

GRANOS DE MAÍCES PIGMENTADOS DE CHIAPAS, CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, CONTENIDO DE ANTOCIANINAS Y VALOR NUTRACÉUTICO

PIGMENTED MAIZE GRAINS FROM CHIAPAS, PHYSICAL CHARACTERISTICS, ANTHOCYANIN CONTENT AND NUTRACEUTICAL VALUE

Yolanda Salinas Moreno^{1*}, Francisco J. Cruz Chávez², Silvia A. Díaz Ortiz¹ y Fernando Castillo González³

¹Laboratorio de calidad de maíz, Campo Experimental Valle de México, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Apartado postal 10. 56230 Chapingo, Edo. de México. Tel/Fax: 595 95 46528. ²Programa de maíz, Campo Experimental Centro de Chiapas, INIFAP. 29140 Ocozacoautla, Chiapas, México. Tel/Fax 968 68 82915/18. ³Postgrado de Recursos Genéticos y Productividad- Genética, Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo. Km 36.5 Carr. México-Texcoco. 56230, Montecillo, Texcoco, Texcoco, Edo. de México.

* Autor para correspondencia (yolysamx@yahoo.com)

RESUMEN

En el Estado de Chiapas hay una gran diversidad de razas de maíz (*Zea mays* L.) dentro de las cuales se presentan variantes de grano pigmentado que han sido poco estudiadas en lo que se refiere a sus antocianinas, compuestos que les confieren a los granos estos colores. En este estudio se determinaron las características físicas del grano, el contenido de antocianinas (CAT) y su valor nutraceutico, en términos de la actividad antioxidante (AA), en poblaciones de maíces pigmentados del Estado de Chiapas, México. Las razas a las que pertenecen las poblaciones obtenidas son: Olotillo (21), Olotón (1), Tehua (9), Tepecintle (1), Tuxpeño (7), Vandeño (10) y Zapalote Grande (3), donde el número de poblaciones se anota entre paréntesis. El color de grano predominante fue el azul (AZ), seguido del rojo claro (RC) y rojo magenta (RM). El CAT más elevado se registró en las poblaciones de grano azul, con un rango de 213.6 a 904.0 mg equivalentes de cianidina 3-glucósido /kg de muestra, y el menor en las RC (30.7 a 188.1 mg equivalentes de pelargonidina clorada/kg de muestra). La mayor AA se observó en las muestras de grano AZ y RM. La raza Olotillo tiene ventajas para ser aprovechada en la elaboración de productos alimenticios en los que se requiera alta concentración de antocianinas y textura de grano dura.

Palabras clave: *Zea mays*, color de grano, dureza, actividad antioxidante.

SUMMARY

The state of Chiapas, has a wide genetic diversity of maize (*Zea mays* L.) within several races, and a number of landrace varieties have pigmented maize grains which have been poorly studied regarding their anthocyanin content (CAT), chemical compound responsible of the grain color. In this study we determined the physical characteristics of grain, CAT and the nutraceutical value in terms of the antioxidant activity (AA) of native maize populations with pigmented grain, collected in several locations of Chiapas, México. The studied populations belong to the races: Olotillo (21 populations), Olotón (1 population), Tehua (9 populations), Tepecintle (1 population), Tuxpeño (7 populations), Vandeño (10 populations), and Zapalote Grande (3 populations). The most common color grain was blue, followed by light red and purple reddish. The highest CAT was observed in blue grains

with a range of 213.6 to 904.0 mg of cyanidin 3-glucoside equiv/kg of sample; the lowest was for the red grains (30.7 to 188.1 mg of chlorated pelargonidin equiv/kg of sample). The blue and purple reddish grain samples showed higher AA than the light red samples. Among races, Olotillo may be better than the others regarding the preparation of foods that require maize grains with a high anthocyanin content and hard texture.

Index words: *Zea mays*, races, grain color, hardness, antioxidant activity.

INTRODUCCIÓN

Chiapas es de los estados más importantes en la producción de maíz en México. Durante 2008 en Chiapas se produjeron 1.625 millones de toneladas, de las cuales 83.4 % fueron de maíz blanco, y el resto de maíz amarillo (SIAP-SAGARPA, 2009), pero no hay información sobre los maíces de otros colores. En las partes altas del Estado, los pequeños productores de maíz cultivan, además de su maíz blanco, maíces con colores de grano rojo, azul, morado y negro en volúmenes bajos que no se registran en las estadísticas oficiales. Sin embargo, estos maíces constituyen parte de la diversidad genética que existe de esta gramínea en el país, donde se han descrito al menos 59 razas (Sánchez *et al.*, 2000), muchas de las cuales corresponden a variantes de grano pigmentado con coloraciones que van desde el negro hasta el rosa pálido. Según Salinas (Com. pers.)¹, las bases de datos de los bancos de germoplasma del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) reportan

¹Salinas M Y (2000) Antocianinas en el grano de maíces criollos mexicanos. Tesis doctoral. Programa de Fisiología Vegetal, Centro de Genética. Colegio de Posgraduados., UACH. 102 p.

803 poblaciones de maíz de Chiapas; de éstas 59 son de diferentes coloraciones de grano; 22 de color morado, 31 de color rojo, una de color púrpura y cinco de color negro. Las razas de maíz descritas para el Estado de Chiapas son: Olotillo, Tehua, Olotón, Tepecintle, Vandeño, Zapalote Chico, Zapalote Grande y Tuxpeño (Wellhausen *et al.*, 1951), pero se desconoce en cuáles existen o predominan las variantes de grano pigmentado.

El grano de maíz con pigmento tipo antociano (rojo, azul, morado y negro) debe su coloración a las antocianinas, que representan uno de los principales grupos de pigmentos vegetales visibles al ojo humano. Las antocianinas, además de ser colorantes inocuos para el consumo humano, poseen importantes actividades biológicas como antioxidantes, antimutagénicas y anticancerígenas (López-Martínez *et al.*, 2009; Zhao *et al.*, 2009), por lo que son de interés para la industria alimenticia, farmacéutica y cosmética.

En 2007 se realizó una exploración y recolecta de poblaciones de maíz nativo en cinco municipios de tres regiones del Estado de Chiapas, para evaluar el estado de la diversidad genética del maíz pigmentado (rosado a negro). El objetivo del presente estudio fue determinar las características físicas del grano, el contenido de antocianinas y su valor nutraceutico de esas poblaciones de maíces pigmentados colectados en diferentes localidades de

Chiapas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material genético

Durante 2007 se obtuvieron 68 poblaciones de maíces pigmentados en diferentes localidades del Estado de Chiapas, ubicadas en las regiones denominadas Frailesca, Fronteriza y Centro (Figura 1). El procedimiento para obtener las muestras consistió en ubicar dentro de cada región los municipios con mayor producción de maíces de colores azules, morados, negros y rojos. En cada municipio se localizaron productores con mayor diversidad de maíces en función de su color de grano. De cada productor se obtuvieron 10 mazorcas representativas del color de su población de maíz y a partir de éstas se hizo la clasificación del material para determinar la raza a la cual pertenecen con base en los descriptores de grano y mazorca mencionados por Wellhausen *et al.* (1951). En algunos casos, de un mismo productor se obtuvo más de una población de diferente color. Se desgranaron manualmente tres mazorcas para obtener la muestra de grano para el presente estudio. Las poblaciones con tres coloraciones de grano diferente se descartaron del análisis de caracterización, de manera que el número de poblaciones analizadas se redujo a 52.

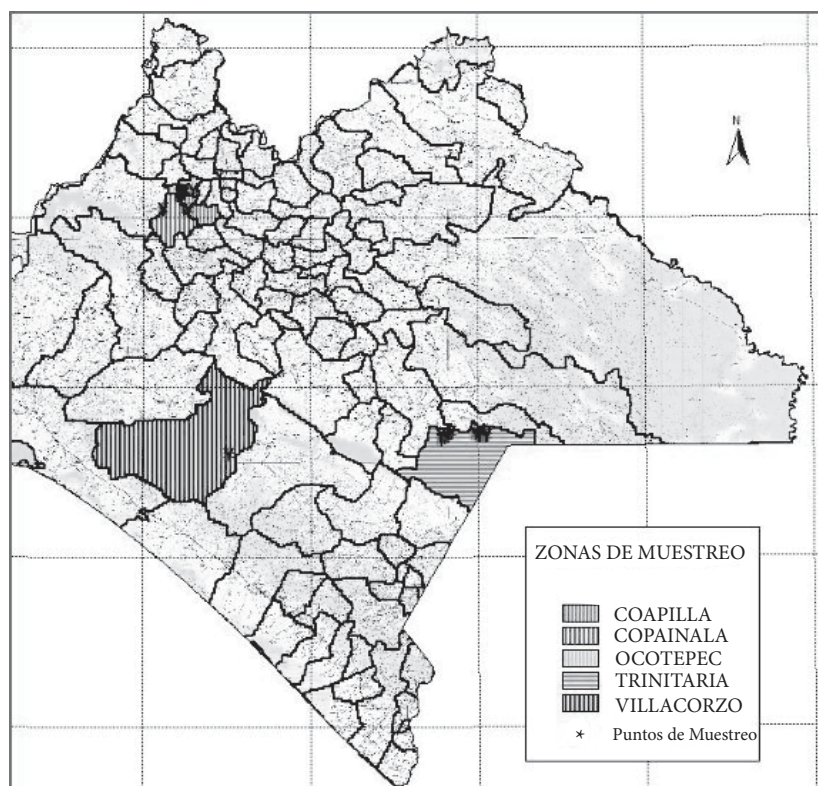


Figura 1. Ubicación geográfica de las cinco localidades del Edo. de Chiapas, México en las que se obtuvieron las poblaciones de maíz pigmentado para el estudio.

Variables estudiadas

Características físicas del grano. Las determinaciones incluyeron: peso de 100 granos; índice de flotación (Salinas *et al.*, 1992); color de grano, que se midió con un colorímetro Hunter Lab MiniScan XE Plus Modelo 45/0-L, en escala Cielab con iluminante D/65 y un ángulo de 10°. Se obtuvieron los valores de luminosidad (L), a^* y b^* , y a partir de los valores de a^* y b^* se determinó el ángulo de tono "hue" (h°) y la pureza de color "croma" (C) de cada muestra (McGuire, 1992). Las lecturas se tomaron por duplicado sobre una muestra de 30 g de grano colocada en una cápsula de plástico transparente. Se tuvieron dos repeticiones de este análisis para cada población de maíz.

Localización del pigmento en el grano y proporción de endospermo vítreo/harinoso. De cada muestra se tomaron 10 granos que se remojaron en agua tibia (30 a 40 °C) durante 15 min, para luego separar el pericarpio del resto del grano con ayuda de un bisturí. La ubicación anatómica del pigmento (pericarpio, aleurona o ambas estructuras) se hizo visualmente. Mediante cortes longitudinales de granos sin pericarpio se clasificaron las poblaciones en función de la proporción de endospermo vítreo/harinoso, con la escala visual propuesta por Bedolla y Rooney (1982).

Antocianinas totales. A 20 granos sanos de cada población se les retiró el embrión manualmente con ayuda de un bisturí, para evitar interferencias de la grasa en el análisis. Dado que el embrión carece de antocianinas, su eliminación no altera el resultado de la determinación. El grano sin embrión se molió en un molino tipo ciclónico con malla de 0.5 mm. La harina obtenida se deshidrató en una estufa a 40 °C por 16 h. Se aplicó la técnica descrita por Salinas-Moreno *et al.* (2005) para la cuantificación de antocianinas.

Una alícuota de 3 mL se centrifugó a 13148 $\times g$ para eliminar turbidez, y se midió la absorbancia a 520 nm en un espectrofotómetro (UV/VIS, Perkin-Elmer). Se prepararon curvas patrón de pelargonidina clorada (Sigma-Aldrich, MN) y cianidina 3-glucósido (Polyphenols, NW) para estimar el contenido de antocianina total (CAT) en función de estos compuestos. La curva de pelargonidina se utilizó para los maíces de grano rojo claro, ya que en estos predominan las antocianinas derivadas de esta antocianidina (Salinas *et al.*, 1999), en tanto que en los de grano azul (azul, morados y negros) y rojo magenta se empleó la curva de cianidina 3-glucósido, porque predominan los derivados de cianidina (Salinas-Moreno *et al.*, 2005). El análisis se hizo por duplicado.

Valor nutracéutico. El valor nutracéutico de los maíces se evaluó en función de la actividad antioxidante mediante

la técnica descrita por Soler-Rivas *et al.* (2000) en la que se usa el radical estable 2,2-difenil-1-picril- hydrazil (DPPH, Sigma-Aldrich, MN). Del extracto de antocianinas aforado a 50 mL se tomaron 200 μL y se pusieron en contacto con 2.8 mL de una solución de DPPH 60 μM en metanol. Previamente se midió la absorbancia de la solución de DPPH a 515 nm. Se registró el cambio en la absorbancia de la muestra después de 90 min de reposo bajo condiciones de oscuridad y temperatura ambiente. El porcentaje de DPPH reducido se calculó según la fórmula propuesta por los autores mencionados; este porcentaje se consideró como la actividad antioxidante del extracto.

Análisis estadístico de la información

Los datos se sometieron a análisis de varianza generalizado mediante el procedimiento GLM del paquete estadístico SAS en su versión 6.2 para Windows, con un modelo correspondiente al diseño completamente al azar con dos repeticiones; la variación entre poblaciones de maíz se partió en varias fuentes: entre razas, entre colores de grano y entre poblaciones dentro de razas y color. Se hicieron pruebas de comparación de medias (Tukey, 0.05) entre razas y entre colores de grano, para cada variable. Para color de grano, las poblaciones se clasificaron visualmente en tres grupos: azul (AZ, con fines prácticos y para facilitar el análisis en este grupo se incluyeron las poblaciones de grano azul, morado y negro), rojo claro (RC) y rojo magenta (RM). En el caso de la raza Olotillo, por ser la variante racial más frecuente y con mayor número de poblaciones de grano azul, se hizo un análisis de varianza y comparación de medias (Tukey, 0.05) para las variables CAT y AA, más un análisis de correlación entre estas dos variables.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Razas de maíz y poblaciones por raza

Las poblaciones de grano con pigmento tipo antociano fueron clasificadas dentro de las razas Olotillo, Olotón, Tehua, Tepecintle, Tuxpeño, Vandeño y Zapalote Grande (Cuadro 1). El número de poblaciones varió entre razas, posiblemente porque el patrón de distribución de cada raza es diferente. Según Wellhausen *et al.* (1951), la raza Olotillo, que tuvo la mayor cantidad de poblaciones, se encuentra ampliamente distribuida en el Estado de Chiapas, en tanto que la raza Olotón que tuvo una población, tiene un área de distribución más restringida hacia las partes altas del Estado, zona que no fue explorada. La altitud del área explorada oscila entre 400 y 1600 m.

En algunas razas hubo poblaciones hasta con tres colores de grano. En las poblaciones de grano azul (AZ) el pigmento se ubicó en la capa de aleurona; en las de grano rojo claro

Cuadro 1. Número de poblaciones por raza, color y ubicación del pigmento en el grano en poblaciones de maíz con pigmento tipo antociano del Estado de Chiapas, México.

Raza	Número de poblaciones	Color de grano de las poblaciones	Ubicación del pigmento en el grano [†]
Olotillo	21	Azul (20), rojo (1)	CA, P
Olotón	1	Azul	CA
Tehua	9	Azul (3), rojo (4), magenta (2)	CA, P, ambas
Tepecintle	1	Azul	CA
Tuxpeño	7	Azul (4), rojo (1), magenta (2)	CA, P, ambas
Vandeno	10	Azul (2), rojo (6), magenta (2)	CA, P, ambas
Zapalote grande	3	Azul (3)	CA

[†] CA = capa de aleurona; P = pericarpio. El dato entre paréntesis representa el número de poblaciones de cada color, dentro de la raza.

(RC) en el pericarpio; y en las de grano rojo magenta (RM) se localizó tanto en pericarpio como en la capa de aleurona. Los resultados sobre color del grano y ubicación del pigmento coinciden con lo informado por (Salinas *et al.* 1999).

Un porcentaje elevado (66.7 %) de las poblaciones de la raza Tehua presentó mezclas de granos azules, amarillos y blancos. Estas muestras se descartaron del análisis de características físicas y químicas para evitar el efecto de las mezclas sobre el contenido de antocianinas. Posiblemente la raza Tehua no sea adecuada para usos en los que la uniformidad del pigmento es importante, pero podría ser aprovechada para su consumo en elote, en donde tal vez sea atractivo tener mazorcas con granos de varios colores.

Características físicas del grano

Color. Las variables empleadas para definir el color del grano de maíz mostraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre poblaciones (Cuadro 2). El mayor valor de luminosidad (L^*) se presentó en las poblaciones de grano rojo claro (RC), en tanto que el menor lo tuvieron las de grano rojo magenta. El sentido práctico de estos resultados es que los granos rojo claro tienen un aspecto más brillante que las de grano azul. Los valores de L^* aquí obtenidos en los maíces azules y rojos fueron similares a los informados por otros autores (Salinas *et al.*, 1999; Espinosa *et al.*, 2006).

La variable h° que corresponde al tono de color del grano y que según Jha (2010) es de los parámetros de color que mayor asociación guarda con la apreciación visual del color, mostró su valor más elevado en granos azules (80.3°) y el menor en los granos rojo magenta (45.9°). El valor de h° para las poblaciones de grano azul se relaciona con un tono amarillo, cuando se asocia con una alta croma (Figura 2). Según Espinosa *et al.* (2006), un valor de h°

Cuadro 2. Comparación de medias (Tukey, 0.05) y coeficientes de variación entre los colores de grano azul, rojo claro y rojo magenta de poblaciones de maíz colectado en el Estado de Chiapas, México.

Color de grano		Parámetros de color [†]		
		L (%)	h°	C
Azul	Media (n = 34)	47.9 b [§]	80.3 a	11.1 c
	CV [‡] (%)	8.50	10.0	17.8
Rojo claro	Media (n = 12)	51.4 a	57.3 b	25.0 a
	CV (%)	8.50	11.3	18.3
Rojo Magenta	Media (n = 6)	38.5 c	45.9 c	20.7 b
	CV (%)	20.8	22.4	9.7
DSH ($P \leq 0.05$)		0.90	1.34	0.62

[†]L = luminosidad o brillantez; h° = color o tono; C = croma o pureza de color.

[‡]CV = coeficiente de variación. Valores en la misma columna seguidos de letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). DSH = diferencia significativa honesta.

de 108.5 como en las poblaciones de maíz de grano azul, corresponde con un tono amarillo verdoso. La falta de correspondencia entre la apreciación visual del color con los valores de h° obtenidos para los maíces de grano azul, puede deberse a que en los granos con pigmento la coloración no es uniforme a lo largo de su superficie, con tonos más claros hacia la cara del germen y el pedicelo, por lo que al colocar la muestra en el recipiente para tomar la lectura los tonos que predominan son los amarillos. El impacto de las características propias de las muestras sobre el h° podría reducirse si se prueban diferentes maneras

de prepararlas y colocarlos en el colorímetro para lograr lecturas reproducibles, y que tengan correspondencia con su apariencia visual.

En las poblaciones de grano rojo claro el valor de h° se asocia con un tono anaranjado-amarillo, que si bien no corresponde totalmente con el color visual del grano, sí se aproxima (Figura 2). Finalmente, el valor de h° en las poblaciones de grano rojo magenta fue el más bajo de los tres colores de grano (45.9°), y corresponde con un tono rojo-naranja; al igual que en los granos rojo claro, su valor de h° se aproxima al tono de color observado.

La variable croma (C) se relaciona con el índice de saturación del color, con valores elevados en colores puros y valores bajos en colores mate o de menor pureza de color. Los maíces azules presentaron el valor de C más bajo, y el más alto lo tuvieron los maíces de color rojo claro que presentaron un color más puro.

En cuanto a los coeficientes de variación (CV) de las variables de color en los maíces estudiados, los CV más elevados se registraron en los de grano rojo magenta para las variables L y h° , no obstante que este grupo de color contó con el menor número de poblaciones, éstas fueron contrastantes en tono y brillantez.

El color del grano en los maíces azules, rojo claro y rojo magenta se debe a que las antocianinas se localizan en las capas periféricas, ya sea en la capa de aleurona o en el

pericarpio. El tono de color depende del tipo de antocianinas que dominen en el grano. En los maíces azules y morados prevalecen los derivados de cianidina (Salinas *et al.*, 1999; De Pascual-Teresa *et al.*, 2002; Pedreschi y Cisneros-Zeballos 2007; Zhao *et al.*, 2009); en los rojos predominan los de pelargonidina (Salinas *et al.*, 1999; Abdel-Aal *et al.*, 2006); y en los rojo magenta los de cianidina, pero también contiene derivados de pelargonidina y peonidina (Salinas-Moreno *et al.*, 2005).

Porcentaje de endospermo vítreo, dureza y tamaño de grano

En los maíces pigmentados aquí estudiados predominaron las poblaciones calificadas con 25 a 50 % de endospermo vítreo (EV), con excepción de las razas Tuxpeño y Vandeño cuyas poblaciones tuvieron grano con 75 % de EV (Cuadro 3). En las razas Tuxpeño y Vandeño se tuvieron los menores índices de flotación (IF), en tanto que la raza Olotillo presentó el mayor IF. El IF es un estimador de la dureza del grano, en donde un menor valor corresponde a mayor dureza (Salinas *et al.*, 1992).

Los resultados sobre dureza de grano en las razas en las que se analizó más de una colecta coinciden con los informados por Wellhausen *et al.* (1951) en donde se mencionan como maíces de textura dura a los de las razas Tuxpeño y Vandeño, y con textura ligeramente harinosa a los de las razas Olotillo y Zapalote grande.

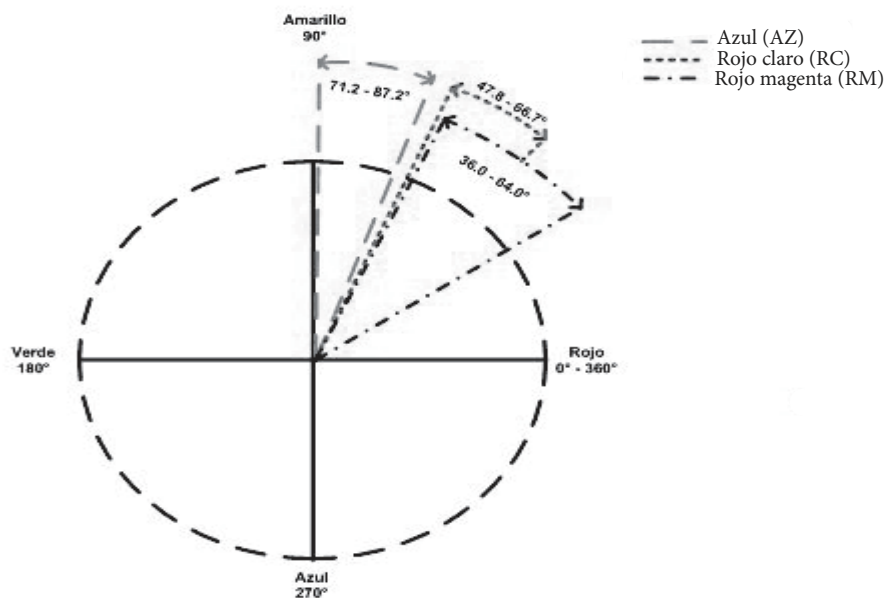


Figura 2. Representación del valor medio de h° sobre el plano de color para las poblaciones de maíz con granos de color azul, rojo claro y rojo magenta.

Cuadro 3. Características físicas del grano en razas de maíz de Chiapas con pigmento tipo antociano.

Raza	Número de poblaciones	Categorías observadas de porcentaje de endospermo vítreo en las poblaciones [†]	Índice de flotación (%)		Peso de 100 granos (g)	
			Intervalo	Media	Intervalo	Media
Olotillo	21	25(12) y 50(9)	9 a 89	49 a	24 a 50	38.2 b
Olotón	1	50	-	38 bc	-	26.7 g
Tehua	9	25(4) y 50(5)	14 a 80	34 bc	28 a 44	39.9 c
Tepecintle	1	25	-	51 a	-	42.9 a
Tuxpeño	7	25 (1), 50(5) y 75(1)	7 a 86	31 c	25 a 44	37.3 e
Vandño	10	25(5), 50(3) y 75(2)	5 a 37	25 d	25 a 48	35.7 d
Zapalote grande	3	25(2) y 50(1)	20 a 73	38 b	29 a 33	31.3 f
DSH*(0.05)				4.67		0.04

[†] El valor entre paréntesis representa el número de poblaciones con esa categoría de endospermo vítreo. ^{*} DSH = diferencia significativa honesta (Tukey, 0.05).

En cuanto al tamaño del grano, medida con el peso de 100 granos, los promedios de las poblaciones en las razas analizadas indican un tamaño medio, en comparación con los granos de tamaño grande de las razas Ancho y Cacahuacintle (60 a 70 g/100 semillas), o pequeño en las razas Palomero Toluqueño y Arroccillo (18 a 22 g/100 semillas).

Contenido de antocianinas y actividad antioxidante

Maíces azules. En las poblaciones de grano azul de las siete razas bajo estudio, el contenido de antocianinas (CAT) varió desde 216.8 hasta 904 mg kg⁻¹ (datos no mostrados). El mayor valor de CAT se registró en las razas Zapalote Grande y Vandño, y el menor en las razas Olotón y Tehua (Figura 3). La variabilidad entre poblaciones varió entre razas, en parte por la diferencia en el número de poblaciones analizadas en cada caso; en las razas Olotón y Tepecintle únicamente se analizó una población, mientras que en Olotillo se estudiaron 20.

En la raza Olotillo, que es la mejor representada, el CAT varió desde 276.8 hasta 904.0 mg kg⁻¹, con diferencias ($P \leq 0.05$) entre poblaciones (Cuadro 4). Esta variación es elevada en comparación con la de razas con variantes de grano azul como Cónico y Chalqueño en las que se han analizado un número similar o mayor de poblaciones y su separación es más estrecha (Salinas, Com. pers.)². El CAT observado en las diferentes poblaciones de maíz azul es similar al informado por otros autores para maíces con este color de grano (Salinas *et al.*, 1999; de la Parra *et al.*, 2007;

López-Martínez *et al.*, 2009). Pero es menor a lo reportado para maíces de la misma coloración de las razas Chalqueño y Cónico (Elotes Cónicos) cultivados en el Estado de México (Salinas, Com. pers.)².

Entre poblaciones de la raza Olotillo hay diferencias ($P \leq 0.05$) en actividad antioxidante (AA), como se muestra en el cuadro 4. Se detectó correlación positiva ($r = 0.7163$; $P \leq 0.05$) entre los valores de CAT y AA en las poblaciones de esta raza, resultado que coincide con lo informado por López-Martínez *et al.* (2009).

Maíces de grano rojo claro (RC) y rojo magenta (RM).

El mayor número de poblaciones de grano RC se tuvo en las razas Vandño (6 poblaciones) y Tehua (4 poblaciones); en las demás razas únicamente se analizó una colecta. Sobresalió la única población de la raza Olotillo por su elevado CAT, que fue mayor ($P \leq 0.05$) que el de las razas Tehua, Tuxpeño y Vandño (Cuadro 5). Sin embargo, el color visual del grano en esta población de Olotillo se apreció como rojo ladrillo y no como rojo claro. La decisión de ubicarla en este grupo de color fue por la localización del pigmento en el pericarpio.

En los granos rojo claro los valores de CAT fueron muy variables, lo que se atribuye a la variabilidad del tono en la coloración. El CAT mayor se detectó en la raza Olotillo, en tanto que el menor en las razas Tehua, Tuxpeño y Vandño. Estos valores se encuentran dentro de lo informado por otros autores, con excepción de la población de la raza Olotillo. Según Salinas *et al.* (1999), hay un intervalo de 8.7 a 60.96 mg/100 g para granos de tres poblaciones de maíz de las razas Arroccillo, Chalqueño y Cristalino de Chihuahua. Por su parte, en maíz de grano rojo cuyo origen

²Salinas M Y, J Soria R, E Espinosa T (2010) Aprovechamiento y distribución de maíz azul en el Estado de México. Folleto Técnico No. 42. CEVAMEX-INIFAP. 50 p.

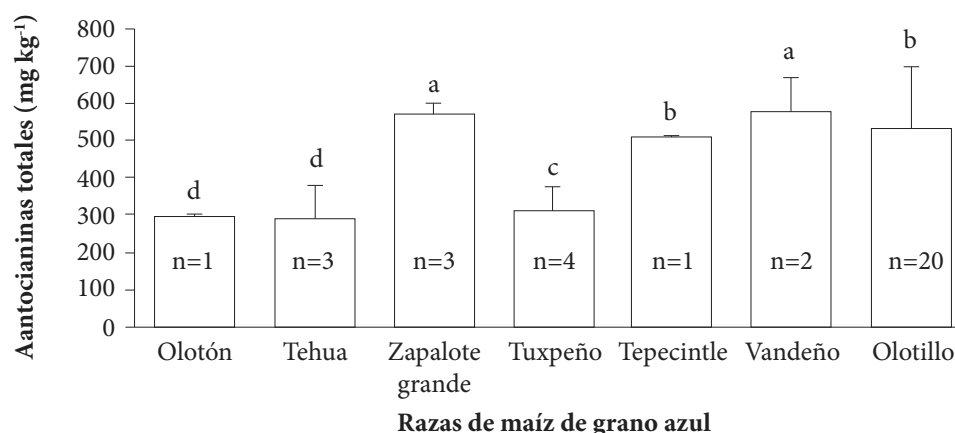


Figura 3. Contenido promedio de antocianinas totales en maíces de grano azul de siete razas del Estado de Chiapas (n = número de poblaciones en cada raza). Literales iguales sobre las barras corresponden a promedios estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

no se menciona, de la Parra *et al.* (2007) reportaron un CAT de 9.75 mg/100 g, en tanto que López-Martínez *et al.* (2009) indicaron valores desde 62.3 hasta 154.0 mg/100 g para cinco poblaciones de maíces de grano rojo de orígenes diversos. Al igual que lo observado en los maíces de grano azul, en los granos rojo claro un mayor valor de CAT se asoció con mayor AA.

Los granos rojo magenta que se encontraron en las razas Tehua, Tuxpeño y Vandeño, tuvieron valores de CAT estadísticamente iguales (Cuadro 5). Sobresale que la actividad antioxidante de estos maíces fue mayor que la de poblaciones de granos rojo claro, aunque los valores de CAT fueron parecidos entre ellos. Tal diferencia se podría atribuir a la proporción de diferentes agliconas (antocianidinas) en la mezcla, pero también a la estructura química en particular de cada antocianina y las interacciones que entre ellas se puedan establecer. Los maíces de grano rojo magenta contienen derivados de cianidina, pelargonidina y peonidina (Salinas-Moreno *et al.*, 2005; Zhao *et al.*, 2009), en tanto que los granos rojo claro y azul carecen de derivados de peonidina (Salinas *et al.*, 1999).

La actividad antioxidante de una antocianina depende de la aglicona o antocianidina de la cual derive y del azúcar que forme parte de su estructura. Por ejemplo, los derivados de cianidina son antioxidantes más potentes que los de delfinidina; en los derivados de cianidina, la antocianina tiene mayor poder antioxidante si el azúcar que forma parte de su estructura es una rutinosa en lugar de una glucosa (Abdel-Aal *et al.*, 2008).

Cuadro 4. Comparación del contenido de antocianinas totales y actividad antioxidante entre poblaciones de maíz azul de la raza Olotillo, obtenidas en Chiapas.

Población	CAT [†] (mg kg ⁻¹)	AA [‡] (%)
76	904.0 a	86.5a
77	768.7 b	85.3a
43	804.0 b	84.8 ab
44	728.0 b	83.9ab
10	616.9 c	83.0 abc
12	548.2d	82.5 abc
34	276.8 i	82.3 abc
21	547.7 d	81.7abcd
80	496.7 ed	80.8abcde
79	633.2c	80.4abcdef
37	474.7 ef	79.3 bcdef
9	522.2 ed	78.7 cdef
30	439.3 fg	78.4cdef
78	393.4 gh	76.3defg
75	487.6 ef	76.2efg
25	348.1 h	75.8 efg
26	487.0 ef	75.6 efg
20	294.3 i	75.0 fg
8	408.1 g	75.0 fg
23	395.7 gh	72.2 g
DSH [§] (P ≤ 0.05)	52.3	5.5

[†]CAT = contenido de antocianinas totales, en mg kg⁻¹. [‡] AA = actividad antioxidante, en porcentaje de DPPH reducido. [§]DSH = diferencia significativa honesta. Valores con la misma letra dentro de columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

Cuadro 5. Cantidad de antocianinas totales y actividad antioxidante en granos pigmentados de poblaciones de maíz de color rojo claro y rojo magenta, de razas del Estado de Chiapas.

Razas	Color de grano			
	Rojo claro		Rojo magenta	
	CAT ⁺	AA [‡]	CAT	AA
Olotillo	547.7 a	81.7 a	-	-
Tehua	105.2 b	44.5 b	151.7 a	66.5 b
Tuxpeño	71.6 b	32.0 b	126.0 a	89.5 a
Vandéño	64.7 b	37.7 b	90.8 a	73.0 b
DSH [†] (0.05)	84.4	12.6	111.7	16.0

⁺ CAT = contenido de antocianinas totales, en mg kg⁻¹; [‡] AA = actividad antioxidante en porcentaje de DPPH reducido; [†] DSH = diferencia significativa honesta. Valores con la misma letra dentro de columnas no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

CONCLUSIONES

Las poblaciones de maíz aquí estudiadas se ubicaron en siete razas y Olotillo fue la que tuvo el mayor número de poblaciones, con predominio de granos con tonalidades morado/azul. La coloración de grano más común fue la azul, seguida de la rojo claro y rojo magenta. En los granos azules el pigmento se localizó en la capa de aleurona; en los granos rojo claro se ubicó en el pericarpio; en los granos rojo magenta se presentó tanto en la capa de aleurona como en el pericarpio. En las razas Tuxpeño y Vandéño predominaron los granos con proporciones de endospermo vitreo de 50 y 75 %, en tanto que en Olotillo predominaron los de 25 y 50 %. El mayor contenido de antocianinas totales (CAT) se presentó en las poblaciones de grano azul, y el menor en las de grano rojo claro y magenta. En el grano azul se encontró que a mayor CAT hubo mayor actividad antioxidante (AA) o valor nutraceutico; en las poblaciones de grano rojo magenta no hubo tal asociación, ya que los valores de CAT mostraron una AA elevada. Entre las poblaciones de granos azules las de la raza Olotillo parecen ser las más adecuadas para la elaboración de productos alimenticios en los que se requiera alta concentración de antocianinas y textura de grano dura.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Bulmaro Coutiño Estrada, investigador del Campo Experimental Centro de Chiapas del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, por su valiosa ayuda en la clasificación de las poblaciones por raza.

BIBLIOGRAFÍA

Abdel-Aal E-S M, J C Young, I Rabalski (2006) Anthocyanin composition in black, blue, pink, purple and red cereal grains. J. Agric. Food Chem. 54:4696-4704.

Abdel-Aal E-S M, A A Abou-Arab, T H Gamel, P Hucl, J C Young, Rabalski (2008). Fractionation of blue wheat anthocyanin compounds and their contribution to antioxidant properties. J. Agric. Food Chem. 56:11171-11177.

Bedolla S, L W Rooney (1982) Cooking maize for masa production. Cereal Foods World 27:219-221.

De la Parra C, S O Serna Saldívar, L R Hai (2007) Effect of processing on the phytochemical profiles and antioxidant activity of corn for production of masa, tortillas, and tortilla chips. J. Agric. Food Chem. 55:4177-4183.

De Pascual-Teresa S, C Santos-Buelga, J C Rivas-Gonzalo (2002) LC-MS analysis of anthocyanins from purple corn cob. J. Sci. Food Agric. 82:1003-1006.

Espinosa T, E, M C Mendoza C, F Castillo G (2006) Diversidad fenotípica entre poblaciones de maíz con diferentes grados de pigmentación. Rev. Fitotec. Mex. 29:19-23.

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.

López-Martínez L X, R M Oliart-Ros, G Valerio-Alfaro, C-H Lee, K L Parkin, H S García (2009) Antioxidant activity, phenolic compounds and anthocyanins content of eighteen strains of Mexican maize. LWT-Food Sci. Technol. 42:1187-1192.

McGuire G R (1992) Reporting of objective color measurements. HortScience 27 :1254-1255.

Pedreschi R, L Cisneros-Zeballos (2007) Phenolic profiles of Andean purple corn (*Zea mays* L.). Food Chem. 100:956-963.

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.

Salinas M Y, F Martínez B, J Gómez E (1992) Comparación de métodos para medir dureza del maíz (*Zea mays* L.). Arch. Latinoam. Nutri. 42: 59-63.

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-Moreno Y, G Salas-Sánchez, D Rubio-Hernández, N Ramos-Lobato (2005) Characterization of anthocyanins extracts from maize kernels. J. Chromatog. Sci. 43:483-487.

SIAP, Sistema Integral de Información Agroalimentaria y Pesquera (2009) Disponible en: <http://www.siap.sagarpa.gob.mx> (Julio 2010).

Soler-Rivas C, J C Espín, H J Wichers (2000) An easy and fast test to compare total free radical scavenger capacity of foodstuffs. Phytochem. Anal. 11:330-338.

Wellhausen E J, L M Roberts, E Hernández X, P C Mangelsdorf (1951) Razas de Maíz en México. Su Origen, Características y Distribución. *In*: Xolocotzia, Obras de Efraim Hernández Xolocotzi. Rev. Geografía Agríc. Tomo II, 1987. Universidad Autónoma Chapingo. pp:609-732.

Zhao X, C Zhang, C Guigas, Y Ma, M Corrales, B Tauscher, X Hu (2009) Composition, antimicrobial activity, and antiproliferative capacity of anthocyanin extracts of purple corn (*Zea mays* L.) from China. *Europ. Food Res. Technol.* 228:759-765.