REVISTA BIO CIENCIAS
http://revistabiociencias.uan.edu.mx
https://doi.org/10.15741/revbio.12.nesp.e1701
ISSN 2007-3380

Artículo original / Original article

Efecto de la adición de harina de lenteja en el contenido nutricional y polifenoles en tortillas de maíz azul

Effect of the lentil flour addition on the nutritional content and polyphenols of tortillas from blue maize

Sánchez-Magaña, L.M.[1], *Rodríguez-Heráldez, D.A.*[1], *Mora-Rochin, S.*[1,2*], *León-López, L.*[1,2], *Reyes-Moreno, C.*[1,2], *Domínguez-Arispuro, D.M.*[1], *Cuevas-Rodríguez, E.O.*[1,2]

[1] *Programa de Posgrado Integral en Biotecnología. Facultad de Ciencias Químico Biológicas. Universidad Autónoma de Sinaloa. Boulevard de las Américas y Josefa Ortiz de Domínguez, S/N, Culiacán. C.P. 80040, Sinaloa, México.*

[2] *Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Facultad de Ciencias Químico-Biológicas, Universidad Autónoma de Sinaloa. Josefa Ortiz de Domínguez, Ciudad Universitaria S/N, C.P. 80040. Culiacán Rosales, Sinaloa, México.*

Please cite this article as/Como citar este artículo: 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(nesp): 4to Congreso Internacional Sobre Inocuidad y Calidad Alimentaria (ANICA), e1701. https://doi.org/10.15741/revbio.12.nesp.e1701

Article Info/Información del artículo
Received/Recibido: October 09th 2024.
Accepted/Aceptado: March 26th 2025.
Available on line/Publicado: Abril 28th 2025.

RESUMEN

El consumo de tortilla se ha expandido a través del mundo. El maíz azul ha ganado popularidad debido a su mayor aporte proteico y color característico proporcionado por antocianinas. La transformación de maíz a tortilla disminuye componentes nutricionales y polifenoles. El objetivo de esta investigación fue elaborar una tortilla funcional (FT) a base de maíz azul y lenteja, para incrementar proteínas y polifenoles respecto a la tortilla tradicional (CT). La FT fue elaborada en una relación 70:30 (harina de maíz azul nixtamalizado: harina de lenteja). Se evaluó calidad sensorial, composición química, color, antocianinas, polifenoles y actividad antioxidante. El contenido de proteínas y cenizas incrementó 48 % y 7 %, respectivamente, en FT con respecto a CT. El color fue más claro en FT, con incrementos en L* (67.8 y 59.7) y disminuciones en ΔE (29.08 y 38.74) ($p < 0.05$). Asimismo, polifenoles totales y actividad antioxidante fue mayor ($p < 0.05$) en FT (168.1 mg GAE/100 g, db y 6,223.7 µmol TE/100 g, db), con incrementos del 21.4 y 82 %, respectivamente, con relación a CT. La FT servirá como un vehículo nutricional con características sensoriales aceptables para un mayor aporte de proteínas y compuestos bioactivos con propiedades antioxidantes.

PALABRAS CLAVE: Tortilla, maíz azul, lenteja, proteína, polifenoles, actividad antioxidante.

***Corresponding Author:**

Saraid Mora-Rochin. Facultad de Ciencias Químico Biológicas. Universidad Autónoma de Sinaloa. Boulevard de las Américas y Josefa Ortiz de Domínguez, S/N, Culiacán. C.P. 80040, Sinaloa, México. Teléfono: (667) 713 7860. e-mail: smora@uas.edu.mx

https://revistabiociencias.uan.edu.mx
Revista Bio Ciencias
ISSN 2007-3380
Memorias del 4° Congreso Internacional Sobre Inocuidad y Calidad Alimentaria
ISSN 2007-3380

ABSTRACT

Tortilla consumption has been disseminated throughout the world. Blue maize has gained popularity due to its higher protein content and distinctive color provided by anthocyanins. The transformation of maize into tortillas reduces nutritional components and polyphenols. The objective of this research was to elaborate a functional tortilla based on blue maize and lentils (FT), which would increase protein and polyphenols compared to traditional tortilla (CT). The FT was made with a 70:30 ratio (nixtamalized blue maize flour: lentil flour). Sensory quality, chemical composition, color, anthocyanins, polyphenols, and antioxidant activity were evaluated. Protein and ashes increased by 48 % and 7 %, in FT compared to CT, respectively. The color was lighter in FT, confirmed with increases in L* (67.8 and 59.7) and decreases in ΔE (29.08 and 38.74) ($p < 0.05$). Likewise, the total polyphenols and antioxidant activity were higher ($p < 0.05$) in FT (168.1 mg GAE/100 g, db and 6,223.7 µmol TE/100 g, db), with increases of 21.4 and 82 %, compared to CT. FT will serve as a nutritional vehicle with acceptable sensorial qualities, allowing a more excellent supply of proteins and bioactive compounds with antioxidant properties.

KEY WORDS: Tortilla, blue maize, lentil, protein, polyphenols, antioxidant activity.

Introducción

La tortilla de maíz (*Zea mays* L.) es popular en todo el mundo, pero su principal consumo es en México y Centroamerica, donde es considerada un alimento básico en algunos países. La tortilla es fuente de proteína, fibra y calcio, así como también de polifenoles con propiedades antioxidantes (Mora-Rochin *et al*., 2019; Domínguez-Hernández *et al*., 2022). En México se tiene un consumo diario aproximado por persona de 155 a 217 g en las zonas urbana y rural (Salinas-Moreno *et al*., 2024). Asimismo, otro tipo de productos elaborados a partir de maíz (totopos, tostadas, tamales, y nixtamal) son también ampliamente consumidos (Mora-Rochin *et al*., 2019).

Actualmente algunas líneas de investigación consideran a los maíces pigmentados como fuente de biodiversidad genotípica y fenotípica en exploración (Hidalgo-Ramos *et al*., 2024; Salinas-Moreno *et al*., 2024). Sin embargo, el maíz azul ha ganado popularidad entre los comensales debido a que posee un sabor diferente al maíz blanco y un color más atractivo, el cual es atribuido a la presencia de antocianinas, metabolitos secundarios con propiedades antioxidantes (química y celular), antiinflamatorias, anticancerígenas, entre otras (Gaxiola-Cuevas *et al*., 2017; Herrera-Sotero *et al*., 2017; Domínguez-Hernández *et al*., 2022; Gutiérrez-Llanos *et al*., 2023; Hidalgo-Ramos *et al*., 2024).

https://revistabiociencias.uan.edu.mx
Revista Bio Ciencias
ISSN 2007-3380
Memorias del 4° Congreso Internacional Sobre Inocuidad y Calidad Alimentaria
ISSN 2007-3380

El proceso tradicional de nixtamalización es usado para la producción de masa y tortillas, principalmente. Durante este proceso, el grano de maíz es sometido a cocción en presencia de álcali ($Ca(OH)_2$) y alta temperatura, seguido de largos tiempos de reposo. Estas condiciones de cocción ocasionan la disminución de compuestos lábiles ante las altas temperaturas y pH alcalino. Asimismo, durante este proceso ocurre lixiviación de aminoácidos, vitaminas, minerales y polifenoles con propiedades antioxidantes hacia el licor de cocción. Además, la fracción del pericarpio, la cual es rica en polifenoles, vitaminas y fibra, es hidrolizada durante el proceso, dando como resultado una harina nixtamalizada que dará origen a productos a base de maíz con un déficit nutrimental y compuestos bioactivos (Mora-Rochin *et al*., 2010; Astorga-Gaxiola *et al*., 2023).

Lo anterior ha llevado a la búsqueda de mejoras a la tortilla mediante fortificación o enriquecimiento con otros granos o ingredientes para incrementar la calidad nutricional, como es la adición de frijol común (Treviño-Mejía *et al*., 2016), jatrofa (Argüello-García *et al*., 2017), soya (Chuck-Hernández & Serna-Saldívar, 2019), soya germinada (Inyang *et al*., 2019), harina de aguacate y nopal (Rodiles-López *et al*., 2019), amaranto extrudido (Gámez-Valdez *et al*., 2021), y garbanzo extrudido (Bon-Padilla *et al*., 2022). La fortificación de la tortilla con estos ingredientes, ha mostrado efectividad para incrementar su aporte nutricional al mejorar el contenido de proteína, aminoácidos esenciales y fibra dietaria, además de incrementar el contenido de polifenoles, y actividad antioxidante. Asimismo, estos autores han demostrado que mejora el potencial antihipertensivo e hipoglucemiante, así como la capacidad de disminuir los niveles de colesterol LDL en estudios *in vivo*. Esto demuestra que los atributos nutricionales y propiedades funcionales de los alimentos pueden ser mejorados a través de la combinación de matrices alimentarias.

En México, otros de los granos de mayor consumo son las leguminosas, las cuales se caracterizan por ser fuente importante de proteínas, vitaminas y compuestos bioactivos. La lenteja es una leguminosa con alto contenido de fibra, incluso mayor que el frijol y garbanzo, y posee bajo contenido de lípidos, y bajo índice glicémico (Brummer *et al*., 2015; Joshi *et al*., 2017; Shrestha *et al*., 2023). La proteína de lenteja es fuente importante de aminoácidos esenciales, en particular leucina, lisina, treonina y fenilalanina, pero es deficiente en los aminoácidos azufrados, metionina y cisteína. Por otro lado, las proteínas de cereales son fuente de metionina, pero bajas en lisina. Por lo tanto, una combinación de lenteja y maíz proporciona un perfil proteico completo de todos los aminoácidos esenciales (Samaranayaka & Khazaei, 2024). Además de su aporte nutricional, la lenteja posee alto contenido de fenoles, flavonoides y taninos condensados, compuestos relacionados con la reducción del daño oxidativo, el cual está asociado con diferentes enfermedades, cardiovasculares, diabetes, cáncer, entre otras (Yeo & Shahidi, 2017; Pathiraja *et al*., 2023).

Por lo anterior, la lenteja es una alternativa prometedora como ingrediente para la fortificación de tortillas de maíz, con la finalidad de producir tortillas funcionales, cuyo consumo podría beneficiar a poblaciones que tengan dietas nutricionalmente deficientes, y disminuir el desarrollo de enfermedades de malnutrición como anemia, obesidad y/o sobrepeso (Gámez-Valdez *et al*., 2021), además de ser un vehículo para aumentar la ingesta de compuestos con propiedades antioxidantes. El objetivo de la presente investigación fue elaborar una tortilla

funcional con alto valor proteico y contenido polifenólico incrementado a partir de harina de maíz azul nixtamalizado y harina de lenteja.

Materiales y Métodos

Se utilizaron granos de maíz azul y lenteja cosechados en el año 2022 en Sinaloa, México. A los granos se les retiró materia orgánica e inorgánica extraña, y fueron almacenados en lotes de 500 g a temperatura de refrigeración (5 a 10 ºC) hasta su utilización.

Elaboración de harinas

La harina de maíz azul nixtamalizado fue obtenida de acuerdo con lo indicado por Mora-Rochin *et al*. (2010). Los granos de maíz azul fueron sometidos a cocción (85 ºC por 30 min) en medio alcalino [5.4 g $Ca(OH)_2$/L] manteniendo una relación grano/agua de cocción de 1:3. Los granos junto con el licor de cocción se dejaron en reposo durante 8 h. Posteriormente, los granos fueron lavados con agua suficiente para la remoción de cal. El nixtamal obtenido fue deshidratado por 12 h a 55 °C, y molido hasta lograr obtener una harina fina que pasara por una malla No. 80 (0.180 mm). La harina de maíz azul nixtamalizado fue almacenada en refrigeración hasta su uso posterior.

Para la obtención de harina de granos de lenteja, los granos fueron triturados en un molino de martillos hasta obtener una harina fina que fue posteriormente tamizada a través de una malla No. 80 (0.180 mm). La harina se guardó en bolsa de polietileno y se almacenó en refrigeración hasta su utilización.

Elaboración de tortillas

Las tortillas funcionales (FT) fueron preparadas utilizando 500 g de harina, en una proporción 70:30 (harina de maíz azul nixtamalizado: harina de lenteja), la cual fue adicionada con suficiente agua hasta alcanzar una consistencia adecuada para la producción de tortillas. La masa obtenida fue dividida en fracciones de 30 g para ser moldeadas en forma de círculo utilizando una prensa manual. Los discos formados fueron colocados en un comal para realizar la cocción a 290 ± 10 °C por 27 s de un lado, y 30 s en la parte posterior. Las tortillas fueron invertidas otra vez hasta lograr su expansión o inflado (Mora-Rochin *et al*., 2010). Asimismo, con fines comparativos, se prepararon las tortillas control (CT), elaboradas con 100 % de harina de maíz azul nixtamalizado, utilizando la misma metodología empleada para elaborar las FT.

Evaluación de la calidad y sensorial de la tortilla

El grado de inflado de las tortillas fue evaluado de forma subjetiva, utilizando una escala del 1 al 3, donde 1 (30 %) = poco o nulo inflado; 2 (30-70 %) = inflado medio, y 3 (70-100 %) = inflado completo. La prueba de rolabilidad, fue evaluada 30 min después de la cocción, donde fue observado el grado de fractura en la superficie de la tortilla (0 al 100 %) de acuerdo a una

https://revistabiociencias.uan.edu.mx
Revista Bio Ciencias
ISSN 2007-3380
Memorias del 4° Congreso Internacional Sobre Inocuidad y Calidad Alimentaria
ISSN 2007-3380

escala del 1 al 5, donde 1 = 0 %, 2 = 25 %, 3 = 50 %, 4 = 75 %, y 5 = 100 %, estas pruebas fueron realizadas en 30 tortillas. Para la prueba sensorial, se utilizaron muestras en forma de cuadros a 45 °C, las cuales fueron proporcionadas a 100 consumidores con una edad promedio de 18 a 35 años. Los consumidores evaluaron características de color, sabor, textura, y aceptabilidad general, utilizando una escala hedónica categoría-9, donde 1 = desagrada extremadamente y 9 = agrada extremadamente (Gámez-Valdez *et al*., 2021). Finalmente, las tortillas fueron enfriadas a temperatura ambiente, para posteriormente ser secadas a 55 °C durante 12 h, y procesadas en un molino hasta obtener una harina fina, y almacenadas a -20 °C hasta ser utilizadas.

Composición química proximal

La composición química de los granos y tortillas de maíz azul adicionada con harina de lenteja (FT) y las tortillas control (CT) fue determinada siguiendo el protocolo de la AOAC, 2005 (Association of Official Analytical Chemist, por sus siglas en inglés). A las muestras en estudio se les determinó humedad por el método de secado a 105 °C por 24 h. El contenido de proteína fue determinado por el método de micro-Kjeldahl (N x 6.25), mientras que para la determinación de lípidos fue utilizado un equipo Soxhlet y éter de petróleo como solvente. Para la determinación de cenizas, las muestras fueron incineradas a 550 °C. El contenido de carbohidratos fue calculado como diferencia entre 100 y la suma de las otros componentes. Todas las determinaciones fueron realizadas por triplicado.

Color

Para la evaluación del color en los granos y tortillas en estudio fue utilizada la metodología indicada por Gutiérrez-Llanos *et al*. (2023), con ligeras adecuaciones. Para este ensayo fue utilizado un colorímetro Minolta Chroma-meter mod CR-210 (Minolta LTD, Japón) con el sistema CieL*a*b*. Para esta determinación fueron tomados 100 g de harina de maíz azul nixtamalizado, lenteja y/o tortilla (FT y CT), y colocados en una caja Petri de 15 cm de diámetro, y fueron registrados los valores de los parámetros de **L***, **a*** y **b***. La determinación fue realizada por triplicado.

Antocianinas totales

El contenido de antocianinas totales se determinó acorde al método indicado por Abdel-Aal & Hucl (1999) y Mora-Rochin *et al*. (2016). Las muestras (maíz, lenteja, y/o tortillas) fueron extraídas con metanol frío acidificado (95 % metanol y 1 N HCl, 85:15, v/v). La mezcla fue centrifugada a 3000 x *g* por 10 min y el sobrenadante fue recolectado. La absorbancia de los extractos fue registrada a 535 y 700 nm (corrección de turbidez) en un lector de microplatos (Synergy HT, Bio-Tek Instrument, Inc., Winooski VT, USA). La concentración (*C*) de antocianinas fue expresada como mg equivalentes de cianidina 3-glucósido (CGE)/ 100 g en base seca (db). Para realizar el cálculo fue utilizado el coeficiente molar de extinción (ε) de 25,965 Abs/M x cm, y una masa molecular (MW) de 449.2 g/mol, donde fue usada la siguiente ecuación:

$$C = \left[\left(\frac{A_{535\,nm} - A_{700\,nm}}{\varepsilon}\right) x\,(volumen\ total\ de\ extracto)\,x\,MW\right] /(peso\ de\ la\ muestra)$$

https://revistabiociencias.uan.edu.mx
Revista Bio Ciencias
ISSN 2007-3380
Memorias del 4° Congreso Internacional Sobre Inocuidad y Calidad Alimentaria
ISSN 2007-3380

Extracción de polifenoles solubles e insolubles

Para la extracción de estas fracciones, fue utilizado el método indicado por Mora-Rochin *et al*. (2010). Una muestra de 1 g de harina (maíz, lenteja, y/o tortillas) fue homogeneizada con 10 mL de etanol frío (80 %) y puesta en agitación por 10 min. La mezcla fue centrifugada a 2500 *g* por 10 min, y el sobrenadante fue recuperado y puesto a sequedad, para posteriormente ser resuspendido en un volumen de 2 mL. El extracto fue almacenado a -20 °C hasta ser utilizado.

El residuo o pellet fue digerido utilizando NaOH 2 mol/L a 90 °C por 30 min, y puesto en agitación a temperatura ambiente por 1 h. La mezcla fue acidificada con HCl concentrado y agitada nuevamente por 30 min. Los lípidos de la muestra fueron removidos utilizando hexano, y los polifenoles fueron recuperados de la mezcla de reacción mediante cinco lavados con acetato de etilo. La fracción final de acetato fue evaporada a 45 °C y bajas presiones, utilizando un concentrador (Speed Vac Concentrator, Thermo Electron Corporation). Finalmente, el residuo fue reconstituido con 2 mL de metanol al 50 %. Los extractos fueron obtenidos por triplicado y almacenados a -20 °C hasta su utilización.

Determinación de polifenoles totales

El contenido de polifenoles solubles e insolubles fue determinado acorde al método colorimétrico de Folin-Ciocalteu, indicado por Singleton *et al*. (1999). En una placa de 96 pozos fueron agregados 20 µL del extracto apropiado, y oxidados con 180 µL del reactivo de Folin-Ciocalteu. La reacción se neutralizó con 50 µL de Na_2CO_3 al 7 %. La mezcla de reacción fue incubada al abrigo de la luz por 90 min. La absorbancia fue registrada a 750 nm en un lector de microplatos (Synergy HT, Biotek Instrument). El contenido de polifenoles fue expresado como miligramos equivalentes de ácido gálico (mg GAE)/100 g, base seca (db). El contenido de polifenoles totales fue calculado como la suma de las fracciones solubles e insolubles.

Determinación de la actividad antioxidante

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

https://revistabiociencias.uan.edu.mx
Revista Bio Ciencias
ISSN 2007-3380
Memorias del 4° Congreso Internacional Sobre Inocuidad y Calidad Alimentaria
ISSN 2007-3380

Análisis estadístico

Los datos fueron expresados como la media ± desviación estándar. El análisis estadístico y comparación de medias fue realizado con el paquete estadístico MINITAB versión 19. El análisis estadístico fue realizado con la Prueba *t* de Student para medias de dos muestras emparejadas con un α de 0.05.

Resultados y Discusión

Caracterización de granos

Composición química proximal

La composición química proximal de los granos utilizados fue expresada en porcentaje en base seca (%, db) (Tabla 1). La composición química encontrada en este estudio es similar a la obtenida por otros autores para el grano de lenteja, donde se reporta un contenido de proteína del 25.8 %, cenizas 2.2 %, lípidos 1.1 % y carbohidratos 60.1 % (Urbano *et al*., 2007; Aslani *et al*., 2015; Gasinski & Kawa-Rygielska, 2022; Shrestha *et al*., 2023). Mientras que, en grano de maíz, Ramírez-Jiménez *et al*. (2023) reportó valores de 8.68, 4.43 y 1.20 %, para proteína, lípidos y cenizas, respectivamente, valores que resultan ligeramente diferentes a los encontrados en este estudio. Estas diferencias podrían ser atribuidas a la variedad de grano usada y las condiciones climáticas donde los granos fueron cultivados (Domínguez-Hernández *et al*., 2022).

Es destacable que el grano de lenteja presenta contenido de proteína (25.3 ± 0.68 %) y cenizas (2.4 ± 0.07 %) superior ($p < 0.05$) al grano de maíz azul. En contraste, el contenido de lípidos y carbohidratos es menor ($p < 0.05$) en lenteja con respecto al maíz (Tabla 1). El grano de lenteja es fuente importante de proteína (22-26 %, db), asimismo, contiene vitaminas, minerales y fibra dietaria (Pathiraja *et al*., 2023). Por otro lado, se ha reportado que el contenido de lípidos y ácidos grasos-trans es bajo en comparación con otras leguminosas, como garbanzo, chícharo, lupino y frijol (Halima *et al*., 2022). Por todos estos atributos nutricionales que presenta el grano de lenteja, es necesario incrementar su consumo, así como utilizarla como un ingrediente alternativo en la fortificación de productos básicos en la dieta de los mexicanos, como es la tortilla de maíz.

https://revistabiociencias.uan.edu.mx
Revista Bio Ciencias
ISSN 2007-3380
Memorias del 4° Congreso Internacional Sobre Inocuidad y Calidad Alimentaria
ISSN 2007-3380

Tabla 1. Características químicas, color y contenido de fitoquímicos de granos de maíz y lenteja

Parámetro / Característica	Maíz azul	Lenteja
Composición nutrimental[1]		
Proteínas	9.08 ± 0.094[b]	25.3 ± 0.68[a]
Lípidos	3.90 ± 0.08[a]	0.8 ± 0.05[b]
Cenizas	1.62 ± 0.001[b]	2.4 ± 0.07[a]
Carbohidratos	85.32 ± 0.16[a]	71.4 ± 0.67[b]
Color		
L*	57.74 ± 0.26[b]	68.4 ±1.2[a]
a*	5.31 ± 0.01[a]	-1.3 ±0.0[b]
b*	1.82 ± 0.15[b]	21.6 ±0.4[a]
ΔE	39.02 ± 0.3[a]	36.0 ±0.8[a]
Fitoquímicos		
Antocianinas totales[2]	20.74 ± 1.43	ND
Polifenoles totales[3]	230.2 ± 11.7[a]	189.3 ± 2.9[b]
Solubles	61.4 ± 5.5[a]	61.2 ± 4.5[a]
Insolubles	168.8 ± 12.6[a]	128.1 ± 1.9[b]

Datos son expresados como la media ± desviación estándar. Letras diferentes dentro de la misma fila son diferentes ($p < 0.05$). [1] Valores expresados como porcentaje en base seca (db). [2] mg equivalentes de cianidina-3-glucosido (CGE)/100 g, db. [3] mg equivalentes de ácido gálico (GAE)/100 g, db. ND= no detectado

Color

En los granos utilizados, fue observado que el parámetro L* (coordenada acromática de luminosidad) fue mayor ($p < 0.05$) en el grano de lenteja (68.4 ± 1.2) con respecto al grano de maíz azul (57.7 ± 0.26). Asimismo, el ΔE fue menor en lenteja (36 ± 0.8), indicando una mayor claridad. En grano de maíz, las variables a* y b* mostraron valores positivos (5.31 ± 0.01 y 1.82 ± 0.15) indicando tonos rojos y amarillos, mientras que, en lenteja, a* negativa (-1.31 ± 0.0) es indicativo de tonos verdes, y b* (21.6 ± 0.4) positiva, tonalidades amarillas. Los valores en grano de lenteja coinciden con lo reportado por Erdogan (2015), en las variables L*, a* y b* (71, 0.72 y 17). Mientras que en grano de maíz azul Cetin-Babaoğlu *et al*. (2021) reportó valores de 47.12, 10.64 y 6.81, respectivamente, en las mismas variables. Las diferencias encontradas con respecto al tono de los granos, pudieran ser debido a los diferentes genotipos utilizados.

https://revistabiociencias.uan.edu.mx
Revista Bio Ciencias
ISSN 2007-3380
Memorias del 4° Congreso Internacional Sobre Inocuidad y Calidad Alimentaria
ISSN 2007-3380

Fitoquímicos

Las antocianinas, son metabolitos secundarios que proporcionan la coloración azul al grano de maíz azul y sus productos. Su contenido fue expresado como miligramos equivalentes de Cianidina-3-glucósido en base seca (mg CGE/100 g, db). En la Tabla 1 se indica que el grano de maíz azul posee una concentración de 20.74 ± 1.43 mg CGE/100 g, db, mientras que en los granos de lenteja no fueron detectados. El contenido de antocianinas puede variar dependiendo del genotipo de maíz utilizado, así como época del año de cosecha, entre otros factores que pueden afectar la concentración de estos metabolitos secundarios (Hidalgo-Ramos *et al*., 2024). En un estudio realizado por Hidalgo-Ramos *et al*. (2024) con 300 genotipos de maíces pigmentados, los autores encontraron variaciones en el contenido de antocianinas en rangos que oscilan de 24.8 a 31.7 mg CGE/100 g, db. Otros estudios realizados por Herrera-Sotero *et al*. (2017) en grano de maíz azul reportaron valores de 70.50 mg CGE/100 g, db.

El contenido de polifenoles totales fue mayor ($p < 0.05$) en el grano de maíz azul (230 ± 11.7 GAE/100 g, db) con respecto al grano de lenteja (189.3 ± 2.9 mg GAE/100 g, db) ($p < 0.05$). Asimismo, la fracción de polifenoles insolubles fue mayor en maíz (168.8 ± 12.6 GAE/100 g, db) con respecto al grano de lenteja (128.1 ± 1.9 mg GAE/100 g, db) ($p < 0.05$) (Tabla 1). La fracción insoluble representa el 73 y 67 %, respectivamente, de los polifenoles totales en el grano de maíz y lenteja, además, es importante destacar que los polifenoles insolubles son los que aportan la mayor actividad antioxidante total (Adom & Liu, 2002).

Herrera-Sotero *et al*. (2017) reportaron un contenido de polifenoles totales de 287.3 mg GAE/100 g, db, en maíz azul, valor que resulta cercano al encontrado en el presente estudio. Mientras que, Gaxiola-Cuevas *et al*. (2017) reportó 41.2 mg GAE/100 g, db en la fracción soluble en grano de maíz azul. Por otro lado, Manco *et al*. (2023) determinaron la concentración de polifenoles en 5 variedades de lenteja, estos autores encontraron valores que oscilaron entre 416 a 220 mg GAE/100 g, db, valores superiores a lo indicado en este estudio. Sin embargo, el contenido de polifenoles puede ser afectado por factores genotípicos y por las condiciones ambientales de cultivo.

Actividad antioxidante

La actividad antioxidante total (suma de las fracciones de polifenoles solubles e insolubles) fue mayor ($p < 0.05$) para el grano de lenteja (9,536.7 ± 614.4 µmol TE/100 g, db) con respecto al grano de maíz (9,272.3 ± 554.6 µmol TE/100 g, db) (Figura 1). Manco *et al*. (2023) evaluaron esta propiedad por el método de ORAC en 5 variedades de lenteja, indicando un rango de 500 a 15,000 µmol TE/100 g, db. Herrera-Sotero *et al*. (2017) encontró en grano de maíz azul 4,900 µmol TE/100 g, db de actividad antioxidante.

De las fracciones evaluadas para la determinación de la actividad antioxidante total en maíz y lenteja, la insoluble mostró la mayor actividad en maíz (7,698.03 ± 278.7 µmol TE/100 g,

db) comparado con 6,208.4 ± 391.1 µmol TE/100 g, db, en lenteja ($p < 0.05$) (Figura 1). En un estudio realizado por Adom & Liu (2002), evaluaron el contenido de polifenoles en la fracción soluble e insoluble en diferentes granos de cereales. Estos autores mencionaron que el grano de maíz contiene más del 80 % de polifenoles en la fracción insoluble o ligada (procedente del pericarpio y/o capa de aleurona), asimismo, concluyeron que, del total de la actividad antioxidante en maíz, la fracción insoluble representa el mayor aporte.

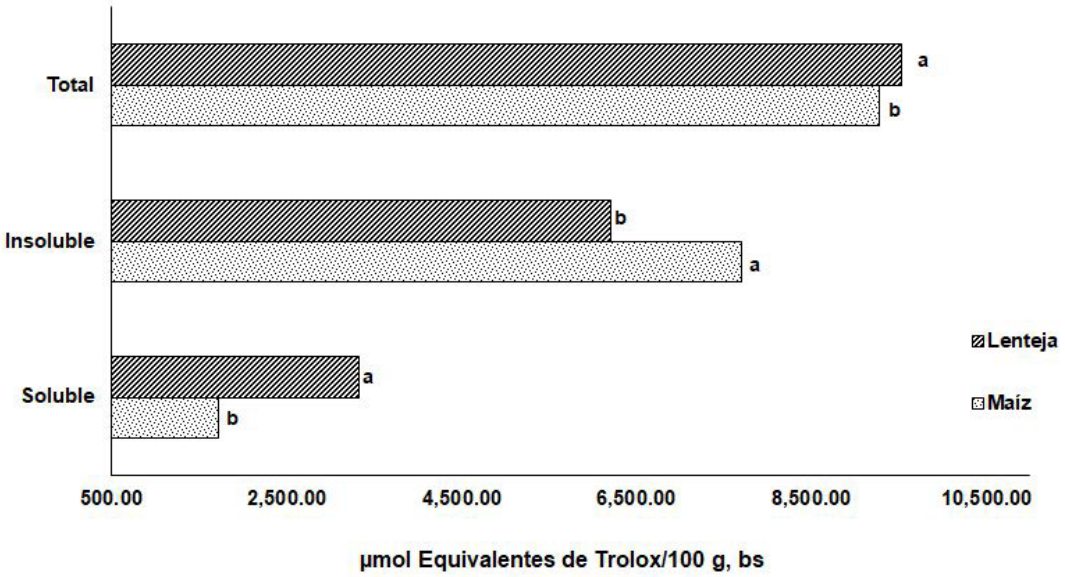

Figura 1. Actividad antioxidante de granos de maíz y lenteja.

Medias con una misma letra no son significativamente diferentes ($p < 0.05$)

Caracterización de tortillas

Características de calidad y sensorial

La calidad de la tortilla evaluada con las características de inflado y rolabilidad puede ser observada en la Tabla 2. Durante la cocción de la tortilla, el agua contenida en la masa es evaporada, ocasionando el inflado o ampolla (Salinas-Moreno *et al*., 2011). La tortilla control (CT) elaborada con 100 % de maíz azul nixtamalizado, y la tortilla funcional (FT), elaborada con 30 % de harina de lenteja y 70 % harina de maíz azul nixtamalizado, no mostraron diferencias ($p > 0.05$) en el inflado (2.8 ± 0.40 y 2.63 ± 0.49). De acuerdo con la escala usada, ambas tortillas mostraron un inflado mayor al 70 %. Bon-Padilla *et al*. (2022), elaboraron una tortilla con una mezcla de harina de maíz nixtamalizado y garbanzo extrudido, estos autores no encontraron diferencias significativas en el inflado con respecto a la tortilla control.

https://revistabiociencias.uan.edu.mx
Revista Bio Ciencias
ISSN 2007-3380
Memorias del 4° Congreso Internacional Sobre Inocuidad y Calidad Alimentaria
ISSN 2007-3380

Por otro lado, fueron observadas diferencias significativas ($p < 0.05$) en el grado de rolabilidad de las tortillas en estudio, donde la CT (1.83 ± 0.37) mostró el menor valor promedio (menor fractura) con respecto a la FT (2.03 ± 0.18). De acuerdo con los resultados obtenidos, la adición de harina de lenteja ocasiona un incremento del 25 % de fractura con respecto a la CT. Esta característica en las tortillas está relacionada con la flexibilidad de las mismas, así como la facilidad para formar un taco sin que ocurra fractura (Salinas-Moreno *et al*., 2011).

Los resultados de las características sensoriales evaluados mostraron que FT mostró una aceptabilidad general de 8.52 ± 1.9 comparada con 8.6 ± 1.75 de CT ($p > 0.05$). El promedio obtenido en ambas tortillas corresponde a una descripción de que las tortillas "gustan mucho". La aceptabilidad de un producto alimenticio por parte de los consumidores está relacionada con atributos de color, sabor y textura. Durante la evaluación del color (8.84 ± 1.12 y 8.76 ± 1.37), sabor (8.52 ± 1.90 y 8.04 ± 2.6), y textura (8.6 ± 1.75 y 8.12 ± 2.5) no fueron observadas diferencias significativas ($p > 0.05$) entre CT y FT por parte de los consumidores (Tabla 2). De acuerdo con los atributos de calidad y sensoriales evaluados, es posible la incorporación de un 30 % de harina de lenteja para la elaboración de una tortilla fortificada o funcional de maíz azul nixtamalizado. Esta proporción de leguminosa adicionada es aceptada por los consumidores de tortillas.

Tabla 2. Características de calidad y sensorial de tortillas control y funcional

Parámetro / Característica	Tortilla control	Tortilla funcional
Calidad		
Inflado[1]	2.8 ± 0.40[a]	2.63 ± 0.49[a]
Rolabilidad[2]	1.83 ± 0.37[b]	2.03 ± 0.18[a]
Sensorial		
Aceptabilidad general[3]	8.6 ± 1.75[a]	8.52 ±1.9[a]
Color[3]	8.84 ± 1.12[a]	8.76 ± 1.37[a]
Sabor[3]	8.52 ± 1.90[a]	8.04 ± 2.6[a]
Textura[3]	8.6 ± 1.75[a]	8.12 ± 2.5[a]

Datos son expresados como la media ± desviación estándar. Letras diferentes dentro de la misma fila son diferentes ($p < 0.05$). [1] Escala subjetiva donde 1 = 30 %, 2 = 30-70 % y 3 = 70-100 %. [2] Escala subjetiva de fractura donde 1 = 0 %, 2 = 25 %, 3= 50 %, 4 = 75 % y 5 = 100 %. [3] Grado de agrado/desagrado, acorde a una escala hedónica categoría-9 (1 = desagrada extremadamente, y 9 = agrada extremadamente).

Otras investigaciones se han enfocado en la elaboración de tortillas fortificadas, como es tortilla adicionada con harina de avena (Cortes-Soriano *et al*., 2016), frijol común (Treviño-Mejía *et al*., 2016), jatrofa (Argüello-García *et al*., 2017), soya germinada (Inyang *et al*., 2019), aguacate y nopal (Rodiles-López *et al*., 2019), amaranto (Gámez-Valdez *et al*., 2021), y garbanzo (Bon-Padilla *et al*., 2022), lo que resulta de importancia la presente investigación como otra alternativa

de tortilla de maíz fortificada con harina de lenteja con mayor aporte de nutrientes.

Los estudios relacionados con fortificación de tortillas de maíz utilizando harinas de cereales, pseudocereales, leguminosas, y/o oleaginosas hasta el momento, reportan que estas harinas y/o ingredientes son obtenidos por diferentes procesos y/o tecnologías, como es la cocción por extrusión, germinación, secado, harinas desgrasadas, entre otros (Inyang *et al*., 2019; Rodiles-López *et al*., 2019; Gámez-Valdez *et al*., 2021; Bon-Padilla *et al*., 2022). Estos ingredientes pudieran tener un costo más elevado por los equipos utilizados, o por el tiempo invertido para su obtención. Sin embargo, a la fecha no se tienen reportes de la fortificación de una tortilla de maíz azul adicionada con harina de lenteja obtenida solamente por molienda, técnica que puede ser realizada de manera tradicional, y que no generaría un costo excesivo, incluso podrían emplearse granos quebrados que son de bajo valor comercial.

Composición química proximal

En la Tabla 3 se observa la composición química proximal expresada en porcentaje en base seca (%, db) de la tortilla control (CT) y tortilla funcional (FT) o adicionada con harina de lenteja. La CT mostró un contenido de proteína del 11.53 ± 0.04 %, mientras que en FT se encontró un incremento significativo del 48 % en este parámetro (17.07 ± 0.99 %) como resultado de la adición de harina de lenteja. El contenido de proteína en FT de esta investigación fue mayor al reportado por Bon-Padilla *et al*. (2022) en tortilla fortificada con garbanzo extrudido (13.27 %) y por Treviño-Mejía *et al*. (2016) en tortilla de maíz adicionada con frijol común (10.89 %). El principal objetivo de este estudio fue incrementar el contenido de proteína con respecto a la tortilla tradicional, lo cual se logró al adicionar harina de lenteja para la elaboración de la FT.

En otros estudios en tortilla de maíz azul, autores como Colín-Chávez *et al*. (2020) y Astorga-Gaxiola *et al*. (2023) reportaron valores menores de proteína (9.45 y 9.20 %, respectivamente), mientras que en la presente investigación el contenido de proteína en la CT fue superior (11.53 ± 0.04 %) a lo reportado por estos autores. Es importante mencionar que las diferencias encontradas pudieran ser atribuidas a los diferentes genotipos de maíz utilizados, así como a las diferentes condiciones del proceso de nixtamalización.

El contenido de cenizas en la FT (1.80 ± 0.13 %) incrementó ($p < 0.05$) 7 % con respecto a la CT (1.68 ± 0.02 %) (Tabla 3). Este incremento significativo es atribuido a que el grano de lenteja representa mayor contenido de cenizas comparado con el grano de maíz azul (Tabla 1). Sin embargo, fue observado que el contenido de carbohidratos disminuyó ($p < 0.05$) el 7.5 % en la FT. Esta disminución significativa en carbohidratos en la FT puede ser atribuida al efecto de la adición de harina de lenteja, que generó un incremento en proteínas y cenizas. Sin embargo, en el contenido de lípidos, no fueron observadas diferencias significativas en las tortillas en estudio (Tabla 3).

Al igual que en el presente estudio, se han elaborado tortillas adicionadas con otras leguminosas. Treviño-Mejía *et al*. (2016) elaboraron una tortilla de maíz adicionada con frijol común. Los autores reportaron incrementos significativos en proteína (10.89 comparado con 9.43 %), cenizas (1.81 comparado con 1.26 %), y disminuciones en lípidos (6.45 comparado con

https://revistabiociencias.uan.edu.mx
Revista Bio Ciencias
ISSN 2007-3380l
Memorias del 4° Congreso Internacional Sobre Inocuidad y Calidad Alimentaria
ISSN 2007-3380

4.13 %), con respecto a la tortilla sin adicionar. Asimismo, Bon-Padilla *et al*. (2022) observaron que, al adicionar garbanzo extrudido para elaborar una tortilla fortificada, se incrementó el contenido de proteína (13.27 comparado con 8.88 %), lípidos (3.18 comparado con 2.50 %), y cenizas (2.37 comparado con 2.10 %), con respecto a la tortilla normal o sin adicionar. Por otro lado, la adición de pseudocereales como harina de amaranto, y chía, en harina de maíz para elaborar tortillas fortificadas, favorece el incremento en proteína y fibra dietaria (León-López *et al*., 2019; Gámez-Váldez *et al*., 2021).

Tabla 3. Características químicas, color y contenido de fitoquímicos de tortillas control y funcional

Parámetro / Característica	Tortilla control (CT)	Tortilla funcional (FT)
Composición nutrimental[1]		
Proteínas	11.53 ± 0.04^{b}	17.07 ± 0.99^{a}
Lípidos	4.44 ± 0.11^{a}	4.38 ± 0.03^{a}
Cenizas	1.68 ± 0.02^{b}	1.80 ± 0.13^{a}
Carbohidratos	82.4 ± 0.07^{a}	76.2 ± 0.31^{b}
Color		
L*	59.7 ± 0.6^{b}	67.8 ± 0.8^{a}
a*	3.4 ± 0.08^{a}	1.23 ± 0.04^{b}
b*	1.7 ± 0.05^{b}	6.9 ± 0.01^{a}
ΔE	38.74 ±1.0^{a}	29.08 ± 0.7^{b}
Fitoquímicos		
Antocianinas totales[2]	12.37 ± 0.34^{a}	9.99 ± 0.69^{b}
Polifenoles totales[3]	138.5 ± 7.8^{b}	168.1 ± 6.0^{a}
Solubles	63.8 ± 4.5^{a}	63.7 ± 2.8^{a}
Insolubles	74.7 ± 3.0^{b}	104.4 ± 4.2^{a}

Datos son expresados como la media ± desviación estándar. Letras diferentes dentro de la misma fila son diferentes ($p < 0.05$). [1] Valores expresados como porcentaje en base seca (db). [2] mg equivalentes de cianidina-3-glucósido (CGE)/100 g, db. [3] mg equivalentes de ácido gálico (GAE)/100 g, db.

Los resultados obtenidos en el presente estudio sugieren que la FT (tortilla adicionada con harina de lenteja) pudiera ser una alternativa para cubrir deficiencias nutricionales de la tortilla tradicional. Por lo anterior, la presente investigación constituye un avance importante para la

población mexicana vulnerable, donde el consumo de alimentos con alto contenido de proteína es escaso. La adición de una leguminosa de bajo costo, como es la lenteja, para fortificar un alimento básico como la tortilla, representa una alternativa para disminuir enfermedades relacionadas con una alimentación deficiente. Sin embargo, resulta importante realizar estudios a futuro que determinen el contenido de aminoácidos esenciales después de la fortificación de la tortilla con harina de lenteja.

Color

El consumo de tortilla de maíz azul es cada vez más frecuente, sin embargo, en el centro de México su consumo está más arraigado, debido a que los consumidores relacionan al grano de maíz azul como un grano nativo o ancestral, así como también prefieren la tortilla azul por los beneficios en la salud que aportan las antocianinas, compuestos que otorgan el color al grano de maíz (Gutiérrez-Llanos *et al*., 2023; Hidalgo-Ramos *et al*., 2024).

La transformación del grano de maíz a tortilla ocasionó un incremento en el parámetro "L*" (57.74 ± 0.26 comparado con 59.7 ± 0.6) (Tabla 1 y 3). Este incremento en la luminosidad ocasionó que la tortilla fuera más clara con respecto al grano de maíz. El proceso tradicional de nixtamalización al cual es sometido el grano para elaborar harinas nixtamalizadas, ocurren pérdidas superiores al 50 % de antocianinas (Mora-Rochin *et al*., 2016). Estas pérdidas están relacionadas por las condiciones utilizadas durante la cocción del grano, como son pH alcalino (>10) y altas temperaturas (85-90 ºC), condiciones que afectan la estabilidad y estructura de las antocianinas y, por lo tanto, el color del producto final, en este caso la tortilla (Herrera-Sotero *et al*., 2016; Mora-Rochin *et al*., 2016).

La adición de harina de lenteja para elaborar la FT favoreció un incremento ($p < 0.05$) en el parámetro de luminosidad (L*=67.8 ± 0.8), indicativo de una tortilla más clara, y un decremento ($p < 0.05$) en la diferencia total de color, representada como ΔE (29.08 ± 0.7) con respecto a la CT (L=59.7 ± 0.6 y ΔE= 38.74 ±1.0) (Tabla 3). Estos cambios significativos en los parámetros L* y ΔE en la FT con respecto a la tortilla tradicional o CT, pudiera ser atribuidos a la mayor claridad que tiene el grano de lenteja con respecto al grano de maíz azul, donde se puede corroborar que una mayor claridad se representa con un alto valor en la luminosidad (L*) y un menor valor en la diferencia total de color (ΔE) (L*=68.4 ±1.2 y 57.74 ± 0.26, ΔE = 39.02 ± 0.3 y 36.0 ± 0.8) (Tabla 1).

Fitoquímicos

La transformación del grano de maíz a CT disminuyó 40 % el contenido de antocianinas. Estos metabolitos secundarios son sensibles a factores como pH alcalino y altas temperaturas (condiciones utilizadas durante la cocción del grano de maíz y cocción de la tortilla), generando estructuras incoloras (Mora-Rochin *et al*., 2016; Gutiérrez-Llanos *et al*., 2023). En un estudio realizado por Mora-Rochin *et al*. (2016) con 15 genotipos de maíz azul, se mostró que el proceso de nixtamalización generó disminuciones significativas mayores al 70 % en el contenido de antocianinas.

https://revistabiociencias.uan.edu.mx
Revista Bio Ciencias
ISSN 2007-3380
Memorias del 4° Congreso Internacional Sobre Inocuidad y Calidad Alimentaria
ISSN 2007-3380

En la FT el contenido de antocianinas (9.99 mg CGE/100 g, db) representa la menor (p < 0.05) concentración comparado con la CT (12.37 mg CGE/100 g, db) (Tabla 3). Esta disminución significativa con respecto a la CT pudiera ser atribuida a que el grano de lenteja no es fuente de estos metabolitos secundarios (Tabla 1), por lo anterior, la adición de harina de lenteja a la harina de maíz azul nixtamalizada ocasionó el decremento de estos compuestos en el producto final.

Con respecto a la tortilla tradicional, otros autores reportaron contenido de antocianinas inferiores con respecto a la CT en este estudio. Astorga-Gaxiola *et al.* (2023) en un estudio con tortilla azul comercial, encontraron un contenido de 6.61 mg CGE/100 g, db. Mientras que, Herrera-Sotero *et al*. (2017) al realizar nixtamalización del grano de maíz azul para producir tortillas, reportaron concentraciones mayores en tortilla tradicional (21.8 y 27.8 mg CGE/100 g, db). Las diferencias encontradas en el contenido de antocianinas, pudiera ser atribuido a los diferentes genotipos de maíz utilizado, así como a las diferentes temperaturas, tiempo de cocción y reposo, y concentración de álcali utilizado durante la cocción del grano de maíz. Gutiérrez-Llanos *et al*. (2023) utilizaron diferentes concentraciones de álcali durante la cocción del grano de maíz, reportando que, conforme se incrementa la concentración del álcali (0.5 a 1.5 %), el contenido de antocianinas disminuye (52.2 a 10.8 mg CGE/100 g, db).

La concentración de antocianinas en un producto derivado de maíz azul dependerá, en parte, de que durante el procesamiento del grano se conserven las fracciones anatómicas, donde se localizan estos metabolitos secundarios. Las antocianinas pueden encontrarse en diferentes partes anatómicas: pericarpio y/o células de aleurona. Siendo preferible que se localicen en la aleurona, si el grano será destinado a la elaboración de harina nixtamalizada (Salinas-Moreno *et al*., 2013). La pérdida de antocianinas durante la nixtamalización se debe, por un lado, al uso de altas temperaturas y pH alcalino. En este sentido, las antocianinas localizadas en las células de aleurona, que es la parte más interna en comparación con el pericarpio, serán afectadas en menor medida. Sin embargo, aquellas presentes en el pericarpio se perderán durante la nixtamalización tradicional, puesto que esta fracción se desprende de manera parcial o total durante el proceso, ocasionando así un mayor decremento de estos compuestos en el producto final (Salinas-Moreno *et al*., 2013; Mora-Rochin *et al*., 2016; Domínguez-Hernández *et al*., 2022).

El contenido de polifenoles totales (suma de las fracciones soluble y/o insoluble) disminuyó por efecto de la transformación del grano de maíz a CT, donde la cocción del maíz y elaboración de tortilla ocasionaron disminuciones del 40 % (138.5 ± 7.8 mg GAE/100 g, db) (Tabla 3). Este decremento puede ser atribuido a las características del proceso de nixtamalización, donde la cocción del grano de maíz utiliza alta temperatura y pH mayor a 10, ocasionando el desprendimiento parcial o total de la fracción del pericarpio, parte anatómica donde se concentra más del 80 % de los polifenoles en el grano de maíz (Adom & Liu, 2002; Aguayo-Rojas *et al*., 2012; Olšaníková *et al*., 2022). Por lo anterior, los productos obtenidos por el proceso de nixtamalización, en este caso, la tortilla, contienen menor concentración de polifenoles con respecto al grano sin procesar (Mora-Rochin *et al*., 2010). Colín-Chávez *et al*. (2020) en un estudio de tortilla de maíz azul, reportó 120. 8 mg GAE/100 g, db, valores similares a lo encontrado en la CT en este estudio. Mientras que, Herrera-Sotero *et al*. (2017) reportaron valores menores (70.3 mg GAE/100 g,

db). Debido a lo anterior, es importante considerar la adición de una leguminosa, en este caso la lenteja, como fuente de polifenoles que pudiera compensar la pérdida de estos compuestos que tiene lugar durante el proceso de nixtamalización y elaboración de la tortilla.

La adición de harina de lenteja para elaborar la FT logró favorecer un incremento del 21.4 % ($p < 0.05$) de polifenoles totales con respecto a la CT (168.1 ± 6.0 comparado con 138.5 ± 7.8 mg GAE/100 g, db) (Tabla 3). Este incremento significativo es debido a que el grano de lenteja posee polifenoles que pudieran resistir al proceso de cocción de la tortilla. En un estudio similar, Treviño-Mejía *et al*. (2016), observaron incrementos del 8 % de polifenoles totales en tortilla adicionada con frijol común con respecto a la tortilla control elaborada solo con maíz.

De las fracciones utilizadas para la cuantificación de polifenoles, la insoluble representa más del 50 % en ambas tortillas. La adición de harina de lenteja para elaborar la FT muestra un incremento del 40 % ($p < 0.05$) de polifenoles insolubles con respecto a la CT (104.4 ± 4.2 comparado con 74.7 ± 3.0 mg GAE/100 g, db). A pesar de que el grano de lenteja posee un menor contenido de polifenoles insolubles con respecto al grano de maíz (Tabla 1), la adición de harina de lenteja para elaborar la FT incrementa los polifenoles que fueron disminuidos tras el proceso de nixtamalización del grano de maíz, donde ocurre pérdida parcial o total del pericarpio, fracción donde se concentra el mayor contenido de polifenoles en maíz (Adom & Liu, 2002; Mora-Rochin *et al*., 2010).

Astorga-Gaxiola *et al*. (2023), realizaron un estudio de fermentación colónica *in vitro* con tortillas comerciales (azul y blanca), estos autores mencionan que la microbiota del colon favorece la liberación de polifenoles que se encuentran en la fracción insoluble, propiciando un ambiente antioxidante en el colon. Asimismo, indicaron que los polifenoles liberados pudieran causar un efecto en la disminución de células que propician el desarrollo de cáncer de colon. Lo anterior demuestra el impacto en la salud que causaría el consumo de una tortilla de maíz azul adicionada con harina de lenteja.

Por otro lado, la fracción de polifenoles solubles en ambas tortillas, no mostraron diferencias significativas (Tabla 3). Los resultados encontrados en este estudio son mayores a lo indicado por otros autores en tortilla de maíz azul, quienes reportaron valores de 41.2 y 30.64 mg GAE/100 g, db (Gaxiola-Cuevas *et al*., 2017; Astorga-Gaxiola *et al*., 2023).

Actividad antioxidante

La actividad antioxidante es atribuida a los diferentes metabolitos secundarios presentes en los alimentos, además, esta propiedad o bioactividad, está relacionada con la prevención de diversos tipos de enfermedades, sin embargo, puede ser afectada por las condiciones del proceso que se aplica a la matriz alimentaria (Tsoupras *et al*., 2024). De las tortillas en estudio, la menor ($p < 0.05$) actividad antioxidante evaluada por el método de ORAC se observa en la CT (3,419.3 ± 131.6 µmol TE/100 g, db) (Figura 2). El proceso de nixtamalización del grano de maíz para la producción de harina nixtamalizada y tortilla ocasiona disminuciones del 63 %. El importante decremento en esta propiedad es ocasionado por las condiciones del proceso al

https://revistabiociencias.uan.edu.mx
Revista Bio Ciencias
ISSN 2007-3380
Memorias del 4° Congreso Internacional Sobre Inocuidad y Calidad Alimentaria
ISSN 2007-3380

cual es sometido el grano de maíz, donde ocurre desprendimiento del pericarpio y lixiviación al licor de cocción de polifenoles con propiedades antioxidantes, el cual es descartado, dejando a la tortilla con un menor contenido de compuestos bioactivos que proporcionan efectos antioxidantes (Gaxiola-Cuevas *et al*., 2017). Lo anterior confirma la necesidad de producir tortillas adicionadas con otros granos o ingredientes que, además de incrementar el contenido de proteínas, incrementen el contenido de polifenoles con propiedades antioxidantes.

La FT presentó mayor ($p < 0.05$) actividad antioxidante con respecto a la CT (6,223.7 ± 411.2 comparada con 3,419.3 ± 131.6 µmol TE/100 g, db) (Figura 2). En la Figura 1 puede observarse que ambos granos presentan actividades antioxidantes similares, sin embargo, como se ha mencionado, las condiciones al cual es sometido el maíz para su transformación en harina, generan pérdidas importantes de polifenoles que proporcionan esta propiedad a la tortilla. Este decremento en la harina nixtamalizada fue recuperado al adicionar harina de lenteja para elaborar la FT.

En estudios similares, Gámez-Valdez *et al*. (2021) y León-Murillo *et al*. (2021) elaboraron tortillas de maíz azul extrudido adicionadas con harina de amaranto extrudido, y harina de chía desgrasada extrudida. Estos autores encontraron valores superiores de actividad antioxidante (13,187 y 15,531 µmol TE/100 g, db) con respecto a la reportada en este estudio. Estas diferencias en la actividad antioxidante son atribuidas a las características del proceso para la obtención de la harina de maíz extrudido, la cual es considerada como harina integral. En este proceso no existe pérdida de partes anatómicas y/o lixiviación de polifenoles, además las altas temperaturas usadas son por corto tiempo (Aguayo-Rojas *et al*., 2012; Olšaníková *et al*., 2022). En otro estudio realizado por Bon-Padilla *et al.* (2022), encontraron una actividad antioxidante de 8,031 µmol TE/100 g, db, en tortilla de maíz azul nixtamalizado adicionada con garbanzo extrudido, donde se observa que estos valores son similares a lo encontrado en este estudio. Estas diferencias en este parámetro evaluado por los diferentes autores, es debido a que las harinas de maíz fueron procesadas utilizando diferentes tecnologías.

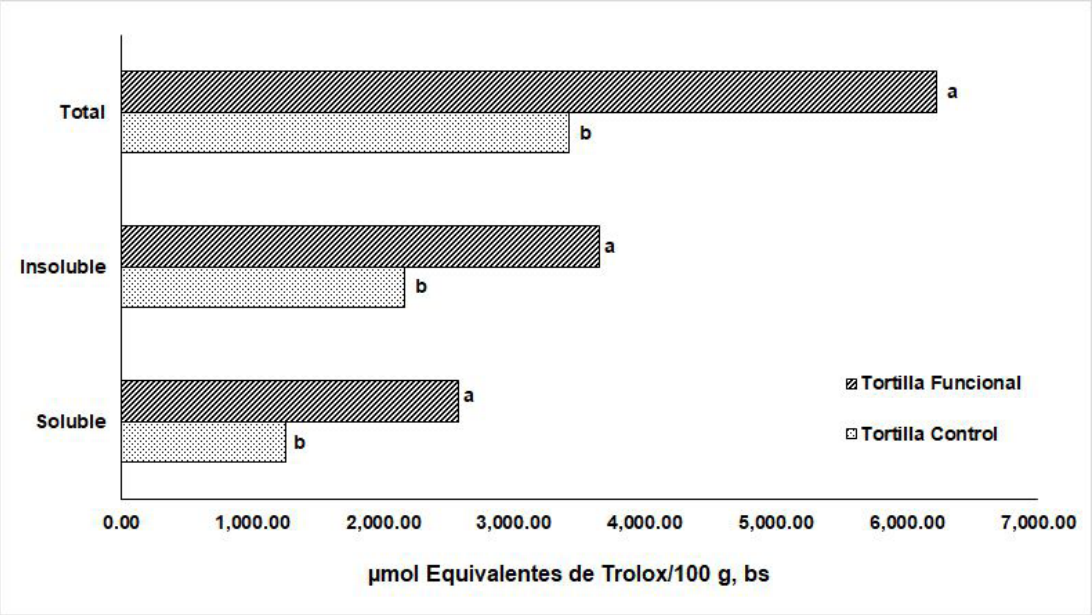

Figure 2. Actividad antioxidante de tortillas control y funcional.

Medias con una misma letra no son significativamente diferentes ($p < 0.05$)

Con respecto a la fracción de polifenoles que aporta la mayor actividad antioxidante, la insoluble representa más del 55 %, y la soluble más del 35 % en ambas tortillas. En la Figura 2 puede ser observado que la FT posee la mayor ($p < 0.05$) actividad antioxidante insoluble y soluble (3,647.7 ± 400.1 y 2,575.9 ± 90.1µmol TE/100 g, db) con respecto a la CT (2,164.2 ± 251.1 y 1,255.2 ± 120 µmol TE/100 g, db). Como se ha mencionado, el mayor contenido en polifenoles y actividad antioxidante en la FT es debido a la adición de la harina de lenteja, la cual compensa los polifenoles que fueron disminuidos durante la cocción alcalina del grano de maíz para producir la harina nixtamalizada. Sin embargo, es necesario realizar estudios a futuro para determinar el perfil de polifenoles en las fracciones soluble e insoluble, y poder atribuir a uno o varios compuestos el efecto en la propiedad antioxidante.

Conclusiones

La tortilla funcional muestra mejores características nutricionales y antioxidantes con respecto a la tortilla tradicional elaborada con 100 % de harina de maíz azul nixtamalizado. Asimismo, la tortilla funcional tiene una aceptabilidad general similar o igual a la tortilla control. La incorporación de harina de lenteja para elaborar la tortilla funcional mostró incrementos importantes en el contenido de proteína, cenizas, polifenoles totales y actividad antioxidante. Lo anterior demuestra la importancia de incorporar ingredientes que mejoren aspectos

https://revistabiociencias.uan.edu.mx
Revista Bio Ciencias
ISSN 2007-3380
Memorias del 4° Congreso Internacional Sobre Inocuidad y Calidad Alimentaria
ISSN 2007-3380

nutricionales, principalmente el contenido de proteína, e incrementen compuestos bioactivos que están relacionados con propiedades antioxidantes. El consumo de tortilla fortificada mediante esta estrategia podría impactar de manera positiva en el estado nutricional de la población de sectores desprotegidos. Asimismo, la sinergia de compuestos bioactivos resultado de la combinación de ambos granos podría disminuir el desarrollo de algunas de las enfermedades crónico degenerativas en los consumidores. Sin embargo, es necesario realizar más estudios con respecto al perfil de aminoácidos y polifenoles, así como estudios *in vitro* e *in vivo* que confirmen que la tortilla funcional elaborada a base de maíz azul y lenteja posee propiedades nutricionales y nutracéuticas superiores a los de la tortilla tradicional.

Contribución de los autores

"Conceptualización del trabajo, Sánchez-Magaña, L.M.; Mora-Rochin, S.; desarrollo de la metodología, Rodríguez-Heráldez, D.A.; León-López, L.; Domínguez-Arispuro, D.M.; Cuevas-Rodríguez E.O.; manejo de software, Rodríguez-Heráldez, D.A.; Sánchez-Magaña, L.M.; Mora-Rochin, S.; validación experimental, Reyes-Moreno, C.; Mora-Rochin, S.; Sánchez-Magaña, L.; análisis de resultados, Rodríguez-Heráldez, D.A.; Mora-Rochin, S.; Sánchez-Magaña, L.; León-López, L.; Manejo de datos, Mora-Rochin, S.; Sánchez-Magaña, L.M.; escritura y preparación del manuscrito, Mora-Rochin, S.; Sánchez-Magaña, L.M.; León-López, L.; redacción, revisión y edición, Mora-Rochin, S.; Sánchez-Magaña, L.; Liliana-León, Domínguez-Arispuro, D.M.; Reyes-Moreno, C.; administrador de proyectos, Mora-Rochin, S.; Sánchez-Magaña, L.M.; adquisición de fondos, Mora-Rochin, S.

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

Financiamiento

Esta investigación fue financiada con fondos del Programa de Fomento y Apoyo a Proyectos de Investigación (PROFAPI, PRO_A7_025) de la Universidad Autónoma de Sinaloa.

Conflicto de interés

Los autores declaran no tener conflicto de interés".

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

Adom, K. K., & Liu, R. H. (2002). Antioxidant activity of grains. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 50*(21), 6182-6187. http://doi.org/10.1021/jf0205099

Aguayo-Rojas, J., Mora-Rochin, S., Cuevas-Rodríguez, E. O., Serna-Saldívar, S. O., Gutiérrez-Uribe, J. A., Reyes Moreno, C., & Milán-Carrillo, J. (2012). Phytochemicals and antioxidant

capacity of tortillas obtained after lime-cooking extrusion process of whole pigmented Mexican maize. *Plant Foods for Human Nutrition, 67*(2), 178-185. http://doi:10.1007/s11130-012-0288-y

Argüello-García, E., Martínez-Herrera, J., Córdova-Téllez, L., Sánchez-Sánchez, O., & Corona-Torres, T. (2017). Textural, chemical and sensorial properties of maize tortillas fortified with nontoxic *Jatropha curcas* L. flour. *CYTA-Journal of Food*, 15(2), 301-306. http://dx.doi.org/10.1080/19476337.2016.1255915

Association of Official Analytical Chemist (AOAC). (2005). Official methods of analysis of AOAC International. 18th ed. Washington: AOAC.

Aslani, Z., Alipour, B., Mirmiran, P., & Bahadoran, Z. (2015). Lentil´s (*Lens culinaris* L.) functional properties in prevention and treatment of non-communicable chronic diseases. *International Journal of Nutrition and Food Sciences*, 4(2), 15-20. https://doi.org/10.11648/j.ijnfs.s.2015040201.14

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. *International Food Research Journal*, 30(1), 240-254. 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 extrudd chickpea flours: a product with improved in vitro nutritional and antihypertensive properties. *Cereals & Grains Association*, 99, 1154-1165. https://doi:10.1002/cche.10577

Brummer, Y., Kaviani, M., & Tosh, S. M. (2015). Structural and functional characteristics of dietary fibre in beans, lentils, peas and chickpeas. *Food Research International, 67*, 117-125. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.11.009

Cetin-Babaoğlu, H., Yalim, N., Kale, E., & Tontul, S. A. (2021). Pigmented whole maize grains for functional value added and low glycemic index snack production. *Food Bioscience*, 44, 101349. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101349

Chuck-Hernández, C. E., & Serna-Saldívar, S. O. (2019). Flours and bread and their fortification in health and disease prevention. In Preedy, V. R., Watson, R. R. Soybean-fortified nixtamalized corn tortillas and related products (pp 319-3335). Ed. Academic Press.

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(1), 189-194. https://doi.org/10.1016/j.crfs.2020.05.004

Cortes-Soriano, I., Buendía-González, M. O., Palacios-Rojas, N., Martínez-Cruz, E., Villaseñor-Mir, H. E., & Santa-Rosa, R. H. (2022). Quality assessment corn tortilla added with oatmeal (*Avena sativa* L.) nixtamalized. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(7), 1715-1725.

Domínguez-Hernández, E., Gaytán-Martínez, M., Gutiérrez-Uribe, J. A., & Domínguez-Hernández, M. E. (2022). The nutraceutical value of maize (*Zea mays* L.) landraces and the determinants of its variability. *Journal of Cereal Science, 103*, 103399. http://doi.org/10.1016/j.jcs.2021.103399

Erdogan, C. (2015). Genetic characterization and cotyledon color in lentil. *Chilean Journal of*

Agricultural Research, 75(4), 383-389. http://doi.org/10.4067/S0718-58392015000500001

Gámez-Váldez, 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. *Biotecnia*, 23(2), 103-112. https://doi.org/10.18633/biotecnia.v23i2.1385

Gaxiola-Cuevas, N., Mora-Rochin, 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 Food for Human Nutrition*, 72, 314-320. https://doi.org/10.1007/s11130-017-0624-3

Gasinski, A., & Kawa-Rygielska, J. (2022). Mashing quality and nutritional content of lentil and bean malts. *LWT – Food Science and Technology,* 169, 113927. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113927

Gutiérrez-Llanos, M., Alemán de la Torre, I., Salinas-Moreno, Y., Santillán-Fernández, A., Ramírez-Díaz, J. L., & Ledesma-Miramontes, A. (2023). Color and nutraceutical characteristics of native maize (*Zea mays* L.) tortillas prepared with different doses of alkali and refrigerated. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 46(2), 115-126. https://doi.org/10.35196/rfm.2023.2.115

Halima, O., Najar, F. Z., Wahab, A., Gamadera, S., Chowdhury, A. I., Foster, S. B., Shaheen, N., & Ahsan, N. (2022). Lentil allergens identification and quantification: an update from omics perspective. *Food Chemistry: Molecular Sciences,* 4, 100109. https://doi.org/10.1016/j.fochms.2022.100109

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 tortilla from native maize. *BMC Chemistry*, 11, 110. https://doi.org/10.1186/s13065-017-0341-x

Hidalgo-Ramos, D. M., Rodríguez-Herrera, S. A., Palacios-Rojas, N., López-Benítez, A., García-Osuna, H. T., Lozano del Río, A. J., & Mancera-Rico, A. (2024). Antocyanin content and physical characteristics of kernels from 300 pigmented maize accessions. *Revista Bio Ciencias*, 11, e1578. https://doi.org/10.15741/revbio.11.e1578

Inyang, U. E., Akindolu, B. E., & Elijah, A. I. (2019). Nutrient composition, amino acid profile, and antinutritional factors of nixtamalized maize flour supplemented with sprouted soybean flour. *European Journal of Nutrition and Food Safety*, 9, 41-51. http://doi.org/10.9734/EJNFS/2019/46150

Joshi, M., Timilsena, Y., & Adhikari, B. (2017). Global production, processing and utilization of lentil: A review. *Journal of Integrative Agriculture, 16*(12), 2898-2913. http://doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61793-3

León-López, L., Reyes-Moreno, C., Ley-Osuna, A. H., Perales-Sánchez, J. X. K., Milán-Carrillo, J., Cuevas-Rodríguez, E. O., Gutiérrez-Dorado, R. (2019). Improvement of nutritional and nutraceutical value of nixtamalized maize tortillas by addition of extruded chia flour. *Biotecnia*, 21(3), 56-66. https://doi.org/10.18633/biotecnia.v21i3.1012

León-Murillo, J. R., Gutiérrez-Dorado, R., Reynoso-Camacho, R., Milán-Carrillo, J., Perales-Sánchez, J. X. K., Cuevas-Rodríguez, E. O., & Reyes-Moreno, C. (2021). Tortillas made with extruded flours of blue maize and chía seeds as an nutritious and nutraceutical food option.

Agrociencia, 55, 487-506. https://doi.org/10.47163/agrociencia.v55i6.2555

Manco, A., Gerardi, C., Romano, G., D´Amico, L., Blanco, A., Milano, F., Di Sansebastiano, G. P., Balech, R., & Laddomada, B. (2023). Phenolic profile of whole seeds and seed fractions of lentils and its impact on antioxidant activity. *Food Bioscience*, 54, 102887. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102887

Mora-Rochin, S., Gaxiola-Cuevas, N., Gutiérrez-Uribe, J. A., Milán-Carrillo, J., Milán-Noris, E. M., Reyes-Moreno, C., Serna-Saldívar, 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. http://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.01.009

Mora-Rochin, S., Gutiérrez-Uribe, J. A., Serna-Saldivar, 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., Milán-Noris, A. K., & Milán-Carrillo, J. (2019). Maize. In Mir, S. A., Manickavasagan, A., & Shah, M. A. W*hole grains, processing, product development, and nutritional aspects* (pp. 87-102). Ed. CRC Press.

Olšaníková, K., Šárka, E., & Smrčková, P. (2022). Extrusion process of maize grits used for nixtamalization. *Czech Journal of Food Sciences*, 40(2), 138-146. https://doi.org/10.17221/188/2021-CJFS

Pathiraja, E., Wanasundara, J. P. D., Elessawy, F. M., Purves, R. W., Vandenberg, A., & Shand, P. J. (2023). Water-soluble phenolic compounds and their putative antioxidant activities in the seed coats from different lentil (*Lens culinaris*) genotypes. *Food Chemistry*, 407, 135145. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.135145

Ramírez-Jiménez, A. K., Cota-López, R., Morales-Sánchez, E., Gaytán-Martínez, M., Martínez-Flores, E. E., Reyes-Vega, M. L., & Figueroa-Cárdenas, J. D. (2023). Sustainable process for tortilla production using ohmic heating with minimal impact on the nutritional value, protein, and calcium performance. *Foods*, 12, 3327. https://doi.org/10.3390/foods12183327

Rodiles-López, J. O., Arriaga-Martínez, L. P., Martínez-Flores, H. E., Zamora-Vega, R., & García-Martínez, R. M. (2019). Development of an added tortilla with avocado and nopal flours and its effect on the reduction of cholesterol, triglycerides and glucose in rats. *Biotecnia*, 21(2), 71-77. https://doi.org/10.18633/biotecnia.v21i2.909

Salinas-Moreno, Y., Castillo-Linares, E. B., Vázquez-Carrillo, M. G., & Buendía-González, M. O. (2011). Blends of waxy with normal maize and their effect on tortilla quality. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2(5), 689-702. https://www.redalyc.org/pdf/2631/263121118005.pdf

Salinas-Moreno, Y., García-Salinas, C., Coutiño-Estrada, B., & Vidal-Martínez, V. A. (2013). Variabilidad en contenido y tipos de antocianinas en granos de color azul/morado de poblaciones mexicanas de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36, 285-294. https://doi.org/10.35196/rfm.2013.3-s3-a.285

Salinas-Moreno, Y., Gálvan-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, e28314. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28314

Samaranayaka, A., & Khazaei, H. (2024). Lentil: revival of poor man´s meat. In Nadathur, S.,

https://revistabiociencias.uan.edu.mx
Revista Bio Ciencias
ISSN 2007-3380
Memorias del 4° Congreso Internacional Sobre Inocuidad y Calidad Alimentaria
ISSN 2007-3380

Wanasundara, J. P., & Scanlin, L. (Eds) Sustainable protein sources (pp. 201-217). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802778-3.00011-1

Shrestha, S., van ´t Hag, L., Haritos, V. S., & Dhital, S. (2023). Lentil and Mungbean protein isolates: processing, functional properties, and potential food applications. *Food Hydrocolloids, 135*, 108142. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108142

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

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

Tsoupras, A., Moran, D., Shiels, K., Saha, S. K., Abu-Reidah, I. M., Thomas, R. H., & Redfern, S. (2024). Enrichment of whole-grain breads with food-grade extracted apple pomace bioactives enhanced their anti-inflamatory, antithrombotic and anti-oxidant functional properties. *Antioxidants*, 13, 225-253. http://doi.org/10.3390/antiox13020225

Urbano, G., Porres, J. M., Frias, J., & Vidal-Valverde, C. (2007). Nutritional value. In Yadav, S. S., McNeil, D. L., & Stevenson, P.C. Lentil: An ancient Crop for Modern Times (47-93). Ed. Springer.

Yeo, J., & Shahidi, F. (2017). Effect of hydrothermal processing on changes of insoluble-bound phenolics of lentils. *Journal of Functional Foods, 38*, 716-722. https://doi.org/10.1016/j.jff.2016.12.010