

Accepted Manuscript / Manuscrito Aceptado

Title Paper/Título del artículo:

Morfología y calidad nutricional de cuatro variedades de maíz nativo de raza Tuxpeño de la Huasteca Hidalguense, México

Morphology and nutritional quality of four landrace maize varieties of the Tuxpeño race from the Huasteca Hidalguense, Mexico

Authors/Autores: Ruiz-Hernández, R., López-Romero, G., Pérez-Vázquez, A.), Bautista-Aguilar, J.R., Casasola-Elizondo, C.A., Lugo-Cruz, E.

ID: e2010

DOI: <https://doi.org/10.15741/revbio.13.e2010>

Received/Fecha de recepción: June 28, 2025

Accepted /Fecha de aceptación: April 13, 2026

Available online/Fecha de publicación: May 11, 2026

Please cite this article as/Como citar este artículo: Ruiz-Hernández, R., López-Romero, G., Pérez-Vázquez, A.), Bautista-Aguilar, J.R., Casasola-Elizondo, C.A., Lugo-Cruz, E. (2026). Morphology and nutritional quality of four landrace maize varieties of the Tuxpeño race from the Huasteca Hidalguense, Mexico. *Revista Bio Ciencias*, 13, e2010. <https://doi.org/10.15741/revbio.13.e2010>

This is a PDF file of an unedited manuscript that has been accepted for publication. As a service to our customers we are providing this early version of the manuscript. The manuscript will undergo copyediting, typesetting, and review of the resulting proof before it is published in its final form. Please note that during the production process errors may be discovered which could affect the content, and all legal disclaimers that apply to the journal pertain.

Este archivo PDF es un manuscrito no editado que ha sido aceptado para publicación. Esto es parte de un servicio de Revista Bio Ciencias para proveer a los autores de una versión rápida del manuscrito. Sin embargo, el manuscrito ingresará a proceso de edición y corrección de estilo antes de publicar la versión final. Por favor note que la versión actual puede contener errores de forma.

Artículo original

Morfología y calidad nutricional de cuatro variedades de maíz nativo de raza Tuxpeño de la Huasteca Hidalguense, México

Morphology and nutritional quality of four landrace maize varieties of the Tuxpeño race from the Huasteca Hidalguense, Mexico

Morfología y calidad nutricional en maíz nativo en la Huasteca/ Morphology and nutritional quality of landrace maize in the Huasteca

Ruiz Hernández, R.¹ (ID), López Romero, G.¹ (ID), Pérez Vázquez, A.¹ (ID), Bautista Aguilar, J.R.² (ID), Casasola Elizondo, C.A.³ (ID), Lugo-Cruz, E.⁴ (ID)

¹Campus Veracruz. Colegio de Postgraduados. Carretera Xalapa-Veracruz km 88.5, Tepetates. C.P. 91690, Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, México

²Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Veracruzana, Circuito Gonzalo Aguirre Beltrán s/n, Zona Universitaria, C.P. 91000 Xalapa, Veracruz, México

³Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias – Campo Experimental Chetumal. km 25 Carretera Chetumal-Bacalar, C.P. 77963, Xul-Ha, Quintana Roo, México

⁴Facultad de Agronomía, Unidad Académica La Ascensión. Universidad Autónoma de Nuevo León, Km. 3.5 carretera La Ascensión – Sandía, La Ascensión C.P. 67950, Municipio de Aramberri, N.L. México

*Corresponding Author:

Eleazar Lugo-Cruz. Unidad Académica La Ascensión, Facultad de Agronomía. Universidad Autónoma de Nuevo León. Km. 3.5 carretera La Ascensión – Sandía, La Ascensión C.P. 67950, La Ascensión, Nuevo León, México. Teléfono: (826) 269 5146. E-mail: eleazar.lugocr@uanl.edu.mx

RESUMEN

El maíz (*Zea mays* L.) es una especie de gran importancia alimenticia y su diversidad genética es clave para la seguridad alimentaria. En México, existe una amplia diversidad de maíces nativos, los cuales no han sido explorados totalmente a nivel morfológico y nutricional. Objetivo: Caracterizar la morfología y calidad nutricional de cuatro variedades de maíz nativo de raza Tuxpeño de la Huasteca Hidalguense, México. Se colectaron mazorcas de las variedades nativas Blanco, Amarillo, Rojo y Morado. Se utilizaron descriptores cuantitativos y cualitativos para evaluar la diversidad morfológica en la mazorca y el grano (componentes del rendimiento, estructura, color, forma de mazorca y tipo de grano), además, se realizó un análisis proximal para conocer el contenido nutricional (humedad, proteína, ceniza y grasa) de la harina del grano. Se realizaron ANOVAs, así como correlaciones de Pearson para determinar la relación entre variables cuantitativas. Se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los maíces en 30 de 43 características evaluadas. Los maíces se diferenciaron principalmente en el contenido nutricional, color de grano y color de harina, seguidos por características cualitativas de la mazorca y la morfología del grano, y al final en características cuantitativas de las mazorcas. El análisis de correlación mostró 11 correlaciones significativas. Los maíces Blanco, Amarillo y Morado se pueden considerar potenciales para la industria de la masa, tortilla y de la harina nixtamalizada. La variedad Morado además mostró baja humedad del grano, altos valores en grasa y proteína, mientras que la variedad Rojo sobresalió

por su olote con pigmentación antociánica, baja humedad del grano, altos valores en cenizas y proteína.

PALABRAS CLAVE:

Recursos genéticos; maíz nativo; calidad nutricional; diversidad genética.

ABSTRACT

Maize (*Zea mays* L.) is a crop of significant food importance, and its genetic diversity is essential for food security. In Mexico, there is a wide diversity of landrace maize varieties that has not been fully explored at the morphological and nutritional levels. Objective: To characterize the morphology and nutritional quality of four landrace maize varieties of the Tuxpeño race from the Huasteca Hidalguense, Mexico. Ears of native varieties Blanco, Amarillo, Rojo, and Morado were collected. Both quantitative and qualitative descriptors were used to evaluate the morphological diversity of the ear and grain (yield components, structure, color, ear shape, and grain type). Additionally, a proximate analysis was performed to determine the nutritional composition of the grain flour (moisture, protein, ash, and fat). ANOVAs and Pearson correlations were conducted to assess relationships among quantitative traits. Statistical differences were observed among the maize varieties for 30 of the 43 traits evaluated. The varieties mainly differed in nutritional content, grain color, and flour color, followed by qualitative traits related to cob and grain morphology, and, finally, quantitative traits of the cobs. The analysis revealed 11 significant correlations. The Blanco, Amarillo, and Morado maize varieties show potential for use in masa, tortilla, and nixtamalized flour industries. Notably, Morado exhibited low grain moisture and high fat and protein content, while Rojo was distinguished by its cob with anthocyanin pigmentation, low grain moisture, and high ash and protein levels.

KEYWORDS:

Genetic resources; native maize; nutritional quality; genetic diversity.

Introducción

El maíz (*Zea mays* L.) es una especie vegetal con amplia distribución y una de las más consumidas a nivel mundial (Colombo *et al.*, 2021). El maíz es utilizado para consumo animal como forraje y su grano se emplea para elaborar una gran diversidad de alimentos como harinas, tortillas, atoles y tamales. La harina obtenida del grano de maíz se caracteriza por tener de 13 a 16 % de humedad, 1.3 a 1.7 % de ceniza, 71 a 76 % de carbohidratos, 1.9 a 3.5 % de grasa y 6.9 a 8.8 % de proteína (Maldonado-Astudillo *et al.*, 2021). Dentro del contenido de proteína se han identificado aminoácidos esenciales como histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, triptófano y valina, así como aminoácidos no esenciales como alanina, arginina, ácido aspártico, cisteína, ácido glutámico, glicina, prolina, serina y tirosina (Chan-Chan *et al.*, 2021), además, se han reportado minerales como potasio, sodio, calcio, fósforo, magnesio, hierro, zinc, selenio, manganeso, cobre (Désiré *et al.*, 2022), y metabolitos secundarios como fenoles, antocianinas (Maldonado-Astudillo *et al.*, 2021) y β -carotenos (Sánchez-Nuño *et al.*, 2024). Estos compuestos que contiene el maíz le confieren alto valor nutricional y nutracéutico, lo que es importante para disminuir la desnutrición en áreas vulnerables, así como para beneficiar la salud humana (Chan-Chan *et al.*, 2021; Colombo *et al.*, 2021), por ello, el maíz es un grano importante para garantizar la seguridad alimentaria (Domínguez-Hernández *et al.*, 2022). Sin embargo, tales características son afectadas por factores climáticos, genéticos y de manejo agronómico (Maldonado-Astudillo *et al.*, 2021; Hammad *et al.*, 2022).

México es considerado el centro de origen y domesticación del maíz, en donde existe una gran diversidad de maíces nativos, que son las semillas de maíz preferidas por los productores, y las

cuales se agrupan en 68 razas, entre ellas, la raza Tuxpeño es de las más productivas y ha sido mayormente utilizada en programas de mejoramiento genético (Caballero *et al.*, 2019). Estos maíces se cultivan en diversos sistemas de producción, en donde se produce principalmente grano de color blanco, seguido de los maíces pigmentados como amarillo, azul, negro, cereza, morado y rojo (Sánchez-Nuño *et al.*, 2024), los cuales son importantes en la cultura, dieta e ingreso económico en las zonas rurales del país (Ramírez-Vega *et al.*, 2022).

En la Huasteca Hidalguense, el maíz nativo es un recurso cultural muy importante, ya que forma parte de la gastronomía local como materia prima en la elaboración de *zacahuil*, *xojol* y *tlapatxtle*. Además, se utiliza en ofrendas al maíz y *mijkailjuiltl* (fiesta de todos los santos). Estos materiales se han conservado durante muchos años por los productores locales mediante su producción anual.

A pesar de su importancia, la diversidad presente en los maíces nativos de la Huasteca Hidalguense se está perdiendo y no ha sido estudiada completamente; estudiar estos maíces es necesario para tener información relevante sobre su valor sociocultural, agronómico, así como de su potencial nutrimental y nutracéutico, lo que podría promover su conservación y aprovechamiento (Domínguez-Hernández *et al.*, 2022). Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue caracterizar la morfología y calidad nutricional de cuatro variedades de maíz nativo de raza Tuxpeño de la Huasteca Hidalguense, México.

Material y Métodos

Área de estudio

En la localidad de Temango, municipio de Tlanchinol de la Huasteca Hidalguense (21°07'51.3" N, 98°41'28.8" W), se tomaron cuatro muestras de las variedades nativas de maíz Blanco, Amarillo, Rojo y Morado, cada una de diferente productor. Estos maíces se colectaron durante el mes de diciembre del 2023, los cuales se produjeron en el ciclo primavera-verano del mismo año, bajo el sistema de temporal y sin fertilización. Las mazorcas colectadas se almacenaron en bolsas Ziploc y se analizaron en el laboratorio de agua, suelo-planta del Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz. La clasificación racial se llevó a cabo por el Dr. Juan Manuel Hernández Casillas, del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, quien determinó que la raza Tuxpeño es la principal presente en las cuatro variedades de maíz.

Las características climáticas, edáficas y uso de la vegetación en la localidad de Temango son las siguientes: altitud: 716 msnm (metros sobre el nivel del mar), tipo de clima: (A)C(fm), descripción de clima: semicálido húmedo, rango de humedad: húmedo (f), temperatura media anual: 22.2 °C, precipitación anual acumulada: 1711 mm, unidad de suelo dominante: regosol, subunidad de suelo dominante: calcárico, edafología: rendzina, regímenes de humedad del suelo: údico con 330 a 365 días de humedad, grado de riesgo por sequías por municipio: alto, y uso del suelo y vegetación: agricultura de temporal permanente (Fick & Hijmans, 2017; CONABIO, 2025).

Caracterización morfológica de la mazorca

En 10 mazorcas representativas de cada variedad (Figura 1) se midieron las siguientes variables cuantitativas: longitud de mazorca (EL), diámetro de mazorca (ED), peso de mazorca (EW), número de hileras (RN), número de granos por hilera (KR) y peso del grano total (GW) de la mazorca, así como el peso de olote (CW), diámetro del olote (CD) y porcentaje de desgrane (%S=[GW/EW] x 100). Para la evaluación cualitativa se utilizaron los siguientes descriptores: forma de la mazorca, disposición de las hileras, tipo de grano (córneo, córneo a córneo a córneo-dentado, córneo dentado, córneo-dentado a dentado, dentado, dulce, palomero), color visual de granos, color visual de olote y pigmentación antocianica en olote de acuerdo con SNICS (2024), además, se clasificó la forma de desgrane como fácil, moderadamente fácil o difícil.



Figura 1. Mazorcas de la raza Tuxpeño recolectadas en la Huasteca Hidalguense, México. A) Variedad Blanco, B) Variedad Rojo, C) Variedad Amarillo y D) Variedad Morado. Fuente: Elaboración propia a partir de muestras recolectadas.

Caracterización morfológica del grano

De cada variedad de maíz se seleccionaron al azar 100 granos sanos y libres de fracturas (Figura 2). En estos granos se registró su longitud (LG), ancho (AG) y grosor (GG) con un vernier digital. El peso de 100 granos se cuantificó en una balanza analítica (marca Ohaus Adventurer®). La medición de color se realizó en la vista superior y dorsal del grano, así como en la harina de los granos. Se determinaron los valores de luminosidad (L), a* (verde en valores negativos y rojo en valores positivos), b* (amarillo en valores positivos y azul en valores negativos), ángulo de matiz/tono o hue (h°), así como el índice de saturación o croma/pureza de color (C) mediante el equipo Tristimulus colorimeter de la marca Kangguang serie WSD - 3ª, con base en Salinas-Moreno *et al.* (2021).

Para determinar la proporción de cada una de las estructuras del grano, se utilizó la metodología de Maldonado-Astudillo *et al.* (2021) con algunas modificaciones. Primero, se seleccionaron al azar 20 granos por variedad de maíz, los cuales se sumergieron en agua durante 12 h. El pedicelo, pericarpio, germen y endospermo fueron separados con un bisturí, y fueron deshidratados en un horno hasta alcanzar su peso constante. Al final se determinó el porcentaje de cada estructura con respecto al peso total del grano mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de la estructura} = \frac{\text{Peso seco de la estructura del grano}}{\text{Peso seco total del grano}} \times 100$$

Análisis proximal

Los granos de maíz fueron pulverizados en un molino industrial, y la harina obtenida fue tamizada en una malla de 1 mm. La harina fue almacenada en bolsas herméticas a temperatura promedio de 22 °C hasta el momento de su análisis. El contenido de humedad, ceniza, grasa y proteína de la harina se analizó por triplicado según la metodología de la AOAC (2023).

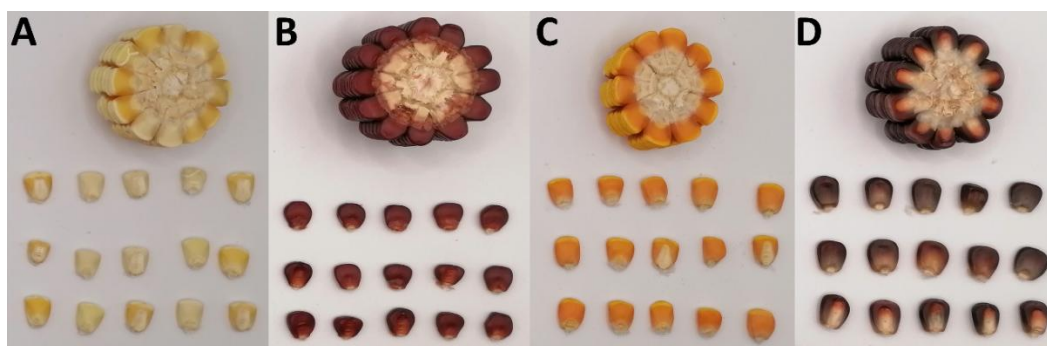


Figura 2. Número de hileras y tipo de granos de los maíces de la raza Tuxpeño recolectados en la Huasteca Hidalguense, México. A) Variedad Blanco, B) Variedad Rojo, C) Variedad Amarillo y D) Variedad Morado. Fuente: Elaboración propia a partir de muestras recolectadas.

Determinación de humedad

Los crisoles de porcelana se llevaron a peso constante. Se adicionó 1 g de harina de maíz en el crisol y se dejó secar en una estufa a 105 °C hasta alcanzar su peso constante. El contenido de humedad se determinó con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de humedad} = \frac{\text{Peso inicial} - \text{peso final}}{\text{Peso seco de la muestra}} \times 100$$

Determinación de ceniza

Se determinó mediante el método gravimétrico 923.03 de la AOAC (2023). Los crisoles de porcelana se llevaron a peso constante a 105 °C. En el crisol se adicionó 1 g de harina de maíz de cada muestra. Las muestras se incineraron hasta la carbonización con un mechero Bunsen. Posteriormente, los crisoles fueron introducidos en una mufla a 550 °C durante 5 h. Los crisoles fueron llevados a peso constante y después a temperatura ambiente. Los crisoles con las cenizas de color blanco grisáceo fueron pesados en una balanza analítica. La medición del contenido de cenizas totales se realizó por triplicado con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ cenizas} = \frac{\text{Peso de las cenizas}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

Determinación de grasa

Los matraces de 250 mL y los dedales de celulosa se llevaron a peso constante. Se colocaron 3 g de harina de maíz en cada uno de los dedales usados, los cuales fueron introducidos en los extractores tipo Soxhlet. Posteriormente se adicionaron 125 mL de hexano (solvente) a cada muestra y se realizó el efecto sifón durante 5 h a partir del primer calentamiento. El contenido de grasa total se determinó con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ grasa} = \frac{\text{Gramos de residuo en el matraz}}{\text{Peso de la muestra en gramos}} \times 100$$

Determinación de proteína

Se determinó a través del método Kjeldahl. Se pesó 1 g de harina de grano de maíz en cada matraz Kjeldahl y se adicionaron 6 g de catalizador ($K_2SO_4 + CuSO_4 \cdot 5H_2O$) y 15 mL de H_2SO_4 concentrado. Los tubos se colocaron en el digestor y se calentaron hasta que adquirieron un color verde claro y transparente. Posteriormente, los tubos se dejaron enfriar a temperatura ambiente. Se

adicionaron lentamente 50 mL de NaOH al 40 % (v/v) a cada tubo, y después se colocaron en el destilador. El destilado fue recolectado en un matraz de 250 mL, 50 mL de H₃BO₃ y 5 gotas de indicador rojo de metilo. La destilación concluyó cuando se obtuvo un volumen de 100 mL. Posteriormente, el destilado fue titulado con HCl 0.1 N. Para determinar el contenido de nitrógeno y proteína total (%) se usaron las siguientes ecuaciones:

$$\% N = \frac{(V_B - V_M) \cdot N \cdot Meq}{PM} \times 100$$

$$\% P = (\% N)(6.25)$$

Donde:

% N= Nitrógeno total

V_B = mL de HCl gastados en el blanco

V_M = mL de HCl gastados en la muestra

N = Normalidad de HCl

Meq = Miliequivalente de N

PM = Peso de la muestra

% P = Proteína total

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza de una sola vía para cada variable y se compararon las medias con la prueba Tukey ($p = 0.05$). Además, se llevaron a cabo análisis de correlación de Pearson para determinar la relación entre las variables cuantitativas evaluadas. Todos los análisis se realizaron con el programa estadístico INFOSTAT, versión 2020 (Di Rienzo *et al.*, 2020).

Resultados y Discusión

De las nueve características cuantitativas medidas, sólo la longitud de la mazorca, diámetro de la mazorca y diámetro de olote mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las variedades estudiadas (Tabla 1). Las variedades Rojo y Morado mostraron mayor longitud de mazorca comparadas con la variedad Amarillo. Por su parte, las variedades Blanco y Rojo presentaron el mayor diámetro de mazorca, posiblemente porque también fueron las de mayor diámetro de olote. Lo anterior indica que las mazorcas de mayor tamaño (ancho y largo) fueron las de la variedad Rojo, sin embargo, las diferencias en el tamaño de la mazorca no influyeron en el peso del grano total. Los valores en las características cuantitativas de la mazorca coinciden en parte con las de otros maíces que presentaron una longitud de mazorca de entre 14.38 y 19.46 cm (Carrera-Valtierra *et al.* 2011; López-Morales *et al.*, 2020), diámetro de mazorca de 3.99 a 4.28 cm (López-Morales *et al.*, 2020), número de hileras de 13.26 a 14.27 (López-Morales *et al.*, 2020), y de 6 a 45 granos por hilera (Carrera-Valtierra *et al.*, 2011; Caballero *et al.*, 2023).

Por su parte, las accesiones mostraron variación en la disposición de hileras, color visual de grano, color visual de olote y pigmentación antocianica de olote (Tabla 1). De forma similar a lo publicado por Wellhausen *et al.* (1951) y CONABIO (2020), las variedades de la raza Tuxpeño estudiadas presentaron mazorcas de forma cilíndrica, disposición de hileras recta y regular, así como granos dentados y de fácil desgrane.

Tabla 1. Características cuantitativas y cualitativas de mazorcas de maíces de la raza Tuxpeño nativos de la Huasteca Hidalguense, México.

Variable	Blanco	Amarillo	Rojo	Morado
----------	--------	----------	------	--------

Longitud (cm)	17.0 ± 0.51 ^{ab}	15.3 ± 0.51 ^b	17.4 ± 0.54 ^a	17.7 ± 0.48 ^a
Diámetro (cm)	4.38 ± 0.84 ^a	4.08 ± 0.84 ^{ab}	4.27 ± 0.89 ^a	3.84 ± 0.80 ^b
Peso (g)	162.78 ± 8.27 ^a	146.67 ± 8.27 ^a	165.75 ± 8.77 ^a	152.5 ± 7.85 ^a
Número de hileras	10.9 ± 0.38 ^a	10.4 ± 0.38 ^a	10.5 ± 0.40 ^a	9.8 ± 0.36 ^a
Número de granos por hilera	39.78 ± 1.94 ^a	39.78 ± 1.94 ^a	40.63 ± 2.06 ^a	40.5 ± 1.84 ^a
Peso del grano total (g)	138.89 ± 7.19 ^a	128.89 ± 7.19 ^a	143.13 ± 7.62 ^a	133.5 ± 6.82 ^a
Peso de olote (g)	23.89 ± 1.97 ^a	17.78 ± 1.97 ^a	22.63 ± 2.09 ^a	19.30 ± 1.87 ^a
Diámetro del olote (cm)	2.34 ± 0.84 ^a	1.93 ± 0.84 ^b	2.20 ± 0.89 ^{ab}	1.92 ± 0.79 ^b
Porcentaje de desgrane	85.4 ± 0.96 ^a	88.0 ± 0.96 ^a	86.2 ± 1.02 ^a	87.6 ± 0.91 ^a
Proporción del olote/mazorca (%)	14.58 ± 0.96 ^a	12.00 ± 0.96 ^a	13.83 ± 1.02 ^a	12.36 ± 0.91 ^a
Forma de la mazorca	Cilíndrica	Cilíndrica	Cilíndrica	Cilíndrica
Disposición de las hileras	Recta	Regular	Regular	Recta
Tipo de granos	Dentado	Dentado	Dentado	Dentado
Color visual de granos	Blanco	Amarillo	Rojo	Púrpura
Color visual del olote	Blanco	Blanco	Rojo	Blanco
Pigmentación antociánica en olote	Ausente	Ausente	Media	Ausente
Forma de desgrane	Fácil	Fácil	Fácil	Fácil

Literales diferentes entre columnas indican diferencias estadísticas (Tukey, $p < 0.05$) entre variedades de maíz para cada variable. Los valores muestran la media ± error estándar. Fuente: Elaboración propia con base en la salida del software INFOSTAT versión 2020.

Morfología del grano

Se identificaron diferencias estadísticas ($p < 0.05$) en la longitud y peso de 100 granos de los maíces estudiados (Tabla 2). Las variedades Rojo y Morado mostraron el mayor peso de 100 granos, además, el maíz Rojo mostró mayor longitud del grano, lo que también podría explicar su mayor diámetro de mazorca. Por su parte, el material Blanco fue quien presentó la mayor proporción del olote en la mazorca.

La longitud del grano fue similar a lo reportado en otros maíces de México, que presentaron ancho y grosor del grano de entre 9.8 y 3.8 mm (Carrera-Valtierra *et al.*, 2011). El peso de 100 granos fue similar a los de 33.7 g de Salinas *et al.* (2013) e inferior al rango de 41.9 – 48.4 g en accesiones de maíz amarillo de la raza Tuxpeño (Corrales-Bañuelos *et al.*, 2016). El tamaño del grano de maíz (largo, ancho y grosor) es una variable determinada tanto por el componente genético como por la interacción genotipo x ambiente. De las variables del ambiente, la fertilización y la disponibilidad de agua influyen de manera importante en el tamaño del grano. Los maíces del estudio se produjeron bajo temporal y con un manejo deficiente en fertilización; estos factores serían las posibles causas del menor tamaño de grano, con relación a otros trabajos.

Lo anterior sugiere que los maíces estudiados son de importancia agronómica, pues presentan características morfológicas de mazorca y grano que podrían ser de interés para programas de mejoramiento genético, ya que son de fácil desgrane, bajo diámetro de olote, y presentan altos valores en tamaño de mazorca, número de granos por hilera, porcentaje de desgrane y longitud de

grano, esto a pesar de que los maíces estudiados se cultivaron en condiciones de agricultura tradicional, en temporal y con baja tecnología. En particular, sobresalió la variedad Rojo, la cual mostró granos con mayor longitud y peso, además, mostró las mazorcas de mayor tamaño con olote pigmentado en puntaje medio, lo que se asocia a la presencia de metabolitos secundarios como antocianinas (SNICS, 2024). Por su parte, la facilidad de desgrane de las cuatro variedades es una característica deseable para los productores locales que producen a pequeña escala, quienes desgranar comúnmente de forma manual.

Tabla 2. Estructura, morfología y color del grano de cuatro variedades de maíz de la raza Tuxpeño nativas de la Huasteca Hidalguense, México.

Variable	Blanco	Amarillo	Rojo	Morado	
Longitud (mm)	11.21 ± 0.13 ^c	11.25 ± 0.13 ^{bc}	13.26 ± 0.13 ^a	11.70 ± 0.13 ^b	
Ancho (mm)	9.95 ± 0.14 ^a	9.52 ± 0.14 ^a	10.01 ± 0.14 ^a	9.85 ± 0.14 ^a	
Grosor (mm)	3.72 ± 0.10 ^a	3.97 ± 0.10 ^a	4.04 ± 0.10 ^a	3.91 ± 0.10 ^a	
Peso de 100 granos (g)	27.73 ± 0.26 ^c	31.38 ± 0.26 ^b	33.36 ± 0.26 ^a	33.54 ± 0.26 ^a	
Pedicelo (%)	0.63 ± 0.10 ^a	1.00 ± 0.10 ^a	0.98 ± 0.10 ^a	0.60 ± 0.10 ^a	
Pericarpio (%)	6.08 ± 0.59 ^{ab}	6.22 ± 0.59 ^{ab}	8.17 ± 0.59 ^a	4.77 ± 0.59 ^b	
Germen (%)	9.72 ± 0.31 ^b	9.91 ± 0.31 ^b	8.86 ± 0.31 ^b	12.87 ± 0.31 ^a	
Endospermo (%)	83.58 ± 0.64 ^a	82.87 ± 0.64 ^a	81.99 ± 0.64 ^a	81.76 ± 0.64 ^a	
Color del grano vista superior	L	68.18 ± 0.48 ^a	62.77 ± 0.48 ^b	20.43 ± 0.48 ^d	23.93 ± 0.48 ^c
	a*	1.77 ± 0.29 ^d	9.97 ± 0.29 ^b	17.37 ± 0.29 ^a	5.98 ± 0.29 ^c
	b*	14.68 ± 0.53 ^a	60.06 ± 0.53 ^b	4.60 ± 0.53 ^c	1.57 ± 0.53 ^d
	C	14.80 ± 0.46 ^c	60.88 ± 0.46 ^a	18.00 ± 0.46 ^b	6.20 ± 0.46 ^d
	h°	83.02 ± 1.81 ^a	80.49 ± 1.81 ^a	14.88 ± 1.81 ^b	14.77 ± 1.81 ^b
Color del grano vista dorsal	L	69.86 ± 0.71 ^a	65.66 ± 0.71 ^b	35.79 ± 0.71 ^d	48.95 ± 0.71 ^c
	a*	3.18 ± 1.04 ^c	12.25 ± 1.04 ^b	17.08 ± 1.04 ^a	5.45 ± 1.04 ^c
	b*	22.72 ± 1.53 ^b	39.59 ± 1.53 ^a	19.65 ± 1.53 ^b	20.96 ± 1.53 ^b
	C	22.93 ± 1.53 ^b	41.46 ± 1.53 ^a	26.14 ± 1.53 ^b	21.76 ± 1.53 ^b
	h°	72.96 ± 2.38 ^a	48.13 ± 2.38 ^b	82.02 ± 2.38 ^a	75.75 ± 2.38 ^a
Color de la harina	L	95.34 ± 0.59 ^a	90.33 ± 0.59 ^b	81.71 ± 0.59 ^c	72.39 ± 0.59 ^d
	a*	-2.55 ± 0.21 ^c	3.39 ± 0.21 ^b	4.74 ± 0.21 ^a	4.35 ± 0.21 ^a
	b*	9.83 ± 0.39 ^c	38.69 ± 0.39 ^a	26.88 ± 0.39 ^b	9.30 ± 0.39 ^c
	C	10.16 ± 0.42 ^c	38.84 ± 0.42 ^a	27.47 ± 0.42 ^b	10.28 ± 0.42 ^c
h°	104.65 ± 0.75 ^a	84.97 ± 0.75 ^b	79.89 ± 0.75 ^c	65.03 ± 0.75 ^d	

L = luminosidad; C = croma/pureza del color; H° = ángulo de matiz/tono. Letras diferentes en cada variable indican diferencias estadísticamente significativas (Tukey, $p < 0.05$). Fuente: Elaboración propia con base en la salida del software INFOSTAT versión 2020.

Estructura de los granos

Los granos de los maíces estudiados presentaron mayor proporción de endospermo (entre 81.8 y 83.5 %), seguido de germen (de 8.8 a 12.8 %), pericarpio (de 4.7 a 8.1 %) y pedicelo (entre 0.6 y 1.0 %). Se encontraron diferencias ($p < 0.05$) solo en el contenido de germen y pericarpio, ya que el maíz Rojo mostró más pericarpio que el maíz Morado, asimismo, la variedad Morado fue la que presentó la mayor proporción de germen (Tabla 2). La proporción de pedicelo en todas las variedades fue similar al 1.0 % de otros maíces de la raza Tuxpeño de México (Salinas *et al.*, 2013). Se consideran maíces de calidad para las industrias de la harina nixtamalizada, masa y tortilla, aquellos que muestren un máximo de 1.5 a 2.0 % de pedicelo, ya que sus componentes (celulosa, hemicelulosa y lignina) son difíciles de hidrolizar (Vázquez *et al.*, 2023), con base en ello, las cuatro variedades de maíz estudiadas cumplen con tales especificaciones.

La proporción de pericarpio encontrado en los cuatro maíces nativos es similar a la de otros maíces, incluidos de la raza Tuxpeño (Salinas *et al.*, 2013; Corrales-Bañuelos *et al.*, 2016), y también es mayor en comparación con otras razas (Salinas *et al.*, 2013). La variedad Rojo mostró el mayor porcentaje de pericarpio (8.2 %), mientras que, el maíz Morado mostró la menor proporción de pericarpio (4.7 %), el cual cumple con los requerimientos de las industrias de la masa, tortilla y harina nixtamalizada. Cabe señalar que una mayor proporción de pericarpio en el grano también puede ser

beneficioso, ya que es la estructura que protege al grano de agentes externos (Vázquez *et al.*, 2023). La mayor proporción de pericarpio en maíz con grano de color rojo comparado con blanco, morado y amarillo, coincide con lo reportado por Maldonado-Astudillo *et al.* (2021) para las razas Olotillo y Pepitilla.

El contenido de germen (de 8.9 a 12.9 %) y endospermo (de 81.9 a 83.6 %) de los maíces estudiados, coincide con otros maíces (germen = 11.4 % y endospermo = 82.2 %) de la raza Tuxpeño de México (Salinas *et al.*, 2013), y con el porcentaje de germen (entre 5.36 y 14.7 %) y endospermo (entre 76.6 y 86.5 %) de otras razas de maíz (Corrales-Bañuelos *et al.*, 2016; Ramírez *et al.*, 2020). El germen está constituido principalmente por proteína, aceites y minerales, mientras que, el endospermo está constituido principalmente por almidón y fenoles, los maíces con mayor porcentaje de almidón representan una mayor reserva de energía y, por lo tanto, mayor valor económico (Vázquez *et al.*, 2023).

El valor de los granos de maíz con base en el contenido de endospermo y germen, depende de su finalidad, ya que la industria de aceite comestible de maíz prefiere granos con la mayor cantidad de germen, mientras que, la industria del almidón, de la masa y la tortilla prefieren un alto contenido de endospermo, pues tanto el germen como el pericarpio se remueven durante los procesos, lo que disminuye el rendimiento de la harina (Maldonado-Astudillo *et al.*, 2021).

Por su contenido de germen y/o endospermo, los cuatro maíces cumplen con lo demandado por la industria de la masa y la tortilla, o por la industria de la harina nixtamalizada. Además, el maíz Morado destacó por su alta proporción de germen, que es similar a otros maíces oleosos evaluados en México (entre 10 y 14.7 %), e indica su importancia para la extracción de aceites, y, además, sugiere una mejor calidad nutracéutica, pues los maíces oleosos aportan una mayor cantidad de ácidos grasos insaturados (oleico, linoleico y linoléico) y tocoferoles (Vázquez *et al.*, 2023).

Color de los granos y las harinas

El color de los maíces estudiados se comparó por tres métodos de determinación de color: vista superior, vista dorsal y color de la harina, en cada uno de ellos se identificaron diferencias estadísticamente significativas entre maíces (Tabla 2), lo que indica que estas variedades tienen diferente color de grano y harina. Los valores de las variables de color se encuentran dentro del rango reportado para otros maíces blancos, amarillos, rojos y morados (García-Campos *et al.*, 2020; Maldonado-Astudillo *et al.*, 2021; Salinas-Moreno *et al.*, 2021).

El maíz Blanco fue el de mayor luminosidad en los granos (L entre 68 y 70) y harina (L = 95), por el contrario, los maíces más oscuros fueron el Rojo y Morado, ya que el maíz Rojo mostró la luminosidad más baja en la vista dorsal (L=36) y superior del grano (L=20), mientras que, el maíz Morado presentó la luminosidad más baja en harina (L=72). Por su parte, la variedad Amarillo fue la que mostró la mayor pureza de color tanto en grano como en harina. Esto coincide en parte con Salinas *et al.* (2013), quienes reportaron valores de 26.7 L, 21.5 h° y 5.1 de C en maíces de la raza Tuxpeño.

De acuerdo con las escalas cromáticas de Sanz (2009), con los valores hue y luminosidad (h° y L) tomados de la vista superior del grano, los maíces se consideraron de color amarillo anaranjado muy claro, amarillo anaranjado claro, rojo anaranjado negruzco y rojo anaranjado muy oscuro, para la variedad Blanco, Amarillo, Rojo y Morado, respectivamente. Asimismo, tomando en cuenta la vista dorsal del grano, los maíces se pueden clasificar de color amarillo naranja muy claro, naranja claro, amarillo anaranjado oscuro y amarillo naranja medio claro, para las variedades Blanco, Amarillo, Rojo y Morado, respectivamente. Por su parte, las harinas se consideraron de tono-luminosidad amarillo limón-blanco, amarillo anaranjado-blanco, amarillo anaranjado-blanquecino y naranja amarillento-muy claro, para los maíces Blanco, Amarillo, Rojo y Morado, respectivamente. Lo anterior indica que el color medido de la vista superior del grano fue el más parecido a la percepción visual, además, que el procedimiento para tomar la lectura afectó las variables de color, pues sólo la variedad Blanco mostró resultados similares al medir el color en vista superior y dorsal del grano. Esto es diferente a lo reportado por Salinas-Moreno *et al.* (2021), quienes reportaron que no existen diferencias significativas en el color de granos de maíz amarillo medido en vista dorsal y superior del grano.

El color de los granos de maíz es un descriptor que puede ser utilizado para la selección de genotipos de mayor interés en el sector agroalimentario, ya que sirve para evaluar la calidad del grano asociada a la presencia de metabolitos secundarios específicos (Domínguez-Hernández *et al.*, 2022). Los maíces pigmentados (amarillo, rojo, rosa, naranja, morado, azul, negro) se han correlacionado con propiedades saludables, tales como antibacterianas, antimutagénicas, antioxidantes, antiinflamatorias, anticancerígenas, hipoglucémicas e hipolipidémicas, principalmente por su contenido de carotenoides, antocianinas y polifenoles (Colombo *et al.*, 2021). Corrales-Bañuelos *et al.* (2016) reportaron carotenoides en accesiones de maíces amarillos de la raza Tuxpeño como luteína (2.96 mg g⁻¹ materia seca), zeaxantina (0.334 mg g⁻¹ materia seca), β -criptoxantina (0.031 mg g⁻¹ materia seca) y β -caroteno (0.242 mg g⁻¹ materia seca).

Mex-Álvarez *et al.* (2016) mencionan que la presencia de antocianinas en maíces morados disminuye la actividad de la amilasa regulando la absorción de azúcar al momento de consumir tortillas. Por su parte, Sánchez-Nuño *et al.* (2024) mencionan que los maíces amarillos contienen carotenoides como luteína, zeaxantina, criptoxantina, α -caroteno y β -caroteno, cuya función principal es eliminar el estrés oxidativo y los radicales libres. La luteína es importante en la salud humana para el buen funcionamiento de ojos, piel, corazón e intestinos. Además, los maíces pigmentados presentan metabolitos secundarios como los compuestos fenólicos que les permiten tolerar diversos tipos de estrés y generar rendimientos para que los productores mantengan la disponibilidad de grano (Domínguez-Hernández *et al.*, 2022). Por su parte, Ramos *et al.* (2024) también reportaron que los maíces pigmentados representan una fuente importante de antioxidantes, de los cuales los rojos y azules destacan por su alto contenido de antocianinas, las cuales son metabolizadas por las bacterias para la síntesis de ácidos grasos (Reyes-Pavón *et al.*, 2024), además, Hidalgo *et al.* (2012) identificaron que el consumo de antocianinas y sus derivados favorecen positivamente el crecimiento poblacional de la microbiota. A pesar de los beneficios nutraceuticos de los maíces pigmentados, hasta ahora se produce mayormente el maíz blanco, sin embargo, los maíces de color se comercializan a un mayor precio. Al respecto, Arellano-Vázquez *et al.* (2003) reportaron que los maíces azules presentan mayor rentabilidad económica en comparación con el maíz blanco en Puebla y México, mientras que, Armendariz-Beltrán *et al.* (2024) también encontraron rentabilidad positiva de maíces azules cultivados bajo alta densidad de población.

Análisis proximal

Se observaron diferencias significativas en el contenido de humedad, ceniza, grasa y proteína entre los maíces estudiados (Tabla 3). La humedad osciló entre 11.2 y 12.6 %, en menor cantidad en los maíces Morado y Amarillo. Estos valores son inferiores al rango de 12.9 a 16.3 % reportado por Maldonado-Astudillo *et al.* (2021), similares a lo publicado (de 10.6 a 11.9 %) por Magdaleno-Hernández *et al.* (2020), y superiores al (de 6.8 a 10.4 %) de humedad reportado por Mex-Álvarez *et al.* (2016). Estas diferencias pueden atribuirse a las condiciones ambientales de almacenamiento, así como factores genéticos como el ciclo biológico (maíces más tardíos presentan mayor humedad) y estructura del grano, pues granos con una capa de pericarpio más delgada permiten una pérdida de humedad más rápida, como es el caso de la variedad Morado. A pesar de ello, todas las variedades cumplieron con la humedad máxima recomendada para la conservación de cereales (≤ 14 %). Un porcentaje de humedad bajo permite una mejor resistencia al deterioro por microorganismos e insectos durante el almacenamiento (García-Campos *et al.*, 2020).

El rango de cenizas de los maíces estudiados fue de 1.38 a 1.59 %, valores que se encuentran dentro del rango de 1.29 a 1.68 % observado en otros maíces nativos de México (Mex-Álvarez *et al.*, 2016; Maldonado-Astudillo *et al.*, 2021). Destacó el maíz Rojo por mostrar el mayor contenido de ceniza, lo que sugiere que esta variedad posee cantidades importantes de minerales, que son elementos importantes para la nutrición humana y animal, sin embargo, sólo los maíces Blanco, Amarillo y Morado cumplen con la norma NMX-F-046-S-1980 que señala un límite máximo permisible de 1.5 % de cenizas para la harina de maíz nixtamalizado (García-Campos *et al.*, 2020).

Tabla 3. Contenido proximal de harinas de cuatro variedades de la raza Tuxpeño recolectadas en la Huasteca Hidalguense, México.

Variedad	Humedad (%)	Ceniza (%)	Grasa (%)	Proteína (%)
Blanco	12.57 ± 0.03 ^a	1.39 ± 0.01 ^b	4.57 ± 0.09 ^b	6.82 ± 0.05 ^d
Amarillo	11.23 ± 0.03 ^d	1.36 ± 0.01 ^b	4.23 ± 0.09 ^b	7.19 ± 0.05 ^c
Rojo	12.06 ± 0.03 ^b	1.59 ± 0.01 ^a	4.61 ± 0.09 ^b	9.00 ± 0.05 ^a
Morado	11.78 ± 0.03 ^c	1.38 ± 0.01 ^b	5.09 ± 0.09 ^a	8.49 ± 0.05 ^b

Letras diferentes en cada variable indican diferencias estadísticamente significativas (Tukey, $p < 0.05$). Fuente: Elaboración propia con base en la salida del software INFOSTAT versión 2020.

El contenido de grasa de los maíces osciló entre 4.2 y 5.1 %, lo que es moderadamente alto, similar o superior al promedio de otros maíces nativos y mejorados de México, que presentaron valores en el contenido de grasas de entre 1.9 y 7.7 % (Mex-Álvarez *et al.*, 2016; Maldonado-Astudillo *et al.*, 2021). En particular, destacó el maíz Morado por presentar significativamente mayor contenido de grasa (5.1 %), y podría considerarse como un maíz oleoso, lo que puede atribuirse a su mayor proporción de germen, ya que en esta estructura se encuentra la mayor cantidad de los lípidos del grano (Vázquez *et al.*, 2023). Los maíces con mayor contenido de grasa son importantes para la extracción de aceite, para la dieta del ganado por sus aportes de energía, mejoran la textura de las tortillas, y permiten el aprovechamiento de los fitoesteroles, lo que los convierte en un alimento beneficioso para la salud humana (Bae *et al.*, 2022; Vázquez *et al.*, 2023).

Los materiales Rojo y Morado fueron los que mostraron el contenido de proteína más alto con 9.0 y 8.5 %, respectivamente. Estos valores pueden considerarse altos, pues son mayores al promedio de otros maíces de México, los cuales han mostrado de 4.2 a 11.5 % de proteína en el grano (Mex-Álvarez *et al.*, 2016; Vázquez *et al.*, 2023). Cabe señalar que estos maíces sobresalen por su contenido de proteína a pesar de que se produjeron sin aplicación de fertilizantes, pues, además de la constitución genética de la variedad, la disponibilidad de nitrógeno en el suelo afecta el contenido de proteína en el grano de maíz (Hammad *et al.*, 2022). En este sentido, existe una necesidad de realizar futuras investigaciones enfocadas a la aplicación de programas de fertilización para incrementar el contenido proteico y la producción de tales maíces.

Los resultados de este trabajo resaltan la importancia de los maíces nativos de la raza Tuxpeño para la nutrición de las familias productoras de la Huasteca Hidalguense, México, ya que estos maíces se producen todos los años y se utilizan para la alimentación humana y animal. Para el consumo humano, estos maíces se utilizan para la elaboración de tortillas, bocoles, tlapanile, empanadas, tamales, xhamitl, atole de masa y zacahuil, representando todos estos alimentos parte de la identidad gastronómica de la Huasteca Hidalguense. En cuanto a la alimentación animal, los granos se utilizan para alimentar cerdos, caballos, gallinas y guajolotes. Además, las hojas frescas se utilizan para la alimentación de animales y en estado seco (totomoxtle) para la elaboración de tamales.

Análisis de correlación de Pearson

Sólo los coeficientes mayores a 0.95 y menores a -0.95 fueron estadísticamente significativos (Tabla 4), esto debido posiblemente al tamaño de la muestra, que afecta el valor del coeficiente de correlación y la significancia estadística (Santabábara, 2021).

Los resultados mostraron que las mazorcas de mayor diámetro mostraron mayor número de hileras (ED vs RN = 0.96*), y que el peso de la mazorca estuvo mayormente asociado al peso de los granos ($r = 0.99^*$) que al del olote ($r = 0.95^*$). Además, un mayor número de granos por mazorca correlacionó positivamente con el porcentaje de proteína ($r = 0.99^*$), y se observó que a mayor diámetro de olote, mayor es su peso, y entre menores sean estas dos características, mayor será la proporción de grano en la mazorca. Asimismo, se encontró que la humedad del grano se asoció positivamente con el peso del olote ($r = 0.95^*$), y negativamente con el porcentaje de desgrane ($r = 0.95^*$). La longitud del grano se correlacionó con el porcentaje de ceniza, lo que sugiere que los granos con mayor tamaño presentaron un mayor contenido de minerales. Por su parte, el peso de cien granos se asoció negativamente con la proporción de endospermo. La identificación de las

asociaciones entre las variables de rendimiento en los maíces de la raza Tuxpeño permite seleccionar caracteres de mayor importancia agronómica.

Tabla 4. Análisis de correlación de Pearson de las variables cuantitativas de cuatro variedades de maíz de la raza Tuxpeño recolectadas en la Huasteca Hidalguense, México.

	EL	ED	RN	KR	EW	GW	CD	CW	%S	KL	KW	KT	100 _{kw}	Pc	Pr	Ge	En	Mo	Ash	Fat	Pro	
ED	-0.07																					
RN	-0.29	0.96*																				
KR	0.71	-0.34	-0.58																			
EW	0.63	0.71	0.50	0.35																		
GW	0.66	0.63	0.40	0.48	0.99*																	
CD	0.31	0.91	0.82	-0.15	0.87	0.79																
CW	0.51	0.82	0.68	0.06	0.95*	0.89	0.97*															
%S	-0.45	-0.84	-0.72	0.03	-0.91	-0.84	-0.99*	-0.99*														
KL	0.46	0.16	-0.08	0.82	0.60	0.72	0.18	0.32	-0.24													
KW	0.88	0.41	0.18	0.55	0.92	0.93	0.70	0.84	-0.79	0.57												
KT	-0.14	-0.32	-0.42	0.59	-0.16	-0.02	-0.51	-0.44	0.50	0.68	-0.20											
100 _{kw}	0.25	-0.66	-0.79	0.82	-0.19	-0.04	-0.64	-0.49	0.57	0.62	-0.02	0.86										
Pc	-0.60	0.21	0.21	0.02	-0.10	-0.03	-0.16	-0.23	0.24	0.43	-0.38	0.76	0.31									
Pr	-0.05	0.66	0.52	0.25	0.61	0.65	0.48	0.47	-0.44	0.75	0.33	0.49	0.11	0.73								
Ge	0.34	-0.87	-0.84	0.24	-0.50	-0.48	-0.62	-0.52	0.53	-0.36	-0.14	-0.14	0.34	-0.66	-0.88							
En	-0.47	0.66	0.83	-0.91	0.06	-0.08	0.55	0.36	-0.44	-0.63	-0.17	-0.72	-0.97*	-0.10	-0.03	-0.44						
Mo	0.64	0.64	0.51	0.04	0.85	0.78	0.90	0.95*	-0.95*	0.13	0.86	-0.64	-0.53	-0.54	0.17	-0.23	0.34					
Ash	0.41	0.40	0.16	0.68	0.74	0.82	0.40	0.50	-0.44	0.97*	0.63	0.55	0.41	0.45	0.86	-0.55	-0.42	0.29				
Fat	0.87	-0.53	-0.67	0.66	0.16	0.21	-0.15	0.05	0.00	0.18	0.53	-0.10	0.41	-0.72	-0.47	0.76	-0.61	0.29	0.04			
Pro	0.59	-0.34	-0.57	0.99*	0.29	0.43	-0.22	-0.03	0.12	0.86	0.44	0.72	0.88	0.18	0.33	0.15	-0.93	-0.08	0.72	0.54		

EL: Longitud de mazorca; ED: Diámetro de mazorca; RN: número de hileras de mazorca y EW: Peso de la mazorca; KR: Número de granos por hilera; GW: Peso del grano total de la mazorca; CD y CW: Diámetro y peso del olote; %S: Porcentaje de desgrane; KL, KW y KT: Longitud, ancho y grosor del grano; 100_{kw}: Peso de 100 granos; Pc: % de pedicelo; Pr: % de pericarpio; Ge: % de germen; En: % de endospermo; Mo: % de humedad; Ash: % de ceniza; Fat: % de grasa; Pro: % de proteína. *: Significancia estadística con $p < 0.05$. Fuente: Elaboración propia con base en la salida del software INFOSTAT versión 2020.

Conclusiones

Existe diversidad morfológica y nutricional en las cuatro variedades de maíz de la raza Tuxpeño nativas de la Huasteca Hidalguense, México. En general, estas variedades presentan altos valores en longitud de mazorca, longitud de grano y número de granos por hilera, además, tienen mazorcas de forma cilíndrica con granos dentados de fácil desgrane, de color amarillo anaranjado muy claro, amarillo anaranjado claro, rojo anaranjado negruzco y rojo anaranjado muy oscuro, según la medición en la parte superior del grano para la variedad Blanco, Amarillo, Rojo y Morado, respectivamente. Por la morfología y estructura de sus granos, los maíces Blanco, Amarillo y Morado se pueden considerar potenciales para la industria de la masa, tortilla y de la harina nixtamalizada. La variedad Morado destacó porque mostró baja humedad del grano, así como altos valores en grasa y proteína, mientras que, la variedad Rojo sobresalió por su olote con pigmentación antocianica, baja humedad del grano, así como altos valores en la proporción de cenizas y proteína. En los maíces estudiados se pueden encontrar características de interés agronómico y nutricional, que resaltan la importancia de su conservación y aprovechamiento.

Contribución de los autores

Conceptualización del trabajo, Ruiz Hernández, R. y Lugo Cruz, E.; desarrollo de la metodología, Ruiz-Hernández, R., Lugo Cruz, E. y Pérez Vázquez, A.; manejo de software, Ruiz Hernández, R. y Lugo Cruz, E.; validación experimental, Ruiz Hernández, R. y Lugo Cruz, E.; análisis de resultados,

Ruiz Hernández, R., Bautista Aguilar J. R., Lugo Cruz, E. y Casasola Elizondo, C. A.; Manejo de datos, Ruiz Hernández, R. y Lugo Cruz, E.; escritura y preparación del manuscrito, Ruiz Hernández, R. y Lugo Cruz, E.; redacción, revisión y edición, Ruiz-Hernández, Bautista Aguilar J. R. y Pérez Vázquez, A.; administrador de proyectos, Ruiz Hernández, R.; adquisición de fondos, Ruiz Hernández, R. y Pérez Vázquez, A.

Financiamiento

Esta investigación fue financiada con fondos propios.

Agradecimientos

Al Colegio de Postgraduados Campus Veracruz y Campus Montecillo, por el apoyo otorgado para la realización de este estudio.

Conflicto de interés

“Los autores declaran no tener conflicto de interés”

Referencias

- Arellano-Vázquez, J. L., Tut-Couoh, C., Ramírez, A. M., Salinas, Y. M., & Taboada, G. R. (2003). Maíz azul de los Valles Altos de México. I: Rendimiento de grano y caracteres agronómicos. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 26(2), 101-107. <https://doi.org/10.35196/rfm.2003.2.101>
- Armendariz-Beltran, R., Lugo-Cruz, E., Ruíz-Hernández, R., Zavala-García, F., & Ramírez-Grimaldo, N. C. (2024). Production and profitability of landrace blue maize under different plant densities and water regimens. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 27(3), 1-10. <http://doi.org/10.56369/tsaes.5645>
- Bae, H. H., Ha, J. Y., Go, Y. S., Son, J. H., Son, B. Y., Kim, J. H., Shin, S., Jung, T. W., & Yi, G. (2022). High phytosterol levels in corn cobs point to their sustainable use as a nutritional source. *Applied Biological Chemistry*, 65(1), Article 69. <https://doi.org/10.1186/s13765-022-00736-4>
- Caballero, J. C. S., Vidal, H. A., Cabañas, A. A. G., Ramos, E. N., Cruz, F. A., & Salinas, E. O. (2023). Composición morfológica y rendimientos de maíces nativos sin uso de agroquímicos en Chiapas, México. *Siembra*, 10(2), Article e3997. <https://doi.org/10.29166/siembra.v10i2.3997>
- Caballero-García, M. A., Córdova-Téllez, L., & López-Herrera, A. D. J. (2019). Validación empírica de la teoría multicéntrica del origen y diversidad del maíz en México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 42(4), 357-366. <https://doi.org/10.35196/rfm.2019.4.357-366>
- Carrera-Valtierra, J. A., Ron, J. P., Sánchez, J. J. G., Jiménez, A. A. C., Márquez, F. S., Sahagún, L. C., Sesmas, G. J. J., & Sitt, M. M. (2011). Razas de maíz de Michoacán de Ocampo. Su origen, relaciones fitogeográficas y filogenéticas. COECyT 148. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/232242/Razas_de_maiz_de_michoacan.pdf
- Chan-Chan, M., Moguel-Ordóñez, Y., Gallegos-Tintoré, S., Chel-Guerrero, L., & Betancur-Ancona, D. (2021). Caracterización química y nutrimental de variedades de maíz (*Zea mays* L.) de alta calidad de proteína (QPM) desarrolladas en Yucatán, México. *Biociencia*, 23(2), 11–21. <https://doi.org/10.18633/biociencia.v23i2.1334>
- Colombo, R., Ferron, L., & Pápetti, A. (2021). Colored corn: An up-date on metabolites extraction, health implication, and potential use. *Molecules*, 26(1), Article 199. <https://doi.org/10.3390/molecules26010199>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO]. (2020, July 17). Tuxpeño.. <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/maices/razas/grupo-DentadosT/Tuxpeno>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO]. (2025, June 10). Geoportall CONABIO. <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- Corrales-Bañuelos, A. B., Cuevas-Rodríguez, E. O., Gutiérrez-Urbe, J. A., Milán-Noris, E. M., Reyes-Moreno, C., Milán-Carrillo, J., & Mora-Rochín, S. (2016). Carotenoid composition and antioxidant activity of tortillas elaborated from pigmented maize landrace by traditional nixtamalization or lime cooking extrusion process. *Journal of Cereal Science*, 69(1), 64-70. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.02.009>
- Désiré, K., Léonce, N. G., Constant, K., Ysidor, K., & Marius, B. H. (2022). Determination of essential mineral content of maize (*Zea mays* L.) produced and stocked from rural conditions in Côte d'Ivoire. *International Journal of Biochemistry Research & Review*, 31(3), 18–31. <https://doi.org/10.9734/ijbcr/2022/v3i3330308>
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M., Gonzalez, L., Tablada, M., & Robledo, C. W. (2020). Infostat - Software estadístico. InfoStat versión 2020. Software: <https://www.infostat.com.ar/>
- Domínguez-Hernández, E., Gaytán-Martínez, M., Gutiérrez-Urbe, J. A., & Domínguez-Hernández, M. E. (2022). The nutraceutical value of maize (*Zea mays* L.) landraces and the determinants of its variability: A review. *Journal of Cereal Science*, 103, Article 103399. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2021.103399>

- Fick, S. E., & Hijmans, R. J. (2017). WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 37(12), 4302-4315. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>
- García-Campos, A. U., Cruz-Monterrosa, R. G., Rayas-Amor, A. A., Jiménez-Guzmán, J., Fabela-Morón, M. F., Salgado-Cruz, M. D. L. P., Cortés-Sánchez, A. D. J., Villanueva-Carvajal, A., & Díaz-Ramírez, M. (2020). Caracterización físico-química de maíz (*Zea mays* L.) criollo (azul y rojo) del Estado de México. *Agro Productividad*, 13(7), 95–100. <https://doi.org/10.32854/agrop.vi.1728>
- Hammad, H. M., Chawla, M. S., Jawad, R., Alhuqail, A., Bakhat, H. F., Farhad, W., Khan, F., Mubeen, M., Shah, A. N., Liu, K., Harrison, M. T., Saud, S., & Fahad, S. (2022). Evaluating the impact of nitrogen application on growth and productivity of maize under control conditions. *Frontiers in Plant Science*, 13(1), Article 885479. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.885479>
- Hidalgo, M., Oruna-Concha, M. J., Kolida, S., Walton, G. E., Kallithraka, S., Spencer, J. P., & de Pascual-Teresa, S. (2012). Metabolism of anthocyanins by human gut microflora and their influence on gut bacterial growth. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(15), 3882-3890. <https://doi.org/10.1021/jf3002153>
- López-Morales, F., García-Zavala, J. J., Corona-Torres, T., Cruz-Izquierdo, S., López-Romero, G., Reyes-López, D., Vásquez-Carrillo, M. G., & Molina-Galán, J. D. (2020). Comparación del rendimiento y cambios morfológicos en maíz Tuxpeño V-520C adaptado a valles altos en México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 43(2), 133-141. <https://doi.org/10.35196/rfm.2020.2.133>
- Magdaleno-Hernández, E., Magdaleno-Hernández, A., Mejía-Contreras, A., Martínez-Saldaña, T., Jiménez Velázquez, M.A., Sánchez-Escudero, J., & García-Cué, J. L. (2020). Evaluación de la calidad física y fisiológica de semilla de maíz nativo. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 17(3), 569–581. <https://www.revista-asyd.org/index.php/asyd/article/view/1372>
- Maldonado-Astudillo, Y. I., Gutiérrez González, A. A., Flores Rogel, Y. L., Arámbula-Villa, G., Flores-Casamayor, V., Jiménez-Hernández, J., Ramírez, M., Álvarez-Fitz, P., & Salazar, R. (2021). Propiedades morfométricas, fisicoquímicas y actividad antiproliferativa de maíces pigmentados de Guerrero. *Nova Scientia*, 13(3), 1–26. <https://novascientia.lasallebajio.edu.mx/index.php/novascientia/article/view/2825/1142>
- Mex-Álvarez, R. M. J., Garma-Quen, P. M., Bolívar-Fernández, N. J., & Guillén-Morales, M. M. (2016). Análisis proximal y fitoquímico de cinco variedades de maíz del Estado de Campeche, México. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 12(2), 74–80. <https://revista.itson.edu.mx/index.php/rlrn/article/view/254/189>
- Official Methods of Analysis [AOAC]. (2023, January 04). Official Methods of Analysis, 22nd Edition (2023). AOAC INTERNATIONAL. <https://doi.org/10.1093/978019761045.002.001>
- Ramírez, R. O., Escobar Álvarez, J. L., Maldonado Peralta, M. D. L. Á., Rojas García, A. R., Hernández Castro, E., & Valenzuela-Lagarda, J. L. (2020). Calidad de mazorca y grano en maíces criollos de la Costa Chica, Guerrero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 24, 239-246. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i24.2374>
- Ramírez-Vega, H., Vázquez-Carrillo, G., Muñoz-Rosales, G. M., Martínez-Loperena, R., Heredia-Nava, D., Martínez-Sifuentes, J. Á., Anaya-Esparza, L. M., & Gómez-Rodríguez, V. M. (2022). Physical and chemical characteristics of native maize from the Jalisco highlands and their influence on the nixtamalization process. *Agriculture*, 12(1), Article 1293. <https://doi.org/10.3390/agriculture12091293>
- Ramos, D. M. H., Herrera, S. A. R., Rojas, N. P., Benítez, A. L., Osuna, H. T. G., del Río, A. J. L., & Rico, A. M. (2024). Contenido de antocianinas y características físicas de granos de 300 accesiones de maíz pigmentado. *Revista Bio Ciencias*, 11, e1578. <https://doi.org/10.15741/revbio.11.e1578>
- Reyes-Pavón, D., Soto-Sigala, K. S., Cano-Sampedro, E., Méndez-Trujillo, V., Navarro-Ibarra, M. J., Pérez-Pasten-Borja, R., Olvera-Sandoval, C. & Torres-Maravilla, E. (2024). Pigmented Native Maize: Unlocking the Potential of Anthocyanins and Bioactive Compounds from Traditional to Functional Beverages. *Beverages*, 10(3), 69. <https://doi.org/10.3390/beverages10030069>
- Salinas, M. Y., Aragón Cuevas, F., Ybarra Moncada, C., Aguilar Villarreal, J., Altunar Lopez, B., & Sosa Montes, E. (2013). 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://revfitotecnia.mx/index.php/RFM/article/view/251/227>
- Salinas-Moreno, Y., Ramírez Díaz, J. L., Alemán De La Torre, I., Bautista-Ramírez, E. & Ledesma Miramontes, A., (2021). Evaluación de dos procedimientos de medición de color en granos de maíces pigmentados. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(7), 1297-1303. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i7.2276>
- Sánchez-Nuño, Y. A., Zermeno-Ruiz, M., Vázquez-Paulino, O. D., Nuño, K., & Villarruel-López, A. (2024). Bioactive compounds from pigmented corn (*Zea mays* L.) and their effect on health. *Biomolecules*, 14, Article 338. <https://doi.org/10.3390/biom14030338>
- Santabàrbara, J. (2021). Cálculo del tamaño de muestra necesario para estimar el coeficiente de correlación de Pearson mediante sintaxis en SPSS. *REIRE Revista d'Innovació i Recerca en Educació*, 14(1), 1–7. <https://doi.org/10.1344/reire2021.14.132565>
- Sanz, R. J. C. (2009). El lenguaje del color: sinestesia cromática en poesía y arte visual. Ed. H. Blume.
- Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas [SNICS]. (2024, February 09). Guía para la descripción de variedades nativas maíz (*Zea mays* L.). Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://www.gob.mx/snics/documentos/guia-para-la-descripcion-de-variedades-de-maiz-nativo>
- Vázquez, C. M. G., Preciado, R. E. O., Guzmán, S. H. M., & Palacios, N. R. (2023). Maíces de especialidad para el subtrópico de México. Libro técnico núm. 5. [online] Ciudad de México, México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2023/CD009603.pdf>
- Wellhausen, E. J., Roberts L. M., & Hernández, E. X. (1951). Razas de maíz en México, su origen, características y distribución. Programa de Agricultura Cooperativo de la Secretaría de Agricultura y Ganadería de México, D. F. y la



Fundación

https://www.ars.usda.gov/ARUserFiles/50301000/Races_of_Maize/Raza_Mexico_0_Book.pdf

Rockefeller.

ARTÍCULO EN PRENSA