

Propiedades morfométricas, fisicoquímicas y actividad antiproliferativa de maíces pigmentados de Guerrero

Morphometric, physicochemical properties and antiproliferative activity of pigmented maize from Guerrero

Yanik I. Maldonado-Astudillo ^{1,2}  [0000-0002-5722-9426](https://orcid.org/0000-0002-5722-9426)

Ana Alicia Gutiérrez González ¹  [0000-0002-3598-130X](https://orcid.org/0000-0002-3598-130X)

Yoko Lizette Flores Rogel ¹  [0000-0002-6139-0482](https://orcid.org/0000-0002-6139-0482)

Gerónimo Arámbula-Villa ³  [0000-0001-6610-5217](https://orcid.org/0000-0001-6610-5217)

Verónica Flores-Casamayor ³  [0000-0002-5315-632X](https://orcid.org/0000-0002-5315-632X)

Javier Jiménez-Hernández ^{1,2}  [0000-0002-9698-2325](https://orcid.org/0000-0002-9698-2325)

Mónica Ramírez ⁴  [0000-0001-5386-8530](https://orcid.org/0000-0001-5386-8530)

Patricia Álvarez-Fitz ⁴  [0000-0002-9552-3933](https://orcid.org/0000-0002-9552-3933)

Ricardo Salazar ⁴  [0000-0002-5844-8321](https://orcid.org/0000-0002-5844-8321)

¹ Universidad Autónoma de Guerrero, Facultad de Ciencias Químico Biológicas.

² Universidad Autónoma de Guerrero, Centro de Innovación, Competitividad y Sostenibilidad (CICS)

³ Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV-IPN), Unidad Querétaro

⁴ CONACyT-Universidad Autónoma de Guerrero ✉ rsalazarlo@conacyt.mx

© Universidad De La Salle Bajío (México)

Palabras clave: maíces pigmentados; morfométrico; propiedades fisicoquímicas; antiproliferativo; RVA; DSC; rayos X; fenoles totales; ABTS; DPPH.

Keywords: pigmented maize; morphometric; physicochemical properties; antiproliferative; RVA; DSC; X ray; total phenols; ABTS; DPPH.

Recepción: 11 – 02 – 2021 / Aceptación: 02 – 06 – 2021

Introducción: Guerrero se caracteriza por su amplia variedad de maíces pigmentados, sin embargo, no existen alternativas de aprovechamiento para generar un valor agregado y un impacto positivo en la economía de los productores.

Método: en este estudio se evaluaron las propiedades morfométricas (peso de cien granos, peso hectolítrico, dureza, partes de los granos), fisicoquímicas (color, análisis bromatológico, contenido de fenoles y antocianinas, patrón de rayos X, propiedades térmicas y de pasta, y la actividad antirradicalaria), así como la actividad antiproliferativa (línea celular MDA-MB-231) de maíces pigmentados (rojo, negro, morado y blanco).

Resultados: las propiedades fisicoquímicas de los maíces variaron en función de su pigmentación. Los maíces mostraron características morfométricas adecuadas para la industria de la masa y la tortilla. La viscosidad máxima se observó en el almidón de maíz morado (4790 cp). El mayor valor

de ΔH_{gel} se observó para el maíz negro (7.88 J g^{-1}). Con excepción del maíz morado, los maíces analizados mostraron un contenido de proteína elevado (8.08-8.71 %). El mayor contenido de fenoles totales ($14.7\text{-}11.7 \text{ mgEAG g}^{-1}$ extracto), antocianinas monoméricas ($528 - 154 \mu\text{g EC3G g}^{-1}$ extracto) y actividad ante los radicales DPPH ($CI_{50} < 200 \mu\text{g mL}^{-1}$) y ABTS ($CI_{50} < 236 \mu\text{g mL}^{-1}$) fueron mostrados por los maíces morados. El extracto del maíz negro mostró la mayor actividad antiproliferativa ($CI_{50} = 938 \mu\text{g mL}^{-1}$) en la línea celular MDA-MB-231.

Discusión o conclusión: independientemente del color, los maíces analizados presentan características que son útiles para la industria del almidón y de la masa y la tortilla. Los maíces pigmentados, principalmente el negro y el morado, son una opción promisoriosa para la obtención de compuestos bioactivos para el establecimiento de estrategias novedosas de prevención y terapia de enfermedades asociadas con el estrés oxidativo.

Abstract

Introduction: in Guerrero, a wide variety of pigmented maize is found. However, there are not alternatives to generate added value, as well as positive impact on the producer's economy.

Method: in this study, the morphometric (thousand grain weight, test weight, hardness, whole grain parts and color), physicochemical (bromatological analysis, phenolic and anthocyanin content, X-ray pattern, thermal and paste properties and the scavenging radical activity), as well as the antiproliferative activity (MDA-MB-231 cell line) from pigmented maize (red, black, purple, and white) were evaluated.

Results: the physicochemical properties varied depending on the maize pigmentation. The corn kernels showed adequate morphometric characteristics for the masa and tortilla industry. The maximum viscosity was observed in purple maize starch. The highest value of ΔH_{gel} was observed for black maize (7.88 J g^{-1}). With the exception of purple maize, the analyzed corn kernels showed a high protein content (8.08-8.71 %). The highest content of total phenols ($14.7\text{-}11.7 \text{ mgEAG g}^{-1}$ extract), monomeric anthocyanins ($528 - 154 \mu\text{g EC3G g}^{-1}$ extract) and activity against DPPH ($CI_{50} < 200 \mu\text{g mL}^{-1}$) and ABTS ($CI_{50} < 236 \mu\text{g mL}^{-1}$) radicals were shown by purple maize. The black maize extract showed the highest antiproliferative activity ($CI_{50} = 938 \mu\text{g mL}^{-1}$) in the MDA-MB-231 cell line.

Discussion or conclusion: Regardless of color, the analyzed corn kernels have characteristics that are useful for the starch and masa and tortilla industries. Pigmented maize, mainly black and purple,

are a promising option for obtaining bioactive compounds for the establishment of novel strategies for the prevention and therapy of diseases associated with oxidative stress.

Introducción

Por su relevancia económica y social, el maíz es el cultivo agrícola que más se produce en el mundo (Rouf-Shah *et al.*, 2016). La producción de maíz en los años 2020-2021 se estimó en 1 134 000 000 de toneladas métricas y se concentró en Estados Unidos, China y Brasil; y con una menor participación la Unión Europea, Argentina, Ucrania, India y México (ocupando el octavo lugar) (United States Department of Agriculture [USDA], 2021). Este cereal es parte integral de la dieta de todas las clases socioeconómicas, por lo que se considera un alimento básico. Sin embargo, también presenta múltiples aplicaciones a nivel industrial.

México es conocido mundialmente por su diversidad genética en cultivos de maíz, actualmente la literatura describe más de 59 razas endémicas nacionales (Sánchez *et al.*, 2000). Dentro de estas razas podemos encontrar múltiples variedades nativas que poseen variabilidad de tamaño, densidad, dureza y composición química del grano. Estas características son afectadas por factores genéticos, prácticas de cultivo, condiciones climáticas y tipo de suelo (Agama-Acevedo *et al.*, 2011).

A nivel nacional, Guerrero ocupa el sexto lugar en producción de maíz y durante el 2018 registró una cosecha de 1 335 918, siendo el 90 % grano blanco y el resto pigmentado (Delegación SADER Guerrero, 2019). En este sentido, diversos estudios demuestran que las variedades pigmentadas tienen potencial funcional, debido a su alto contenido de compuestos bioactivos como las antocianinas, flavonoides y carotenoides que brindan importantes beneficios para la salud, que pueden contribuir en la reducción de enfermedades crónico-degenerativas (Loarca-Piña *et al.*, 2019; Mendoza-Díaz *et al.*, 2012; Žilić *et al.*, 2012). Recientemente, Herrera-Sotero *et al.* (2019) mostraron que las antocianinas de maíz azul afectan la viabilidad y el ciclo celular de células cancerosas de próstata y de mama.

Guerrero se caracteriza por poseer una amplia gama de variedades criollas de maíz pigmentado. Sin embargo, las propiedades de los almidones, la caracterización fisicoquímica, morfométrica, y la evaluación de la actividad funcional y biológica de estos granos no se ha analizado extensamente. La mayoría de los estudios se han dirigido al análisis de la calidad física

de granos y mazorcas (Ramírez-Reynoso *et al.*, 2020), a los sistemas de cultivo y al rendimiento de los maíces cultivados en diversas regiones como la Costa Chica y Tierra Caliente (Navarro-Garza *et al.*, 2006; Palemón-Alberto *et al.*, 2017), así como investigaciones orientadas a la introducción de maíces mejorados mediante mejoramiento genético convencional para elevar el rendimiento de maíz en áreas de mediano potencial productivo (Gómez-Montiel *et al.*, 2017). Aunque los pequeños productores rurales utilizan maíces criollos para sus cultivos de temporal, la entrega y adquisición de maíces híbridos a través de programas federales, aunado a su amplia disponibilidad comercial y mayor rendimiento, han supuesto un peligro para la conservación de maíces nativos. Por lo anterior, es imprescindible impulsar el desarrollo de estrategias novedosas de aprovechamiento para proporcionar un valor agregado y generar un impacto positivo en la economía de los productores. Por este motivo, el presente trabajo tuvo por objetivo evaluar de las propiedades morfométricas, químicas, actividad antirradicalaria y antiproliferativa de maíces pigmentados cultivados en el estado de Guerrero con la finalidad de identificar áreas de oportunidad para potenciar su aprovechamiento y conservación.

Método

Materiales

Se utilizaron cuatro tonalidades de color de dos razas de maíz nativo: blanco (raza Pepitilla), rojo (raza Olotillo), morado (raza Pepitilla) y negro (raza Olotillo) (fig. 1). Se colectaron ocho mazorcas por cada tipo de maíz pigmentado con un productor de maíz del municipio de Tixtla, Guerrero. Además, se colectó un maíz morado intenso de la raza cónico (fig. 1) cultivado en el estado de Tlaxcala, México para propósitos de comparación. La distribución nacional y la descripción de las características de la mazorca de las razas analizadas en este estudio pueden ser consultadas en la CONABIO (2020). Las muestras fueron colocadas en bolsas de polietileno y se almacenaron a 4 °C hasta su uso. Se utilizaron granos íntegros sin contaminación por microorganismos y sin daño mecánico aparente. Todos los reactivos utilizados pertenecen a las marcas Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, EU) o Golden Bell reactivos (Zapopan, Jalisco, México) y fueron de grado analítico.

Características morfométricas y fisicoquímicas de los granos

Peso de cien granos y peso hectolítrico

Para la determinación del peso de cien granos se tomaron 100 granos al azar de cada tipo de maíz colectado. El peso hectolítrico se determinó con un equipo marca Seedburo modelo 8850 siguiendo el método 55-10.01 de la [AACC International \(2017\)](#). Las mediciones se realizaron por triplicado.

Dureza de grano

Se determinó en una muestra de 15 granos, por medio de una prueba de resistencia a la penetración (N) medida con un analizador de textura (TA-XT2) provisto con un punzón cónico (ángulo 30°), a una velocidad de 2 mm s⁻¹ y una distancia de penetración de 3 mm. Se utilizaron granos íntegros sin contaminación por microorganismos y sin daño mecánico aparente. La medición de la dureza se realizó por triplicado.



Fig. 1. Coloración de los maíces analizados en este estudio.

A) Blanco, B) Rojo, C) Morado, D) Negro, E) Morado intenso.

Fig. 1. Color of the pigmented maize kernels analyzed in this study.

A) White, B) Red, C) Purple, D) Black, E) Deep purple.

Color de los granos

La luminosidad, el ángulo matiz (Hue°) y el croma de los maíces se calculó a partir de los valores de CIELAB L* a* b* determinados con un colorímetro portátil (Espectrofotómetro X-Rite Modelo Ci62, X-Rite Inc., Grandville, MI, USA.): $\text{Hue}^\circ = \tan^{-1}(b^*/a^*)$, $\text{croma} = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{1/2}$; donde L* = (100 = blanco, a 0 = negro), a* = [negativo (verde) a positivo (rojo)], b* = [negativo (azul) a positivo (amarillo)]. Se colocaron 20 granos en un recipiente de cuarzo para la lectura y se utilizaron granos íntegros sin contaminación por microorganismos y sin daño mecánico aparente. La medición del color se realizó por triplicado.

Estructuras del grano

El análisis de las partes estructurales del grano se llevó a cabo mediante la disección de 25 granos seleccionados al azar, separándolos en pericarpio, germen, endospermo y pedicelo. Brevemente, los granos de cada maíz se sumergieron en 100 mL de agua durante 60 min. Posteriormente, con ayuda de un bisturí se separó el pedicelo, pericarpio, germen y el endospermo. Cada una de las partes obtenidas se colocaron en un horno de convección para determinar su peso seco. Los análisis de las partes estructurales del grano se realizaron por triplicado.

Análisis químico

Composición química proximal de los granos

En las muestras de maíces colectadas se analizaron por triplicado: el contenido de proteína (46-16.01), el contenido de extracto etéreo (30-25.01) y el contenido de ceniza (8-1.01). Para ello se usaron los métodos estándar de la Asociación Americana de Químicos de Cereales Internacional (AACC International, 2017). El contenido de carbohidratos se calculó por diferencia.

Obtención de los extractos, determinación de compuestos fenólicos y antocianinas totales

El contenido de los compuestos fenólicos totales en las muestras se determinó como la suma de los fenoles solubles y fenoles ligados de acuerdo con el procedimiento descrito por De La Parra *et al.*, (2007) con algunas modificaciones. Las muestras de maíz colectadas se molieron por separado y se maceraron con etanol acidificado (85:15 HCl 1M) durante 24 h. Posteriormente, los sobrenadantes se recuperaron por centrifugación (1800 x g por 30 min) y se concentraron en un evaporador de solventes. El proceso se repitió tres veces. Los sobrenadantes concentrados se liofilizaron durante 48 h para obtener los extractos. Por último, los residuos se sometieron a una hidrólisis alcalina para la extracción de los fenoles ligados.

La cuantificación se llevó a cabo por el método de Folin-Ciocalteu. Se utilizó como estándar ácido gálico (AG) y los resultados se expresaron en μg equivalentes de AG por g de extracto. El contenido de antocianinas monoméricas se analizó de acuerdo al método de pH diferencial descrito por Lee *et al.*, (2005). Las antocianinas se expresaron como μg de equivalentes de cianidina3-glucosido por g de extracto.

Evaluación de la actividad biológica

Para la determinación de las actividades antirradicalaria y antiproliferativa se utilizaron los mismos extractos etanólicos empleados para la determinación de los compuestos fenólicos.

Determinación de la actividad antirradicalaria

La actividad atrapadora de radicales libres de los extractos de maíz diluidos en una solución de dimetilsulfóxido (DMSO) al 10 % se determinó por los métodos del 1,1-Difenil-2-Picril-Hidrazilo (DPPH) y del Ácido 2,2'-Azino-Bis-3-Etilbenzotiazolin-6-Sulfónico (ABTS) de acuerdo con lo sugerido por *Thaipong et al.* (2006). Se utilizó como control la solución de DMSO al 10 %. Se compararon los porcentajes de inhibición en función de la concentración de extracto utilizado para obtener el valor de la concentración de inhibición media (CI50), definida como la concentración de extracto requerido para atrapar el 50 % de los radicales DPPH y ABTS, respectivamente. Los resultados se expresaron como µg de extracto por mililitro.

Evaluación de la actividad antiproliferativa

La actividad antiproliferativa de los extractos de granos de maíz se realizó en la línea celular MDA-MB-231 (ATCC® HTB-26™), derivada de un tipo tumoral de mama. La línea celular se cultivó en DMEM/F12 (GIBCO) suplementado con 5 % de suero fetal bovino (SFB, Bioproducts) y con 5 mL de una solución de antibiótico-antimicótico 1:100 (GIBCO). Las células se sembraron en frascos de 25 cm³, en condiciones de cultivo estándar a 37 °C, 95 % de humedad relativa y 5 % CO₂. El ensayo se realizó cuando el cultivo celular presentó una confluencia celular ≥ 90 %. Para realizar el pasaje de las células, se removió el medio de cultivo y se adicionaron 1000 µL de una solución de tripsina-EDTA 0.25 % (GIBCO). Las células fueron resuspendidas y se realizó un conteo celular, se sembró la concentración celular necesaria en las diferentes placas de cultivo. Las placas fueron incubadas y se monitoreó la confluencia celular con la ayuda de un microscopio invertido (Leica DMI8). La evaluación de la viabilidad celular se realizó de acuerdo con el método colorimétrico del bromuro de 3-(4,5-dimetiltiazol-2-ilo)-2,5-difeniltetrazol (MTT). El ensayo se realizó en placas de 96 pocillos (2x10³ células/pozo). Se adicionaron a las células las soluciones de los cinco diferentes extractos de maíz (blanco, rojo, negro, morado y morado intenso) en concentraciones finales de, 75, 125, 250, 500, 750 y 1000 µg/mL por pocillo (n = 3). La placa de

cultivo con las células tratadas se incubó en las condiciones de cultivo descritas de temperatura, humedad y concentración de CO₂, durante 24 h (NuAire series 7).

Después del tiempo de tratamiento se agregaron 10 µL de MTT (5 mg/mL), en cada pocillo y se incubó por 3 h. Finalmente se retiró el medio de cultivo y se solubilizó agregando 100 µL de DMSO en cada pocillo, para determinar la absorbancia en un espectrofotómetro de ELISA (Stat-fax-100; Awareness Technology, Inc.) a 545 nm. El porcentaje de viabilidad celular se calculó a partir de la relación entre la absorbancia de las células tratadas con los extractos entre la absorbancia de las células tratadas con DMSO por 100. Los controles utilizados fueron células tratadas con 8µL del vehículo DMSO 10 % y células tratadas con 0.6 µL del fármaco anticancerígeno convencional Paclitaxel (120 nM). Se compararon los porcentajes de inhibición en función de la concentración de extracto utilizado para obtener el valor de la concentración de inhibición media (CI50), definida como la concentración del extracto requerido para inhibir el 50 % de la proliferación celular. Los experimentos se realizaron por cuatuplicado. Los resultados se expresaron como µg de extracto por mililitro.

Propiedades funcionales del almidón extraído de los granos de maíz pigmentado.

El almidón de los maíces pigmentados se obtuvo a partir de la molienda de los granos hasta obtener un polvo fino. El polvo obtenido de cada maíz pigmentado se tamizó con una malla 60 (250 µm) y se almacenó en bolsas con cierre hermético a temperatura ambiente para su análisis.

Viscosidad

Para determinar la viscosidad aparente del almidón de los maíces pigmentados se colocaron 4 g de almidón y 24 g de H₂O destilada en un contenedor del analizador de viscosidad (RVA, mod. 3C, Newport Scientific, PYT Ltd. Sydney, Australia). Las determinaciones se realizaron por triplicado.

Propiedades térmicas

Las propiedades térmicas de los almidones se analizaron con un calorímetro diferencial de barrido (DSC), mod. 821e (Mettler-Toledo®, Suiza), se utilizaron 5 mg de almidón y 10 mg de agua y se procesaron con una tasa de calentamiento de 10 °C min⁻¹, desde 30 a 100 °C. La calibración del equipo se llevó a cabo con Indio y se utilizó una cápsula vacía como referencia. A partir de los

termogramas, se obtuvieron la temperatura inicial (T_i), temperatura pico (T_p), temperatura final (T_f) y la entalpía de gelatinización (ΔH_{gel}).

Difracción de rayos X

Los patrones de difracción de rayos X del almidón de los maíces analizados se obtuvieron mediante un difractómetro de Rayos-X mod. DMAX-2100 (Rigaku®, Japón), que operó a 30 kV y 16 mA y con una radiación de $CuK\alpha$ de 1.5405 Å. Los almidones se colocaron en una superficie de vidrio y se escanearon de 5 a 50° en la escala 2θ .

Análisis estadístico

Para el análisis estadístico de todas las determinaciones se utilizó un análisis de varianza ANOVA de una sola vía a través de un diseño completamente al azar. Las diferencias entre los diferentes grupos se determinaron con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). El ANOVA, la comparación de medias y las gráficas se realizaron con el programa GraphPad Prism® V. 6.01.

Resultados

Propiedades físicas de los granos de maíz

En la tabla 1 se presentan los valores del peso de cien granos y del peso hectolítrico de los maíces pigmentados. El peso de cien granos es un parámetro relacionado con el tamaño y la densidad del grano. Los valores elevados de este parámetro están relacionados con un mayor rendimiento de los granos durante el procesamiento. Por esta razón, los granos de maíz con un alto peso de mil granos (peso de cien granos x 10) son preferidos por los productores de harina nixtamalizada (Mauricio *et al.*, 2004). Los valores del peso de cien granos obtenidos para los maíces estuvieron entre 22.3-52.2 g. Con excepción del maíz negro, los maíces analizados mostraron un peso de cien granos adecuado para la elaboración de tortilla y botanas (Figueroa-Cárdenas *et al.*, 2013).

El peso hectolítrico es un parámetro relacionado la densidad aparente y la dureza del grano (Cabrera-Soto *et al.*, 2009). Los valores indican que el maíz blanco es el más duro, y el maíz negro es el más suave de los maíces analizados. De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NMX-FF-034/1-2002, los maíces con calidad comercial para elaboración de tortillas y productos de maíz nixtamalizado deben cumplir con un peso hectolítrico superior a 74 kg hL⁻¹. Los únicos maíces que cumplen con este criterio son el maíz blanco y el maíz rojo. Sin embargo, lo anterior no limita el

potencial tecnológico del maíz morado y negro para ser utilizados en otras aplicaciones como colorantes naturales o fuente de compuestos bioactivos (Yang y Zhai, 2010).

En la tabla 2 se muestra la dureza y los parámetros de color de los maíces pigmentados. La dureza se correlacionó positivamente con el peso hectolítrico de los granos de maíz ($r = 0.93$). la dureza del grano determina el tiempo de procesamiento de un maíz para elaborar productos en forma de dispersiones cocidas (González *et al.*, 2005). Con excepción del maíz blanco, los maíces analizados en este estudio mostraron una dureza menor a los valores (112- 148 N) reportados por Jiménez-Juárez *et al.* (2012). Sin embargo, Salinas-Moreno y Aguilar-Modesto (2010) mostraron que los maíces suaves y semiduros favorecen la producción de tortillas con una humedad adecuada. Por lo tanto, de acuerdo con las propiedades físicas descritas, los maíces blanco, rojo y morado tienen características adecuadas para ser aprovechados en la industria de la masa y la tortilla.

Tabla 1. Peso de cien granos y peso hectolítrico de los granos de maíz estudiados.
Table 1. Thousand grain weight and hectoliter weight of the studied maize kernels.

Maíz	Peso de cien granos (g)	Peso hectolítrico (kg hL ⁻¹)
Blanco	40.17 ± 0.06 ^b	75.28 ± 0.24 ^a
Rojo	33.44 ± 0.10 ^c	74.03 ± 0.32 ^b
Morado	52.26 ± 0.11 ^a	73.30 ± 0.40 ^c
Negro	22.40 ± 0.03 ^d	69.94 ± 0.01 ^e
Morado intenso	33.05 ± 0.08 ^c	71.24 ± 0.28 ^d

Valores representan el promedio de tres repeticiones ± desviación estándar. Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas (Tukey $p \leq 0.05$).

Tabla 2. Dureza y valores de color de los granos de maíz.
Table 2. Hardness and color values of the maize kernels

Maíz	Dureza (N)	L	h°	C
Blanco	117.79 ± 9.71 ^a	47.08 ± 2.32 ^a	86.21 ± 0.51 ^a	14.46 ± 0.79 ^a
Rojo	105.81 ± 6.65 ^b	26.07 ± 1.21 ^b	42.30 ± 0.22 ^b	13.57 ± 1.64 ^a
Morado	78.73 ± 4.56 ^c	10.81 ± 2.35 ^c	25.07 ± 0.51 ^c	3.77 ± 0.20 ^{bc}
Negro	61.27 ± 6.74 ^d	10.94 ± 0.88 ^c	19.01 ± 2.06 ^d	1.53 ± 0.15 ^c
Morado intenso	63.38 ± 6.11 ^d	7.59 ± 0.77 ^c	16.01 ± 2.07 ^d	6.87 ± 2.45 ^b

Valores representan el promedio de tres repeticiones ± desviación estándar. L = Luminosidad. h° = Ángulo matiz/tono. C = Croma/pureza de color. Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas (Tukey $p \leq 0.05$).

Es importante recalcar que el consumo de productos nixtamalizados elaborados a partir de maíces pigmentados es percibido por el consumidor como benéfico para su salud. De acuerdo con [Moreno *et al.* \(2005\)](#) los maíces percibidos por el ojo humano como morados – rojizos, presentan un rango de valores de luminosidad, pureza de color y tono de 11-16, 2-5 y 8-16, respectivamente. En otro estudio realizado por [Mendoza-Mendoza *et al.* \(2017\)](#) en líneas de maíz morado mejorado genéticamente se reportaron valores de luminosidad, croma y tono de 5-25, 2-12 y 10-74, respectivamente. En el presente estudio (tabla 2) la luminosidad fue significativamente mayor para el maíz blanco, por lo tanto, el color de los maíces pigmentados fue oscuro, similar al negro. De la misma manera, los maíces con la mayor pureza de color fueron el maíz blanco y rojo. Lo que indica que el color de los granos morado y negro mostró una baja intensidad e impureza por la mezcla con una reducida cantidad de blanco ([Mendoza-Mendoza *et al.*, 2017](#)). El matiz indicó que el color de los maíces analizados mostró una tendencia a tonalidades amarillas y moradas rojizas con una pureza baja de color. Los maíces pigmentados deben su coloración a diversos compuestos bioactivos entre los que destacan las antocianinas, los compuestos fenólicos y los carotenoides ([Martínez-Martínez *et al.*, 2019](#)), los compuestos antes mencionados, están presentes en el pericarpio, en la capa de aleurona y el endospermo, aunque también puede encontrarse una presencia marginal en el germen ([Bello-Pérez *et al.*, 2016](#)).

Partes del grano

En la tabla 3 se muestra la proporción de las partes estructurales de los granos de maíz estudiados. Se observó que el maíz negro presentó significativamente la mayor proporción de endospermo, y la menor proporción de pericarpio y pedicelo. Aunado a esto, el maíz morado destacó por su alto contenido de germen y endospermo. [Ramírez-Reynoso *et al.* \(2020\)](#) reportaron proporciones de germen (11.61 y 9.93 %) y endospermo (76.69 y 80.82), para maíces criollos morados y amarillos, respectivamente, de la región de Costa Chica, en el estado de Guerrero. Por otra parte, los maíces analizados en nuestro estudio mostraron una proporción de germen mayor y una proporción de endospermo menor a los valores reportados por [Zepeda-Bautista *et al.* \(2009\)](#) para maíces híbridos de la región de Valles Altos Centrales de México. En el mismo sentido, no se observaron diferencias importantes en el contenido de pericarpio y pedicelo en el estudio de los autores antes mencionados. El pericarpio y el pedicelo son elementos compuestos de fibras naturales cuya

función es proteger al grano del ambiente y anclarlo al olote, respectivamente. Su incorporación en los alimentos elaborados a partir de maíz, un incremento en el contenido de fibra dietaria.

El contenido proporcional de las partes estructurales de los granos de otorga información sobre el rendimiento en la producción de aceite y harinas y por lo tanto de su uso industrial. Se observó que el maíz negro presentó significativamente la mayor proporción de endospermo, y la menor proporción de pericarpio y pedicelo. Aunado a esto, el maíz morado destacó por su contenido alto de germen y endospermo. La industria de aceite comestible de maíz prefiere granos con la mayor cantidad de germen. Por el contrario, en la industria del almidón y de la masa y la tortilla un alto contenido de germen tiene un efecto negativo sobre el rendimiento de harina, debido a que tanto el pericarpio como el germen del grano se remueven parcialmente durante el procesamiento (Gaytan-Martinez *et al.*, 2013).

Tabla 3. Partes estructurales de los granos de maíz estudiados.
Table 3. Structural components from the studied maize kernels.

Maíz	Proporción (%)			
	Pericarpio	Germen	Pedicelo	Endospermo
Blanco	5.27 ± 0.15 ^a	10.85 ± 0.52 ^b	1.69 ± 0.13 ^{ab}	82.19 ± 0.50 ^b
Rojo	6.00 ± 0.64 ^a	9.62 ± 0.77 ^b	1.78 ± 0.05 ^{ab}	82.60 ± 0.21 ^b
Morado	4.23 ± 0.24 ^a	12.56 ± 0.71 ^a	1.41 ± 0.15 ^a	81.79 ± 1.02 ^a
Negro	4.57 ± 0.13 ^b	10.11 ± 1.20 ^b	1.03 ± 0.08 ^c	84.29 ± 1.08 ^b
Morado intenso	5.20 ± 0.36 ^a	9.52 ± 0.82 ^b	1.48 ± 0.17 ^b	83.80 ± 1.16 ^b

Valores representan el promedio de tres repeticiones ± desviación estándar. Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas (Tukey $p \leq 0.05$).

Análisis químico proximal

La composición química proximal de los granos de maíz es importante debido a que permite definir su calidad nutritiva, uso industrial y los métodos de extracción de compuestos bioactivos. La tabla 4, muestra variaciones significativas en la composición nutrimental de los maíces pigmentados estudiados. Con excepción del maíz morado, todos los maíces analizados mostraron un contenido de proteína entre 8.08-8.71 %, estos valores son menores a los reportados por Cázares-Sánchez *et al.* (2015) para poblaciones de maíz nativas de Yucatán, México. En general, el valor nutrimental del maíz se incrementa proporcionalmente con el contenido de proteína debido a que se favorece su uso para fines de alimentación humana y animal (Mex *et al.*, 2016). En el mismo sentido, el maíz morado intenso y el maíz morado mostraron un contenido significativamente mayor de extracto etéreo (3.33-3.50), lo anterior puede estar relacionado al elevado contenido de germen

observado en estos maíces. Independientemente de los maíces analizados, el contenido de proteína y extracto etéreo fue menor al reportado por *Salinas-Moreno et al. (2013)* para maíces pigmentados de Oaxaca. El mayor contenido de carbohidratos observado en el maíz blanco sugiere su uso para la producción de harina nixtamalizada o almidón por el mayor rendimiento que se obtendrá a partir de los mismos. Por otra parte, no se observaron diferencias importantes en el contenido de cenizas.

Tabla 4. Composición química de los granos de maíz.

Table 4. Chemical composition of maize kernels.

Maíz	Porcentaje (%)				
	Humedad	Cenizas	Extracto Etéreo	Proteínas	Carbohidratos
Blanco	12.95± 0.29 ^c	1.31± 0.15 ^b	2.11± 0.72 ^c	8.08± 0.03 ^c	75.55± 1.01 ^a
Rojo	15.44± 0.04 ^b	1.64± 0.08 ^a	1.92± 0.76 ^c	8.54± 0.06 ^b	72.45± 0.61 ^b
Morado	16.33± 0.14 ^a	1.45± 0.10 ^{ab}	3.50± 0.34 ^a	6.98± 0.18 ^d	71.73± 0.28 ^b
Negro	15.35± 0.08 ^b	1.58± 0.07 ^{ab}	2.31± 0.06 ^{bc}	8.82± 0.03 ^a	71.94± 0.14 ^b
Morado intenso	15.03± 0.14 ^b	1.68± 0.15 ^a	3.33± 0.20 ^{ab}	8.71± 0.12 ^{ab}	71.25± 0.31 ^b

Valores representan el promedio de tres repeticiones ± desviación estándar. Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas (Tukey $p \leq 0.05$).

Determinación de fenoles y antocianinas totales

La presencia de diversos compuestos bioactivos en los maíces pigmentados ha incrementado su interés en los últimos años debido tendencia de los consumidores hacia alimentos, que además del valor nutritivo aporten beneficios a la salud (*Žilić et al., 2012*). Las diferencias observadas en el contenido de compuestos fenólicos y antocianinas es atribuido a factores genéticos y su interacción con las condiciones ambientales, así como las propiedades físicas de los granos y en especial del pericarpio, estructura donde se encuentran principalmente este tipo de compuestos (*Escalante-Aburto et al., 2013*). En la tabla 5, se presenta el contenido de fenoles totales, antocianinas y actividad atrapadora de radicales libres de los maíces pigmentados estudiados. El rango en el contenido de fenoles totales de los maíces analizados fue de 14704.8 - 7192.9 $\mu\text{g g}^{-1}$ de extracto. Los maíces morados presentaron el mayor contenido de fenoles totales, mientras que el maíz blanco mostró un contenido de fenoles totales similar al maíz negro y rojo. El contenido de compuestos fenólicos, y de otros metabolitos secundarios, es variable entre diferentes genotipos de maíz. En este sentido, los maíces de color intenso presentan generalmente niveles significativamente más altos de ácidos fenólicos, dentro de los cuales el ferúlico, p-cumárico y sinápico son los más importantes (*Lao y Sigurdson, 2017*).

Tabla 5. Contenido de fenoles totales, antocianinas y actividad atrapadora de radicales libres de los granos de maíz.

Table 5. Total phenolic compounds, monomeric anthocyanins, and radical scavenging activity of maize kernels

Maíz	Fenoles totales	Antocianinas	DPPH (CI50)	ABTS (CI50)
Blanco	7682.0 ± 0.46 ^c	ND	298.43 ± 1.56 ^b	299.44 ± 6.11 ^a
Rojo	7192.9 ± 0.25 ^c	3.23 ± 1.57 ^d	327.62 ± 3.76 ^a	258.02 ± 13.58 ^b
Morado	11747.5 ± 0.07 ^b	154.0 ± 0.14 ^b	200.06 ± 3.51 ^c	194.19 ± 15.33 ^c
Negro	7473.7 ± 0.10 ^c	86.4 ± 0.02 ^c	202.16 ± 2.86 ^c	269.36 ± 16.49 ^{ab}
Morado intenso	14704.8 ± 0.20 ^a	528.1 ± 0.03 ^a	174.39 ± 3.73 ^d	236.80 ± 7.63 ^b

Valores representan el promedio de tres repeticiones ± desviación estándar. ND: no detectado. Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas (Tukey $p \leq 0.05$). El contenido de los compuestos fenólicos esta expresado en μg equivalentes de ácido gálico g^{-1} de extracto. El contenido de antocianinas esta expresado en μg equivalentes de cianidina-3-glucósido g^{-1} de extracto. La concentración media efectiva esta expresada en μg de extracto mL^{-1} .

Las antocianinas son un tipo de compuestos fenólicos solubles en agua y son las responsables principales del color morado en los granos de maíz (Del Pozo-Insfrán *et al.*, 2006). El contenido de antocianinas fue significativamente mayor en los extractos de los maíces morados (528.1-154.01 μg^{-1} de extracto). Por el contrario, en los extractos de maíz rojo y blanco la presencia de antocianinas no fue detectado, debido a que pigmentos como la luteína y la zeaxantina son los más abundantes en este tipo de granos (Kurilich y Juvik, 1999). Las principales antocianinas aisladas del grano de maíz son la cianidina 3-glucósido, pelargonidina-3-glucosido y la peonidina-3-glucosido (Lao y Sigurdson, 2017). Cabe destacar que el contenido de compuestos fenólicos y antocianinas de todos los maíces analizados fue menor al reportado por López-Martínez *et al.* (2009) para 18 cepas de maíces mexicanos. Sin embargo, a pesar de lo anterior, los maíces criollos del estado de Guerrero representan una fuente desaprovechada de extracción y obtención de compuestos bioactivos para la industria farmacéutica y alimentaria.

Evaluación de la actividad biológica

Actividad atrapadora de radicales libres

Los compuestos fenólicos son agentes reductores que inhiben la oxidación de otras moléculas y pueden ser utilizados para prevenir y tratar las complicaciones a la salud relacionadas con enfermedades crónico degenerativas (Gregório *et al.*, 2016). Por esta razón, la búsqueda de alimentos que proporcionen compuestos con actividad antioxidante a la dieta se ha vuelto indispensable en los últimos años dentro de la comunidad científica. En este estudio la actividad antioxidante se evaluó mediante los métodos de DPPH y ABTS (tabla 5). Se observó que los maíces

con el mayor contenido de fenoles totales mostraron los valores más bajos de la CI50 del radical DPPH (morado intenso > morado > negro > blanco > rojo). Estos resultados son consistentes con los reportado por *Choi et al. (2007)*, quienes mostraron que muestras de sorgo y arroz pigmentados presentaron una mayor actividad atrapadora del radical DPPH, que las muestras no pigmentadas. En el mismo contenido, *Hodzic et al. (2009)* demostraron una correlación positiva entre la actividad antioxidante con el contenido de fenoles totales evaluados en diversos cereales. En cuanto al ensayo de ABTS el maíz morado presentó una capacidad de inhibición mayor frente a este radical, en comparación con el resto de los maíces evaluados (morado > morado intenso > negro > rojo > blanco).

Actividad antiproliferativa

La actividad antiproliferativa de los extractos de los granos de maíz se realizó en la línea celular MDA-MB-231, mediante la prueba de MTT. Como se observa en la fig. 2 todos los extractos de los maíces estudiados generaron una disminución significativa en la proliferación celular. El maíz blanco y el maíz rojo mostraron un efecto antiproliferativo significativo a partir de una concentración de $750 \mu\text{g mL}^{-1}$, mientras que, en el maíz morado, morado intenso y negro se presentó a partir de $500 \mu\text{g mL}^{-1}$. La CI50 de los maíces estudiados fue de 1369, 1061, 1041, 1005 y $938 \mu\text{g mL}^{-1}$ para el maíz blanco, rojo, morado, morado intenso y negro, respectivamente.

Como se ha descrito hasta ahora, los maíces pigmentados contienen una concentración elevada de compuestos biológicamente activos benéficos para la salud. *Urias-Lugo et al. (2015)* demostraron el efecto antiproliferativo en células cancerosas de mama, hígado, colon y próstata y su relación con el contenido de antocianinas de extractos de maíz azul. Asimismo, un estudio similar desarrollado por *Herrera-Sotero et al. (2017)* en células cancerosas de hígado, cérvix, próstata y pulmón, revelaron que los extractos de maíz son capaces de inhibir significativamente la proliferación celular a concentraciones mayores de $1000 \mu\text{g/mL}$. Posteriormente, *Herrera-Sotero et al. (2019)* probaron que las antocianinas presentes en los granos de maíz azul, arrestan el ciclo celular e inducen la apoptosis de células cancerosas de mama y de próstata.

De acuerdo con el Instituto Nacional de Cáncer en Estados Unidos (*Geran et al., 1972*), la actividad antiproliferativa obtenida en los extractos de maíz analizados es débil y poco representativa. Para que un extracto sea clasificado como antiproliferativo, el CI50 del extracto crudo debe ser menor $100 \mu\text{g mL}^{-1}$. Los extractos con una actividad antiproliferativa elevada

generalmente son tóxicos para las células sanas, por esta razón el consumo de alimentos elaborados a partir de maíz no está asociado con un efecto citotóxico en el organismo de las personas que los consumen. Sin embargo, los resultados sugieren que existen compuestos presentes en los extractos de los maíces negro y morado que tienen un potencial antiproliferativo. Por lo tanto, es necesario realizar futuras investigaciones para caracterizar y aislar los compuestos presentes en los extractos obtenidos con el objetivo de evaluar su potencial contra el crecimiento de células cancerosas en sistemas *in vitro* e *in vivo*.

Los resultados obtenidos demuestran que los maíces criollos del estado de Guerrero analizados en este estudio tienen un potencial tecnológico para generar valor agregado a los productores. Independientemente del color, los maíces analizados presentan características que son útiles para la industria del almidón y de la masa y la tortilla. Los maíces pigmentados, principalmente el negro y el morado, son una opción promisoriosa para la obtención de compuestos bioactivos para el establecimiento de estrategias novedosas de prevención y terapia para el tratamiento de enfermedades asociadas con el estrés oxidativo.

Propiedades funcionales del almidón extraído de los granos de maíz pigmentado

En la fig. 2 se presentan los patrones de difracción de rayos X de los almidones de los maíces pigmentados analizados en este estudio. Todos los maíces mostraron los típicos patrones de almidón tipo A reportados en cereales (Cheetham y Tao, 1998) con picos a 15.0, 17.0, 18.0 y 23.0° (2 θ). Los almidones del maíz negro, morado y morado intenso mostraron picos de difracción más intensos comparados con el maíz, rojo y blanco. De acuerdo con Santiago-Ramos *et al.* (2017), los almidones de maíces duros presentan una baja intensidad en los picos presentes en 15-23°, comparado con los almidones suaves debido a la relación inversa entre el contenido de amilosa y el grado de cristalinidad de los gránulos de almidón.

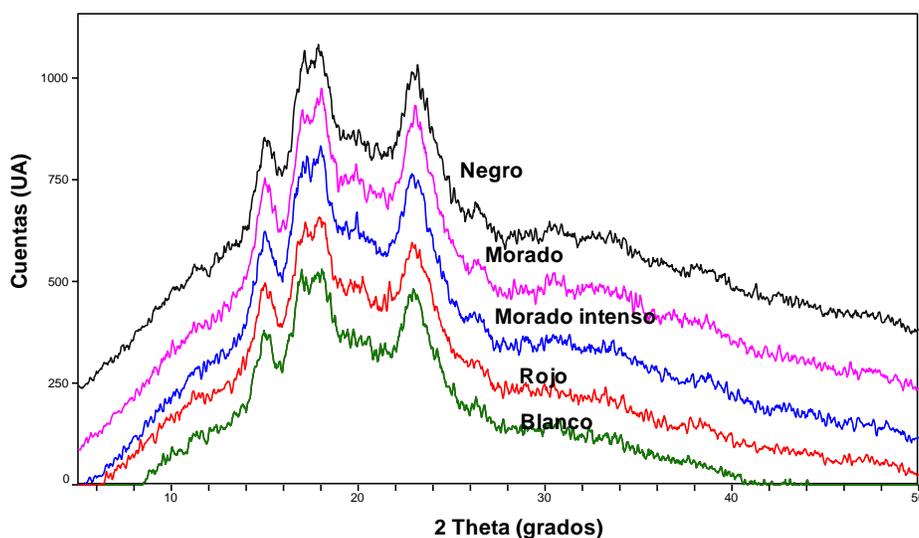


Fig. 2. Patrón de difracción de rayos X del almidón aislado de los maíces estudiados.

Fig. 2. X-ray diffraction pattern of the isolated starch from the studied maize kernels.

La fig. 3 muestra los perfiles viscoamilográficos y las curvas calorimétricas de los almidones aislados de los maíces pigmentados analizados. Cuando el almidón es calentado con exceso de agua la viscosidad se incrementa gradualmente hasta un máximo valor. El pico de viscosidad (fig. 4A) se define como la viscosidad máxima alcanzada cuando los gránulos de almidón se hinchan a su máxima capacidad proporcionando información sobre la capacidad de absorción de agua del almidón durante el procesamiento (Balet *et al.*, 2019). En este estudio, con excepción del maíz negro (2432 cp), la viscosidad máxima del maíz morado (4790 cp), morado intenso (4031 cp), rojo (3063 cp) y blanco (2747 cp) fue mayor al valor de 2563 cp reportado por Vázquez-Carrillo y Santiago-Ramos (2019) como el valor mínimo recomendado para que un genotipo de maíz sea utilizado en la industria de la masa y la tortilla.

Las transiciones térmicas de los almidones aislados de los maíces pigmentados en un rango de temperatura de 30-100°C se presentan en la fig. 4B. En todos los casos analizados, se observó una transición endotérmica correspondiente a la gelatinización del almidón (ΔH_{gel}). El valor mayor de ΔH_{gel} se observó para el maíz negro (7.88 J g⁻¹), seguido del morado (7.66 J g⁻¹), morado intenso (7.01 J g⁻¹), blanco (6.78 J g⁻¹) y rojo (6.51 J g⁻¹). Independientemente de la coloración, el ΔH_{gel} de los maíces de Guerrero analizados fue menor a los reportados por Agama-Acevedo *et al.* (2008) para maíces híbridos de color blanco (8 J g⁻¹), azul (9.7 J g⁻¹) y negro (13.7 J g⁻¹).

De acuerdo con Chiotelli y Meste (2002) los valores de ΔH_{gel} están relacionados con la disociación de las dobles hélices de la amilopectina y con la fusión de los cristales del almidón. Por esta razón, la cristalinidad proporciona estabilidad estructural a los gránulos de almidón para que sean más resistentes a la gelatinización y muestren temperaturas de transición (T_i , T_p y T_f) más elevadas. El maíz rojo mostró las temperaturas de transición más elevadas (T_i : 69.22 °C; T_p : 73.98 °C; T_f : 79.43 °C) y el maíz morado intenso, las más bajas (T_i : 64.25 °C; T_p : 69.02 °C; T_f : 74.39 °C). los valores de T_i , T_p y T_f fueron superiores a los encontrados para el almidón de otras fuentes botánicas como papa (T_i : 58.7 °C; T_p : 62.6 °C; T_f : 68.1 °C) y plátano (T_i : 61.8 °C; T_p : 65.2 °C; T_f : 71.7 °C) (Gebre-Mariam y Schmidt, 1998).

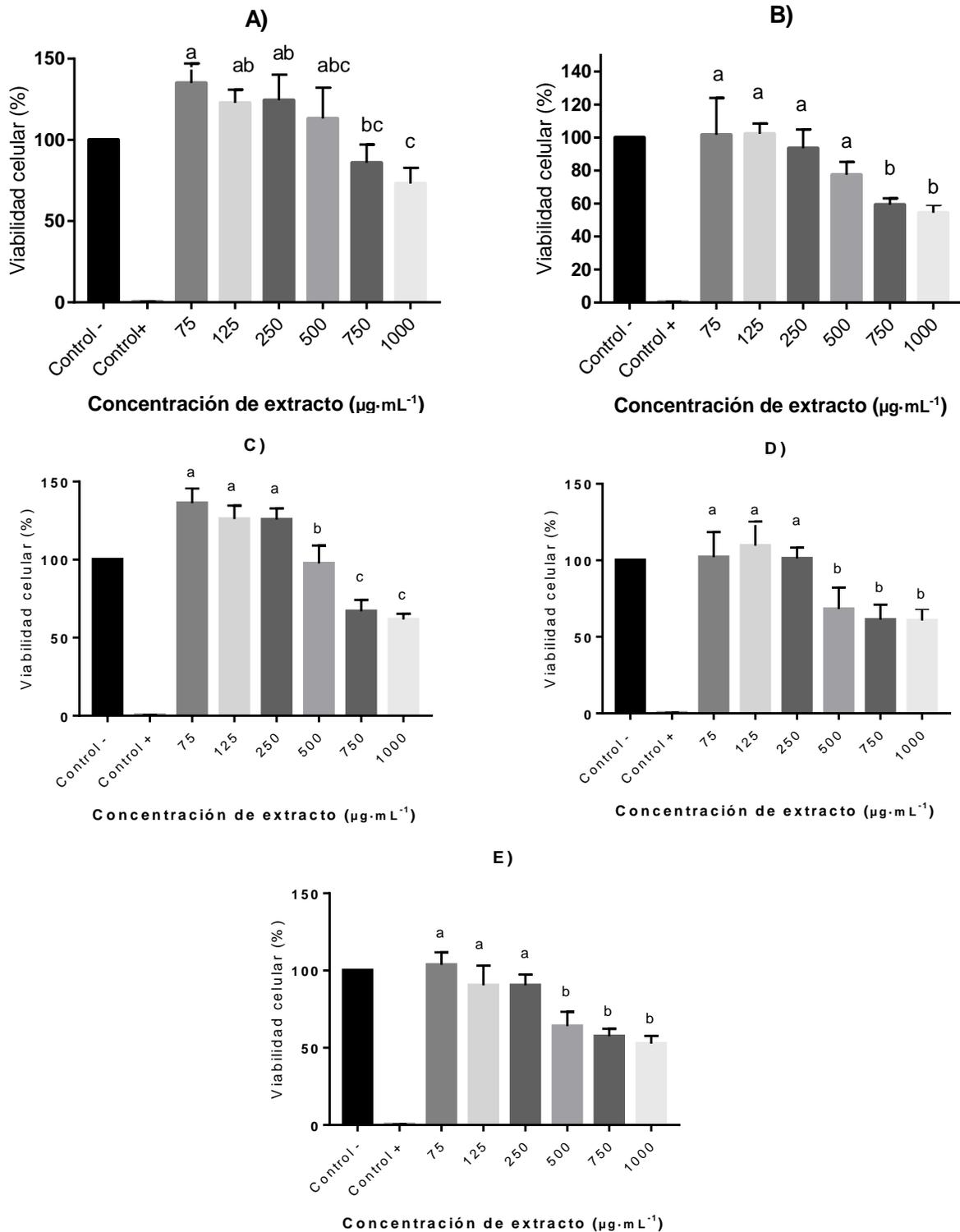


Fig. 3. Efecto antiproliferativo de extractos de los granos de maíz pigmentado, en la línea celular MDA-MB-231. A) Blanco, B) Morado Intenso, C) Rojo, D) Morado y E) Negro. Barras con letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

Fig. 3. Antiproliferative effect of extracts from pigmented maize kernels in the MDA-MB-231 cell line. A) White, B) Intense Purple, C) Red, D) Purple and E) Black. Bars with different letters are significantly different ($p \leq 0.05$).

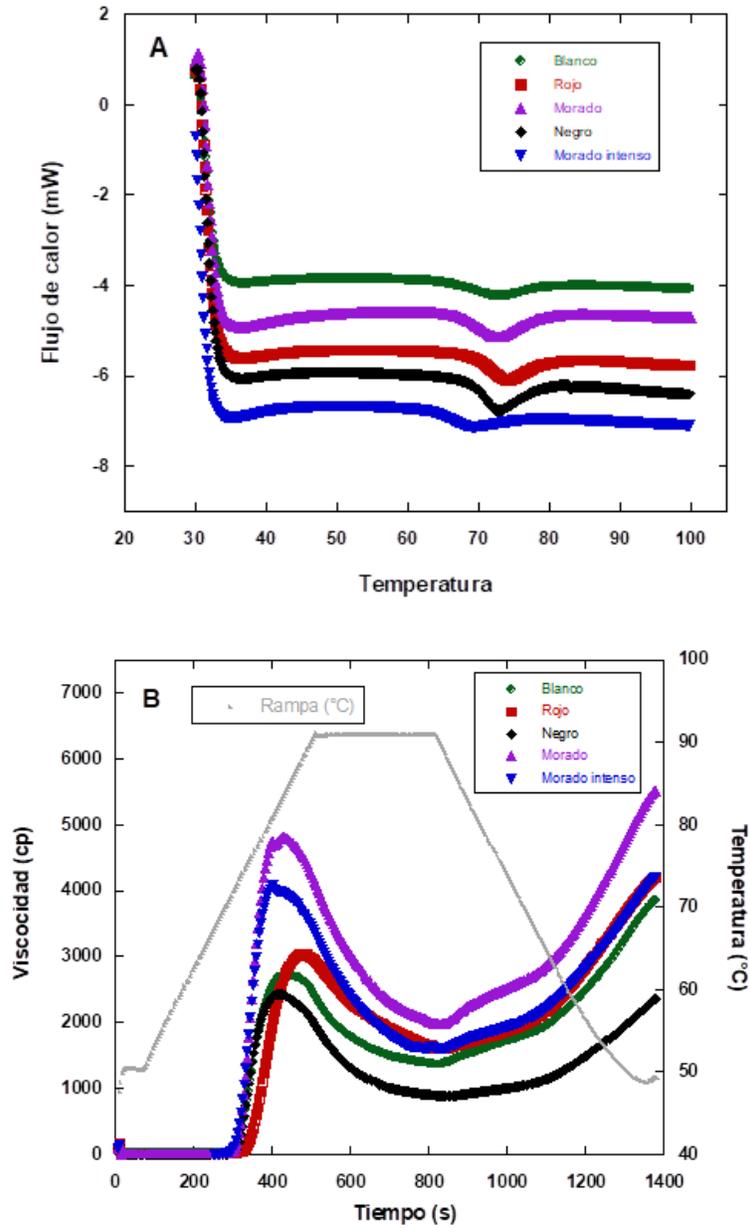


Fig. 4. Propiedades térmicas (A) y de pasta (B) del almidón aislado de los maíces estudiados.
Fig. 4. Thermal (A) and pasting (B) properties of the isolated starch from the studied maize kernels.

Conclusiones

El presente trabajo demuestra el potencial tecnológico de los maíces pigmentados del estado de Guerrero. En este sentido, los maíces de color blanco, rojo y morado mostraron características morfométricas (peso hectolítrico, peso de cien granos y dureza) adecuadas para ser aprovechados en la industria de la masa y la tortilla. Los extractos etanólicos de los maíces negro y morado mostraron una elevada actividad antirradicalaria (DPPH (CI50) < 203 y ABTS (CI50) < 270 $\mu\text{g mL}^{-1}$) y un efecto antiproliferativo significativo (CI50 < 1041 $\mu\text{g mL}^{-1}$) contra la línea celular cancerosa MDA-MB-23. Además, las propiedades térmicas y de pasta sugieren que los maíces pigmentados del estado de Guerrero representan una fuente alternativa de almidón con características atractivas para la industria.

Referencias

- AACCInternational. (2017). *Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists* (11th ed.). American Association of Cereal Chemists.
- Agama-Acevedo, E., De La Rosa, A. P. B., Méndez-Montealvo, G., y Bello-Pérez, L. A. (2008). Physicochemical and biochemical characterization of starch granules isolated of pigmented maize hybrids. *Starch/Staerke*, 60(8), 433–441. <https://doi.org/10.1002/star.200800206>
- Agama-Acevedo, E., Salinas-Moreno, Y., Pacheco-Vargas, G., y Bello-Pérez, 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.
- Balet, S., Guelpa, A., Fox, G., y Manley, M. (2019). Rapid Visco Analyser (RVA) as a Tool for Measuring Starch-Related Physicochemical Properties in Cereals: a Review. *Food Analytical Methods*, 12(10), 2344–2360. <https://doi.org/10.1007/s12161-019-01581-w>
- Bello-Pérez, L. A., Camelo-Mendez, G. A., Agama-Acevedo, E., y Utrilla-Coello, R. G. (2016). Aspectos nutraceuticos de los maíces pigmentados: Digestibilidad de los carbohidratos y antocianinas. *Agrociencia*, 50(8), 1041–1063.
- Cabrera-Soto, M. L., Salinas-Moreno, Y., Velázquez-Cardelas, G. A., y Trujillo, E. E. (2009). Contenido de fenoles solubles e insolubles en las estructuras del grano de maíz y su relación con propiedades físicas. *Agrociencia*, 43(8), 827–839.
- Cázares-Sánchez, E., Chávez-Servia, J. L., Salinas-Moreno, Y., Castillo-González, F., y Ramírez-Vallejo, P. (2015). Variación en la composición del grano entre poblaciones de maíz (*Zea*

- mays L.) nativas de Yucatán, México. *Agrociencia*, 49(1), 15–30.
- Cheetham, N. W. H., y Tao, L. (1998). Variation in crystalline type with amylose content in maize starch granules: An X-ray powder diffraction study. *Carbohydrate Polymers*, 36(4), 277–284. [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(98\)00007-1](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(98)00007-1)
- Chiotelli, E., y Meste, M. Le. (2002). Effect of Small and Large Wheat Starch Granules on Thermomechanical Behavior of Starch. *Cereal Chemistry*, 79(2), 286–293.
- Choi, Y., Jeong, H. S., y Lee, J. (2007). Antioxidant activity of methanolic extracts from some grains consumed in Korea. *Food Chemistry*, 103(1), 130–138. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.08.004>
- CONABIO. (2020). *Razas de maíz de México*. Comisión Nacional Para El Conocimiento y Uso de La Biodiversidad. <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/maices/razas-de-maiz>
- De La Parra, C., Serna Saldivar, S. O., y Liu, R. H. (2007). Effect of processing on the phytochemical profiles and antioxidant activity of corn for production of masa, tortillas, and tortilla chips. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(10), 4177–4183. <https://doi.org/10.1021/jf063487p>
- Del Pozo-Insfrán, D., Brenes, C. H., Serna Saldivar, S. O., y Talcott, S. T. (2006). Polyphenolic and antioxidant content of white and blue corn (*Zea mays* L.) products. *Food Research International*, 39(6), 696–703. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2006.01.014>
- Delegación SADER Guerrero. (2019). *El Maíz en Guerrero un tesoro en la gastronomía*. <https://www.gob.mx/agricultura/guerrero/articulos/el-maiz-en-guerrero-un-tesoro-en-la-gastronomia?idiom=es>
- Escalante-Aburto, A., Ramírez-Wong, B., Torres-Chávez, P. I., Barrón-Hoyos, J. M., Dios, J. De, y Jaime, F.-C. (2013). La nixtamalización y su efecto en el contenido de antocianinas de maíces pigmentados, una revisión. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36(4), 429–437. <https://doi.org/10.35196/rfm.2013.4.429>
- Figueroa-Cárdenas, J. de D., Narváez González, D. E., Sánchez, A. M., Taba, S., Martínez, M. G., Véles Medina, J. J., Sánchez, F. R., y Cuevas, F. A. (2013). Propiedades Físicas Del Grano Y Calidad De Los Grupos Raciales De Maíces Nativos (Criollos) De México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36(SUPPL.3), 305–314. <https://doi.org/10.35196/rfm.2013.3-s3-a.305>
- Gaytan-Martinez, M., Figueroa-Cardenas, J. de D., Reyes-Vega, M. de la L., Morales-Sanchez, E.,

- y Rincon-Sanchez, F. (2013). Maize Landraces Selection for Industrial End-Use Based on Their Added Value. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36(3A), 339–346. <https://doi.org/10.35196/rfm.2013.3-S3-A.339>
- Gebre-Mariam, T., y Schmidt, P. C. (1998). Some physico-chemical properties of dioscorea starch from Ethiopia. *Starch/Staerke*, 50(6), 241–246. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1521-379x\(199806\)50:6<241::aid-star241>3.3.co;2-i](https://doi.org/10.1002/(sici)1521-379x(199806)50:6<241::aid-star241>3.3.co;2-i)
- Geran, R., Greenberg, N., MacDonald, M., Schumacher, A., y Abbott, B. (1972). National Cancer Institute protocols for screening of anticancer compounds. *Cancer Chemother Rep*, 3, 1–103.
- Gómez-Montiel, N. O., Cantú-Almaguer, M. Á., Vázquez-Carrillo, M. G., Castillo-Gonzalez, F., Hernández-Galeno, C. D. Á., Aragón-Cuevas, F., Espinosa-Calderón, A., y Palemón-Alberto, F. (2017). Híbrido varietal HV-240: nueva alternativa de maíz para la montaña baja de Guerrero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(5), 1219. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i5.122>
- Gonzalez, R. J., Torres, R., De Greef, D., Bonaldo, A., Robutti, J., y Borrás, F. (2005). Efecto de la dureza del endospermo del maíz sobre las propiedades de hidratación y cocción. *Archivos Latinoamericanos de Nutricion*, 55(4), 354-360.
- Gregório, B. M., De Souza, D. B., Nascimento, F. A. M., Matta, L., y Fernandes-Santos, C. F. (2016). The Potential Role of Antioxidants in Metabolic Syndrome. *Current Pharmaceutical Design*, 22(7), 859–869. <https://doi.org/10.2174/1381612822666151209152352>
- Herrera-Sotero, M. Y., Cruz-Hernández, C. D., Oliart-Ros, R. M., Chávez-Servia, J. L., Guzmán-Gerónimo, R. I., González-Covarrubias, V., Cruz-Burgos, M., y Rodríguez-Dorantes, M. (2019). Anthocyanins of Blue Corn and Tortilla Arrest Cell Cycle and Induce Apoptosis on Breast and Prostate Cancer Cells. *Nutrition and Cancer*, 0(0), 1–10. <https://doi.org/10.1080/01635581.2019.1654529>
- Herrera-Sotero, M. Y., Cruz-Hernández, C. D., Trujillo-Carretero, C., Rodríguez-Dorantes, M., García-Galindo, H. S., Chávez-Servia, J. L., Oliart-Ros, R. M., y Guzmán-Gerónimo, R. I. (2017). Antioxidant and antiproliferative activity of blue corn and tortilla from native maize. *Chemistry Central Journal*, 11(1), 1–8. <https://doi.org/10.1186/s13065-017-0341-x>
- Hodzic, Z., Pasalic, H., Memisevic, A., Srabovic, M., Saletovic, M., y Poljakovic, M. (2009). The influence of total phenols content on antioxidant capacity in the whole grain extracts. *European Journal of Scientific Research*, 28(3), 471–477.

- Jiménez-Juárez, J., Arámbula-Villa, G., Cruz-Lázaro, E. de la, Aparicio-Trápala, M., Arámbula-Villa, G., La Cruz-Lázaro, E., y Aparicio Trápala, M. (2012). Característica del grano, masa y tortilla producida con diferentes genotipos de maíz del trópico mexicano. *Universidad y Ciencia*, 28(2), 145–152. <https://doi.org/10.19136/era.a28n2.22>
- Kurilich, A. C., y Juvik, J. A. (1999). Quantification of Carotenoid and Tocopherol Antioxidants in *Zea mays*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(5), 1948–1955. <https://doi.org/10.1021/jf981029d>
- Lao, F., y Sigurdson, G. T. (2017). Health Benefits of Purple Corn (*Zea mays* L .) Phenolic Compounds. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(2), 234–246. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12249>
- Lee, J., Durst, R. W., y Wrolstad, R. E. (2005). Determination of Total Monomeric Anthocyanin Pigment Content of Fruit Juices, Beverages, Natural Colorants, and Wines by the pH Differential Method: Collaborative Study. *Journal of AOAC International*, 88(5), 1269–1278. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.05.015>
- Loarca-Piña, G., Neri, M., Figueroa, J. de D., Castaño-Tostado, E., Ramos-Gómez, M., Reynoso, R., y Mendoza, S. (2019). Chemical characterization, antioxidant and antimutagenic evaluations of pigmented corn. *Journal of Food Science and Technology*, 56(7), 3177–3184. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03671-3>
- Lopez-Martinez, L. X., Oliart-Ros, R. M., Valerio-Alfaro, G., Lee, C. H., Parkin, K. L., y Garcia, H. S. (2009). Antioxidant activity, phenolic compounds and anthocyanins content of eighteen strains of Mexican maize. *LWT - Food Science and Technology*, 42(6), 1187–1192. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.10.010>
- Martínez-Martínez, R., Vera-Guzmán, A. M., Chávez-Servia, J. L., Bolaños, E. N. A., Carrillo-Rodríguez, J. C., y Pérez-Herrera, A. (2019). Bioactive compounds and antioxidant activities in pigmented maize landraces. *Interciencia*, 44(9), 549–556.
- Mauricio, R., Figueroa, J. de D., Taba, S., Reyes, M. de la L., Rincón, F., y Mendoza, A. (2004). Tortilla characterization of maize accessions by grain and tortilla quality traits. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 27(3), 213–222.
- Mendoza-Díaz, S., Ortiz-Valerio, M. del C., Castaño-Tostado, E., Figueroa-Cárdenas, J. de D., Reynoso-Camacho, R., Ramos-Gómez, M., Campos-Vega, R., y Loarca-Piña, G. (2012). Antioxidant Capacity and Antimutagenic Activity of Anthocyanin and Carotenoid Extracts

- from Nixtamalized Pigmented Creole Maize Races (*Zea mays* L.). *Plant Foods for Human Nutrition*, 67(4), 442–449. <https://doi.org/10.1007/s11130-012-0326-9>
- Mendoza-Mendoza, C. G., Mendoza-Castillo, M. C., Delgado-Alvarado, A., Castillo-González, F., y Cruz-Izquierdo, T. Á. K.-Y. S. (2017). *Antocianinas totales y parámetros de color en líneas de maíz morado. Revista Fitotecnia Mexicana*, 40(4), 471–479. <https://doi.org/10.35196/rfm.2017.4.471-479>
- Mex, R., Garma, P., Bolívar, N., y Guillén, 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. s
- Moreno, Y. S., Sánchez, G. S., Hernández, D. R., y Lobato, N. R. (2005). Characterization of Anthocyanin Extracts from Maize Kernels. *Journal of Chromatographic Science*, 43(9), 483–487. <https://doi.org/10.1093/chromsci/43.9.483>
- Navarro-Garza, H., Hernández-Flores, M., Castillo-González, F., y Pérez-Olvera, M. A. (2012). Diversidad Y Caracterización De Maíces Criollos. Estudio De Caso En Sistemas De Cultivo En La Costa Chica De Guerrero. *México Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 9(2), 149–165.
- Palemón-Alberto, F., Reyes-García, G., Vargas-Álvarez, D., Damián-Nava, A., Hernández-Castro, E., Juárez-López, P., y Cruz-Lagunas, B. (2017). Rendimiento de maíces cultivados en la región Tierra Caliente, Guerrero, México. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 3(1), 1–7. <https://doi.org/10.30973/aap/2017.3.1/1>
- Ramírez-Reynoso, O., Escobar-Álvarez, J. L., Maldonado-Peralta, M. D. los Á., Rojas-García, A. R., Hernández-Castro, E., y 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>
- Rouf-Shah, T., Prasad, K., y Kumar, P. (2016). Maize-A potential source of human nutrition and health: A review. *Cogent Food & Agriculture*, 2(1), 1–9. <https://doi.org/10.1080/23311932.2016.1166995>
- Salinas-Moreno, Y., y Aguilar-Modesto, L. (2010). Effect of maize (*Zea mays* L.) grain hardness on yield and quality of tortilla. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 2(1), 5–11. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.5154/r.inagbi.2010.08.009>
- Salinas-Moreno, Y., Aragón-Cuevas, F., Ybarra-Moncada, C., Aguilar-Villarreal, J., Altunar-López, B., y Sosa-Montes, y. 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.

Sánchez, J. J., Goodman, M. M., y Stuber, C. W. (2000). Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. *Economic Botany*, 54(1), 43–59.

<https://doi.org/10.1007/bf02866599>

Santiago-Ramos, D., Figueroa-C, J. D. D., y Mariscal-Moreno, R. M. (2017). Changes in the thermal and structural properties of maize starch during nixtamalization and tortilla-making processes as affected by grain hardness. *Journal of Cereal Science*, 74, 72–78.

<https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.01.018>

Thaipong, K., Boonprakob, U., Crosby, K., Cisneros-Zevallos, L., y Hawkins Byrne, D. (2006). Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19(6–7), 669–675.

<https://doi.org/10.1016/j.jfca.2006.01.003>

United States Department of Agriculture [USDA]. (2021). *Grain: world markets and trade*.

<https://www.fas.usda.gov/data/grain-world-markets-and-trade>

Urias-Lugo, D. A., Heredia, J. B., Muy-Rangel, M. D., Valdez-Torres, J. B., Serna-Saldívar, S. O., y Gutiérrez-Uribe, J. A. (2015). Anthocyanins and Phenolic Acids of Hybrid and Native Blue Maize (*Zea mays* L.) Extracts and Their Antiproliferative Activity in Mammary (MCF7), Liver (HepG2), Colon (Caco2 and HT29) and Prostate (PC3) Cancer Cells. *Plant Foods for Human Nutrition*, 70(2), 193–199. <https://doi.org/10.1007/s11130-015-0479-4>

Vázquez-Carrillo, M. G., y Santiago-Ramos, D. (2019). The RVA as a rapid tool to screen maize genotypes for the tortilla-making process in a breeding program. *Journal of Cereal Science*, 86(8), 22–25. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2018.12.021>

Yang, Z., y Zhai, W. (2010). Identification and antioxidant activity of anthocyanins extracted from the seed and cob of purple corn (*Zea mays* L.). *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 11(1), 169–176. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2009.08.012>

Zepeda-Bautista, R., Carballo-Carballo, A., y Hernández-Aguilar, C. (2009). Interacción genotipo-ambiente en la estructura y calidad del nixtamal-tortilla del grano en híbridos de maíz. *Agrociencia*, 43(7), 695–706.

Žilić, S., Serpen, A., Akilloğlu, G., Gökmen, V., y Vančetović, J. (2012). Phenolic compounds, carotenoids, anthocyanins, and antioxidant capacity of colored maize (*Zea mays* L.) kernels. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(5), 1224–1231. <https://doi.org/https://doi.org/10.1021/jf204367z>