

La nueva generación de tortillas: sabor, nutrición y propiedades saludables

The new generation of tortillas: flavor, nutrition, and health benefits

Kendra Baldenebro-Ojeda¹, Fedra-Carolina López-Villa², Jorge Milán-Carrillo^{1,2}, Noé Ontiveros-Apodaca³, Edith-Oliva Cuevas-Rodríguez^{1,2,*}

¹ Programa de Posgrado en Ciencia y Tecnología de Alimentos.

² Programa de Posgrado Integral en Biotecnología, Facultad de Ciencias Químico Biológicas, Universidad Autónoma de Sinaloa. Bv de las Américas y Josefa Ortiz de Domínguez, Ciudad Universitaria, Culiacán, Sinaloa, México, CP 80013.

³ Laboratorio de Investigación Clínica, Departamento de Químico Biológicas y Ciencias Agrícolas, Universidad de Sonora, Navojoa, Sonora, CP 85880.

*Autor de correspondencia: edith.cuevas.r@uas.edu.mx

Palabras clave:

nixtamalización, maíz, tortillas funcionales, leguminosas.

Keywords:

nixtamalization, corn, functional tortillas, legumes.

Resumen

La tortilla de maíz es un alimento básico y emblemático de la dieta mexicana por su valor nutricional y relevancia sociocultural. El consumo promedio es de 186 g/día, lo que refleja su importancia en la alimentación nacional. De manera tradicional, se elaboran de maíz nixtamalizado por procesos tradicionales o industriales; sin embargo, presentan deficiencias en aminoácidos esenciales, lo que limita la calidad de su proteína. En respuesta, se han desarrollado tortillas funcionales, incorporando leguminosas u otras fuentes proteicas, con el objetivo de mejorar su perfil nutricional y biofuncional. Estas formulaciones incrementan la biodisponibilidad de nutrientes y el contenido de compuestos bioactivos asociados a beneficios en la salud. Además, tecnologías alternativas como la extrusión se han empleado para mejorar la digestibilidad proteica y reducir factores antinutricionales, preservando características sensoriales y tecnofuncionales. Este artículo revisa avances recientes de la formulación, procesamiento y caracterización de tortillas funcionales, destacando su potencial como alimento saludable, accesible y sostenible.

Abstract

The corn tortilla is a staple and emblematic food in the Mexican diet, for its nutritional value and sociocultural relevance. The average consumption is 186 g/day, reflecting its fundamental role in the national diet. Traditionally, they are made from nixtamalized maize by traditional or industrial processes; however, they are deficient in essential amino acids, which limits the quality of their protein. In response, functional tortillas have been developed, formulated with the incorporation of legumes or other protein sources, with the aim of improving their nutritional and biofunctional profile. These formulations increase the bioavailability of nutrients and bioactive compounds associated with health benefits. Likewise, alternative technologies such as extrusion have been used to improve protein digestibility and reduce antinutritional factors, while preserving sensory and techno-functional characteristics. This article reviews recent advances in the formulation, processing, and characterization of functional tortillas, highlighting their potential as a healthy, accessible, and sustainable food.

Recibido: 22 de octubre 2025
Revisado: 16 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

En México, la tortilla de maíz representa uno de los principales alimentos que se llevan a la mesa de la población mexicana, que se elabora de manera tradicional o en forma casera a partir de maíz nixtamalizado o de manera industrial harinas nixtamalizadas, como MASECA® y MINSA®. El maíz es el principal cereal cultivado a nivel mundial, debido a su alto impacto económico al contar con diversas aplicaciones industriales como la producción de alimento para el consumo humano, la producción de proteína animal y la elaboración de productos industriales como materia prima. México cuenta con la mayor diversidad genética de maíz en el mundo con aproximadamente 59 variedades nativas diferentes; su cultivo y domesticación ocurrieron hace aproximadamente 10,000 años, convirtiéndose en la base de la alimentación de los mexicanos. Nuestros antepasados idearon una forma de poder suavizar los granos de maíz para facilitar su molienda, la cual consistía en cocinar los granos de maíz con cenizas de madera y, posteriormente, con cal (CaOH), proceso conocido como nixtamalización, el cual mejora el valor nutricional de grano y su palatabilidad permitiendo la elaboración de masa para dar paso a la producción de diversos alimentos como: tortillas, tamales, bebidas, tostadas, productos de repostería, almidones, galletas, entre otros (Cantillo-Orozco & Bernal Payares, 2020; Galindo-Olgún et al., 2021; Serna-Saldivar, 2015; Utrilla-Coello et al. 2009). Sin embargo, a pesar de ser el maíz un grano básico para la alimentación, es deficiente en aminoácidos como lisina y triptófano. Diversos estudios han mostrado que la combinación de maíz con leguminosas como frijol, garbanzo, lenteja o soya podría mejorar el balance de aminoácidos y con ello la calidad de la proteína de los productos que se elaboren con estas mezclas de harinas (León-López et al., 2019; Hassan et al., 2024; Grajales garcía et al., 2012; Treviño-Mejía et al., 2016; Bon-Padilla et al., 2022).

Las tortillas son el alimento más relevante en México, al considerarse un ícono de la comida mexicana y ser una fuente importante de proteína y calorías. Su consumo por día se estima que es de aproximadamente 217.9 g de tortillas en zonas rurales (equivalentes a 8 tortillas), mientras que en zonas urbanas se consumen aproximadamente 6 tortillas diarias o 155.4 g de tortillas (Espejel-García et al., 2016). Los principales tipos de tortillas producidas en México son de maíz blanco y amarillo; sin embargo, tortillas de maíz azul, morado, rojo y negro también son producidas en menor medida, especialmente en la región centro del país, siendo en estas variedades donde se encuentra la mayor cantidad de compuestos nutraceuticos (antocianinas, ácidos fenólicos, flavonoides, entre otros) (Bello-Pérez et al., 2016; Galindo-Olgún et al., 2021; Serna-Saldivar, 2021). Nutricionalmente, las tortillas son una excelente fuente de carbohidratos, por su alto contenido de almidón y una fuente de minera-



les debido a la adición de calcio (de 1-2% de Ca(OH)_2 , en una proporción 1:3 cal-agua en relación al peso del maíz) en el proceso de nixtamalización; sin embargo, son carentes de vitaminas liposolubles (A, D, E y K) e hidrosolubles (C y B12) y aminoácidos esenciales, debido a esto se han desarrollado tortillas adicionadas con harinas de otros granos (Tabla 1) ya que las tortillas nixtamalizadas son deficientes en aminoácidos esenciales como lisina y triptófano; dichas tortillas fortificadas se denominan comúnmente como tortillas funcionales (Félix-Sámano et al., 2025; Serna-Saldivar, 2015; Chuck-Hernandez & Serna-Saldívar, 2019). Siguiendo esta idea, en los últimos años se ha buscado mejorar la biodisponibilidad de las proteínas de las tortillas utilizando tecnologías alternativas para la producción de las harinas, una de ellas es la extrusión alcalina, la cual es un proceso que se lleva a cabo en condiciones básicas de pH y se caracteriza por el uso de altas temperaturas en corto tiempo capaz de modificar la matriz alimentaria y mejorando cualidades como la digestibilidad de las proteínas al inactivar factores antinutricionales los cuales son responsables de disminuir la digestión o desnaturalizar las proteínas exponiendo grupos funcionales lo que facilita la acción de las enzimas digestivas (Reyes-Moreno et al., 2018; Félix-Sámano et al., 2025). Por ello, la presente revisión tiene como objetivo recopilar la información relevante sobre el efecto de la suplementación con diversos granos y otros ingredientes sobre tortillas funcionales: perfil nutricional, biofuncional, sensorial y tecnofuncional.

Tabla 1. Diversidad de tortillas elaboradas a partir de maíz nixtamalizado por proceso tradicional o métodos alternativos y tortillas funcionales adicionadas con granos u otros ingredientes

Procesamiento del maíz	Harinas de granos o ingredientes adicionados	*% de harinas (maíz: ingrediente)	Referencia
<i>Blanco nixtamalizado (T)</i>	-	100	Rodiles-López et al. (2018)
<i>Azul nixtamalizado (T)</i>	-	100	Sanchez-Magaña et al. (2025)
<i>Blanco nixtamalizado (I)</i>	-	100	León-López et al. (2019)
<i>Azul nixtamalizado (T)</i>	Chía desgrasada extruida	75:25	León-Murillo et al. (2021)
<i>Blanco nixtamalizado (I)</i>	Garbanzo extruido	70:30	Bon-Padilla et al. (2022)
<i>Maíz Azul criollo nixtamalizado (T)</i>	Amaranto extruido	70:30	Gámez-Valdez et al. (2022)
<i>Blanco nixtamalizado (I)</i>	Frijol blanco	75:25	Salazar et al. (2020)
<i>Blanco QPM nixtamalizado</i>	Frijol negro cocido	78:22	Grajales-García et al. (2012)
<i>Maíz de alta calidad proteica</i>	Harina de Soya	75:25	Hassan et al. (2023)
<i>Maíz azul nixtamalizado tradicional</i>	Harina de lenteja extrudida	70:30	Sánchez-Magaña et al. (2025)



<i>Harina de maíz comercial MASECA®</i>	Harina de frijol bayo cocido	80:20	Treviño-Mejía et al. (2016)
<i>Harina de maíz nixtamalizado</i>	Harina de Chapulín (grasshopper <i>Sphenarium purpurascens</i>)	90: 10 94:6 98:2	Contreras-Jiménez et al. (2020)
<i>Harina de maíz commercial</i>	Harina de soya desgrasada	90: 10 75: 25 60:40	Wu et al., 2023

*proporciones de mezclas de harina de maíz o granos y/o ingredientes utilizados para la elaboración de la masa para obtener tortillas funcionales. (T): tradicional, (I): industrial

¿Qué es una tortilla y cuál es la importancia en la población mexicana?

Las tortillas son el alimento más relevante en México, ya que son el ícono de la comida mexicana y una fuente importante de proteína y calorías. Los principales tipos de tortillas producidas en México son de maíz blanco y amarillo; y, en menor medida, son utilizados el maíz azul, morado, rojo y negro, especialmente en la región centro del país (Bello-Pérez et al., 2016; Serna-Saldivar, 2021). El consumo de tortillas en México se estima en 186 g/día, equivalentes a 7 tortillas diarias, denotando la importancia de este alimento para la población mexicana (Espejel-García et al., 2016).

La composición nutricional de las tortillas de maíz blanco destaca por su contenido alto de fibra dietaria insoluble y proteínas, con valores relativamente bajos de grasas y minerales. Por otro lado, las tortillas de maíz azul tienen contenidos significativos de fibra dietaria, proteínas y minerales como el calcio y fitoquímicos como antocianinas, ácidos fenólicos, entre otros, mientras tanto poseen valores bajos de grasa, según lo reportado por Colín-Chávez et al. (2020). Cabe señalar que las tortillas elaboradas a base de maíz (100%) son deficientes en algunos aminoácidos esenciales, ya que se conoce que cereales como el maíz son deficientes en lisina y triptófano, por lo que se han sugerido alternativas como la inclusión o fortificación con otros ingredientes como leguminosas, pseudocereales e insectos con la finalidad de obtener harinas nixtamalizadas que permita obtener tortillas con una mejora de la calidad de la proteína que proporciona este alimento, además de proporcionar una mejora en el balance de aminoácidos y disponibilidad de fibra, vitaminas y minerales (Tabla 2) (León-López et al., 201; Bon-Padilla et al., 2022).



Tabla 2. Principales tendencias nutricionales, funcionales, sensoriales y tecnológicas de tortillas de maíz blanco nixtamalizada comercial, tortilla de maíz azul nixtamalizada comercial y tortillas funcionales

Propiedades		Tortillas		Fuente
	Maíz blanco nixtamalizada	Maíz azul nixtamalizada	Funcionales	
Nutricionales				
Proteínas	Menor contenido ↓	Contenido intermedio ↑	Mayor contenido ↑↑	Bon-Padilla et al. (2022); Contreras-Jiménez et al. (2020). Gámez-Valdez et al. (2021); Grajales-García et al. (2012); Hassan et al. (2024); León-López et al. (2019); León-Murillo et al. (2021); Salazar et al. (2020); Sánchez-Magaña et al. (2025); Treviño-Mejía et al. (2016):
Lípidos	Menor contenido ↓	Mayor contenido ↑	Contenido variado ↑↓	
Minerales	Contenido comparable ↔	Contenido comparable ↔	Mayor contenido ↑	
Carbohidratos	Contenido comparable ↔	Contenido comparable ↔	Contenido variado ↑↓	
Digestibilidad proteínica	Menor ↓	Menor ↓	Mayor ↑	Bon-Padilla et al. (2022); Grajales-García et al. (2012); León-López et al. (2019); León-Murillo et al. (2021); Sánchez-Magaña et al. (2025); Treviño-Mejía et al. (2016).
Funcionales				
Actividad antioxidante	Menor actividad ↓	Actividad Intermedia ↑	Mayor actividad ↑↑	Bon-Padilla et al. (2022); León-Murillo et al. (2021); Sánchez-Magaña et al. (2025); Contreras- Jiménez et al; (2020); Gámez-Valdez et al. (2021); Hassan et al. (2024); Salazar et al. (2020).
Actividad antihiperten- siva	Menor actividad ↓	Actividad Intermedia ↑	Mayor actividad ↑↑	Bon-Padilla et al. (2022); León- López et al. (2019). León-Mu- rillo et al. (2021); Salazar et al. (2020).
Actividad antidiabética	Actividad comparable ↔	Actividad comparable ↔	Actividad variable ↑↓	Bon-Padilla et al. (2022); Gámez-Valdez et al. (2021); León-Murillo et al. (2021); Salazar et al. (2020)
Sensoriales-Tecnológicas				
Aceptabilidad	Buena ↑	Buena ↑	Variable ↔	Bon-Padilla et al. (2022); Grajales-García et al. (2012); Hassan et al. (2024); León-López et al. (2019); León-Murillo et al. (2021); Salazar et al. (2020); Sánchez-Magaña et al. (2025). Treviño-Mejía et al. (2016);
Sabor	Bueno ↑	Bueno ↑	Variable ↑↓↔	
Color	Aceptación Similar ↔	Aceptación Similar ↔	Aceptación Similar ↔	
Textura	Buena ↑	Buena ↑	Similar o menor ↔↓	



Hinchabilidad	Bueno ↑	Bueno ↑	Similar o menor ↔↓	Bon-Padilla et al. (2022); Grajales-García et al. (2012); Hassan et al. (2024); León-López et al. (2019); León-Murillo et al. (2021); Salazar et al. (2020); Sánchez-Magaña et al. (2025).
Rolabilidad*	Bueno ↑	Bueno ↑	Similar o menor ↔↓	

↓: Indica disminución de la propiedad; ↑ indica aumento de la propiedad; ↔ indica que no existe diferencia entre las propiedades; ↑ indica un aumento significativo de la propiedad; ↑ ↓ indica que la propiedad puede aumentar o disminuir; ↑ ↓ ↔ indica resultados variables. *Porcentaje de rompimiento de una tortilla después de ser enrollada sobre una varilla, utilizando una escala de 5 puntos (1=0%, 2=25 %, 3=26-50 %, 4=51-75 % 5= 76-100% de rompimiento).

¿Cuáles son los procesos tradicionales, industriales y alternativos para la elaboración de tortillas de maíz?

La nixtamalización, del náhuatl *nixtli* “cal de cenizas” y *tamalli* “masa de maíz cocida”, es un proceso tradicional utilizado para producir tortillas, botanas y harinas de maíz. Este proceso utiliza como ingredientes los granos de maíz maduros, álcali (cal) de grado alimenticio y agua para la formación del nixtamal, este último es molido para la obtención de masa fresca, y posteriormente llevar a cabo la producción de tortillas de mesa. En harinas nixtamalizadas de manera industrial, (MASECA® y MINSA®) se utilizan algunos ingredientes como emulsionantes, acidulantes, gomas, mezclas de enriquecimiento, blanqueadores, entre otros con el objetivo de mejorar la vida útil de las tortillas, color, textura y calidad nutricional (Serna-Saldivar & Chuck-Hernandez, 2019). La nixtamalización tiene entre sus ventajas un aumento en el contenido de minerales como calcio y magnesio y vitaminas como niacina, así mismo, en tortillas elaboradas a partir de maíz azul nixtamalizado aumenta el contenido de antocianinas glicosiladas debido a la pérdida del pericarpio. El proceso confiere a las tortillas un sabor y textura característicos deseables por los consumidores. Sin embargo, presenta la desventaja de utilizar cantidades considerables de agua y energía, así como provocar la generación de efluentes contaminantes conocido como nejayote el cual posee una alta alcalinidad; se estima que se producen alrededor de 14.4 millones de metros cúbicos por día (Félix-Sámano et al., 2025; Kamau et al., 2020); actualmente se buscan alternativas para su utilización en la alimentación de animales como cerdos o para producir cultivos microbianos. La Figura 1 esquematiza los procesos generales de obtención de harinas aptas para elaborar tortillas (proceso de nixtamalización tradicional, proceso de nixtamalización industrial y el procesos alternativo de extrusión alcalina) y las condiciones generales para elaborar las tortillas a partir de las masas frescas de las harinas.

La extrusión de alimentos es una técnica consolidada muy versátil que se define como el proceso de mezclar, homogeneizar y formar materiales alimenticios,



forzándolos a pasar por un dado diseñado especialmente para cada equipo. Este proceso se utiliza para elaborar análogos cárnicos, texturizados de proteínas, botanas, cereales para desayuno, harinas, entre otros. Este proceso térmico, moderno, consiste en una cocción que ocurre a altas temperaturas y tiempos cortos, el cual combina operaciones unitarias en una sola unidad, entre ellas el mezclado, amasado, transporte, calentamiento, cocción y formado, dando como resultado cambios químicos y moleculares en los alimentos (Adekola, 2016; Felix-Sámano et al., 2025). La extrusión alcalina se ha propuesto como un método alternativo para la producción de harinas para la elaboración de tortillas, debido a que presenta diversas bondades como la utilización integral del grano de maíz y la elusión de la formación de efluentes contaminantes que normalmente se producen en la nixtamalización tradicional (nejayote). Este proceso conlleva la combinación de temperatura, estrés mecánico y componentes alcalinos que dan como resultado cambios estructurales e incitan a la interacción entre los distintos componentes de la harina provocando cambios en sus propiedades funcionales (Dominguez et al., 2024). La utilización de este proceso tiene como objetivo producir harina de manera rápida y continua, aumentando la eficiencia de la producción con respecto a la mano de obra, energía y disposición de espacio en la planta. Entre los principales retos de la utilización de la extrusión se encuentra evitar la gelatinización excesiva de los almidones, así como evitar la expansión del extrudido. Estos problemas se pueden resolver al controlar parámetros como el contenido de humedad, el tamaño de partícula de las harinas, el aporte de calor y la velocidad de tornillo (Serna-Saldivar et al., 2021; Enriquez-Castro et al., 2024).

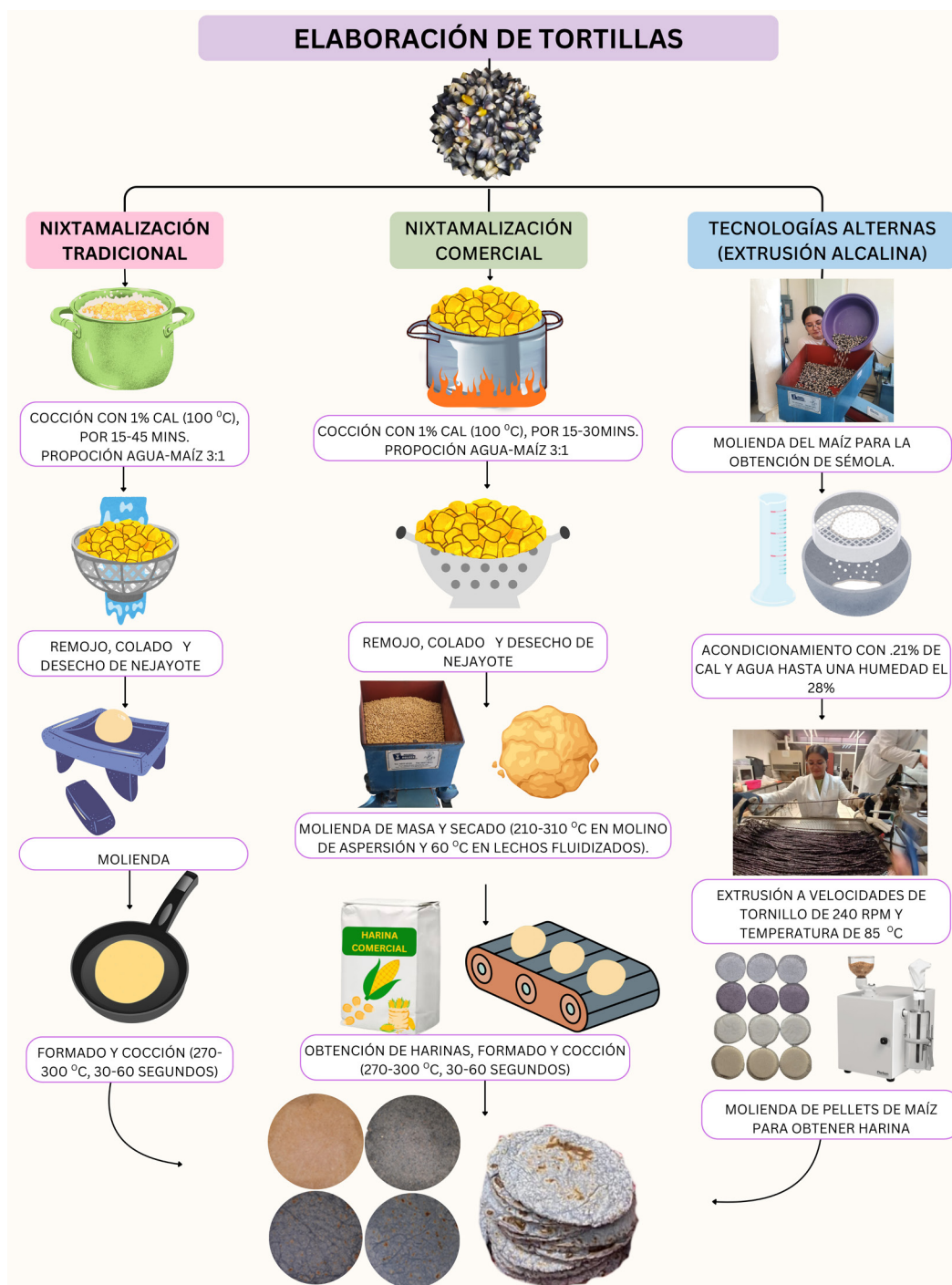


Figura 1. Esquema general de la elaboración de tortillas por los procesos de nixtamalización tradicional, nixtamalización comercial y extrusión alcalina

Por otro lado, una de las ventajas de la extrusión es que ofrece las condiciones para que se lleven a cabo reacciones químicas como la de Maillard, que puede generar pigmentos y compuestos con actividad antioxidante, así mismo, durante el proceso



las fuerzas de corte pueden romper la matriz alimentaria en formas más simples y solubles, inactivando factores antinutricionales y mejorando la accesibilidad de la digestión de proteínas y minerales, y puede mejorar la solubilidad de algunos carbohidratos al modificar la fibra y el almidón, lo que proporciona mejoras en funciones tecnológicas y nutricionales. Sin embargo, este procesamiento tiene la desventaja de disminuir nutrientes termolábiles y el uso de equipos especializados con altos costos de adquisición (Félix-Sámamo et al., 2025; Kamau et al., 2020).

De manera general se puede destacar que, tanto la nixtamalización como la extrusión alcalina son procesos térmicos que muestran similitudes como la habilidad de romper la matriz alimentaria dando paso a la liberación de nutrientes, así mismo, ambos procesos pueden inactivar factores antinutricionales mejorando la digestibilidad de las tortillas, y son capaces de transformar carbohidratos complejos a sus formas simples y solubles, lo cual puede mejorar su aprovechamiento al ser consumidos (Kamau et al., 2020).

¿Qué son las tortillas funcionales?

Un alimento funcional se define como aquel alimento que contiene componentes o ingredientes biológicamente activos que ejercen algún efecto benéfico en la salud de los consumidores y que además pueden nutrir al organismo, en una o varias funciones, ocasionando que el individuo pueda mejorar o prevenir riesgos de sufrir alguna enfermedad (Fekete et al., 2025). Investigaciones recientes han propuesto mejorar la calidad nutricional de las tortillas, las cuales se han denominado “tortillas funcionales” (Tabla 2). Las tortillas funcionales son mejoradas nutricionalmente a través del incremento en la calidad de la proteína, con la incorporación de leguminosas como frijol, lentejas, soya, garbanzo, amaranto y otras proteínas alternativas como insectos, con la finalidad de mejorar el perfil de aminoácidos, incrementar el contenido de fibra dietaria soluble, el mejoramiento del perfil de ácidos grasos, así como mejorar la digestibilidad y bioaccesibilidad de nutrientes, conservando las características fisicoquímicas y sensoriales (Gutiérrez et al., 2025).

Alternativas para el mejoramiento nutrimental de tortillas funcionales

Mejora de la digestibilidad proteica de tortillas adicionadas con otros ingredientes

Con la finalidad de mejorar las propiedades nutricionales de alimentos dirigidos principalmente a poblaciones vulnerables en México y atendiendo demandas específicas de consumo por alimentos funcionales como las tortillas, diversas investigaciones han mostrado que la utilización de mezclas de ingredientes como maíz-leguminosa, maíz-insectos y procesos alternativos a la nixtamalización es posible obtener tortillas con pro-



propiedades nutricionales, funcionales y sensoriales agradables al consumidor, además, de potenciar propiedades benéficas en la salud de los consumidores, como la reportadas por Bon-Padilla et al. (2022) quienes evaluaron la incorporación de harina extruida de garbanzo a harinas de maíz nixtamalizadas para elaborar tortillas, encontrando un aumento en el % DPIV de 76.82 a 82.01% ($p < 0.05$). Así mismo, León Murillo et al. (2021) reportaron que las harinas extruidas de maíz azul y una mezcla de maíz azul extruida y chía extruida presentaron valores de %DPIV mayores (77.01 y 84.01%) a la harina de maíz azul nixtamalizada comercial (75.82%). Por otro lado, Gámez-Valdez et al. (2021) evaluaron el impacto en el %DPIV de tortillas funcionales de maíz azul criollo extruido adicionadas con amaranto extruido, reportando que las tortillas elaboradas con harinas extruidas presentaban mayores porcentajes de digestibilidad proteínica *in vitro* (77.21% y 79.39%) que las tortillas de maíz azul elaboradas con harina nixtamalizada comercial (76.86%), los autores atribuyen este comportamiento a que el proceso de extrusión destruye factores antinutricionales y desnaturaliza las proteínas, lo que facilita la acción de las enzimas en la digestión de estos productos.

Las proteínas son macronutrientes esenciales en la dieta de los humanos, ya que nos proporcionan aminoácidos esenciales y son fuentes importantes de nitrógeno. Sin embargo, su utilización biológica depende de la correcta digestión de las proteínas y la proporción de aminoácidos (Santos-Sánchez et al., 2024). La digestibilidad de las tortillas nixtamalizadas depende de factores como el tiempo de cocción del grano de maíz y la cantidad de cal utilizada en el procesamiento, donde concentraciones mayores de cal y cortos tiempos de cocción pueden disminuir la digestibilidad (Escamilla-Urbina et al., 2025). La digestibilidad de las tortillas puede ser mejorada ya sea añadiendo fuentes alternas, así como utilizando tecnologías alternativas en su producción, como la extrusión alcalina. En países en desarrollo como México, la fortificación de alimentos tradicionales como las tortillas representa una manera eficiente y efectiva de mejorar el consumo de nutrientes de la población, otorgándoles la posibilidad de actuar como vehículos de minerales (zinc, hierro), vitaminas (ácido fólico, tiamina, niacina, riboflavina) y proteínas. Bajo este contexto, ha crecido el interés por la fortificación de las tortillas con la finalidad de responder a la deficiencia de aminoácidos como lisina y triptófano, así como a las demandas por los consumidores por otros microelementos, lo cual ocurre en las tortillas elaboradas con 100% de maíz (Serna-Saldivar, 2015).

Mejora de la actividad antioxidante

Las tortillas que se suelen encontrar en el mercado, elaboradas principalmente con maíz nixtamalizado, pueden aportar carbohidratos complejos y algunos compuestos bioactivos; sin embargo, su capacidad antioxidante suele ser limitada. Por ello, la



incorporación de ingredientes ricos en compuestos fenólicos, los cuales se pueden encontrar en granos integrales, como las leguminosas y pseudocereales, puede mejorar significativamente su potencial antioxidante. Los compuestos antioxidantes presentes en este tipo de mezclas actúan neutralizando los radicales libres y especies reactivas de oxígeno, contribuyendo a la prevención del daño celular y al mantenimiento de la salud metabólica. Además, pueden retardar la oxidación de lípidos y pigmentos, prolongando la vida útil del producto (Salinas-Moreno et al., 2017; García-Castro et al., 2022).

La incorporación de harinas procesadas de algunos granos en tortillas funcionales puede ser un vehículo de estos compuestos bioactivos en los consumidores. León-Murillo et al. (2021) elaboraron tortillas de maíz azul con chía y las harinas fueron procesadas por medio de extrusión alcalina. Al compararse con una tortilla de maíz azul comercial, la tortilla funcional mostró un incremento de alrededor del 15% en la actividad antioxidante por medio del método ORAC (Capacidad de Absorción de Radicales de Oxígeno). Sanchez-Magaña et al. (2025) incorporaron harina de lenteja en la elaboración de tortillas de maíz azul nixtamalizado, donde observaron que la adición de harina de lenteja aumentó la actividad antioxidante al compararse con una tortilla de maíz (100%) azul nixtamalizado. En este contexto, el desarrollo de tortillas con capacidad antioxidante mejorada no solo representa una alternativa para diversificar la oferta alimenticia tradicional, sino que también representa una estrategia efectiva para promover una dieta más saludable, alineada con la tendencia hacia el consumo de alimentos con propiedades funcionales y beneficios para la salud.

Actividad antihipertensiva

La mezcla de harinas alternativas combinadas con maíz nixtamalizado puede favorecer la vasodilatación y la inhibición de la enzima convertidora de angiotensina (ECA), uno de los mecanismos principales que contribuyen a la reducción de la presión arterial. Estos efectos se atribuyen a la presencia de compuestos bioactivos, entre los que destacan péptidos y compuestos fenólicos, los cuales se pueden encontrar en diversas fuentes alimentarias. Los péptidos que poseen aminoácidos hidrofóbicos en el extremo C-terminal presentan una elevada afinidad por los sitios activos de la ECA, lo que permite su inhibición. Por otro lado, los compuestos fenólicos pueden inhibir la expresión de la nicotinamida adenina dinucleótido fosfato oxidasa (NADPH oxidasa), reducir la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS) y modular la síntesis de óxido nítrico (NO). Asimismo, estos compuestos presentan la capacidad de interaccionar con el ion zinc presente en el sitio activo de la ECA,



contribuyendo de manera conjunta a sus efectos antihipertensivos (Yousefian et al., 2019; García-Castro et al., 2022).

León-Lopez et al. (2019) elaboraron tortillas a partir de harina de maíz nixtamalizada comercial adicionada con semillas de chía extruida, y al extraer sus compuestos fenólicos se observó que estos son capaces de mostrar inhibición de la enzima ECA, lo cual se puede traducir en un potencial antihipertensivo al obtenerse un IC₅₀ (concentración media inhibitoria) de 0.67 mg de extracto/mL, mientras que en extractos de compuestos fenólicos de tortillas de maíz nixtamalizada sin adicionar no se mostró inhibición de la actividad de ECA. Con estos resultados, se sugiere que el uso de harina extruida de chía en la elaboración de tortillas de maíz nixtamalizado puede tener un efecto positivo en el estado de salud en personas con hipertensión como agente terapéutico.

Bon-Padilla et al. (2022) demostraron que la adición de harina de garbanzo extruido en la formulación de tortillas de maíz nixtamalizado dio como resultado una mejora en el efecto antihipertensivo, obteniendo un IC₅₀ de 1.93 mg de extracto/mL, inferior al observado en las tortillas sin adicionar (2.29 mg de extracto/mL), atribuyendo este resultado a la presencia de compuestos bioactivos como ácidos fenólicos, flavonoides, taninos y estilbenos, los cuales han sido reportados como compuestos capaces de inhibir la actividad de la ECA. Cabe señalar que cuando se reportan valores de IC₅₀, cuanto menor sea el número, significa una mejor actividad. Gámez-Valdez et al. (2021) incorporaron harina de amaranto extendida en tortillas de maíz azul criollo extruido para evaluar diversas bioactividades como la actividad antihipertensiva, obteniendo un IC₅₀ de 0.37 mg de extracto/mL en la tortilla funcional, inferior al observado en las tortillas sin adicionar que fue de 0.45 mg de extracto/mL. La mejora en el potencial antihipertensivo funcional de la tortilla podría estar relacionada con la presencia de compuestos bioactivos como ácidos fenólicos y flavonoides, los cuales se caracterizan por tener un alto potencial inhibidor de la ECA.

Actividad antidiabética

La prevalencia de diabetes ha aumentado gradualmente en los últimos años, destacando como un problema de salud pública. Una de las estrategias más efectivas para su prevención y control es la modificación de la dieta, enfocándose en el consumo de alimentos de bajo índice glicémico y ricos en fibra dietética. Las tortillas de maíz forman parte esencial de la dieta de la población mexicana, aunque no son muy recomendables para la terapia nutricional en personas con diabetes (Uuh-Narvaez et al., 2023), por lo que en los últimos años se han buscado alternativas en su



formulación para que sean un alimento funcional ideal para consumo de personas propensas a padecer de diabetes, destacando la incorporación de cereales integrales y leguminosas, conocidos por ser excelentes fuentes de fibra y compuestos fenólicos (Vinayagam et al., 2016).

Grajales-García et al. (2012) evaluaron el índice glicémico de tortillas elaboradas a partir de maíz con proteína de calidad y frijol negro. Los resultados obtenidos en este estudio demostraron que las tortillas enriquecidas con frijol presentaron una menor digestibilidad del almidón, lo que se relaciona con una reducción del índice glicémico en comparación con las tortillas comerciales. En concreto, las tortillas con frijol negro registraron un índice glicémico de 79.76, mientras que las comerciales alcanzaron 97.5. Estos resultados sugieren que incorporar frijol en la elaboración de tortillas no solo mejora su valor nutricional, sino que también puede ayudar a controlar los niveles de glucosa en sangre, ofreciendo una opción más saludable para personas con riesgo o diagnóstico de diabetes. Acevedo-Martínez y González de Mejía (2021) evaluaron la actividad antidiabética de tortillas de maíz azul y maíz blanco adicionadas con distintas proporciones de hidrolizado de garbanzo (5%, 10% y 15%). Los resultados demostraron que, al aumentar la proporción de hidrolizado de garbanzo en las tortillas, el porcentaje de inhibición de la enzima DPP-IV (dipeptidil peptidasa 4, la cual es inhibidor de la DPP-4 y se utiliza como medicamento para tratar la diabetes mellitus tipo 2) aumentaba. En tortillas de maíz azul adicionadas, los porcentajes de inhibición oscilan entre 82 y 95%, y en tortillas de maíz blanco adicionadas se obtuvieron porcentajes de 72%, 82% y 91%. Estos resultados demostraron que la adición de hidrolizado de garbanzo en tortillas favorece esta propiedad funcional, al ser comparables con el porcentaje de inhibición obtenido en las tortillas sin adicionar (26% en tortilla de maíz azul y 11% en tortilla de maíz blanco), lo cual podría ser generado por interacciones entre compuestos fenólicos y altas concentraciones de proteína. Además, se evaluó su actividad después de la digestión, donde se observó que conservaban su funcionalidad hasta un 60% en ambas tortillas.

Propiedades tecnológicas y sensoriales de tortillas adicionadas con otros granos

Uno de los retos de las tortillas funcionales es obtener propiedades sensoriales y tecnológicas comparables a las tortillas nixtamalizadas comunes, debido a esto es fundamental evaluar estas propiedades en las tortillas funcionales con la finalidad de estimar el agrado del producto final, así como su desempeño tecnológicamente. Sensorialmente, los principales factores que se evalúan son: sabor, color, textura y aceptabilidad general. Las evaluaciones sensoriales de las tortillas funcionales son de



suma importancia debido a que la adición de fuentes proteicas alternas no solo debe conferir propiedades mejoradas, sino que debe asegurar la palatabilidad de estos alimentos funcionales por parte de los consumidores (Gámbaro & McSweeney, 2020).

Las principales propiedades utilizadas para evaluar la calidad tecnológica de las tortillas son la rolabilidad y la capacidad de hinchamiento. La rolabilidad es un parámetro de calidad subjetivo que se refiere al porcentaje de rompimiento de una tortilla después de ser enrollada, utilizando una escala de 5 puntos (donde 1=0% de rompimiento y 5= 76-100% de rompimiento), donde los valores deseados son aquellos más cercanos a 1 (Bedolla & Rooney, 1984). Por otro lado, otra prueba subjetiva es el hinchamiento, el cual hace referencia a la capacidad de las tortillas de expandirse al ser cocinadas por 1 minuto; es evaluada con una escala de 3 puntos (donde 1= 0-30% de hinchamiento y 3=70-100% de hinchamiento) donde valores cercanos a 3 denotan tortillas con mayor calidad tecnológica (Milán-Carrillo et al., 2006). La capacidad de hinchamiento de la tortilla es indicativa de su grado de cocción, debido a que al adicionar calor durante la cocción de las tortillas la humedad evaporada queda atrapada dentro de la tortilla provocando su hinchamiento y, por lo tanto, impactando positivamente en sus cualidades sensoriales (Artavia, et al., 2022). Las propiedades sensoriales y tecnofuncionales de tortillas fortificadas con diferentes fuentes proteicas muestran características variadas y específicas de cada ingrediente adicionado, así como el tipo de proceso utilizado para elaborar las tortillas (Tabla 3). Salazar et al. (2020), al evaluar sensorialmente tortillas de maíz nixtamalizado adicionadas con frijol blanco, encontraron que en una proporción 75:25 las tortillas fortificadas presentaban mayores calificaciones en los parámetros de aceptabilidad sensorial, sabor, olor y textura que las tortillas control elaboradas solo de maíz nixtamalizado. Por otro lado, Sánchez Magaña et al. (2025) encontraron que las tortillas de maíz azul nixtamalizado adicionadas con 30% de harina de lenteja presentan propiedades sensoriales y de hinchamiento similares a la tortilla control, pero una rolabilidad menor, lo que podría causar una baja aceptabilidad para elaborar tacos. Así mismo, Contreras Jiménez et al. (2020) evaluaron las propiedades sensoriales de tortillas adicionadas con 2, 6 y 10% de harina de chapulín encontrando que la aceptabilidad depende no solo de la fuente proteica alterna utilizada, sino también de la cantidad adicionada, donde los mejores resultados para obtener tortilla aceptable fueron con la menor cantidad de harina de chapulín.



Tabla 3. Cuadro comparativo del perfil nutricional, propiedades nutraceuticas y propiedades tecnofuncionales y sensoriales de tortillas elaboradas con maíz blanco nixtamalizado, maíz azul nixtamalizado comercial, maíz azul nixtamalizado y tortillas funcionales elaboradas con fuentes proteicas y procesamiento alternos

Formulaciones de tortillas									
Proporciones	Maíz blanco nixtamalizado comercial	Maíz azul nixtamalizada comercial	Maíz azul nixtamalizada	Maíz azul negra extruida (75:25)	Maíz nixtamalizado-garbanzo extruido (70:30)	Maíz azul-amaranto extruido (70:30)	Maíz nixtamalizado comercial- frijol común (80:20)	Frijol negro (70:30)	Maíz QPM-
Perfil nutricional (%) ^a									
Proteína	8.88	9.2	11.53	15.38	13.27	11.69	10.89	12.04	
Lípidos	5.3	2.2	4.44	6.01	3.18	6.21	4.13	3.89	
Minerales	.	1.39	1.68	2.58	2.37	2.15	1.81	2.587	
Fibra									
Soluble	1.37	-	-	3.54	2.28	2.43	-	-	
Insoluble	4.7	-	-	18.03	11.13	9.49	-	-	
Total	6.07	-	-	21.57	13.4	11.92	.	14.72	
Carbohidratos	-	82.01	82.4	-	67.78	-	84.25	-	
Propiedades nutraceuticas/ nutrionales									
Actividad antioxidante ^b									
ORAC	-	3,999.64	3,419.3	18,006	8,031	13,187	-	-	
ABTS	5,985	1,118.96	-	-	5,008	-	5.79	12.55	
Potencial Antihipertensivo ^c									
Inhibidor de ACE -	-	-	0.47	1.93	0.37	-	-	-	
Potencial antidiabético ^c									
α-amilasa	-	-	-	20.07	41.12	18.33	-	-	
α-glucosidasa	-	-	-	16.25	37.01	15.04	-	-	
DPIV ^d	79.9	-	-	84	82.01	79.39	-	-	
Propiedades tecnofuncionales/sensoriales ^e									
Aceptabilidad	8.5	-	8.6	8.34	8.51	8.01	5	-	
Color	-	-	8.84	7.22	8.37	8	6	-	
Sabor	-	-	8.52	7.6	8.23	7.88	5	-	
Textura	-	-	8.6	7.71	8.59	7.97	6	-	
Hinchamiento	3	-	2.8	3	2.87	2.13	1.7	-	
Rolabilidad	5	-	1.83	1.08	1.4	1.96	1.38	-	
Fuente	León-López et al. (2019)	Astorga-Gaxiola et al. (2022)	Sánchez-Magaña et al. (2025)	León-Murillo et al. (2021)	Bon-Padilla et al. (2022)	Gómez-Valdez et al. (2022)	Treviño-Mejía et al. (2016)	Grajales-García et al. (2012)	

^a Reportado base seca; b)μmol equivalente de Trolox /100g; c IC50= Concentración mínima inhibitoria; d DPIV (%): Digestibilidad proteínica *in vitro*. e Escala de preferencia (1= me disgusta extremadamente y 9= me gusta extremadamente)



En este contexto, resulta evidente la importancia de evaluar los parámetros sensoriales y tecnológicos de las tortillas funcionales.

Conclusiones

Las tortillas de maíz son la base de la alimentación de los mexicanos; estas se elaboran mediante el proceso tradicional de nixtamalización o con harinas nixtamalizadas que se producen de manera comercial. Asimismo, un proceso alternativo como la extrusión permite obtener tortillas de maíz nixtamalizado conservando las propiedades nutricionales, funcionales y sensoriales cuando se comparan con las tortillas tradicionales. La incorporación de leguminosas procesadas térmicamente en porcentajes que van desde un 2% hasta un 30% permite obtener tortillas con características nutricionales y sensoriales iguales o mayores que las obtenidas de manera tradicional. Estas tortillas se conocen como tortillas funcionales, ya que, además de nutrir, han mostrado *in vitro* mejoras en propiedades antioxidantes, antidiabéticas e inhibidoras de enzimas que participan en la regulación de la presión arterial.

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

Este proyecto tuvo financiamiento de SECIHTI del proyecto de Ciencia de Frontera No. 263352.

Agradecimientos

Baldenebro-Ojeda Kendra (CVU: 1313420) y López-Villa Fedra-Carolina (CVU: 1312179) agradecen a SECIHTI por la beca otorgada para la formación de estudios de Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos y Maestría en Ciencias con Orientación en Biotecnología, de la Universidad Autónoma de Sinaloa. Así como también agradecer la colaboración con la RED CITED-INNOPROT (124RT0164).

Referencias

Acevedo-Martinez, K. A., & Gonzalez de Mejia, E. (2021). Fortification of maize tortilla with an optimized chickpea hydrolysate and its effect on DPPIV inhibition capacity and physicochemical characteristics. *Foods*, 10(8), 1835. <http://doi.org/10.3390/foods10081835>



- Adekola, K. A. (2016). Engineering review food extrusion technology and its applications. *Journal of Food Science and Engineering*, 6, 149-168. <http://doi.org/10.17265/2159-5828/2016.03.005>
- Artavia, G., Arias-Álvarez, C., Cortés-Herrera, C., & Granados-Chinchilla, F. (2022). Physicochemical and sensory assessment of partial corn substitutions with carotenoid-containing non-traditional flours during tortilla preparation. *Cogent Food & Agriculture*, 8(1), 2122273. <http://doi.org/10.1080/23311932.2022.2122273>
- Bedolla, S., & Rooney, L. W. (1984). Characteristics of U.S. and Mexican instant maize flours for tortilla and snack preparation. *Cereal Foods World*, 29(11), 732-735. <http://europepmc.org/abstract/AGR/IND85022082>
- Blanco-Vega, D.D., Reyes-López, A., Vargas-Neri, J.L., & Osnaya-Valencia, F.I. (2024). Efectos de las intervenciones dirigidas por farmacéuticos en pacientes adultos con diabetes mellitus tipo 2 en México: Una revisión sistemática. *Farmacia*, 12(5), 148. <https://doi.org/10.3390/pharmacy12050148>
- 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(5), 1154-1165. <https://doi.org/10.1002/cche.10577>
- Contreras Jiménez, B., Oseguera Toledo, M. E., García Mier, L., Martínez Bravo, R., González Gutiérrez, C. A., Curiel Ayala, F., & Rodríguez-García, M. E. (2020). Physicochemical study of nixtamalized corn masa and tortillas fortified with “chapulin” (grasshopper, *Sphenarium purpurascens*) flour. *CyTA-Journal of Food*, 18(1), 527-534. <https://doi.org/10.1080/19476337.2020.1794980>
- Chuck Hernández, C. E., & Serna-Saldivar, S. O. (2019). Chapter 25 - Soybean-Fortified Nixtamalized Corn Tortillas and Related Products. En V. R. Preedy & R. R. Watson (eds.), *Flour and Breads and their Fortification in Health and Disease Prevention* (Second Edition) (pp. 319-332): Academic Press. Doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814639-2.00025-3>
- Dominguez, N. E., Gimenez, M. A., Segundo, C. N., Gremaqui, I. d. l. A., Lobo, M. O., & Samman, N. C. (2024). Effect of Alkaline Extrusion Temperature on Rheological Properties of Andean Corn Dough. *Biology and Life Sciences Forum*, 37(1), 19. doi: <https://doi.org/10.3390/blsf2024037019>
- Enriquez-Castro, C. M., Morales-Sánchez, E., & Contreras Jiménez, B. L. (2024). Innovation in Nixtamalization by Extrusion Using the Wet Process. En T. Tse (ed.), *Exploring the World of Cereal Crops*. IntechOpen. doi: 10.5772/intechopen.1004159



- Escamilla-Urbina, I., Totosaús-Sánchez, A., Rodríguez-Huezo, M. E., Vernon-Carter, E. J., & Álvarez-Ramírez, J. (2025). Effect of calcium hydroxide and nixtamalization time on the in vitro starch and protein digestibility of traditional maize tortillas. *Plant Foods for Human Nutrition*, 80(1), 61. <http://doi.org/10.1007/s11130-024-01245-z>
- Espejel-García, M. V., Mora-Flores, J. A., García-Salazar, J. A., Pérez-Elizalde, S., & García-Mata, R. (2016). Caracterización del consumidor de tortilla en el Estado de México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 13(3), 371-384. <https://www.redalyc.org/pdf/3605/360547924002.pdf>
- Fekete, M., Lehoczki, A., Kryczyk-Poprawa, A., Zábó, V., Varga, J. T., Bálint, M., Fazekas-Pongor, V., Csípő, T., Rzaşa-Duran, E., & Varga, P. (2025). Functional Foods in Modern Nutrition Science: Mechanisms, Evidence, and Public Health Implications. *Nutrients*, 17(13), 2153. <https://doi.org/10.3390/nu17132153>
- Félix-Sámano, A., Félix-Medina, J., 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*, 2025(1), 6961009. <https://doi.org/10.1155/ijfo/6961009>
- Gámez-Valdez, L. C., Gutiérrez-Dorado, R., Gómez-Aldapa, C. A., Perales-Sánchez, J. X. K., Milán-Carrillo, J., Cuevas-Rodríguez, E. O., 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>
- Galindo-Olgún, C. N., Cruz-Cansino, N. d. S., Ramírez-Moreno, E., Ariza-Ortega, J. A., Camacho-Bernal, G. I., & Cervantes-Elizarrarás, A. (2021). El maíz y la nixtamalización: modificación de sus componentes, técnicas de proceso y enriquecimiento de tortilla. *Educación y Salud Boletín Científico Instituto de Ciencias de la Salud Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*, 10(19), 205-213. <http://doi.org/10.29057/icsa.v10i19.7236>
- Gaxiola, A. H. A., Moreno, C. R., Edeza, M. J., Rodríguez, E. O. C., & Rochín, S. M. (2025). Efecto del proceso de nixtamalización tradicional y extrusión sobre la bioaccesibilidad y actividad antioxidante de compuestos fenólicos de tortillas de maíz azul durante la fermentación in vitro por la microbiota colónica humana. *Biotechnia*, 27, 1-11. <https://doi.org/10.18633/biotechnia.v27.2520>
- Gámbaro, A., & McSweeney, M. B. (2020). Chapter Eight - Sensory methods applied to the development of probiotic and prebiotic foods. En A. G. da Cruz, E. S. Prudencio, E. A. Esmerino, & M. C. da Silva (eds.), *Advances in Food and Nutri-*



- tion Research* (Vol. 94, pp. 295-337). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2020.06.006>
- García-Castro, A., Roman-Gutiérrez, A. D., Guzmán-Ortiz, F. A., Castañeda-Ovando, A., & Cariño-Cortés, R. (2022). Compuestos bioactivos presentes en alimentos con actividad antihipertensiva y su efecto en COVID-19. *Pädi Boletín Científico De Ciencias Básicas E Ingenierías Del ICBI*, 9(18), 1–6. <https://doi.org/10.29057/icbi.v9i18.8098>
- Grajales-García, E. M., Osorio-Díaz, P., Goñi, I., Hervert-Hernández, D., Guzmán-Maldonado, S. H., & Bello-Pérez, L. A. (2012). Chemical composition, starch digestibility and antioxidant capacity of tortilla made with a blend of quality protein maize and black bean. *International Journal of Molecular Sciences*, 13(1), 286-301. <https://doi.org/10.3390/ijms13010286>.
- Gutiérrez, E., López-Martínez, L., Tirado-Gallegos, J., Buenrostro Figueroa, J., Galindo, H., & Jiménez, R. (2025). Fortified Maize Tortilla: from the traditional Mesoamerican diet to functional food Tortilla Fortificada: de la dieta tradicional mesoamericana a la alimentación funcional. *Biotechnia*, 27, e2269. [doi:10.18633/biotechnia.v27.2269](https://doi.org/10.18633/biotechnia.v27.2269)
- Hassan, S. M., Forsido, S. F., Tola, Y. B., & Bikila, A. M. (2024). Physicochemical, nutritional, and sensory properties of tortillas prepared from nixtamalized quality protein maize enriched with soybean. *Applied Food Research*, 4(1), 100383. [doi:https://doi.org/10.1016/j.afres.2023.100383](https://doi.org/10.1016/j.afres.2023.100383)
- Hernández-Martínez, V., Salinas-Moreno, Y., Ramírez-Díaz, J. L., Vázquez-Carrillo, G., Domínguez-López, A., & Ramírez-Romero, A. G. (2016). Color, phenolic composition and antioxidant activity of blue tortillas from Mexican maize races. *CyTA - Journal of Food*, 14(3), 473–481. <https://doi.org/10.1080/19476337.2015.1136842>
- Kamau, E. H., Nkhata, S. G., & Ayua, E. O. (2020). Extrusion and nixtamalization conditions influence the magnitude of change in the nutrients and bioactive components of cereals and legumes. *Food Science & Nutrition*, 8(4), 1753-1765. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1473>
- Leonard, W., Zhang, P., Ying, D., & Fang, Z. (2020). Application of extrusion technology in plant food processing byproducts: An overview. *Comprehensive Review in Food Science and Food Safety*, 19(1), 218-246. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12514>
- 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. *Biotechnia*, 21(3), 56–66. <https://doi.org/10.18633/biotechnia.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 preparadas con harinas extruidas de maíz azul y semillas de chía como una opción de alimento nutritivo y nutracéutico. *Agrociencia*, 55(6), 487-506. <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v55i6.2555>
- Milán-Carrillo, J., Gutiérrez-Dorado, R., Perales-Sánchez, J. X. 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>
- Reyes-Moreno, C., Reyes Fernández, P., Cuevas-Rodríguez, E. O., Milán Carrillo, J., & Mora-Rochín, S. (2018). *Changes in Nutritional Properties and Bioactive Compounds in Cereals During Extrusion Cooking*. InTech. <https://doi.org/10.5772/intechopen.68753>
- Rodiles-López, J. O., Arriaga-Martínez, L. P., Martínez-Flores, H. E., Zamora-Vega, R., & García-Martínez, R. M. (2018). Desarrollo de una tortilla adicionada con harinas de aguacate y nopal y su efecto en la reducción de colesterol, triglicéridos y glucosa en ratas. *Biotechnia*, 21(2), 71-77. <https://biblat.unam.mx/hevila/Biotechnia/2019/vol21/no2/9.pdf>
- Salazar, D., Rodas, M., & Arancibia, M. (2020). Production of tortillas from nixtamalized corn flour enriched with Andean crops flours: Faba-bean (*Vicia faba*) and white-bean (*Phaseolus vulgaris*). *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 32(10), 731-738. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2020.v32.i10.2179>
- Salinas-Moreno, Y., Martínez, V., Trejo-Téllez, L. I., Luis, J., Díaz, R., & Gómez, O. (2017). Composición Nutricional Y De Compuestos Bioactivos En Tortillas De Poblaciones Nativas De maíz Con Grano azul/Morado. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(7), 1483–1496. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i7.525>
- Sánchez-Magaña, L. M., Rodríguez-Heráldez, D. A., Mora-Rochin, S., León-López, L., Reyes-Moreno, C., & Domínguez-Arispuro, D. M. (2025). Efecto de la adición de harina de lenteja en el contenido nutricional y polifenoles en tortillas de maíz azul. *Revista Biociencias*, 11, e1701. <https://doi.org/10.15741/revbio.12.nesp.e170>
- Serna-Saldivar, S. O. (2017). Chapter 1 - History of Corn and Wheat Tortillas. En L. W. Rooney & S. O. Serna-Saldivar (eds.), *Tortillas. Wheat Flour and Corn Products*



- (pp. 1-28). Woodhead Publishing and AACC International Press. <https://doi.org/10.1016/B978-1-891127-88-5.50001-3>
- Serna-Saldivar, S. O., & Chuck-Hernandez, C. (2019). Chapter 17 - Food Uses of Lime-Cooked Corn With Emphasis in Tortillas and Snacks. En S. O. Serna-Saldivar (ed.), *Corn. Chemistry and Technology* (Third Edition, pp. 469-500). Woodhead Publishing and AACC International Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811971-6.00017-6>
- Serna-Saldivar, S. O. (2021). Understanding the functionality and manufacturing of nixtamalized maize products. *Journal of Cereal Science*, 99, 103205. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2021.103205>
- Uuh Narváez, J. J., Us Medina, U., Muñoz Rodríguez, D., & Segura Campos, M. R. (2023). Nutritional and functional properties of corn tortillas added with cabbage as an option for diabetes management. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 32, 100706. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2023.100706>
- 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(6), 569-579. <https://doi.org/10.1111/jfq.12251>
- Vinayagam, R., Jayachandran, M., and Xu, B. (2016) Antidiabetic effects of simple phenolic acids: a comprehensive review. *Phytotherapy Research*, 30(2), 184–199. <https://doi.org/10.1002/ptr.5528>
- Yousefian, M., Shakour, N., Hosseinzadeh, H., Hayes, A. W., Hadizadeh, F., & Karimi, G. (2019). The natural phenolic compounds as modulators of NADPH oxidases in hypertension. *Phytomedicine*, 55, 200-213. <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2018.08.002>
- Wu, M., Taylor, C., Zahradka, P., & Arntfield, S. (2023). Reduced in vitro starch hydrolysis and in vivo glycemic effects after addition of soy presscake to corn tortillas. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 103(15), 7829-7835. <https://doi.org/10.1002/jsfa.12863>
- Zhang, B., Liu, G., Ying, D., Sanguansri, L., & Augustin, M. A. (2017). Effect of extrusion conditions on the physico-chemical properties and *in vitro* protein digestibility of canola meal. *Food Research International*, 100(1), 658-664. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.07.060>