican maize. *LWT-Food Sci. Technol.* 42:1187-1192.
- Mazhar H, A Chandrashekar (1995) Quantification and distribution of kafirins in the kernels of sorghum cultivars varying in endosperm hardness. *J. Cereal Sci.* 21:155-162.
- McGuire R G (1992) Reporting of objective color measurements. *HortScience* 27:1254-1255.
- Minitab (2012) MINITAB 16. State College, PA. Minitab, Inc.
- Salinas M Y, F J Cruz C, S A Díaz O, F Castillo G (2012) Granos de maíces pigmentados de Chiapas, características físicas, contenido de antocianinas y valor nutracéutico. *Rev. Fitotec. Mex.* 35:33-41.
- Salinas M Y, F Martínez B, J Gómez H (1992) Comparación de métodos para medir dureza del maíz (*Zea mays L.*). *Arch. Latinoam. Nutr.* 42:59-63.
- Salinas M Y, G Salas S, D Rubio H, N Ramos L (2005) Characterization of anthocyanin extracts from maize kernels. *J. Chromat. Sci.* 43:1-6.
- Salinas M Y, J Soria R, E Espinosa T (2010) Aprovechamiento y distribución de maíz azul en el Estado de México. INIFAP. Campo Experimental Valle de México, Chapingo, México. Folleto Técnico No. 42. 50 p.
- Salinas M Y, M Soto H, F Martínez B, V González H, R Ortega P (1999) Análisis de antocianinas en maíces de grano azul y rojo provenientes de cuatro razas. *Rev. Fitotec. Mex.* 22:161-174.
- Salinas M Y, G Vázquez C (2006) Metodologías de análisis de la calidad nixtamalera-tortillera en maíz. INIFAP. Folleto Técnico. No. 24. 98 p.
- Sánchez F C, Y Salinas M, G Vázquez C, G A Velázquez C, N Aguilar G (2007) Efecto de las prolaminas del grano de maíz (*Zea mays L.*) sobre la textura de la tortilla. *Arch. Latinoam. Nutr.* 57:295-301.
- Sánchez J J, M M Goodman, C W Stuber (2000) Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. *Econ. Bot.* 54:43-59.
- SAGARPA, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (2002) Norma Mexicana NMX-FF-034/1-SCFI-2002. Productos alimenticios no industrializados- para consumo humano - cereales - maíz blanco para proceso alcalino para tortilla de maíz y productos de maíz nixtamalizado- Especificaciones y métodos de prueba. Dirección General de Normas. SAGARPA. México, D. F. 18 p.
- Technicon Instruments Co (1976) Individual/Simultaneous determination of nitrogen and phosphorous in BD acid digestion. Method no. 114/741 A. Tarrytown, NY.
- Vázquez C M G, L Guzmán B, J L Andrés G, F Márquez S (2003) Calidad de grano y tortillas de maíces criollos y sus retrocruzas. *Rev. Fitotec. Mex.* 26:231-238.
- Vázquez C M G, J P Pérez C, J M Hernández C, M L Marrufo D, E Martínez R (2010) Calidad de granos y tortillas de maíces criollos del Altiplano y Valle del Mezquital, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 33:49-56.
- Watson A S (1987) Structure and composition. *In: Corn: Chemistry and Technology.* S A Watson, P E Ramstad (eds). AACC, St Paul, MN. USA. pp:53-82.
- Wellhausen E J, L M Roberts, E Hernandez X, P C Mangelsdorf (1951) Razas de maíz en México. Su origen, características y distribución. *In: Xolocatzia. Obras de Efraín Hernández Xolocotzi.* *Rev. Geogr. Agríc.* II:609-732.
- Zilic S, A Serpen, G Akillioglu, V Gökmen, J Vancetovic (2012) Phenolic compounds, carotenoids, anthocyanins, and antioxidant capacity of colored maize (*Zea mays L.*) kernels. *J. Agric. Food Chem.* 60:1224-1231.