

Tortillas de maíz azul fortificadas con soya texturizada: impacto en el contenido proteico y capacidad antioxidante

Fortified blue corn tortillas with texturized soybean: impact on protein content and antioxidant capacity

Liliana León López¹, Barbara Raquel Martínez Valenzuela², Luis Martín Sánchez Magaña¹, Saraid Mora Rochin^{1,2*}, Jesús Aguayo Rojas³, Cuauhtémoc Reyes Moreno^{1,2}, Claudia del Rosario León Sicaños¹

¹ Programa de Posgrado Integral en Biotecnología, Facultad de Ciencias Químico Biológicas (FCQB), Universidad Autónoma de Sinaloa (UAS). Ciudad Universitaria, Culiacán, Sinaloa, C.P. 80030, México.

² Licenciatura en Biotecnología Genómica, FCQB-UAS. Ciudad Universitaria, Culiacán, Sinaloa, C.P. 80030, México.

³ Laboratorio en Química de Alimentos, Universidad Autónoma de Zacatecas, Carretera Zacatecas-Guadalajara Km 6, La Escondida, Zacatecas, Zacatecas, CP.98160. México.

*Autor de correspondencia: smora@uas.edu.mx

Resumen

Palabras clave:

tortillas de maíz azul, soya, proteínas, fenólicos, actividad antioxidante.

El estudio evaluó el impacto nutricional y antioxidante de tortillas de maíz azul fortificadas con 30% de harina de soya texturizada (proporción 70:30). Las determinaciones de composición química, antocianinas, fenólicos y actividad antioxidante total (ORAC y ABTS) se realizaron por triplicado. La fortificación favoreció incrementos significativos del 79% en proteína (11.37 a 20.36%), del 13.8% en cenizas (1.52 a 1.73%), del 32% en fenólicos totales (173.99 a 229.37 mg EAG/100 g) y del 20% en el potencial antioxidante determinado por ORAC (8,376.43 a 10,083.05 $\mu\text{mol ET}/100\text{ g}$) y ABTS (5,746.73 a 6,861.43 $\mu\text{mol ET}/100\text{ g}$), sin afectar la estabilidad de las antocianinas. La fracción fenólica insoluble superó el 84% del total, sugiriendo un potencial efecto prebiótico y antioxidante a nivel del colon. Estos hallazgos confirman que la soya texturizada es una estrategia tecnológica factible para fortificar tortillas tradicionales, ofreciendo una alternativa efectiva para mitigar deficiencias nutricionales y trastornos cardiovasculares.

Abstract

Keywords:

blue corn tortillas, soy, protein, phenolics, antioxidant activity.

The study investigated the impact of enriching blue corn tortillas with 30% textured soy flour (in a 70:30 ratio) on their nutritional and antioxidant properties. Analyses of the chemical composition, including anthocyanins and phenolics, and antioxidant activity were conducted via ORAC and ABTS assays in triplicate. Fortification resulted in significant increases: protein by 79% (from 11.37 to 20.36%), ash by 13.8% (from 1.52 to 1.73%), and total phenolics by 32% (from 173.99 to 229.37 mg GAE/100g). Antioxidant capacity improved by 20%, as shown by ORAC (8,376.43 to 10,083.05 $\mu\text{mol TE}/100\text{g}$) and ABTS (5,746.73 to 6,861.43 $\mu\text{mol TE}/100\text{g}$). Anthocyanin stability remained unaffected. Notably, 84% of phenolics were found in the insoluble fraction, which may help support prebiotic and antioxidant activity in the colon. Overall, the results suggest that incorporating textured soy into regular tortillas is a practical way to enhance nutrition and support heart health.

Recibido: 28 de octubre 2025
Revisado: 20 de diciembre 2025
Aceptado: 30 de diciembre 2025
Publicado: 23 de febrero 2026



Este artículo es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la licencia CC BY-NC-SA 4.0. Para ver una copia de esta licencia visite <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



Introducción

El maíz (*Zea mays* L.), cuyo nombre prehispánico significa “lo que sustenta la vida”, ha sido históricamente el grano básico de la dieta de México y Centroamérica (Kato et al., 2009). Aunque el maíz blanco sigue siendo el más consumido, las variedades pigmentadas han incrementado su aceptación en México y en Estados Unidos debido a sus beneficios funcionales. Numerosos estudios se han enfocado en las variedades azules y moradas, reconocidas por su alto contenido de antocianinas y compuestos fenólicos, responsables de propiedades antioxidantes, antihipertensivas, antimicrobianas, antiinflamatorias y anticancerígenas (Urias-Lugo et al., 2015; Herrera-Sotero et al., 2017; Bon-Padilla et al., 2022; Mora-Rochin et al., 2025). Además, estas variedades presentan un mayor contenido proteico en comparación con los maíces blancos y amarillos (Serna-Saldívar et al., 2011; Mora-Rochin et al., 2016; Herrera-Sotero et al., 2017; Ramos et al., 2024).

La tortilla tradicional, principal forma de consumo del maíz en México y Centroamérica, se obtiene mediante el proceso ancestral de nixtamalización, que induce transformaciones estructurales y bioquímicas favorables en el grano (Santiago-Ramos et al., 2018; Palacios-Pola et al., 2021). Entre ellas destacan la remoción eficiente del pericarpio —fracción rica en polifenoles—, la gelatinización parcial del almidón, el enriquecimiento en calcio y el aumento en la biodisponibilidad de niacina, y de aminoácidos esenciales como la lisina y el triptófano (Bressani et al., 1990; Ortega et al., 1986). No obstante, aunque la calidad biológica de la proteína mejora (elevando su valor biológico del 45% al 75%), el proceso de nixtamalización también conlleva una lixiviación significativa de nutrientes totales hacia el nejayote. Se han reportado pérdidas de proteínas (1-18%), vitaminas (29-46%), minerales (59% en hierro) y compuestos fenólicos (>50%), lo que puede comprometer la calidad nutricional de la tortilla nixtamalizada (Figueroa-Cárdenas et al., 2001; Santiago-Ramos et al., 2018; Astorga-Gaxiola et al., 2025; Félix-Sámano et al., 2025; Sánchez-Magaña et al., 2025). Por otro lado, el contenido neto de lisina y triptófano disminuye entre 32% y 38% debido a la pérdida de las fracciones de albúmina y globulina (Rojas-Molina et al., 2008). Esta degradación nutricional, impide que la tortilla tradicional alcance los requerimientos recomendados por organismos internacionales, manteniendo a estos aminoácidos como factores limitantes (Milán-Carrillo et al., 2006; FAO/OMS, 2007; Sánchez-Magaña et al., 2025).

Ante este déficit, resulta pertinente la fortificación de la tortilla mediante la incorporación de soya texturizada como una estrategia de mejora nutricional altamente eficaz, debido a que la soya es rica en proteína (40–45%), y en los aminoácidos limitantes del maíz (lisina y triptófano) (Nguyen et al., 2023; Tyug-Tang et al., 2023). Este producto es obtenido mediante extrusión termoplástica a partir de harina de soya, concentra-



dos o aislados proteicos (Maung et al., 2020). Una de las principales ventajas de la soya texturizada radica en que, tras su hidratación y preparación, adquiere una textura fibrosa similar a la de la carne de res, pollo o productos del mar, lo que la convierte en un análogo funcional y sensorialmente aceptable de la proteína animal. Aunado a esto, la soya texturizada posee un bajo contenido de lípidos, y junto con su bajo costo de producción, la posiciona como un ingrediente estratégico para el desarrollo de alimentos destinados a poblaciones con limitado acceso a fuentes de proteína de alta calidad biológica (Liu et al., 2023; Nguyen et al., 2023).

En este contexto, resulta pertinente explorar la soya texturizada como una estrategia de mejora nutricional para alimentos de alto consumo cotidiano como es la tortilla. Además, la soya posee un bajo índice glicémico y un aporte significativo de minerales, vitaminas y fibra dietética (Tyug-Tang et al., 2023). Contiene compuestos bioactivos como los fenólicos, siendo las isoflavonas las más abundantes y reconocidas por sus propiedades antioxidantes y su capacidad para actuar como fitoestrógenos (Alves-Macedo et al., 2023). Diversos estudios han señalado que el consumo de 25 g diarios de soya puede contribuir a la prevención de enfermedades crónicas, como ciertos tipos de cáncer, obesidad, diabetes tipo 2, así como a la mitigación de síntomas asociados a la menopausia (Tyug-Tang et al., 2023).

Estudios previos han demostrado que la fortificación de tortillas con derivados de soya, incrementa significativamente el contenido proteico y mejora propiedades reológicas de la masa, lo que resulta en tortillas con mayor suavidad, flexibilidad y capacidad de enrollado, características que se atribuyen a su mayor contenido de humedad derivado de la fortificación (Collins & Sánchez, 1980; Figueroa-Cárdenas et al., 2001; Chuck-Hernández et al., 2015). Sin embargo, la evidencia científica se ha centrado mayoritariamente en maíces blancos, evaluando principalmente la digestibilidad y el perfil de aminoácidos (Acevedo-Pacheco & Serna-Saldívar, 2016). Esta limitación subraya la necesidad de investigar el impacto de la fortificación en variedades pigmentadas, como el maíz azul, que destaca por su potencial nutracéutico debido a su contenido de compuestos bioactivos. En este sentido, el presente estudio tiene como objetivo desarrollar tortillas de maíz azul fortificadas con harina de soya texturizada para lograr una complementación proteica estratégica y evaluar, por primera vez, el impacto de esta adición sobre la capacidad antioxidante del producto final.

Materiales y Métodos

Materiales

El maíz azul híbrido cosecha 2024 del estado de Sinaloa fue adquirido de un supermercado local en la ciudad de Culiacán, Sinaloa, y utilizado como material de estudio.



Después de la colecta, los granos fueron almacenados a temperatura de refrigeración. La soya texturizada de la marca Soi-Yah!, fue adquirida en un mercado local de Culiacán.

Métodos

Proceso tradicional de nixtamalización

El proceso de nixtamalización fue realizado de acuerdo con lo descrito por Mora-Rochin et al. (2010). Granos de maíz azul en lotes de 500 g fueron sometidos a cocción durante 31 min en una solución de cal [5.4 g de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ por L de agua] a 85 °C, utilizando una proporción de 1:3 (peso/volumen), seguida de un reposo de 8 h. Posteriormente, el líquido de cocción o nejayote fue descartado y el nixtamal (maíz cocido en cal) fue lavado tres veces con agua destilada. Finalmente, el grano cocido fue llevado a un proceso de secado a 55 °C durante 12 h, para posteriormente ser molido y obtener una harina fina que pasó por una malla 80 (0.180 mm). Las harinas resultantes fueron almacenadas en bolsas de plástico herméticas a -20 °C hasta su uso.

Para la obtención de harina de soya texturizada, la muestra fue pasada por un molino hasta obtener una harina fina que pasó por malla 80 (0.180 mm). La harina de soya fue almacenada en bolsa de polietileno a -20 °C hasta su uso.

Elaboración de tortillas a partir de harinas de maíz azul nixtamalizado adicionadas con harina de soya

Las tortillas fueron preparadas mezclando 200 g de harina de maíz azul nixtamalizado + harina de soya (en una proporción 70:30) con 200 mL de agua hasta alcanzar una consistencia adecuada para la producción de tortillas. La masa fresca (30 g por tortilla) fue moldeada en forma de disco plano con una máquina manual. Los discos de masa fueron sometidos a procesos de cocción en un comal caliente a 290 ± 10 °C por 27 s de un lado, 30 s en la otra cara. Posteriormente, fueron invertidas otra vez hasta su expansión (Sánchez-Magaña et al., 2025). Asimismo, para hacer comparaciones fue necesario elaborar una tortilla con 100% de harina de maíz azul nixtamalizado o tortilla tradicional (T), utilizando la misma metodología mencionada anteriormente.

Obtención de harinas de tortillas

Las tortillas obtenidas de maíz azul adicionadas con harina de soya texturizada y las tortillas tradicionales fueron enfriadas a temperatura ambiente y posteriormente llevadas a un proceso de secado a 55 °C durante 12 h, para ser sometidas a molienda para la obtención de una harina fina que pasó por malla 80 (0.180 mm). Las harinas fueron guardadas en bolsas de polietileno selladas y almacenadas (4 °C) hasta su utilización.



Composición química proximal

La caracterización de la composición química proximal de las tortillas en estudio fue de acuerdo con los métodos de la AOAC (2005). La humedad (método 925.10) de las harinas fue obtenida por secado de las muestras a 120 °C durante 24 h. El contenido de proteína (método 920.87) fue obtenido utilizando el método micro-Kjeldahl (Nx6.25). Mientras que los lípidos (método 925.39) fueron determinados usando un aparato Soxhlet utilizando éter de petróleo como disolvente. Las cenizas (método 923.03) fueron obtenidas por incineración de las muestras a 550 °C y, finalmente, el contenido de carbohidratos fue calculado por diferencia de todos los parámetros, mientras que el contenido calórico (Kcal) fue calculado con la ecuación 1. Todas las determinaciones fueron expresadas en porcentaje de base seca.

$$\text{Kcal} = [(4 \text{ Kcal} \times \text{g carbohidratos}) + (4 \text{ Kcal} \times \text{g proteína}) + (9 \text{ Kcal} \times \text{g lípidos})] \quad (1)$$

Determinación de antocianinas totales

Para la cuantificación de antocianinas totales fue utilizado el método reportado por Abdel-Aal & Hucl (1999) con ligeras modificaciones. Una muestra de 0.05 g fue homogeneizada con 1 mL de metanol frío acidificado (95% metanol y 1 N HCl, 85:15, v/v). La mezcla fue agitada durante 10 min y centrifugada a 3000 g x 10 min. El sobrenadante fue recolectado para el registro de absorbancia a 535 nm y 700 nm en un lector de microplacas (Synergy HT, Biotek Instrument). El contenido de antocianinas fue expresado como mg equivalentes de cianidina-3-glucósido (ECG) / 100 g en base seca (bs). Para el cálculo de la concentración fue utilizado el coeficiente de extinción molar (ϵ) de 25,965 Abs/M x cm, y un peso molecular (PM) de 449.2 g/mol de acuerdo con la ecuación 2:

$$C = \left[\left(\frac{A_{535 \text{ nm}} - A_{700 \text{ nm}}}{\epsilon} \right) \times (\text{volumen total de extracto}) \times \text{PM} \right] / (\text{peso de la muestra}) \quad (2)$$

Dónde: C: concentración total de antocianina (mg equivalentes de cianidina-3-glucósido por g de muestra) ϵ : absorción molar (cianidina-3-glucósido = 25965 cm⁻¹ M⁻¹) PM: peso molecular de cianidina-3-glucósido (449.2 g/mol)

Determinación de fenólicos solubles e insolubles

La extracción de las fracciones de fenólicos solubles e insolubles fue realizada de acuerdo a lo reportado por Mora-Rochin et al. (2010). Para la obtención de la fracción soluble se añadió 1 g de harina de tortilla a 10 mL de una solución fría de etanol-agua (80:20, v/v) y se agitó durante 10 min. Las muestras fueron centrifugadas



a 2500 g x 10 min. Los sobrenadantes de cada muestra fueron concentrados a un volumen final de 2 mL bajo condiciones de vacío a 45 °C. Los extractos obtenidos fueron almacenados a -20 °C hasta ser analizados.

Para la fracción de fenólicos insolubles fue tomado el residuo o pellet del extracto soluble, el cual fue digerido por 1 h con 10 mL de NaOH 2 mol/L en baño maría a 95 °C durante 30 min, seguido de agitación durante 1 h a temperatura ambiente. La mezcla fue acidificada con HCl, y para la remoción de lípidos de las muestras fue utilizado hexano. El residuo final fue extraído cinco veces con acetato de etilo. Finalmente, las fracciones de acetato de etilo se combinaron y fueron llevadas a sequedad a bajas presiones a 45 °C. Los extractos fenólicos insolubles fueron reconstituidos con 2 mL de metanol al 50% y almacenados a -20 °C hasta su uso. Todas las extracciones fueron realizadas por triplicado.

La cuantificación de fenólicos de cada fracción fue realizada con la técnica colorimétrica de Folin-Ciocalteu descrita por Singleton et al. (1999) con registros de absorbancia a 750 nm en un lector de microplacas (Synergy™ HT Multi-Detection BioTek Inc., Winooski, VT). Los resultados fueron expresados como mg equivalentes de ácido gálico (EAG)/100 g en base seca (bs).

Determinación de la actividad antioxidante

La actividad antioxidante fue determinada por el método de capacidad de absorción de radicales de oxígeno (ORAC, por sus siglas en inglés), usando diluciones adecuadas de los extractos de fenólicos solubles e insolubles en solución amortiguadora de fosfatos 75 mmol/L. En una placa negra de 96 pozos fueron colocados 25 µL de cada dilución y se mezclaron con 150 µL de fluoresceína 0.1 mmol/L. Para inducir la pérdida de la fluoresceína fueron añadidos 25 µL del generador de radicales libres AAPH 200 mmol/L. Después de una incubación por 30 min a 37 °C, la fluorescencia fue registrada cada 2 min por 1 h a 485 nm de excitación y 538 nm de emisión, utilizando un lector de microplacas (Synergy HT Multi-Detection Microplate Reader; Bio Tek Instruments, Inc., Winooski, VT, USA). Los resultados se expresaron como micromol (µmol) equivalentes de Trolox (ET)/100 g de base seca (bs) (Mora-Rochin et al., 2010).

El método del radical ABTS* fue realizado por medio de la oxidación de 2 mM de ABTS con una solución de 2.45 mM de persulfato de potasio durante 12 h. La absorbancia de todas las muestras con el radical ABTS* fue registrada a 734 nm en un lector de microplacas (Synergy HT Multi-Detection Microplate Reader; BioTek Instruments, Inc., Winooski, VT, USA) 6 min posterior a la mezcla inicial (Re et al., 1999). Fue construida una curva estándar de Trolox como control en ambos



ensayos. La capacidad antioxidante fue reportada como μmol equivalentes de Trolox (ET)/100 g en base seca (bs).

Análisis estadístico

Los datos se expresaron como la media $\pm$ desviación estándar. El análisis estadístico y la comparación de medias se realizaron utilizando el paquete estadístico MINITAB (versión 19). Para determinar diferencias significativas entre las dos muestras (TT y TF), se aplicó una prueba t de Student para muestras independientes con un nivel de significancia de 0.05

Resultados y Discusión

Composición química proximal de tortillas de maíz azul

La Tabla 1 muestra la composición química proximal (en %, base seca) de la Tortilla Tradicional (TT) y la Tortilla Fortificada (TF) con harina de soya texturizada. Los resultados demostraron que la TF (20.36 ± 0.26) presenta un contenido proteico 1.8 veces superior al de la TT (11.37 ± 0.37). Esta diferencia fue altamente significativa ($p < 0.0001$), confirmando la efectividad de la soya texturizada como agente de fortificación.

Tabla 1. Resultados de la composición química proximal de tortillas de maíz azul

Tortilla de maíz azul		
Parámetro	Tradicional (TT)	Fortificada (TF)
Proteína	$11.37 \pm 0.37b$	$20.36 \pm 0.26a$
Lípidos	$4.03 \pm 0.10a$	$3.29 \pm 0.044b$
Cenizas	$1.52 \pm 0.05b$	$1.73 \pm 0.05a$
Carbohidratos	$83.06 \pm 0.29a$	$74.62 \pm 0.32b$
Calorías	$414.07 \pm 0.71a$	$409.51 \pm 0.12b$

Las medias fueron separadas por columnas aplicando la prueba de t de Student.

Medias con la misma letra son diferentes ($p < 0.05$).

Los resultados son expresados como porcentaje (%).

TT= Tortilla tradicional; TF= Tortilla fortificada

Fuente: Elaboración propia

Este notable aumento se atribuye directamente a la alta concentración proteica de la soya desgrasada. Wittmann et al. (2024) reportaron que este subproducto de soya texturizada contiene hasta 52.80% de proteína, lo que confirma su eficacia como ingrediente fortificante. Aunque otros estudios han validado el uso de leguminosas, los resultados de la presente investigación superan lo reportado por Sánchez-Magaña et al. (2025), quienes lograron un incremento del 48% al fortificar tortillas con



harina de lenteja, y por Bon-Padilla et al. (2022), quienes reportaron incrementos menores (13.27%) con garbanzo extruido.

Es importante contextualizar que el contenido de proteína de la TT (11.37%) se encuentra dentro del rango reportado por otros autores (9 a 12.9%) para tortillas tradicionales (Astorga-Gaxiola et al., 2023; Salinas-Moreno et al., 2024; Sánchez-Magaña et al., 2025). Sin embargo, es necesario destacar que las variaciones en la proteína de la tortilla tradicional pueden deberse a factores como la variedad de maíz utilizado y las condiciones específicas del proceso de nixtamalización (Astorga-Gaxiola et al., 2023).

La fortificación impactó significativamente otros componentes proximales. El contenido de cenizas mostró un aumento significativo del 13.8% en la TF (1.73 ± 0.05) respecto a la TT (1.52 ± 0.05). Este incremento se justifica por el mayor contenido mineral de la soya (aproximadamente 4.8% de cenizas, según Tyug-Tan et al., 2023), además del calcio residual del proceso de nixtamalización.

En contraparte, la fortificación con soya en la tortilla (TF) disminuyó significativamente ($p < 0.05$) el contenido de lípidos en un 18.36% (3.29 ± 0.04 vs. 4.03 ± 0.10 g/100 g), los carbohidratos en un 10.16% (74.62 ± 0.32 vs. 83.06 ± 0.29 g/100 g) y el aporte calórico en un 1.1% (409.51 ± 0.12 vs. 414.07 ± 0.71 kcal/100 g) en comparación con la tortilla tradicional (Tabla 1). Estos decrementos en la TF se explican, primero, por un efecto de dilución de los carbohidratos ante el notable incremento de los niveles de proteína y cenizas. Segundo, la reducción del aporte lipídico es atribuible al bajo contenido de grasa de la soya texturizada empleada (0.52%, según Wittmann et al., 2024). Estos resultados son consistentes con la literatura, donde se han reportado incrementos en cenizas (7–43%) y disminuciones en lípidos (36%) y carbohidratos (7.52%) al fortificar tortillas con diversas leguminosas (Treviño-Mejía et al., 2016; Bon-Padilla et al., 2022; Sánchez-Magaña et al., 2025).

En este estudio se desarrolló una tortilla con un elevado contenido proteico mediante la incorporación de harina de soya texturizada. Los hallazgos demuestran que esta fortificación representa una alternativa viable, económica y sustentable para enriquecer un alimento básico en la dieta mexicana. Ante las pérdidas de nutrientes críticos (proteínas y vitaminas) derivadas de la lixiviación durante la nixtamalización tradicional (Félix-Sámano et al., 2025; Sánchez-Magaña et al., 2025), la TF no solo compensa dicho déficit, sino que optimiza el perfil de aminoácidos esenciales —específicamente lisina y triptófano— que son naturalmente limitantes en el maíz.

En un contexto global en el que el acceso a proteínas de alta calidad biológica está restringido por los costos de las fuentes animales, esta tortilla fortificada surge como una opción accesible para combatir deficiencias nutricionales. Además de su densidad proteica, su consumo regular podría ofrecer beneficios a largo plazo a la



salud pública, tales como la mejora de la resistencia y rigidez ósea asociada a las propiedades de la proteína de soya (Hinton et al., 2018).

Contenido de fitoquímicos y actividad antioxidante de tortillas de maíz azul

La Tabla 2 presenta el contenido de fitoquímicos en las dos variantes de tortillas evaluadas en este estudio. En cuanto a las antocianinas totales, expresadas como mg equivalentes de cianidina-3-glucósido (C3G) por 100 g de muestra en base seca (bs), se observó que la fortificación con 30% de harina de soya texturizada (TF) no generó diferencias significativas respecto a la tortilla tradicional (TT), con valores de 8.19 ± 0.48 y 8.01 ± 0.83 mg C3G/100 g bs, respectivamente.

Tabla 2. Resultados del contenido de fitoquímicos y actividad antioxidante de tortillas de maíz azul

Parámetro	Tortilla de maíz azul	
	Tradicional (TT)	Fortificada (TF)
Antocianinas Totales ¹	8.01 ± 0.83^a	8.19 ± 0.48^a
Fenólicos ²		
Total	173.99 ± 0.79^b	229.37 ± 9.23^a
Solubles	26.84 ± 1.34^b	39.63 ± 2.39^a
Insolubles	147.15 ± 0.66^b	189.74 ± 7.03^a
ORAC ³		
Total	$8,376.43 \pm 244.14^b$	$10,083.05 \pm 236.2^a$
Soluble	$2,532.06 \pm 176.14^b$	$4,117.28 \pm 84.38^a$
Insoluble	$5,844.4 \pm 414.80^b$	$6,066.54 \pm 140.64^a$
ABTS ³		
Total	$5,746.73 \pm 268.5^b$	$6,861.43 \pm 522.2^a$
Soluble	$1,990.94 \pm 94.9^b$	$2,540.07 \pm 149.2^a$
Insoluble	$3,755.79 \pm 176.4^b$	4321.36 ± 372.9^a

Las medias fueron separadas por columnas aplicando la prueba de t de Student.

Medias con la misma letra son diferentes ($p < 0.05$).

1 mg equivalentes de Cianidina-3-glucósido (EC3G) /100 g en base seca (bs);

2 mg equivalentes de ácido gálico (EAG)/100 g base seca (bs);

3 μ mol equivalentes de Trolox (ET)/100 g base seca

TT= Tortilla tradicional; TF= Tortilla fortificada

Fuente: Elaboración propia

Este hallazgo es relevante desde el punto de vista funcional, ya que las antocianinas son metabolitos secundarios con propiedades antioxidantes ampliamente



reconocidas, además de participar en la modulación del equilibrio inflamatorio (Urias-Lugo et al., 2015; Herrera-Sotero et al., 2017). Numerosos estudios han asociado su consumo con efectos preventivos frente a enfermedades crónicas como ciertos tipos de cáncer, obesidad, diabetes tipo 2, envejecimiento prematuro y patologías cardiovasculares (Gao et al., 2025). En este sentido, resulta favorable que la adición de soya no haya comprometido el contenido de antocianinas en la tortilla fortificada (TF). Cabe destacar que la soya también es fuente de flavonoides, con un aporte estimado de 2.43 mg EQ/100 g (Multescu et al., 2024), lo que contribuye a preservar el perfil antioxidante del producto final.

Estos resultados sugieren que la incorporación de soya texturizada no solo mejora el valor proteico de la tortilla, sino que mantiene su potencial funcional asociado a compuestos bioactivos. Diversos estudios reportan una amplia variación en el contenido de antocianinas en tortillas de maíz azul nixtamalizado (entre 2 y 27.8 mg de C3G/100 g) (Mora-Rochin et al., 2016; Herrera-Sotero et al., 2017; Colín-Chávez et al., 2020; Astorga-Gaxiola et al., 2023, 2025; Sánchez-Magaña et al., 2025). Estos autores coinciden en que las antocianinas —metabolitos secundarios con reconocidas propiedades antioxidantes— sufren una degradación significativa (hasta del 80%) durante la nixtamalización. Esta pérdida se atribuye principalmente a la alta susceptibilidad de estos compuestos fenólicos frente a condiciones inherentes de alta temperatura y pH alcalino durante el proceso tradicional de nixtamalización, al cual es sometido el grano de maíz.

El análisis del contenido de fenólicos totales (suma de las fracciones solubles e insolubles) reveló diferencias significativas entre las muestras, lo cual valida la estrategia de fortificación (Tabla 2). La tortilla tradicional (TI) presentó un valor de 173.99 ± 0.79 mg equivalentes de ácido gálico (EAG)/100 g base seca (bs), mientras que la tortilla fortificada (TF) alcanzó 229.37 ± 9.23 mg EAG/100 g bs. Este aumento del 32% ($p < 0.05$), tras la incorporación de la harina de soya texturizada, confirma a la soya como un potente ingrediente de enriquecimiento. Este incremento se atribuye directamente a la alta concentración de compuestos fenólicos naturales en la soya, la cual se ha reportado con un contenido de 242.06 mg EAG/100 g bs (Multescu et al., 2024). Específicamente, la soya es rica en isoflavonas, las cuales complementan los ácidos fenólicos y las antocianinas predominantes en el maíz azul. Este resultado es consistente con estudios previos que utilizaron leguminosas para enriquecer harinas de maíz nixtamalizado; por ejemplo, la adición de harina de lenteja en tortilla de maíz azul resultó en un incremento comparable del 21.4% en fenoles totales respecto a la versión sin fortificar.



La magnitud de este aumento es crucial, pues implica que la tortilla fortificada no solo posee un mejor perfil proteico, sino que también ofrece un mayor aporte de compuestos bioactivos, fortaleciendo su potencial como alimento funcional para la prevención de enfermedades asociadas al estrés oxidativo. Estos hallazgos refuerzan la eficacia de la fortificación con leguminosas como estrategia para potenciar el contenido de metabolitos bioactivos en productos tradicionales.

El proceso de nixtamalización, caracterizado por condiciones alcalinas ($\text{pH} > 12$), altas temperaturas y prolongados tiempos de reposo, favorece la remoción del pericarpio del grano de maíz, estructura que concentra más del 80% de los compuestos fenólicos. Esta remoción, junto con la lixiviación inducida por el tratamiento térmico-alcalino, ocasiona una disminución significativa ($> 40\%$) en el contenido de fenólicos totales en productos derivados como la tortilla (Mora-Rochin et al., 2010; Santiago-Ramos et al., 2018; Sánchez-Magaña et al., 2025). En este contexto, la fortificación de tortillas con leguminosas, como la soya texturizada, representa una estrategia eficaz para compensar dicha pérdida, al aportar metabolitos secundarios con reconocidas propiedades biológicas. Entre los ácidos fenólicos predominantes en el maíz y sus derivados se encuentran el ferúlico, cafeico y sinápico (Mora-Rochin et al., 2010; Gaxiola-Cuevas et al., 2017), mientras que la soya se distingue por su contenido de isoflavonas, compuestos con actividad antioxidante y capacidad para actuar como fitoestrógenos, asociados a la reducción de síntomas menopáusicos (Alves-Macedo et al., 2023).

En este estudio fueron observados incrementos significativos en las fracciones de fenólicos solubles (47.6%) e insolubles (29%) en la tortilla fortificada (TF) respecto a la tradicional (TT), con valores de 39.63 ± 2.39 y 189.74 ± 7.03 mg EAG/100 g, bs, respectivamente (Tabla 2). Cabe destacar que la fracción insoluble representa más del 84% del contenido total de fenólicos en ambas formulaciones. Esta fracción, aunque no biodisponible en el tracto gastrointestinal superior, alcanza intacta el colon, donde la microbiota intestinal transforma sus estructuras complejas en compuestos de menor peso molecular, favoreciendo su bioaccesibilidad y absorción (Shahidi & Yeo, 2016). Ensayos *in vitro* de fermentación colónica han demostrado que, tras 5 h de incubación, la microbiota humana puede liberar entre 11.74 y 13.4 mg EAG/g bs de compuestos fenólicos ligados en tortillas de maíz azul, los cuales conservan actividad antioxidante (Astorga-Gaxiola et al., 2023, 2025). Estos hallazgos confirman que la adición de soya texturizada no solo enriquece el contenido de fenólicos totales en la tortilla, sino que también potencia sus propiedades nutraceuticas y funcionales.

Los compuestos antioxidantes presentes en alimentos tienen la capacidad de neutralizar especies reactivas de oxígeno (ERO) y radicales libres, contribuyendo a



la prevención de enfermedades degenerativas asociadas al estrés oxidativo. Por ello, evaluar la actividad antioxidante de los compuestos bioactivos es esencial para determinar su calidad funcional y su potencial terapéutico (Roberts & Sindhu, 2009; Multescu et al., 2024).

En esta investigación la capacidad antioxidante de las tortillas fue determinada mediante los métodos químicos ORAC y ABTS, los cuales permiten cuantificar la eficiencia de los extractos en la neutralización de radicales libres (Albarrán-Contreras et al., 2025). Ambas formulaciones mostraron potencial antioxidante relevante; sin embargo, la tortilla fortificada (TF), elaborada con 30% de harina de soya texturizada y 70% de maíz azul nixtamalizado, presentó incrementos significativos ($p < 0.05$) del 20% en ambos métodos: $10,083.05 \pm 236.2$ y $6,861.43 \pm 522.2 \mu\text{mol ET}/100 \text{ g}$, bs, frente a los valores obtenidos en la tortilla tradicional (TT): $8,376.43 \pm 244.14$ y $5,746.73 \pm 268.5 \mu\text{mol ET}/100 \text{ g}$, bs (Tabla 2). El menor potencial antioxidante de la TT se atribuye a la pérdida de la fracción del pericarpio durante el procesamiento, estructura que concentra más del 80% de los compuestos fenólicos y antioxidantes del grano (Mora-Rochin et al., 2010; Astorga-Gaxiola et al., 2025). En contraste, la incorporación de harinas de leguminosas como la soya no solo mejora el perfil proteico, sino que también potencia la actividad antioxidante del producto final. Este efecto puede explicarse por el incremento del 32% en fenólicos totales, así como por la presencia de antocianinas, ácidos fenólicos (especialmente ferúlico) e isoflavonas, todos ellos con propiedades antioxidantes naturales (Gaxiola-Cuevas et al., 2017; Multescu et al., 2024). Estudios previos han reportado incrementos similares en la capacidad antioxidante tras la adición de harinas de leguminosas. Sánchez-Magaña et al. (2025) documentaron aumentos del 82% en tortillas enriquecidas, mientras que Bon-Padilla et al. (2022) y Gámez-Valdez et al. (2021) observaron mejoras significativas al fortificar tortillas de maíz azul con garbanzo y amaranto. En tortillas tradicionales, se han reportado valores de actividad antioxidante en rangos de 10,276 a 6,432 $\mu\text{mol ET}/100 \text{ g}$, según los métodos ORAC y ABTS (Bon-Padilla et al., 2022).

Finalmente, es relevante destacar que la fracción insoluble de fenólicos representa más del 60% del potencial antioxidante medido por ambos métodos, lo que subraya la importancia del consumo de cereales y leguminosas como fuente de compuestos funcionales. Estos fenólicos, unidos a la pared celular por enlaces éster o éter, o asociados a hemicelulosa y lignina (Chateigner-Boutin et al., 2016), no son biodisponibles en el intestino delgado, pero son metabolizados por la microbiota colónica en compuestos bioactivos con efectos antioxidantes y antiinflamatorios localizados, contribuyendo así a la salud intestinal (Astorga-Gaxiola et al., 2023).



Conclusiones

Los resultados obtenidos en este estudio respaldan la viabilidad de incorporar harina de soya texturizada al maíz azul nixtamalizado como estrategia efectiva para elaborar tortillas con propiedades nutricionales y funcionales superiores. Esta formulación permitió incrementar significativamente el contenido de proteína (79%), los compuestos fenólicos totales (32%) y potenciar la actividad antioxidante (20%), preservando la integridad de las antocianinas y otros compuestos bioactivos propios del maíz azul. Estos hallazgos refuerzan la importancia de desarrollar alternativas tecnológicas orientadas a la producción de alimentos funcionales que contribuyan a mejorar la calidad nutricional de la dieta, especialmente en poblaciones con bajo acceso a proteínas de alta calidad y antioxidantes naturales. Ante la escasa literatura sobre la fortificación de maíces pigmentados con soya texturizada, este trabajo establece un precedente para futuros estudios. Se propone como línea de investigación prioritaria el análisis del comportamiento reológico de la masa y la aceptabilidad sensorial, así como la caracterización detallada del perfil de aminoácidos y polifenoles, con el fin de validar el potencial nutracéutico de este producto en modelos biológicos y clínicos.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que la investigación se realizó en ausencia de cualquier relación comercial o financiera que pudiera interpretarse como un potencial conflicto de interés.

Financiamiento

El presente trabajo fue financiado por el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCyT-México), proyecto No. 168279.

Agradecimientos

Colaboración con la RED CITED-INNOPROT (124RT0164)

Referencias

- Abdel-Aal, E. S. M., & Hucl, P. (1999). A rapid method for quantifying total anthocyanins in blue aleurone and purple pericarp wheats. *Cereal Chemistry*, 76(3), 350–354. <http://doi.org/10.1094/CCHEM.1999.76.3.350>
- Acevedo-Pacheco, L., & Serna-Saldívar, S. O. (2016). In vivo protein quality of selected cereal-based staple foods enriched with soybean proteins. *Food & Nutrition Research*, 60, 31382. <http://dx.doi.org/10.3402/fnr.v60.31382>
- Albarrán-Contreras, B. A., Coronado-Cáceres, L. J., Mateos-Díaz, J. C., & Castillo-Herrera, G. A. (2025). Compuestos bioactivos en granos de subutilizados



- de café verde como una ruta para su revalorización. *Enfoques Transdisciplinarios: Ciencia y Sociedad*, 32(2), 81–92. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15851422>
- Alves-Macedo, G., Paiva-Caria, C. R., Menezes-Barbosa, P. P., Rodríguez-Mazine, M., & Gambero, A. (2023). Bioaccessibility evaluation of soymilk isoflavones with biotransformation processing. *Foods*, 12, 3401. <https://doi.org/10.3390/foods12183401>
- Association of Official Analytical Chemists. (2005). *Official Methods of Analysis Methods*. AOAC. <https://www.aoac.org/official-methods-of-analysis/>
- Astorga-Gaxiola, A. H., Reyes-Moreno, C., Jiménez-Edeza, M., Cuevas-Rodríguez, E. O., & Mora-Rochin, S. (2025). Effect of traditional nixtamalization and extrusion process on bioaccessibility and antioxidant activity of phenolic compounds in blue maize tortillas during *in vitro* fermentation by human colonic microbiota. *Biotechnia*, 27, 1–11. <http://doi.org/10.18633/biotechnia.v27.2520>
- Astorga-Gaxiola, A. H., Reyes-Moreno, C., Milán-Carrillo, J., Jiménez-Edeza, M., Cuevas-Rodríguez, E. O., Castañeda-Ruelas, G. M., & Mora-Rochin, S. (2023). Release of phenolic compounds with antioxidant activity by human colonic microbiota after *in vitro* fermentation of traditional white and blue maize tortillas. *International Food Research Journal*, 30(1), 240–251. <https://doi.org/10.47836/ifrj.30.1.20>
- Bon-Padilla, B. K., Reyes-Moreno, C., Milán-Carrillo, J., Reynoso-Camacho, R., Gómez-Aldapa, C. A., Gómez-Favela, M. A., & Gutiérrez-Dorado, R. (2022). Tortillas made from nixtamalized maize and extruded chickpea flours: A product with improved *in vitro* nutritional and antihypertensive properties. *Cereal Chemistry*, 99, 1154–1165. <https://doi.org/10.1002/cche.10577>
- Bressani, R., Benavides, V., Acevedo, E., & Ortiz, M. A. (1990). Changes in selected nutrient contents and in protein quality of common and quality-protein maize during rural tortilla preparation. *Cereal Chemistry*, 67(6), 515–518. https://www.cerealsgrains.org/publications/cc/backissues/1990/Documents/67_515.pdf
- Chateigner-Boutin, A. L., Ordaz-Ortiz, J. J., Alvarado, C., Bouchet, B., Durand, S., Verhertbruggen, Y., Barriere, Y., & Saulnier, L. (2016). Developing pericarp of maize: a model to study arabinoxylan synthesis and feruloylation. *Frontiers Plant Science*, 7, 1–20. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01476>
- Chuck-Hernández, C., Pérez-Carrillo, E., Soria-Hernández, C., & Serna-Saldívar, S. O. (2015). Functionality and organoleptic properties of maize tortillas enriched with five different soybean proteins. *Cereal Chemistry*, 92, 341–349. <https://doi.org/10.1094/CCHEM-07-14-0154-R>
- Colín-Chávez, C., Virgen-Ortiz, J. J., Serrano-Rubio, L. E., Martínez-Téllez, M. A., & Astier, M. (2020). Comparison of nutritional properties and bioactive compounds



- between industrial and artisan fresh tortillas from maize landraces. *Current Research in Food Science*, 3, 189–194. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2020.05.004>
- Collins, J. L., & Sánchez, J. F. (1980). Quality parameters of tortillas fortified with soy and cheese. *Journal of Food Science*, 45, 667–679. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1980.tb04127.x>
- Félix-Sámano, A. L., Félix-Medina, J. V., Quintero-Soto, M. F., Díaz-Peña, I., & Gutiérrez-Dorado, R. (2025). Nixtamalization and extrusion processes: effects on physicochemical, nutritional, and nutraceutical properties in the processing of corn into tortilla. *International Journal of Food Science*, 1, 6961009, 1–16. <https://doi.org/10.1155/ijfo/6961009>
- Figueroa-Cárdenas, J. D., Acero-Godínez, M. G., Vasco-Méndez, N. L., Lozano-Guzmán, A., Flores-Acosta, L. M., & González-Hernández, J. (2001). Fortificación y evaluación de tortillas de nixtamal. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 5(3), 293–302. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222001000300013&lng=es&nrm=iso
- Food and Agriculture Organization of the United Nations, World Health Organization & United Nations University. (2007). *Protein and amino acid requirements in human nutrition : report of a joint FAO/WHO/UNU expert consultation*. World Health Organization. World Health Organization. <https://iris.who.int/handle/10665/43411>
- Gámez-Valdez, L. C., Gutiérrez-Dorado, R., Gómez-Aldapa, C., Perales-Sánchez, J. X. K., Milán-Carrillo, J., Cuevas-Rodríguez, E. O., Mora-Rochín, S., & Reyes-Moreno, C. (2021). Effect of the extruded amaranth flour addition on the nutritional, nutraceutical, and sensory quality of tortillas produced from extruded creole blue maize flour. *Biotechnia*, 23(2), 103–112. <https://doi.org/10.18633/biotechnia.v23i2.1385>
- Gao, F., Yang, P., Wang, W., Wang, K., Zhao, L., Wang, Y., & Liao, X. (2025). Unveiling the multifaceted roles of anthocyanins: A review of their bioavailability, impacts on gut and system health, and industrial implications. *Current Research in Food Science*, 11, 101137. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2025.101137>
- Gaxiola-Cuevas, N., Mora-Rochín, S., Cuevas-Rodríguez, E. O., León-López, L., Reyes-Moreno, C., Montoya-Rodríguez, A., & Milán-Carrillo, J. (2017). Phenolic acids profiles and cellular antioxidant activity in tortillas produced from Mexican maize landrace processed by nixtamalization and lime extrusion cooking. *Plant Foods for Human Nutrition*, 72, 314–320. <https://doi.org/10.1007/s11130-017-0624-3>
- 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., &



- Guzmán-Gerónimo, R. I. (2017). Antioxidant and antiproliferative activity of blue corn and tortilla from native maize. *Chemistry Central Journal*, 11, 110. <http://doi:10.1186/s13065-017-0341-x>
- Hinton, P.S., Ortinau, L. C., Dirkes, R. K., Shaw, E. L., Richard, M. W., Zidon, T. Z., Britton, S. L., Koch, L. G., & Vieira-Potter, V. J. (2018). Soy protein improves tibial whole-bone and tissue-level biomechanical properties in ovariectomized and ovary-intact, low-fit female rats. *Bone Reports*, 8, 244–254. <https://doi.org/10.1016/j.bonr.2018.05.002>
- Kato, T., Mapes, C., Mera, L., Serratos, J. & Bye, R. (2009). Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Liu, Y., Huang, Z. H., Hu, Z. X., Yu, Z., & An, H. Z. (2023). Texture and rehydration properties of texturised soy protein: analysis based on soybean 7S and 11S proteins. *International Journal of Food Science and Technology*, 58(1), 323–333. <https://doi.org/10.1111/ijfs.15787>
- Maung, T. T., Gu, B. Y., Kim, M. H., & Ryu, G. H. (2020). Fermentation of texturized vegetable proteins extruded at different moisture contents: effect on physicochemical, structural, and microbial properties. *Food Science and Biotechnology*, 29(7), 897–907. <https://doi.org/10.1007/s10068-020-00737-3>
- Milán-Carrillo, J., Gutiérrez-Dorado, R., Perales-Sánchez, J. K. K., Cuevas-Rodríguez, E. O., Ramírez-Wong, B., & Reyes-Moreno, C. (2006). The optimization of the extrusion process when using maize flour with a modified amino acid profile for making tortillas. *International Journal of Food Science & Technology*, 41(7), 727–736. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.00997.x>
- Mora-Rochin, S., Gutiérrez-Urbe, J. A., Serna-Saldívar, S. O., Sánchez-Peña, P., Reyes-Moreno, C., & Milán-Carrillo, J. (2010). Phenolic content and antioxidant activity of tortillas produced from pigmented maize processed by conventional nixtamalization or extrusion cooking. *Journal of Cereal Science*, 52(3), 502–508. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2010.08.010>
- Mora-Rochin, S., Gaxiola-Cuevas, N., Gutiérrez-Urbe, J. A., Milán-Carrillo, J., Milán-Noris, E. M., Reyes-Moreno, C., Serna-Saldivar, S.O., & Cuevas-Rodríguez, E. O. (2016). Effect of traditional nixtamalization on anthocyanin content and profile in Mexican blue maize (*Zea mays* L.) landraces. *LWT-Food Science and Technology*, 68, 563–569. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.01.009>.
- Mora-Rochin, S., Meza-López, G. S., León-López, L., León-Sicarios, C. R., Reyes-Moreno, C., & Sánchez-Magaña, L. M. (2025). Effect of microwave cooking and solid-state fermentation on nutritional antioxidant, and antiparasitic properties of blue maize. *Revista Bio Ciencias*, 12, 1–18. <https://doi.org/10.15741/revbio.12.e1700>



- Multescu, M., Culetu, A., & Susman, E. (2024). Screening of the nutritional properties, bioactive components, and antioxidant properties in legumes. *Foods*, 13, 3528. <https://doi.org/10.3390/foods13223528>
- Nguyen, N. T. M., Vu, V. T. T., & Dao, P. N. T. (2023). Formulation and structural properties of textured vegetable proteins balls using polydextrose. *Chemical Engineering Transactions*, 106, 733–738. <http://doi:10.3303/CET23106123>
- Ortega, E. I., Villegas, E., & Vasal, S. K. (1986). A comparative study of protein changes in normal and quality protein maize during tortilla making. *Cereal Chemistry*, 63(5), 446-451. https://www.cerealsgrains.org/publications/cc/backissues/1986/Documents/chem63_446.pdf
- Palacios-Pola, G., Perales-Rivera, H., Figueroa-Cárdenas, J. D., & Hernández-Estrada, Z. J. (2021). Changes in the physical, chemical, and sensory properties from three native corn landraces from Chiapas using two nixtamalization times. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 25, 100373. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2021.100373>
- Ramos, D. M. H., Herrera, S. 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>
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M. & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26, 1231–1237. [http://doi:10.1016/s0891-5849\(98\)00315-3](http://doi:10.1016/s0891-5849(98)00315-3).
- Roberts, C. K., & Sindhu, K. K. (2009). Oxidative stress and metabolic syndrome. *Life Sciences*, 84(21–22), 705–712. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2009.02.026>.
- Rojas-Molina, I., Gutiérrez, E., Cortés-Acevedo, M. E., Falcón, A., Bressani, R., Rojas, A., Ibarra, C., Pons-Hernández, J. L., Guzmán-Maldonado, S. H., Cornejo-Villegas, A., & Rodríguez, M. E. (2008). Analysis of quality protein changes in nixtamalized QPM flours as a function of the steeping time. *Cereal Chemistry*, 85, 409-416. <http://dx.doi.org/10.1094/CCEM-85-3-0409>
- Salinas-Moreno, Y., Gálvez-Mariscal, A., Severiano-Pérez, P., Vázquez-Carrillo, G., & Trejo-Téllez, L. L. (2024). Flavor and TASTE attributes and nutritional insights of maize tortillas from landraces of Mexican races. *Heliyon*, 10(7), e28314. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28314>
- Sánchez-Magaña, L. M., Rodríguez-Heráldez, D. A., Mora-Rochin, S., León-López, L., Reyes-Moreno, C., Domínguez-Arispuro, D. M., & Cuevas-Rodríguez, E. O. (2025). Effect of the lentil flour addition on the nutritional content and



- polyphenols of tortillas from blue maize. *Revista Bio Ciencias*, 12, 1–22, e1701. <https://doi.org/10.15741/revbio.12.nesp.e1701>
- Santiago-Ramos, D., Figueroa-Cárdenas, J. D., Mariscal-Moreno, R. M., Escalante-Aburto, A., Ponce-García, N., & Véles-Medina, J. J. (2018). Physical and chemical changes undergone by pericarp and endosperm during corn nixtamalization. A review. *Journal of Cereal Science*, 81, 108–117. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2018.04.003>
- Serna-Saldívar S O, S García Lara, J A Gutiérrez Uribe (2011) Perfil fitoquímico y propiedades nutraceuticas de maíces pigmentados y sus tortillas. En R. E. Preciado Ortiz, S. Montes Hernández (eds), *Amplitud, Mejoramiento, Usos y Riesgos de la Diversidad Genética de Maíz en México* (pp. 75-96). Sociedad Mexicana de Fitogenética AC.
- Shahidi, F. & Yeo, J. (2016). Insoluble-bound phenolics in food. *Molecules*, 21(9), 1216–1235. <https://doi.org/10.3390/molecules21091216>
- Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu Reagent. *Methods in Enzymology*, 299, 152–178. [http://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](http://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1)
- Treviño-Mejía, D., Luna-Vital, D. A., Gaytán-Martínez, M., Mendoza, S., & Loarca-Piña, G. (2016). Fortification of commercial nixtamalized maize (*Zea mays* L.) with common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) increased the nutritional and nutraceutical content of tortillas without modifying sensory properties. *Journal of Food Quality*, 39, 569–579. <https://doi:10.1111/jfq.12251>
- Tyug-Tan, S., Shin-Tan, S., & Xuan-Tan, C. (2023). Soy protein, bioactive peptides, and isoflavones: a review of their safety and health benefits. *Pharma Nutrition*, 25, 100352. <https://doi.org/10.1016/j.phanu.2023.100352>
- Urias-Lugo, D., Heredia, J., Muy-Rangel, M., Valdez-Torres, J., Serna-Saldívar, S., & Gutiérrez-Urbe, J. (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 (Caco 2 and HT29) and prostate (PC3) cancer cells. *Plant Food for Human Nutrition*, 70(2), 193–199. <http://doi:10.1007/s11130-015-0479-4>
- Wittmann, G., Silva-Duarte, L., Záchia-Ayud, M. A., & Misturini-Rossi, D. (2024). Reducing washout of proteins from defatted soybean flakes by alkaline extraction: fractioning and characterization. *Sustainability*, 16, 6238. <https://doi.org/10.3390/su16146238>