

## Contenido de antocianinas y características físicas de granos de 300 accesiones de maíz pigmentado

## Anthocyanin content and physical characteristics of kernels from 300 pigmented maize accessions

Hidalgo Ramos, D. M.<sup>1</sup> , Rodríguez Herrera, S.A.<sup>†1</sup>, Palacios Rojas, N.<sup>2</sup> ,  
López Benítez, A.<sup>3</sup> , García Osuna, H. T.<sup>3</sup> , Lozano del Río, A. J.<sup>3</sup> , Mancera Rico, A.<sup>3\*</sup> 

<sup>1</sup> Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Periférico Raúl López Sánchez. 27054, Torreón, Coahuila, México.

<sup>2</sup> Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. Vía México-Veracruz, km 45. 56130, Texcoco, Estado de México, México.

<sup>3</sup> Departamento de Fitomejoramiento. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro, 1923, Colonia Buenavista. 25315, Saltillo, Coahuila, México.



Please cite this article as/Como citar este artículo: Hidalgo Ramos, D. M., Rodríguez Herrera, S.A., Palacios Rojas, N., López Benítez, A., García Osuna, H. T., Lozano del Río, A. J., Mancera Rico, A. (2024). Anthocyanin content and physical characteristics of kernels from 300 pigmented maize accessions. *Revista Bio Ciencias*, 11, e1578. <https://doi.org/10.15741/revbio.11.e1578>

### Article Info/Información del artículo

Received/Recibido: October 11<sup>th</sup> 2023.

Accepted/Aceptado: April 09<sup>th</sup> 2024.

Available on line/Publicado: April 29<sup>th</sup> 2024.

### RESUMEN

Los maíces pigmentados poseen una gran cantidad de antioxidantes y una calidad nutricional mayor que el maíz blanco o amarillo. La importancia de identificar variedades con alto contenido de antocianinas radica en su impacto positivo sobre la salud humana. El objetivo de esta investigación fue caracterizar 300 accesiones de maíz pigmentado provenientes de la república mexicana, en función de las características físicas de grano y el contenido de antocianinas totales, con la finalidad de que puedan utilizarse en programas de mejoramiento genético. Se estimó los promedios del contenido de antocianinas totales, porcentaje de semillas flotantes (dureza), peso de mil semillas, largo, ancho, espesor, dimensión, porcentaje de la coloración y ubicación de la misma; luego, se efectuó un análisis de correlación del contenido de antocianinas, dureza, largo, ancho, espesor, dimensión y peso de mil semillas; con estas variables se realizó un análisis de componentes principales (PC). El contenido de antocianinas fue de 136.53 (HIDA 247) a 723.9 (HIDA 250)  $\mu\text{g g}^{-1}$ . El 47.3 % de las accesiones presentaron un grado de dureza deseable y el 68 % dureza aceptable para la industria del nixtamal; el 100 % mostró un ancho promedio superior a 4.76 mm, lo que las hace aptas para dicha industria. El peso de mil semillas fue de 239 a 532 g para CHIS 1089 y MICH 86. Predominó la coloración azul (70 %). La pigmentación se presentó principalmente en la aleurona (88 %). El contenido de antocianinas no tuvo correlación con las características físicas, pero la dureza se correlacionó con longitud y dimensión ( $p \leq 0.05$ ). En los primeros dos componentes principales, las variables con mayor relevancia fueron: peso de mil semillas, el largo y el espesor (PC1), y contenido de antocianinas, dureza y ancho de grano (PC2). La variabilidad encontrada en esta investigación puede contribuir a la selección de accesiones de maíz que proporcionen un alto contenido de antocianinas totales.

**PALABRAS CLAVE:** *Zea mays*, antocianina, color de semilla, dureza de grano, accesión de maíz.

### \*Corresponding Author:

**Arturo Mancera-Rico.** Departamento de Fitomejoramiento. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro, 1923, Colonia Buenavista. 25315, Saltillo, Coahuila, México. Teléfono: (+52) 595 108 7009. E-mail: [mncrarico@gmail.com](mailto:mncrarico@gmail.com)

---

## ABSTRACT

---

Pigmented corn boasts more antioxidants and superior nutritional quality than white or yellow corn. Identifying varieties with high anthocyanin content is crucial due to their positive impact on human health. This research aimed to characterize 300 accessions of pigmented maize from Mexico based on the physical characteristics of the grain and total anthocyanin content, targeting to employ them in genetic improvement programs. The averages of total anthocyanin content, percentage of floating seeds (indicating hardness), weight of one thousand seeds, length, width, thickness, dimension, coloration percentage, and coloration location were estimated. Subsequently, a correlation analysis of anthocyanin content, hardness, length, width, thickness, dimension, and weight of one thousand seeds was conducted, followed by a principal component (PC) analysis using these variables. The anthocyanin content ranged from 136.53 (HIDA 247) to 723.9 (HIDA 250)  $\mu\text{g g}^{-1}$ . Approximately 47.3% of the accessions exhibited a desirable degree of hardness, and 68% demonstrated acceptable hardness for the nixtamal industry. Moreover, 100% showed an average width greater than 4.76 mm, rendering them suitable for this industry. The weight of one thousand seeds ranged from 239 to 532 g for CHIS 1089 and MICH 86, respectively. Blue coloration predominated (70 %). Pigmentation was mainly in the aleurone (88 %). Anthocyanin content showed no correlation with physical characteristics, but hardness correlated with length and dimension ( $p \leq 0.05$ ). In the first two principal components, the variables with the greatest relevance were thousand-seed weight, length, and thickness (PC1), and anthocyanin content, hardness, and kernel width (PC2). The variability observed in this research may enable the selection of maize accessions with high total anthocyanin content.

---

**KEY WORDS :** *Zea mays*, anthocyanin, seed color, kernel hardness, maize accession.

---

## Introducción

México es una importante fuente de diversidad de maíz, ya que existen 59 razas (Sanchez *et al.*, 2000). En todas las razas descritas se presentan variantes de granos pigmentados con coloración que va desde el negro hasta el rosa pálido, sin embargo, los colores más comunes son el azul/morado, negro y rojo (Salinas *et al.*, 2012b). Los maíces de grano pigmentado poseen un alto contenido de antocianinas, que son pigmentos flavonoides, asociados en la prevención o desarrollo de enfermedades crónico degenerativas como el cáncer (Bello *et al.*, 2016, Alegría *et al.*, 2020) y presentan actividad anticancerígena, antineurodegenerativa y antiinflamatoria (Kraft 2008, Bello *et al.*, 2016). Dichos pigmentos suelen encontrarse en el pericarpio, en la aleurona o en ambas estructuras del grano (González *et al.*, 1999, Agama *et al.*, 2011).

De acuerdo a Salinas *et al.* (2013b), el contenido y tipo de antocianinas en el grano de maíz varía de acuerdo con el color del grano y la concentración del pigmento en las distintas estructuras; los granos de color rojo magenta concentran las antocianinas en el pericarpio y en la capa de aleurona, y poseen hasta 10 veces más antocianinas que los de grano azul-morado, cuyas antocianinas se concentran solamente en la capa de aleurona. Además, si el pigmento se concentra en la aleurona, el grano se puede usar para la nixtamalización, pero si se acumula en el pericarpio en cantidad suficiente, el grano se podría utilizar para la extracción de pigmentos. La importancia del mejoramiento genético para el desarrollo y aprovechamiento de variedades con alto contenido de antocianinas radica en dos razones: La primera por su impacto sobre las características sensoriales de los alimentos, las cuales pueden influenciar su comportamiento tecnológico durante el procesamiento de alimentos, y la segunda, por su implicación en la salud humana a través de diferentes vías (Aguilera *et al.*, 2011).

El contenido de antocianinas en maíces pigmentados oscila, según un estudio, entre 276.8 y 904.0  $\mu\text{g g}^{-1}$  (Salinas *et al.*, 2012a), mientras que en otro estudio se encontró valores de entre 271.01 y 1,989  $\mu\text{g g}^{-1}$  (Hernández *et al.*, 2017), donde los valores más elevados se encontraron en muestras originarias de Tlaxcala. En trabajos de mejoramiento realizados por Ballesteros *et al.* (2019) para mejorar las propiedades nutraceuticas en elotes occidentales, se redujo el contenido de antocianinas respecto a las poblaciones originales, lo que justifica la importancia de aprovechar y caracterizar las variedades nativas en su estado original, así como de continuar realizando mejoramiento que permita incrementar o mantener los más altos contenidos de antocianinas y otros compuestos nutraceuticos, así como otras características deseables.

El maíz que se utiliza para la nixtamalización debe cumplir con ciertas características físicas según las normas mexicanas NMX-FF-034/1-SCFI-2020 y NMX-FF-034/1-SCFI-2002; para maíz blanco, el porcentaje máximo de granos flotantes debe ser de 10 a 50 % (índice de flotación para medir dureza y tiempo de cocción), es decir, se prefieren los granos duros y muy duros (Secretaría de Economía-México 2002). La anchura del grano debe superar los 4.76 mm, (Secretaría de Economía-México 2020). Debido a que los maíces pigmentados se someten a procesos de extracción de compuestos nutraceuticos, las normas mencionadas no necesariamente son aplicables a los mismos, pero podrían ser útiles como un referente de caracteres de calidad.

El objetivo de esta investigación fue caracterizar 300 accesiones de maíz pigmentado provenientes de la república mexicana, en función de las características físicas de grano y el contenido de antocianinas totales, con la finalidad de que puedan utilizarse en programas de mejoramiento genético.

## Material y Métodos

La metodología que se describe a continuación tuvo la finalidad de alcanzar el objetivo general planteado, mediante el cumplimiento de los siguientes objetivos específicos:

- Identificar la(s) accesión(es) con mayor contenido de antocianinas.
- Identificar la(s) accesión(es) cuya dureza fuera la apropiada para la nixtamalización.
- Identificar la(s) accesión(es) cuyo peso de mil semillas y ancho cumplieran con los requisitos de la norma de maíz para la nixtamalización.
- Identificar la localización de la coloración.
- Identificar las características físicas que se correlacionan entre sí y con el contenido de antocianinas.
- Identificar las variables que permiten caracterizar, diferenciar y agrupar las accesiones estudiadas.

### **Material genético**

Se analizaron 300 accesiones de maíz con grano pigmentado, que fueron proporcionadas por el banco de germoplasma del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Las accesiones evaluadas pertenecen a 31 razas de maíz: Ancho, Arrocillo, Arrocillo Amarillo, Azul, Bofo, Bolita, Cacahuacintle, Celaya, Chalqueño, Cónico, Cónico Norteño, Cristalino de Chihuahua, Elotes Cónicos, Elotes de Sinaloa, Elotes Occidentales, Maíz Dulce, Mushito, Nal-Tel, Negro de Chimaltenango, Negro de Tierra Caliente<sup>1</sup>, Olotillo, Olotón, Pepitilla, Perla, Reventador, San Juan<sup>2</sup>, San Marceño<sup>1</sup>, Tabloncillo, Tabloncillo Perla, Tepecintle y Tuxpeño.

### **Características físicas del grano**

Las características físicas de grano evaluadas fueron realizadas en el laboratorio de calidad de semillas de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. El peso de mil semillas se cuantificó pesando 100 granos al azar de cada accesión en una balanza analítica Precisa Gravimetrics, este procedimiento se repitió 3 veces por accesión y se promedió, luego el resultado se multiplicó por 10. Se midió el largo, ancho y espesor con un calibrador digital Truper®, tomando una muestra aleatoria de 10 granos de cada accesión, luego se calculó una variable que se denominó dimensión, para la que se multiplicaron los valores de largo, ancho y espesor, expresándose los resultados en mm<sup>3</sup>. En determinación de dureza de grano, se obtuvo de manera indirecta por el índice de flotación (IF), el procedimiento se realizó usando como referencia la norma NMXFF-034/1-SCFI-2002 (Secretaría de Economía-México 2020), el cual consiste en colocar 100 granos en una solución de nitrato de sodio con una densidad de 1.25 g mL<sup>-1</sup> (+/- 0,001 g mL<sup>-1</sup>), a una temperatura entre 22 a 23 °C, y cuantificar el número de granos que ascienden a la superficie (Tabla 1). Este procedimiento se realizó por duplicado.

1 Negro de Tierra Caliente y San Marceño son reconocidos como Razas por Wellhausen, E. J., Alejandro, F. O., & Antonio, H. C. (1957). Razas de maíz en América Central. *National Academy of Sciences-National Research Council*, 136. <https://doi.org/10.17226/21166>

2 Raza no bien definida, o no es claro si pertenece a alguna de las razas primarias; sin embargo, es reconocida como raza primaria por el CIMMYT-Banco de Germoplasma.

## Determinación del contenido de antocianinas totales

Los análisis fueron realizados en el Laboratorio de Calidad Nutricional de Maíz “Evangelina Villegas” del CIMMYT, siguiendo la metodología mencionada por Palacios (2018). Se molieron 20 granos de cada accesión y se realizó la extracción de antocianinas pesando 20 mg de harina dentro de tubos Eppendorf de 1.5 mL y agregando 1.3 mL de ácido trifluoroacético. Se leyó la absorbancia de las muestras a 520 nm en un lector de microplacas Quant BioTek. Los resultados se presentan en  $\mu\text{g}$  de pelargonidina por g de muestra en peso seco ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ).

**Tabla 1. Número de granos flotantes por 100 granos.**

Dureza	Granos flotantes
Muy duros	0 – 12
Duros	13 – 37
Dureza intermedia	38 – 62
Suaves	63 – 87
Muy suaves	88 – 100

Fuente: NMXFF-034/1-SCFI-2002 (Secretaría de Economía-México 2020). El tiempo de cocción se correlaciona a la dureza.

## Análisis estadístico

Con la finalidad de identificar la(s) accesión(es) con mayor contenido de antocianinas, se estimó la media del contenido de antocianinas de cada accesión. Posteriormente, con la finalidad de clasificar las accesiones en función de su contenido de antocianinas, se estimó el número de clases (c) con la regla de Sturges utilizando el logaritmo base 10 del número promedio de accesiones por cada raza (N), redondeándose c al número impar inmediato superior o inferior; luego, se estimó el ancho de clase (a) a partir del número de clases y la amplitud (r) del promedio de antocianinas por accesión, para lo que se usaron las siguientes ecuaciones:

$$c = 1 + 3.322 \log N$$

$$r = \max - \min$$

$$a = \frac{r}{c - 1}$$

De manera análoga, con la finalidad de identificar la(s) accesión(es) cuya dureza fuera la apropiada para la nixtamalización, se estimó la media del porcentaje de semillas flotantes de cada accesión.

Con la finalidad de identificar la(s) accesión(es) cuyo peso de mil semillas (PMS) y dimensiones cumplieran con los requisitos de la norma de maíz para la nixtamalización, se estimó la media del PMS, largo, ancho y espesor. También se estimó el porcentaje de cada uno de los colores y la ubicación de la coloración. Las medias de los anteriores análisis se estimaron utilizando Microsoft Excel (2016).

Con la finalidad de identificar las características físicas que se correlacionan entre sí y con el contenido de antocianinas, se efectuó un análisis de correlación de Pearson; este análisis se realizó con el software SAS® Studio.

Con la finalidad de identificar las variables que permiten caracterizar, diferenciar y agrupar las accesiones estudiadas, se realizó un análisis multivariado de componentes principales utilizando las variables contenido de antocianinas totales, dureza de grano, peso de mil semillas, largo de grano, ancho de grano y espesor de grano; posteriormente, se realizó un análisis de conglomerados generando un dendrograma con el método del centroide de las 31 razas de maíz; estos análisis se realizaron en el paquete estadístico Rstudio version 4.1.2, utilizando las librerías ggplot2, factoextra, readxl y nortest.

## Resultados y Discusión

En la Tabla 2 se presentan los valores promedios del contenido de antocianinas totales de las 31 razas de maíz pigmentado, la raza con mayor contenido de antocianinas totales fue Tabloncillo Perla con un valor de  $511.74 \mu\text{g g}^{-1}$ , mientras que la raza que presentó el valor más bajo fue Pepitilla con un promedio de  $248.7 \mu\text{g g}^{-1}$  de antocianinas totales. Son consideradas dentro de los valores promedios las razas, Elotes de Sinaloa, Mushito, Reventador, Tabloncillo y Tepecintle.

En contenido de antocianinas totales, la accesión HIDA 250 obtuvo el valor más alto,  $723.9 \mu\text{g g}^{-1}$ , mientras que la accesión HIDA 247 presentó el valor más bajo,  $136.53 \mu\text{g g}^{-1}$  (Tabla 2), este intervalo presenta valores por debajo de los que reportó Salinas *et al.* (2012b) en un estudio realizado con 20 poblaciones de maíces de grano azul de la raza Olotillo, donde los valores oscilan entre  $276.8$  y  $904.0 \mu\text{g g}^{-1}$ , también, de los que reportó Hernández *et al.* (2017) quienes obtuvieron un promedio de  $281.01 \mu\text{g g}^{-1}$  de antocianinas totales, mostrando alta variabilidad dentro de las muestras analizadas, y con valores altos de  $1,989 \mu\text{g g}^{-1}$  en muestras originarias de Tlaxcala, y de igual manera, fueron inferiores a los reportados por Arellano *et al.* (2021), quienes obtuvieron  $774,7 \mu\text{g g}^{-1}$  de antocianinas.

Los resultados de índice de flotación indican que 62 accesiones presentaron grano muy duro, entre ellas la accesión HIDA 250, PUEB 509 y CHIS 1053, 80 accesiones presentaron granos duros, 62 accesiones dureza intermedia, 59 accesiones granos suaves y 37 accesiones presentaron granos muy suaves (Datos no mostrados), es decir 142 de las 300 accesiones (47.3 %) presentan un grado de dureza deseable para la industria del nixtamal (considerando los

lineamientos de maíz blanco) conforme a la NMX-FF-034/1-SCFI-2020 (Secretaría de Economía-México 2020), y un total de 204 (68 %) poseen un grado aceptable, cuando menos.

El valor más bajo de dimensión de grano fue encontrado en la accesión HIDA 74 y el valor más alto lo obtuvo la accesión OAXA 783 (Datos no mostrados). Según Salinas *et al.* (2012b), la dimensión del grano afecta la concentración de antocianinas, influye por un efecto de dilución de las antocianinas en la harina del grano utilizada para la cuantificación, donde un grano grande tendrá mayor efecto de dilución que un grano pequeño. Por otro lado, el 100 % de las accesiones mostró un ancho promedio superior a 4.76 mm, ajustándose a la NMX-FF-034/1-SCFI-2020 (Secretaría de Economía-México 2020), la accesión VERA 87 mostró el menor valor de ancho y DURA 163 el mayor, 5.6 y 11.7 mm respectivamente (Datos no mostrados).

**Tabla 2. Contenido total de antocianinas de las 31 razas de maíces pigmentados y accesiones agrupadas en cinco intervalos.**

Raza primaria	AC <sup>†</sup>	Contenido de antocianinas <sup>††</sup> (µg g <sup>-1</sup> )	Accesiones por grupo de intervalo de contenido de antocianinas <sup>§</sup>				
			(63.0975, 209.9625]	(209.9625, 356.8275]	(356.8275, 503.6925]	(503.6925, 650.5575]	(650.5575, 797.4225]
PEPITILLA	2	248.7		PUEB GP79 PUEB 102			
CACAHUACINTLE	5	272.2	MICH 355	MICH 324 MEXI 628 MICH 369 PUEB 436			
MUSHITO	4	285.7		MICH 360 MICH 362 MICH 376 MICH 414			
SAN MARCENO <sup>§§</sup>	1	287.1		CHIS 689			
ANCHO	6	301.5	MORE 72	GUER 130 MORE 92 MORE 52 MORE 88	GUER 310		

<sup>†</sup>Accesiones incluidas por Raza primaria. <sup>††</sup>Los resultados se presentan en µg de pelargonidina por g de materia seca. <sup>§</sup>Se muestran los límites inferior y superior por clase, las clases incluyen valores mayores que el límite inferior y menores o iguales al límite superior. Las accesiones están ordenadas de menor a mayor contenido de antocianinas, de base a punta, dentro de las columnas de clase de cada raza. <sup>§§</sup>San Marceño y Negro de Tierra Caliente fueron reconocidos como Razas por Wellhausen *et al.* (1957). <sup>‡</sup>Raza no bien definida, o no está claro si pertenece a alguna de las razas primarias; sin embargo, es reconocida como Raza Primaria por el CIMMyT-Banco de Germoplasma.

Continuación

**Tabla 2. Contenido total de antocianinas de las 31 razas de maíces pigmentados y accesiones agrupadas en cinco intervalos.**

Raza primaria	AC <sup>†</sup>	Contenido de antocianinas <sup>††</sup> (µg g <sup>-1</sup> )	Accesiones por grupo de intervalo de contenido de antocianinas <sup>§</sup>					
			(63.0975, 209.9625]	(209.9625, 356.8275]	(356.8275, 503.6925]	(503.6925, 650.5575]	(650.5575, 797.4225]	
ELOTES CONICOS	44	308.6	HIDA 223 HIDA 116 PUEB 302	JALI 54 GUAN 97 JALI 633 GUER 305 PUEB 647 PUEB 711 TLAX 232 PUEB 719 MEXI 282 PUEB 210 PUEB 39 PUEB 546 QROO 36 PUEB 594 PUEB 148 OAXA 26 PUEB 611 PUEB 149 TLAX 234 PUEB 589 PUEB 18 PUEB 600 PUEB 618 PUEB 304 QUER 84 PUEB 668 GUAN 139 HIDA 150 GUAN 373 PUEB 561	JALI 54 GUAN 97 JALI 633 GUER 305 PUEB 647 PUEB 711 TLAX 232 PUEB 719 MEXI 282 PUEB 210 PUEB 39 PUEB 546 QROO 36 PUEB 594 PUEB 148 OAXA 26 PUEB 611 PUEB 149 TLAX 234 PUEB 589 PUEB 18 PUEB 600 PUEB 618 PUEB 304 QUER 84 PUEB 668 GUAN 139 HIDA 150 GUAN 373 PUEB 561	TLAX 230 OAXA 796 TLAX 248 SNLP 130 PUEB 699 MEXI 27 PUEB 479 OAXA 121 QUER 94 PUEB 14 PUEB 708		

<sup>†</sup>Accesiones incluidas por Raza primaria. <sup>††</sup>Los resultados se presentan en µg de pelargonidina por g de materia seca. <sup>§</sup>Se muestran los límites inferior y superior por clase, las clases incluyen valores mayores que el límite inferior y menores o iguales al límite superior. Las accesiones están ordenadas de menor a mayor contenido de antocianinas, de base a punta, dentro de las columnas de clase de cada raza. <sup>§§</sup>San Marceño y Negro de Tierra Caliente fueron reconocidos como Razas por Wellhausen *et al.* (1957). <sup>‡</sup>Raza no bien definida, o no está claro si pertenece a alguna de las razas primarias; sin embargo, es reconocida como Raza Primaria por el CIMMYT-Banco de Germoplasma.

## Continuación

**Tabla 2. Contenido total de antocianinas de las 31 razas de maíces pigmentados y accesiones agrupadas en cinco intervalos.**

Raza primaria	AC <sup>†</sup>	Contenido de antocianinas <sup>††</sup> ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	Accesiones por grupo de intervalo de contenido de antocianinas <sup>§</sup>				
			(63.0975, 209.9625]	(209.9625, 356.8275]	(356.8275, 503.6925]	(503.6925, 650.5575]	(650.5575, 797.4225]
MAIZ DULCE	2	309.7		MICH 412 JALI 188			
ELOTES OCCIDENTALES	22	312.0	GUAN 429	GUER 364 PUEB 510 JALI 77 JALI 89 COLI 6 PUEB 98 QUER GP15 GUAN 9 GUAN 98 GUER 173 JALI 321 ZACA 168 MICH 138 SNLP 23 GUER 223 VERA 73 HIDA 276 NAYA 116 GUAN GP22	NAYA 38		PUEB 509
OLOTILLO	8	313.4		OAXA 243 SNLP 368 SNLP 370 CHIS 444 CHIS 434 PUEB 185	OAXA 249 OAXA 245		
CHALQUENO	7	317.1	MEXI 613	PUEB 81 MEXI 145 PUEB 535	PUEB GP75 PUEB 461 MEXI 33		

<sup>†</sup>Accesiones incluidas por Raza primaria. <sup>††</sup>Los resultados se presentan en  $\mu\text{g}$  de pelargonidina por g de materia seca. <sup>§</sup>Se muestran los límites inferior y superior por clase, las clases incluyen valores mayores que el límite inferior y menores o iguales al límite superior. Las accesiones están ordenadas de menor a mayor contenido de antocianinas, de base a punta, dentro de las columnas de clase de cada raza. <sup>§§</sup>San Marceño y Negro de Tierra Caliente fueron reconocidos como Razas por Wellhausen *et al.* (1957). <sup>‡</sup>Raza no bien definida, o no está claro si pertenece a alguna de las razas primarias; sin embargo, es reconocida como Raza Primaria por el CIMMYT-Banco de Germoplasma.

Continuación

**Tabla 2. Contenido total de antocianinas de las 31 razas de maíces pigmentados y accesiones agrupadas en cinco intervalos.**

Raza primaria	AC <sup>†</sup>	Contenido de antocianinas <sup>††</sup> (µg g <sup>-1</sup> )	Accesiones por grupo de intervalo de contenido de antocianinas <sup>§</sup>				
			(63.0975, 209.9625]	(209.9625, 356.8275]	(356.8275, 503.6925]	(503.6925, 650.5575]	(650.5575, 797.4225]
NEGRO DE CHIMALTENANGO	1	317.2		CHIS 1099			
BOFO	18	317.7		ZACA 194	NAYA 280		
				NAYA 224	NAYA 191		
				SINA 58	NAYA 243		
				NAYA 201	NAYA 287		
				DURA 100	ZACA 180		
				SINA 49			
				SINA 52			
				ZACA 188			
				NAYA 222			
				NAYA 242			
				NAYA 281			
				NAYA 196			
				DURA 94			
CONICO NORTENO	18	317.8		CHIH 355	CHIH 378	QUER 3	
				AGUC 27	CHIH 441		
				QUER 58			
				GUAN 158			
				CHIH 353			
				GUAN 164			
				QUER 24			
				QUER 17			
				JALI 307			
				DURA 240			
				GUAN 146			
				PUEB 211			
				GUAN 149			
				DURA 238			
				SNLP 76			

<sup>†</sup>Accesiones incluidas por Raza primaria. <sup>††</sup>Los resultados se presentan en µg de pelargonidina por g de materia seca. <sup>§</sup>Se muestran los límites inferior y superior por clase, las clases incluyen valores mayores que el límite inferior y menores o iguales al límite superior. Las accesiones están ordenadas de menor a mayor contenido de antocianinas, de base a punta, dentro de las columnas de clase de cada raza. <sup>§§</sup>San Marceño y Negro de Tierra Caliente fueron reconocidos como Razas por Wellhausen *et al.* (1957). <sup>‡</sup>Raza no bien definida, o no está claro si pertenece a alguna de las razas primarias; sin embargo, es reconocida como Raza Primaria por el CIMMYT-Banco de Germoplasma.

## Continuación

**Tabla 2. Contenido total de antocianinas de las 31 razas de maíces pigmentados y accesiones agrupadas en cinco intervalos.**

Raza primaria	AC <sup>†</sup>	Contenido de antocianinas <sup>††</sup> ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	Accesiones por grupo de intervalo de contenido de antocianinas <sup>§</sup>				
			(63.0975, 209.9625]	(209.9625, 356.8275]	(356.8275, 503.6925]	(503.6925, 650.5575]	(650.5575, 797.4225]
CONICO	45	320.4	PUEB 388	MEXI 532	MEXI 553	MICH 119	
			VERA 358	PUEB 485	MEXI 521		
			VERA 328	MEXI 258	PUEB 332		
			PUEB 271	HIDA 85	PUEB 414		
			MEXI 129	PUEB 547	MEXI 235		
				MEXI 471	PUEB 387		
				PUEB 351	MICH 394		
				OAXA 382	PUEB 394		
				TLAX 250	PUEB 215		
				OAXA 326	MEXI 150		
				PUEB 495	MEXI 543		
				PUEB GP80	VERA 322		
				OAXA 300			
				MEXI 237			
				OAXA 288			
				MICH 319			
				QUER GP16			
				MEXI 244			
				PUEB 507			
				OAXA 374			
				HIDA 74			
	MEXI 250						
	OAXA 269						
	PUEB GP76						
	VERA 340						
	MEXI 275						
	MEXI 542						
ARROCILLO	3	321		PUEB 947	PUEB 746		
				PUEB 917			
PERLA	1	321		NAYA 233			

<sup>†</sup>Accesiones incluidas por Raza primaria. <sup>††</sup>Los resultados se presentan en  $\mu\text{g}$  de pelargonidina por g de materia seca. <sup>§</sup>Se muestran los límites inferior y superior por clase, las clases incluyen valores mayores que el límite inferior y menores o iguales al límite superior. Las accesiones están ordenadas de menor a mayor contenido de antocianinas, de base a punta, dentro de las columnas de clase de cada raza. <sup>§§</sup>San Marceño y Negro de Tierra Caliente fueron reconocidos como Razas por Wellhausen *et al.* (1957). <sup>‡</sup>Raza no bien definida, o no está claro si pertenece a alguna de las razas primarias; sin embargo, es reconocida como Raza Primaria por el CIMMYT-Banco de Germoplasma.

Continuación

**Tabla 2. Contenido total de antocianinas de las 31 razas de maíces pigmentados y accesiones agrupadas en cinco intervalos.**

Raza primaria	AC <sup>†</sup>	Contenido de antocianinas <sup>††</sup> (µg g <sup>-1</sup> )	Accesiones por grupo de intervalo de contenido de antocianinas <sup>§</sup>				
			(63.0975, 209.9625]	(209.9625, 356.8275]	(356.8275, 503.6925]	(503.6925, 650.5575]	(650.5575, 797.4225]
TUXPENO	19	321.5	VERA 169	QROO 35 VERA 496 VERA 42 VERA 486 VERA 148 VERA 214 VERA 508 HIDA 37 NAYA 175 GUER GP36 VERA 56 VERA 173 SNLP 67 NAYA 221	OAXA 272 SNLP 121 SNLP 75	VERA 161	
CRISTALINO DE CHIHUAHUA	2	324.1		CHIH 218 DURA 193			
ARROCILLO AMARILLO	4	324.7		MEXI 53 VERA 359 VERA 87	MEXI 64		
NEGRO DE TIERRA CALIENTE <sup>§§</sup>	1	327.4		CHIS 978			

<sup>†</sup>Accesiones incluidas por Raza primaria. <sup>††</sup>Los resultados se presentan en µg de pelargonidina por g de materia seca. <sup>§</sup>Se muestran los límites inferior y superior por clase, las clases incluyen valores mayores que el límite inferior y menores o iguales al límite superior. Las accesiones están ordenadas de menor a mayor contenido de antocianinas, de base a punta, dentro de las columnas de clase de cada raza. <sup>§§</sup>San Marceño y Negro de Tierra Caliente fueron reconocidos como Razas por Wellhausen *et al.* (1957). <sup>†</sup>Raza no bien definida, o no está claro si pertenece a alguna de las razas primarias; sin embargo, es reconocida como Raza Primaria por el CIMMyT-Banco de Germoplasma.

## Continuación

**Tabla 2. Contenido total de antocianinas de las 31 razas de maíces pigmentados y accesiones agrupadas en cinco intervalos.**

Raza primaria	AC <sup>†</sup>	Contenido de antocianinas <sup>††</sup> (µg g <sup>-1</sup> )	Accesiones por grupo de intervalo de contenido de antocianinas <sup>§</sup>				
			(63.0975, 209.9625]	(209.9625, 356.8275]	(356.8275, 503.6925]	(503.6925, 650.5575]	(650.5575, 797.4225]
AZUL	19	327.7		CHIH 421 CHIH 365 CHIH 373 CHIH 360 CHIH 403 CHIH 367 CHIH 402 CHIH 439 CHIH 503 CHIH 354 CHIH 395 JALI 290 CHIH 357	CHIH 427 CHIH 420 CHIH 384 CHIH 133 CHIH 430 CHIH 377		
NAL TEL	3	328.7		OAXA 165 YUCA 162	YUCA 147		
OLOTON	12	332.2	OAXA 305	CHIS 420 CHIS 1089 CHIS 1022 CHIS 1100 CHIS 674 OAXA 310 CHIS 1060 OAXA 370	CHIS 1098	CHIS 1053 CHIS 1044	

<sup>†</sup>Accesiones incluidas por Raza primaria. <sup>††</sup>Los resultados se presentan en µg de pelargonidina por g de materia seca. <sup>§</sup>Se muestran los límites inferior y superior por clase, las clases incluyen valores mayores que el límite inferior y menores o iguales al límite superior. Las accesiones están ordenadas de menor a mayor contenido de antocianinas, de base a punta, dentro de las columnas de clase de cada raza. <sup>§§</sup>San Marceño y Negro de Tierra Caliente fueron reconocidos como Razas por Wellhausen *et al.* (1957). <sup>‡</sup>Raza no bien definida, o no está claro si pertenece a alguna de las razas primarias; sin embargo, es reconocida como Raza Primaria por el CIMMYT-Banco de Germoplasma.

Continuación  
**Tabla 2. Contenido total de antocianinas de las 31 razas de maíces pigmentados y accesiones agrupadas en cinco intervalos.**

Raza primaria	AC <sup>†</sup>	Contenido de antocianinas <sup>††</sup> (µg g <sup>-1</sup> )	Accesiones por grupo de intervalo de contenido de antocianinas <sup>§</sup>				
			(63.0975, 209.9625]	(209.9625, 356.8275]	(356.8275, 503.6925]	(503.6925, 650.5575]	(650.5575, 797.4225]
BOLITA	20	332.5	OAXA 321 OAXA 391	OAXA 804 OAXA 725 OAXA 929 OAXA 811 OAXA 698 OAXA 707 OAXA 783 OAXA 259 OAXA 800 OAXA 730 OAXA 758	OAXA 685 OAXA 810 OAXA 751 OAXA 720 OAXA 320 OAXA 695	OAXA 789	
CELAYA	1	348.6		PUEB 233			
TABLONCILLO	6	361.4		DURA 142 DURA 141 JALI 313	SINA 41 MICH 86 DURA 169		
REVENTADOR	7	361.9		SINA 37 SINA 22 SINA 17	SINA 38 SINA 44 DURA 109 NAYA 292		
TEPECINTLE	15	374	HIDA 247	HIDA 296 MORE 6 HIDA 239 VERA 837 HIDA 316 HIDA 297	OAXA 161 HIDA 251 OAXA 266 OAXA 337 SNLP 281 HIDA 312	VERA 801	HIDA 250
ELOTES DE SINALOA	2	375.1			CHIS 1117 MICH 232		
SAN JUAN <sup>‡</sup>	1	420.3			DURA 123		
TABLONCILLO PERLA	1	511.7				DURA 163	

<sup>†</sup>Accesiones incluidas por Raza primaria. <sup>††</sup>Los resultados se presentan en µg de pelargonidina por g de materia seca. <sup>§</sup>Se muestran los límites inferior y superior por clase, las clases incluyen valores mayores que el límite inferior y menores o iguales al límite superior. Las accesiones están ordenadas de menor a mayor contenido de antocianinas, de base a punta, dentro de las columnas de clase de cada raza. <sup>§§</sup>San Marceño y Negro de Tierra Caliente fueron reconocidos como Razas por Wellhausen *et al.* (1957). <sup>‡</sup>Raza no bien definida, o no está claro si pertenece a alguna de las razas primarias; sin embargo, es reconocida como Raza Primaria por el CIMMYT-Banco de Germoplasma.

La accesión CHIS 1089 obtuvo el menor peso de mil semillas, 239 g, mientras que la accesión MICH 86 obtuvo el valor más alto, 532 g (Datos no mostrados). Estos valores son semejantes a los obtenidos por Maldonado *et al.* (2021) quienes reportan valores entre 223 g y 522 g para el peso de mil semillas y Cieza *et al.* (2020) que al evaluar 21 híbridos de maíz obtuvo resultados de peso de mil semillas entre 297 y 381 g. La norma NMX-FF-034/1-SCFI-2020 (Secretaría de Economía-México 2020), no especifica valores mínimos u óptimos para esta variable, pero resulta de utilidad en la caracterización de variedades.

Las accesiones mostraron coloración variable, presentándose un 70 % de granos azules, 20 % de granos rojos y 10 % de coloración ausente; el 88 % de los granos presentaron la coloración en la aleurona, 11 % en aleurona y pericarpio y 1 % en pericarpio. En las accesiones de Chalqueño, predominó la coloración en la capa de aleurona (78 %) seguido de la coloración en aleurona y pericarpio (19 %), y finalmente, en pericarpio (3 %); Salinas *et al.* (2012b) encontró que las antocianinas se localizaron únicamente en la capa de aleurona en muestras de grano azul-morado de dicha raza, con lo que se hace evidente la asociación de localización de coloración con la presencia de antocianinas.

Hubo una correlación negativa entre el porcentaje de granos flotando (inverso a la dureza de grano según la NMX-FF-034/1-SCFI-2020), y longitud y dimensión ( $p \leq 0.05$ , Tabla 3), por lo que es evidente que, a mayor tamaño mayor dureza (menos granos flotando). El contenido de antocianinas no se correlacionó con ninguna de las características físicas (Tabla 3).

**Tabla 3. Coeficiente de correlación de Pearson entre variables de las características físicas del grano y contenido de antocianinas.**

	Porcentaje de flotación	Peso de mil semillas	Largo	Ancho	Espesor	Dimensión
Contenido de Antocianinas	0.060 0.75 NS	-0.104 0.58 NS	0.164 0.38 NS	-0.198 0.29 NS	-0.31316 0.09 NS	-0.234 0.21 NS
Porcentaje de flotación		-0.212 0.25 NS	-0.405 0.02 *	-0.134 0.47 NS	0.014 0.94 NS	-0.359 0.05 *
Peso de mil semillas			0.450 0.01 **	-0.272 0.14 NS	0.596 <0.01 **	0.679 <0.01 **
Largo				-0.312 0.09 NS	0.053 0.78 NS	0.539 <0.01
Ancho					-0.390 0.03 *	0.122 0.51 NS
Espesor						0.605 <0.01 **

\*\* , \* , NS: Significativo al 1 y 5 % de probabilidad y no significativo, respectivamente. La Dureza del Grano está inversamente relacionada con el porcentaje de Flotación, según NMX-FF-034/1-SCFI-2020.

En la Tabla 4 se observan las características de las accesiones con el mayor contenido de antocianinas, aquellas que corresponden a los dos intervalos más altos en la Tabla 2. Estas accesiones, además, podrían considerarse con potencial para la industria de la nixtamalización, puesto que: la coloración se ubica en la aleurona de manera predominante, lo que es preferible de acuerdo con Salinas *et al.* (2013a), aunque si se acumula en el pericarpio en cantidad suficiente se podría utilizar para la extracción de pigmentos. Predomina el índice de flotación de 10 a 50 %, lo que es deseable de acuerdo con la NMXFF-034/1-SCFI-2002 (Secretaría de Economía-México 2020). En la nixtamalización, podría ser deseable que la coloración se localice en la aleurona, pues de localizarse en el pericarpio, es más probable que se pierdan las antocianinas al desprenderse durante el proceso junto con el pericarpio.

**Tabla 4. Características físicas de las accesiones de los grupos 4 y 5 para contenido de antocianinas.**

Accesión	Contenido de antocianinas <sup>†</sup> ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	Intervalo de grupo <sup>††</sup>	Color	Ubicación del color	Porcentaje de flotación, %	Dureza <sup>§</sup>	Aceptación de dureza <sup>§§</sup>	Raza primaria
HIDA 250	723.99	(650.5575, 797.4225]	Azul	Aleurona	15	Duro	Sí	Tepecintle
PUE 509	677.71		Rojo	Aleurona	10	Muy duro	Sí	Elotes Occidentales
CHIS 1053	620.12		Azul	Aleurona	25	Duro	Sí	Oloton
CHIS 1044	616.11		Azul	Aleurona	75	Suave	No	Oloton
MICH 119	606.12	(503.6925, 650.5575]	Azul	Pericarpio y Aleurona (20 %)	55	Dureza intermedia	No	Cónico
VERA 161	602.26		Azul	Aleurona	10	Muy duro	Sí	Tuxpeño
VERA 801	538.93		Azul	Aleurona	0	Muy duro	No	Tepecintle
QUER 3	535.53		Azul	Aleurona	50	Dureza intermedia	Sí	Cónico Norteño
OAXA 789	520.78		Azul	Aleurona	60	Dureza intermedia	No	Bolita
DURA 163	511.74		Azul	Aleurona	90	Muy suave	No	Tabloncillo Perla

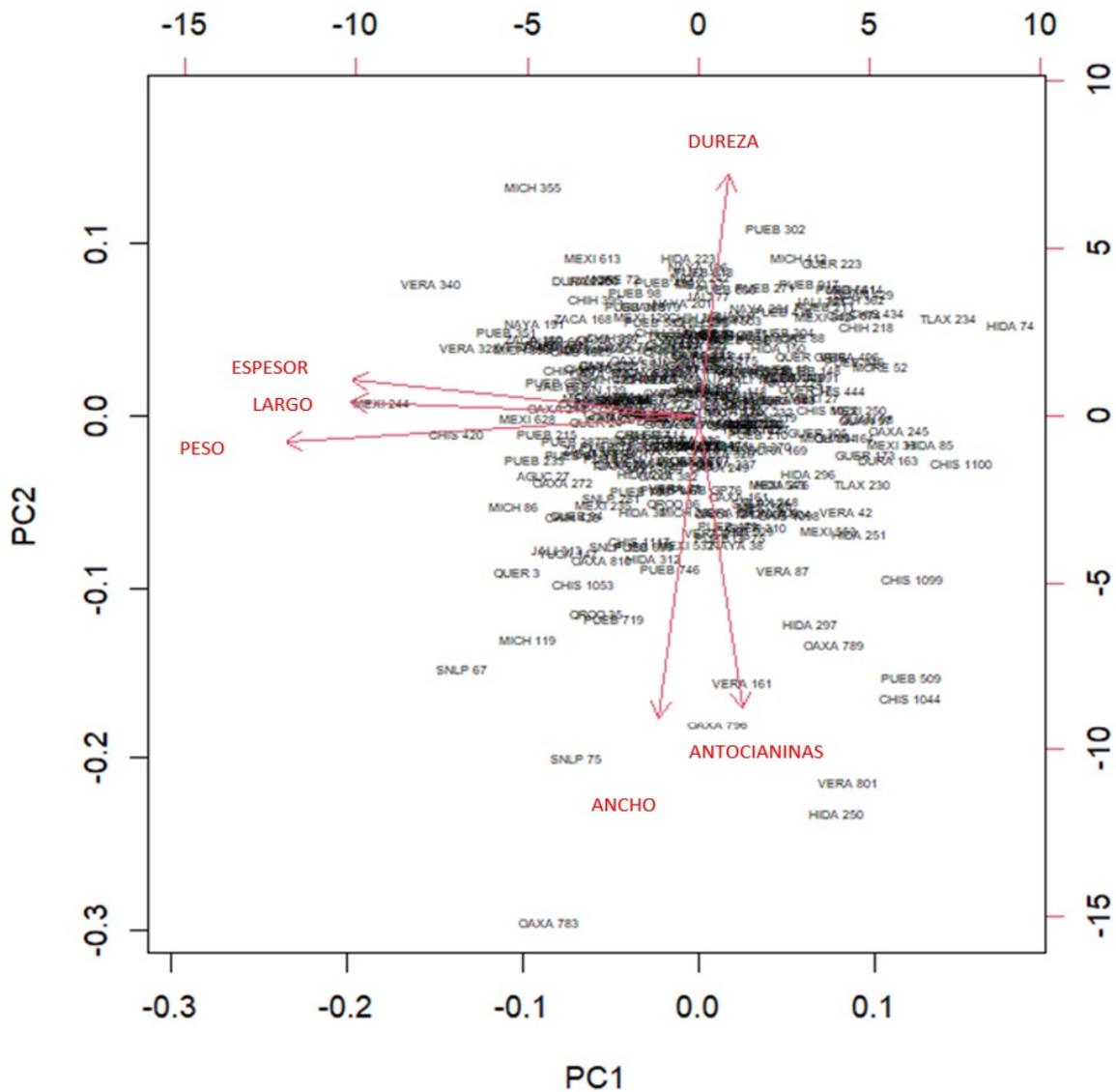
<sup>†</sup>Los resultados se presentan en  $\mu\text{g}$  de pelargonidina por g de muestra de peso seco. <sup>††</sup>Se muestran los límites inferior y superior por clase, las clases incluyen valores mayores que el límite inferior y menores o iguales que el límite superior. <sup>§</sup>De acuerdo a la NMX-FF-034/1-SCFI-2020 (Secretaría de Economía-México 2020). <sup>§§</sup>Según la NMX-FF-034/1-SCFI-2020 (Secretaría de Economía-México 2020) para el maíz blanco, la dureza aceptable va del 10 al 50 % de granos flotantes.

La coloración exclusiva en pericarpio se presentó en las accesiones GUER GP36 (95 %) [294.64  $\mu\text{g g}^{-1}$ ], PUEB 589 (100 %) [274.8  $\mu\text{g g}^{-1}$ ], SNLP (35 %), MEXI 64 (20 %), PUEB 461 (20 %), y otras con porcentajes igual o menor a 10 % (CHIH 403, CHIH 421, GUAN 146, PUEB 233, NAYA 191, MORE 52, MICH 414), las cuales podrían ser aptas únicamente para extracción de pigmentos, aunque su contenido de antocianinas totales es inferior al promedio (323.17  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) e inferior al intervalo de la mediana: (356.8275, 503.6925]. La coloración de las accesiones GUER GP36 y PUEB 589 fue azul (100 %) y rojo (100 %), respectivamente.

Los resultados del análisis de componentes principales (PC) indican que los primeros tres componentes acumularon el 66.35% de la proporción de varianza (Tabla 5). El PC1 presentó como variables más relevantes a peso de 100 granos, el largo y el espesor. El PC2 presentó como variables más relevantes el contenido de antocianinas, dureza y ancho de grano. En la Figura 1 se muestra el biplot de los dos primeros componentes principales donde se observa la dispersión de las 300 accesiones de maíz pigmentado. Otros trabajos han evidenciado que las variables relacionadas con las dimensiones del grano, así como de la mazorca, son relevantes para la caracterización de variedades de maíz, como el estudio realizado por Rocandio *et al.* (2014).

**Tabla 5. Valores y vectores propios de los primeros tres componentes principales que describen la variación de las propiedades físicas y el contenido total de antocianinas de 300 accesiones de maíz pigmentado.**

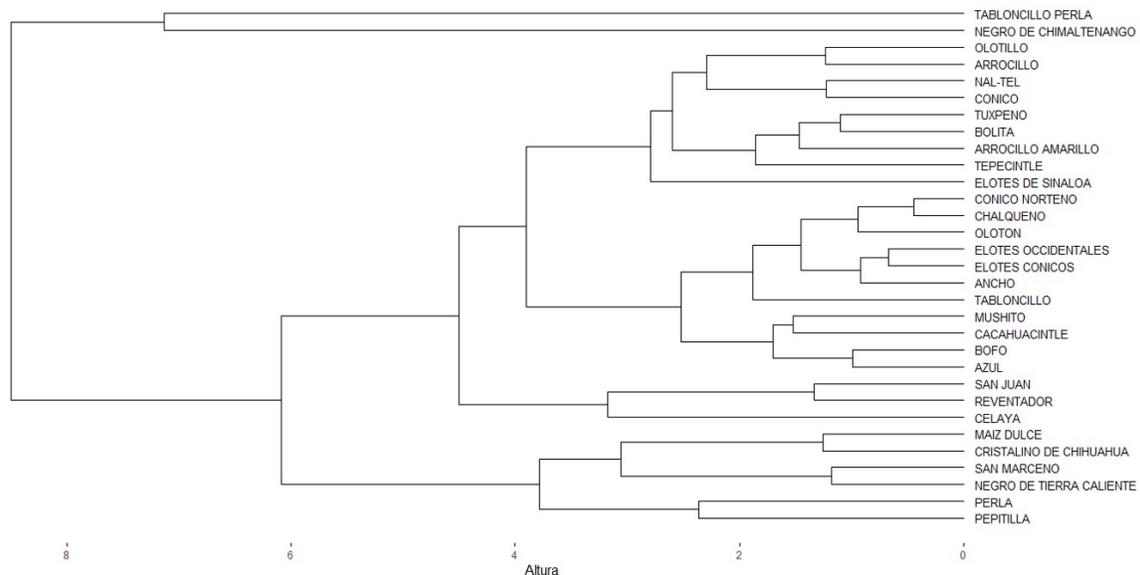
	PC1	PC2	PC3
Eigenvalor	1.36	0.31	1.01
Proporción de la Varianza (%)	30.95	18.27	17.13
Proporción acumulada (%)	30.95	49.22	66.35
Antocianinas	0.07	<b>-0.60</b>	<b>-0.70</b>
Dureza	0.05	<b>0.50</b>	-0.39
Peso de mil semillas	<b>-0.64</b>	-0.05	-0.13
Largo del grano	<b>-0.54</b>	0.03	-0.31
Ancho del grano	-0.06	<b>-0.62</b>	0.39
Espesor del grano	<b>-0.54</b>	0.07	0.30



**Figura 1. Dispersión de 300 accesiones de maíz de 31 razas.**

Las variables más relevantes para el PC1 fueron el peso de mil semillas y la longitud del grano, y para el PC2, el contenido de antocianinas y el ancho del grano.

En el dendrograma generado a partir de las características físicas y contenido de antocianinas totales de las 31 razas de maíz (Figura 2) se manifiestan 4 grupos a partir de una distancia euclidiana de 5: el primero conformado por las razas Dulce, Cristalino de Chihuahua, San Marceno, Negro de Tierra Caliente, Perla y Pepitilla, el segundo conformado por Olotillo, Arrocillo, Nal-tel, Cónico, Tuxpeño, Bolita, Arrocillo Amarillo, Tepecintle, Elotes de Sinaloa, Cónico Norteño, Chalqueño, Olotón, Elotes Occidentales, Elotes Cónicos, Ancho, Tabloncillo, Mushito, Cacahuacintle, Bofo, Azul, San Juan, Reventador, y Celaya, el tercero está conformado por Negro Chimaltenango y el cuarto por Tabloncillo Perla. Se mostró una mayor afinidad entre las razas Cónico Norteño y Chalqueño, así como una gran similitud entre las razas Elotes Occidentales y Elotes Cónicos. Torres *et al.* (2022) analizaron la diversidad morfológica de 7 razas maíz diferenciando 4 grupos en el dendrograma a una distancia euclidiana de 7.8 unidades. En el estudio de la diversidad genética de 10 accesiones se manifestaron cuatro grupos a partir de una distancia euclidiana de 5.16 (Sánchez *et al.*, 2019).



**Figura 2. Dendrograma de 31 razas de maíz, considerando las variables: antocianinas totales, peso cien de grano, dureza, largo, ancho y espesor de grano.**

## Conclusiones

La variabilidad encontrada en esta investigación puede contribuir a la selección de accesiones de maíz que proporcionen un alto contenido de antocianinas totales. Las accesiones

HIDA 250 (Tepecintle), PUE 509 (Elotes occidentales), CHIS 1053 (Oloton), CHIS 1044 (Oloton), MICH 119 (Cónico) y VERA 161 (Tuxpeño), obtuvieron contenido de antocianinas totales superior a  $600 \mu\text{g g}^{-1}$ , estas accesiones presentan un gran potencial para utilizarlas en programas de mejoramiento genético, porque además, cumplen en su mayoría, con los requisitos de la industria de la nixtamalización, y en su mayoría contienen la coloración en la aleurona, lo que hace menos probable su desprendimiento durante la nixtamalización, a comparación de aquellas que presentan la coloración en pericarpio. Las razas se agruparon en 4 grupos en función de las características estudiadas.

### **Contribución de los autores**

Conceptualización del trabajo, HRDM, RHSA; desarrollo de la metodología, HRDM, RHSA, MRA, PRN.; manejo de software, LBA, GOHT; validación experimental, LdelRAJ, PRN; análisis de resultados, MRA, LBA, LdelRAJ, GOHT; Manejo de datos, HRDM, RHSA; escritura y preparación del manuscrito, HRDM; redacción, revisión y edición, MRA, LBA, PRN, LdelRAJ, GOHT; administrador de proyectos, RHSA.

Todos los autores de este manuscrito han leído y aceptado la versión publicada del mismo.

### **Financiamiento**

Esta investigación no recibió financiamiento externo.

### **Declaraciones éticas**

No aplica.

### **Declaración de consentimiento informado**

No aplica.

### **Agradecimientos**

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología por la beca otorgada para estudios de doctorado BECA 700733

A MasAgro Biodiversidad, por las facilidades proporcionadas para la realización de esta investigación.

## Conflicto de interés

Los autores declaran no tener conflicto de interés.

## Referencias

- Agama, A. E., Salinas, M. Y., Pacheco, V. G., & Bello, P. L. A. (2011). Características físicas y químicas de dos razas de maíz azul: morfología del almidón. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 2(3), 317-329. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342011000300002](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342011000300002)
- Aguilera, O. M., Reza, V. M. d. C., Chew, M. R. G., & Meza, V. J. A. (2011). Propiedades funcionales de las antocianinas. *Biotechnia*, 13(2), 16-22. <https://www.redalyc.org/pdf/6729/672971155002.pdf>
- Alegría, M. J., Castillo, R. O., & Saldaña, T. S. (2020). Caracterización fisicoquímica de maíz (*Zea mays* L.) pigmentado para potenciar su consumo. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 5, 272-276.
- Arellano, V. J. L., Herrera, Z. A., Gutiérrez, H. G. F., Ceja, T. L. F., & Flores, G. E. (2021). Color, contenido de antocianinas y dimensiones de semilla en líneas endogámicas de maíz azul y sus cruza. *Idesia (Arica)*, 39(3), 75-82. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292021000300075>
- Ballesteros, M. G., Zarazúa, V. P., Salinas, M. Y., & Cruz, L. L. d. I. (2019). Fijación del color en grano y características físicas, tecnológicas y nutraceuticas en maíz Elotes Occidentales. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(3), 585-599. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i3.1514>
- Bello, P. L. A., Camelo, M. G. A., Agama, A. E., & Utrilla, C. R. G. (2016). Aspecto nutraceuticos de los maíces pigmentados: digestibilidad de los carbohidratos y antocianinas. *Agrociencia*, 50(8), 1041-1063. <https://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v50n8/1405-3195-agro-50-08-1041.pdf>
- Cieza, R. I., Jara, C. T. W., Terrones, M. R., Figueroa, C. Y. C., & Valdera, C. (2020). Características agronómicas, componentes de producción y rendimiento de grano de híbridos de maíz (*Zea mays*). *Manglar*, 17(3), 261-267. <https://doi.org/10.17268/manglar.2020.038>
- González, H. V., Martínez, B. F., Ortega, P. R., Salinas, M. Y., & Soto, H. M. (1999). Análisis de antocianinas en maíces de grano azul y rojo provenientes de cuatro razas. *Revista Fitotecnia Mexicana*.
- Hernández, Q. J. d. D., Rosales, N. A., Molina, M. A., Miranda, P. A., Willcox, M., Hernández, C. J. M., & Palacios, R. N. (2017). Cuantificación de antocianinas mediante espectroscopía de infrarrojo cercano y cromatografía líquida en maíces pigmentados. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 40(2), 219-225. <https://doi.org/10.35196/rfm.2017.2.219-225>
- Kraft, T. (2008). Composición fitoquímica y la actividad metabólica de máximo rendimiento de las bayas de la dieta. *Diario de la agricultura y química de los alimentos*, 654-660.
- Maldonado, A. Y. I., Gutiérrez, G. A. A., Flores, R. Y. L., Arámbula, V. G., Flores, C. V., Jiménez

- H. J., Ramírez, M., Álvarez, F. P., & Salazar, R. (2021). Propiedades morfométricas, fisicoquímicas y actividad antiproliferativa de maíces pigmentados de Guerrero. *Nova scientia*, 13(27). <https://doi.org/10.21640/ns.v13i27.2825>
- Palacios, R. N. (2018). Calidad nutricional e industrial de maíz: laboratorio de calidad nutricional de maíz "Evangelina Villegas": protocolos. <https://hdl.handle.net/10883/19667>
- Rocandio, R. M., Santacruz, V. A., Córdova, T. L., López, S. H., Castillo, G. F., Lobato, O. R., García, Z. J. J., & Ortega, P. R. (2014). Caracterización morfológica y agronómica de siete razas de maíz de los Valles Altos de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 37(4), 351-361. <https://doi.org/10.35196/RFM.2014.4.351>
- Salinas, M. Y., Aragón, C. F., Ybarra, M. C., Aguilar, V. J., Altunar, L. B., & Sosa, M. E. (2013a). Caracterización física y composición química de razas de maíz de grano azul/morado de las regiones tropicales y subtropicales de Oaxaca. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36(1), 23-31. <https://doi.org/10.35196/rfm.2013.1.23>
- Salinas, M. Y., Cruz, C. F. J., Díaz, O. S. A., & Castillo, G. F. (2012a). Granos de maíces pigmentados de Chiapas, características físicas, contenido de antocianinas y valor nutracéutico. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 35(1), 33-41. <https://doi.org/10.35196/rfm.2012.1.33>
- Salinas, M. Y., García, S. C., Coutiño, E. B., & Vidal, M. V. A. (2013b). Variabilidad en contenido y tipos de antocianinas en granos de color azul/morado de poblaciones mexicanas de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36, 285-294. <https://doi.org/10.35196/rfm.2013.3-s3-a.285>
- Salinas, M. Y., Pérez, A. J. J., Vázquez, C. G., Aragón, C. F., & Velázquez, C. G. A. (2012b). Antocianinas y actividad antioxidante en maíces (*Zea mays* L.) de las razas Chalqueño, Elotes Cónicos y Bolita. *Agrociencia*, 46(7), 693-706.
- Sanchez, G. J., Goodman, M. M., & Stuber, C. W. (2000). Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. *Economic Botany*, 43-59. <https://doi.org/10.1007/BF02866599>
- Sánchez, V. M., Córdova, T. L., Santacruz, V. A., Castillo, G. F., Castañeda, S. M. C., Robledo, P. A., & Méndez, L. A. (2019). Diversidad genética en accesiones de 10 razas mexicanas de maíz de altitudes intermedias. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(2), 253-264. <https://doi.org/10.29312/REMEXCA.V10I2.732>
- Secretaría de Economía-México. (2002). Productos alimenticios para uso humano no industrializados – cereales - maíz (*Zea mays* L.) – especificaciones y métodos de prueba. <https://doi.org/https://sidof.segob.gob.mx/notas/docFuente/5650699>
- Secretaría de Economía-México. (2020). Productos alimenticios para uso humano no industrializados – cereales - maíz (*Zea mays* L.) – especificaciones y métodos de prueba (cancela a la NMX-FF-034-2002). <https://doi.org/https://sidof.segob.gob.mx/notas/docFuente/5650699>
- Torres, M. B., Rocandio, R. M., Santacruz, V. A., Córdova, T. L., Coutiño, E. B., & López, S. H. (2022). Diversidad morfológica y agronómica de siete razas de maíz del estado de Chiapas. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 13(4), 687-699. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i4.2956>
- Wellhausen, E. J., Alejandro, F. O., & Antonio, H. C. (1957). Razas de maíz en América Central. *National Academy of Sciences-National Research Council*, 136. <https://doi.org/10.17226/21166>