

El maíz y la nixtamalización: modificación de sus componentes, técnicas de proceso y enriquecimiento de tortilla

Corn and nixtamalization: component modification of its, processing techniques and tortilla enrichment

Claudia Neri Galindo-Olguín^a, Nelly del S. Cruz-Cansino^b, Esther Ramírez-Moreno^c, José Alberto Ariza-Ortega^d, Gloria Isabel Camacho-Bernal^e, Alicia Cervantes-Elizarrarás^f

Abstract:

Corn (*Zea mays* L.) is the most important cereal worldwide in economic terms, there are different colors that characterize this seed, which influences its nutritional components. It is a food with an important contribution to health, in addition to its versatility for consumption, it is highly consumed in Latin America, one way to consume it is in tortilla, currently other foods have been added to this product to increase its nutritional content that benefit the population. The objective of this work had to provide an overview of the properties and characteristics of corn, as well as the alternative technologies applied to it, in the nixtamalization process, the main uses of corn in different industries, and the recent research evidence applied to tortilla enrichment, are also discussed.

Keywords:

Corn, antioxidant, changes in nixtamalization, enrichment, fortification

Resumen:

El maíz (*Zea mays* L.) es el cereal más importante a nivel mundial en términos económicos, existen diversos colores que caracterizan este grano, lo cual influye en sus componentes nutricionales. Es un alimento con importante aporte a la salud, además por su versatilidad para su consumo, es altamente consumido en Latinoamérica, una forma de consumirse es en tortilla, actualmente se han adicionado otros alimentos a este producto para aumentar su contenido nutricional que benefician a la población. El presente trabajo tuvo como objetivo aportar un panorama general de las propiedades y características del maíz, así como las tecnologías alternativas aplicadas al mismo, en el proceso de nixtamalización, además de abordar sus principales usos en diferentes industrias, y evidencias recientes de investigaciones aplicadas al enriquecimiento de la tortilla.

Palabras Clave:

Maíz, antioxidante, cambios en la nixtamalización, enriquecimiento y fortificación

Introducción

El maíz, "tlayol" (en náhuatl tlayolli) "semilla de los dioses" hace referencia al maíz desgranado, una planta de gran valor para las civilizaciones antiguas, desde entonces se

^a Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, <https://orcid.org/0000-0002-7215-9833>, Email: ga339081@uaeh.edu.mx

^b Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, <https://orcid.org/0000-0002-6771-3684>, Email: nacruz@uaeh.edu.mx

^c Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, <https://orcid.org/0000-0002-9928-8600>, Email: esther.ramirez@uaeh.edu.mx

^d Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, <https://orcid.org/0000-0002-2163-4593>, Email: jose_ariza@uaeh.edu.mx

^e Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, <https://orcid.org/0000-0003-4810-8099>, Email: gloria_camacho11174@uaeh.edu.mx

^f Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, <https://orcid.org/0000-0002-1432-2882>, Email: alicia_cervantes@uaeh.edu.mx

ha constituido como un cereal indispensable para el hombre, gracias a su versatilidad para mezclarse con diversos ingredientes y la creatividad de cada cocina¹, de esto deriva la importancia en su producción y consumo a nivel mundial. El maíz es el segundo cultivo de mayor producción en el mundo, y en términos económicos el más importante mundialmente, ya sea como consumo humano, para ganado o como materia prima de productos industriales de acuerdo a la Secretaría de Economía.² El principal productor es EEUU a nivel mundial, seguido de China y Brasil.³ El maíz es una planta de polinización abierta, a esto se debe la existencia de variedades pigmentadas como: azul, rojo, además del blanco y amarillo. El maíz blanco y azul es producido únicamente para el consumo humano debido al contenido nutricional, mientras el maíz amarillo tiene uso industrial o para alimentación del ganado.⁴ La composición nutricional del maíz varía de acuerdo a su color y características físicas, es fuente de carbohidratos, contiene en menor proporción proteínas y lípidos. En los maíces pigmentados se encuentran en mayor cantidad compuestos con propiedades antioxidantes (fenoles, flavonoides y antocianinas),⁵ los cuales aportan un sin número de beneficios a la salud previniendo algunas enfermedades metabólicas como obesidad, diabetes, nefropatías, cáncer y algunas enfermedades del sistema nervioso.⁶ Actualmente las nuevas tecnologías se han aplicado en la nixtamalización con el propósito de cambiar y mejorar propiedades químicas como la gelatinización del almidón, nutricionales como pérdida de materia seca y cambios estructurales en macro y micro nutrientes, en esta y también en sus subproductos.⁷ Derivado de lo anterior, este cereal ha despertado un amplio interés por parte de los investigadores para conocer el valor que tiene en la industria alimentaria y por ende en la alimentación y desarrollo económico del sector que se dedica a producirlo, por tanto, el presente escrito tuvo como objetivo aportar un panorama general de las propiedades y características del maíz, así como las tecnologías alternativas aplicadas al mismo, en el proceso de nixtamalización, además de abordar los alimentos realizados a partir de este proceso, en especial tortilla, así como la evidencia de investigaciones aplicadas a su enriquecimiento.

Tipos de maíz

La diversidad genética del maíz (*Zea mays* L.) “está concentrada en Mesoamérica, especialmente en México que es el principal centro de origen, domesticación y diversificación”.⁸ El maíz que los campesinos cultivan principalmente es el blanco o blanco mezclado con otros colores, pinto, azul, negro, rosado y rojo,⁹ su coloración se

atribuye a las antocianinas, responsables de la pigmentación azul, púrpura y rojo en las plantas.¹⁰ No hay estadísticas actuales de la producción mundial de los maíces pigmentados, sin embargo, el maíz púrpura ha sido introducido en China, además existen datos reportados en algunos estados de México.¹¹⁻¹² El Estado de México en 2017 registró una superficie sembrada de 11 086 hectáreas de maíz azul y Chiapas con una superficie de 8 019 ha de maíz morado de acuerdo al Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera,¹³ “esto se debe a que los maíces pigmentados son producidos por agricultores en pequeñas superficies y la mayor parte de la producción es para autoconsumo”.⁸

Contenido Nutricional

En la Tabla 1 se muestra la composición de los diferentes tipos de maíz de acuerdo a su pigmentación. La humedad es un indicador de calidad¹⁵, los valores presentados oscilan en el rango de 6.3 % a 11.62 %, los cuales de acuerdo a la NMX-FF-034/1-SCFI 2002 cumplen con el parámetro establecido que es por debajo de 14 %, ¹⁴ esta característica depende de su almacenamiento, manejo y conservación, entre menor humedad menor deterioro, aunque esto podría facilitar su rompimiento¹⁵ La cantidad de cenizas no debe sobrepasar 0.05 g/g (5 %) de muestra seca, valores por encima podrían indicar contaminaciones por calcio, sal y tierra debido a la poca limpieza en la cosecha.¹² Los lípidos en el grano se encuentran en un rango de 0.2 % a 7.73 %, de acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas de la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés; Food and Agriculture Organization),¹⁶ el porcentaje de lípidos oscila entre 3 % y 18 %, esto puede cambiar debido a la variedad de maíz. Los principales ácidos grasos, que lo conforman son linoleico y oleico, lo cual está influido directamente por la disponibilidad de oxígeno, pues éste limita la biosíntesis de lípidos aumentando la conversión de algunas enzimas y coenzimas para su biosíntesis.¹⁷ De acuerdo al Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN)¹⁸ el maíz debe contener un mínimo de 8 % de proteína, los principales aminoácidos que contiene el maíz son el ácido glutámico, seguido de la leucina.¹⁹ El rango de los valores en la Tabla 1 es de 6.76 % a 10.7 %, esto puede estar relacionado con la extracción conjunta del germen y el almidón²⁰ e influida por factores como herencia, clima, tipo de suelo y prácticas de cultivo.¹² Los carbohidratos del maíz por su parte, están ocupados mayormente por almidón, su contenido es de 72 % a 73 % del peso del grano,¹⁶ el maíz azul es el de mayor contenido (84 %), lo cual está relacionado con la coloración que presentan, y la biosíntesis de pigmentos podría alterar la biosíntesis del almidón, esto a reserva de más estudios.²⁰

Tabla 1. Contenido nutricional de las variedades del maíz.

Table 1. Nutritional content of maize varieties

Variedad	Humedad	Cenizas	Lípidos	Proteínas	Carbohidratos
Blanco criollo	6.32 a 7.46 ¹	0.62 a 1.49 ¹	0.22 a 7.67 ¹	7.52 a 9.54 ¹	78.21 a 70.91 ¹
Blanco híbrido	7.98 ¹	1.48 ¹	7.73 ¹	9.93 ¹	70.71 ¹
Amarillo híbrido	11.62 ⁴	1.40 ⁴	4.90 ⁴	10.70 ⁴	83.10 ⁴
Azul	7.40 ²	0.30 ²	0.50 ²	8.30 ²	84.10 ²
Azul (tabloncillo)	8.58 ³	1.63 ³	5.36 ³	9.04 ³	78.50 ³
Azul (chalqueño)	8.29 ³	1.52 ³	4.91 ³	9.04 ³	82.9 ³
Morado	10.43 ¹	1.42 ¹	4.07 ¹	6.76 ¹	74.30 ¹
Rojo	6.86 ¹	1.39 ¹	5.40 ¹	7.45 ¹	72.31 ¹

Fuente: Modificado a partir de ¹ (15), ² (20), ³ (12), ⁴ (67).

Tabla 2. Contenido de antioxidantes y actividad antioxidante

Table 2. Antioxidant content and antioxidant activity

Color de grano	Contenido fenólico	Flavonoides ^A	Antocianinas ^B	DPPH ^C	FRAP ^D
Azul	116.8 a 137.4* ¹	0.10 a 0.18 ¹	22.74 a 37.5 ¹	----	5.585 ¹
Rojo	93.2 a 166.4* ¹	0.08 a 0.19 ¹	0.73 a 36.12 ¹	----	5.510 ¹
Amarillo	69.9 a 86.74* ¹ 4 576 a 4 971** ²	0.02 a 0.05 ¹	3.56 a 6.35 ²	32.04 a 32.56 ²	3.931 ¹
Blanco	2 813.7 a 5 638.8** ²	-----	2.34 a 7.01 ²	13.29 a 33.08 ²	-----
Negro	3 859 a 4 637** ²	-----	9.35 a 21.71 ²	21.36 a 33.08 ²	-----
Morado	43.51 a 5 589.3** ²	-----	36.9 a 816.8 ² 185.5 a 1047.8 ³ 9.35 a 25.04 ²	24.27 a 32.90 ²	-----

Fuente: modificado a partir de ¹(26), ²(10), ³(27). *mg equivalentes de ácido gálico/100g, **mg de ácido tánico/100g; ^Amg equivalentes de catequina/g; ^Bmg equivalentes de cianidin-3-glucósido/100g, ^C Porcentaje de DPPH; ^Dmg equivalentes de trolox /g.

Contenido de antioxidantes

Evaluar el contenido fenólico total es importante debido a las bondades de estos compuestos en la salud, relacionados con la mejora y prevención de patologías como vasodilatadores, anticarcinogénicos, antiinflamatorios, bactericidas, estimuladores de la respuesta inmune, anti- alérgicos, antivirales.²¹ Entre los cereales, el maíz es el que contiene mayor cantidad de fenoles.²² Los ácidos fenólicos que componen al maíz principalmente son el ferúlico, p-cumárico y sinápico,²³ de los valores de contenido fenólico total indicados en la Tabla 2, el maíz rojo presenta el mayor valor en materia fresca, mientras que el maíz blanco contiene el valor máximo en materia seca, mismo que puede estar relacionado con el tiempo de maduración de la semilla, ya que incrementa en proporción a su madurez y/o crecimiento.²⁴ No hay relación significativa entre el contenido fenólico y la coloración.¹⁰ Sin embargo, también se reporta que los maíces con más compuestos fenólicos son los pigmentados (rojo, azul, negro), siendo las antocianinas el componente más importante.⁵

Los flavonoides son compuestos fenólicos, clasificados en: flavonas, flavonoles, isoflavonas, flavanonas, antocianinas y taninos condensados.²⁵ La Tabla 2 muestra al maíz amarillo con el rango más bajo, Martínez et al, (2019)⁶ afirma que el origen geográfico es un factor importante en el contenido de estos compuestos, debido a que el clima y factores del suelo son diferentes para cada maíz, lo cual influye en la absorción, movilización y biosíntesis de nutrientes como son los compuestos fenólicos y flavonoides como las antocianinas.

Recientemente los maíces pigmentados han adquirido un mayor interés en investigación debido a su alto contenido de antocianinas.²⁰ El contenido de este compuesto en los diferentes maíces en la Tabla 2, registra al maíz morado con el valor más alto, y el maíz rojo con el más bajo, las antocianinas se concentran en cantidades elevadas y son fuente de pigmentos naturales²⁷ ya que los granos rojos con coloración tenue muestran un bajo contenido de antocianinas, además es probable que el lugar de cultivo sea un factor que modifique su concentración,²⁶ así como la diversidad genética de las variedades utilizadas.¹⁰ Sin embargo, la síntesis de antocianinas en el maíz se produce durante la última fase de la cosecha del grano, y cualquier alteración ambiental o fisiológica influye en el contenido final de antocianinas.²⁶ El consumo de maíz pigmentado, podría ser beneficioso a la salud gracias a la actividad antioxidante de sus compuestos,²⁸ entre ellos la protección contra las lesiones hepáticas, la reducción significativa de la presión sanguínea, mejora de la vista,

actividad antiinflamatoria, antimicrobiana y la supresión de proliferación de células cancerosas.²⁵

Los valores de actividad antioxidante por DPPH+ y FRAP+ de los diferentes maíces se presentan en la Tabla 2, no hay relación entre los fenoles totales y la actividad antioxidante.¹⁰ Sin embargo, Salinas-Moreno, (2012)⁵ afirma que, si existe relación entre el contenido de antocianinas y la actividad antioxidante, dependiendo de la aglicona o antocianidina de la cual derive, algunas con más actividad antioxidante que otras.

Usos y aplicaciones del maíz

La harina de maíz es obtenida mediante la molienda seca de los granos, es el proceso en el que se separan las distintas partes que componen los granos de maíz.²⁹ Existen dos clases de harina de maíz; la integral que se obtiene de los granos mediante un proceso de molienda, la cual conserva su cáscara y germen,³⁰ mientras que la harina de maíz no integral, también llamada harina de maíz sin germen; debido a que durante el proceso de molienda, se separan el germen y el salvado según la Organización Mundial de la Salud.³¹

La harina de maíz es utilizada para sustituir harina de trigo en galletas, algunos alimentos son añadidos a la mezcla para mejorar su contenido nutricional, en este caso se añade harina de chufa con el fin de aumentar la proteína, se realizan varias mezclas, presentando un mejor resultado al añadir 60 % harina de maíz y 40 % chufa, con una diferencia del 66.39 % en el contenido de proteína con respecto al control (100 % harina de maíz).³² También se realizó una mezcla de harina de maíz (60 %) con harina de plátano (40 %) logrando incrementar significativamente el contenido de minerales como calcio (35.33 veces), hierro (1.14 veces), fósforo (2.31 veces), potasio (0.68 veces), sin embargo, la mayor aceptación sensorial en general, es la muestra control que contiene 100 % harina de maíz.³³ Por otro lado, en Nigeria, las galletas de maíz con harina de almendra y coco, así como trigo en pequeñas proporciones, se realizan como una alternativa para evitar la importación de trigo y reducir costos, esta mezcla ofrece un beneficio reflejado en el incremento de la proteína (6.8 %), en consecuencia, este producto se considera una buena opción en la mejora de la desnutrición proteico-calórica.³⁴

En respuesta a la necesidad de encontrar una pasta de maíz que sea lo más parecido a la de trigo, se han abierto posibilidades a nuevas alternativas en la producción de pastas libres de gluten, adicionando gomas a la pasta de harina de maíz, mediante un proceso de micronización, su evaluación ha dado resultados favorables en cuanto a calidad, textura, color y aceptabilidad, muy semejantes a la pasta de trigo.³⁵ Por otro lado, Kosiński y Cacak-

Pietrzak, (2020)³⁶ aseveran que al añadir a la pasta de maíz algún tipo de emulsionante (mono y diglicéridos de grasa), permite una retención de agua similar a las pastas de harina de trigo, lo cual resolvería la pérdida de materia seca, la mezcla con mayor aceptación sensorial es la de harina de maíz combinada con arroz.

En una pasta a base de maíz blanco o azul, con plátano verde y garbanzo, el maíz azul brinda un efecto nutracéutico, atribuido a las antocianinas y a su actividad antioxidante, y buena calidad de cocción con aceptables características de textura.³⁷

Otro de los subproductos, es el almidón, el cual es empleado como relleno de comprimidos para sustituir el uso de lactosa, con la finalidad de evitar las molestias por la intolerancia que esta causa.³⁸ El almidón de maíz como nanoencapsulante de antocianinas, mediante esterificación, se considera una opción excelente debido a su biodisponibilidad, bajo costo, liberación controlada de moléculas bioactivas, ya que existe interacción nanopartícula-antocianina, aumentando algunas características como la cristalinidad y tamaño hidrodinámico.³⁹ A su vez, el almidón se emplea para la fabricación de Ogi (alimento en forma de papilla hecha a partir de cereales fermentados), dando lugar a un producto con un costo menor, contenido de carbohidratos mayor, y mejoramiento en los parámetros de sabor y aroma, no obstante, presenta una disminución de proteínas y grasas en comparación con la muestra elaborada a partir de grano de maíz.⁴⁰

Por otro lado, el germen del grano del maíz es utilizado para producción de aceite mediante un proceso de extracción o prensado en frío, para después refinarlo, su uso principal es en la cocina debido a su alto punto de fusión.⁴¹ Al aceite de maíz se le han añadido sustancias bioactivas como polifenoles y flavonoides, provenientes de especies vegetales, esto con el fin de enriquecerlo y darle un valor agregado, aportando aromas y sabores, que a su vez ofrecen un beneficio a la salud del consumidor, como antioxidantes.⁴² Otro de sus usos es como sustituto de los glóbulos de grasa en la leche para yogurt preparado, con la finalidad de interactuar con las proteínas de la leche, como refuerzo en la estructura del gel, logrando una menor sinéresis y un incremento en la aceptabilidad.⁴³

La utilidad que se le ha dado al maíz como materia prima para la producción de alcoholes grado combustible, resulta una opción económica y al ser un recurso renovable se obtienen beneficios ecológicos, esto se realiza mediante un proceso de fermentación.⁴⁴ Barros-Ríos et. al. (2016)⁴⁵ aseguran que mediante procesos hidrotermales es posible obtener bioetanol de grano y del rastrojo de maíz, lo cual apunta a un mejoramiento en su producción, así como una disminución de costos.

El jarabe de maíz de alta fructosa es un subproducto del maíz, definido por el Codex Alimentarius⁴⁶ como “una solución acuosa concentrada y purificada de sacáridos nutritivos, obtenido a partir del almidón y/o inulina”. Es altamente empleado por su bajo costo como endulzante, en productos industrializados, por ejemplo, bebidas carbonatadas y no carbonatadas, yogurt, mermelada y pan.⁴⁷⁻⁴⁸ Recientemente se ha empleado para síntesis de carbón activado, mediante un procedimiento hidrotermal y de auto activación física, actuando como electrodos de condensadores electroquímicos de doble capa.⁴⁹ Otra de sus aplicaciones, es para la formación de 5-hidroximetilfurfural (HMF) (compuesto principal de plataformas de biomasa), utilizando ácido glucónico como catalizador, capaz de producir suficientes protones para la conversión de fructosa a HMF sin utilizar ácido, este proceso resulta más económico y ecológico que la utilización de fósiles.⁵⁰ También se utiliza como fuente de carbono, para producir disolventes a través de la fermentación de acetona-butanol-etanol, funcionando como sustrato de modelo de mezclas concentradas de azúcar mediante la fermentación de monosacáridos y disacáridos, en el cual el producto principal es el butanol, considerado un biocombustible.⁵¹

Modificación de los componentes del maíz durante la nixtamalización

La nixtamalización consiste en una cocción termo-alcalina del grano de maíz con agua y cal ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), los granos se muelen para producir masa o se deshidratan para obtener harinas de maíz instantáneas.⁵² Los cambios de los nutrientes durante este proceso se deben a las pérdidas químicas y materiales del grano, que pueden derivar de la destrucción de algunos elementos nutritivos y de la transformación química de otros.¹⁶

Actualmente, se investigan los cambios de los componentes nutricionales como los lípidos, almidón y proteínas durante el proceso de nixtamalización. En dos variedades de maíz procedentes de México, uno azul nativo de Paracho, Michoacán y otro blanco de Sinaloa, la nixtamalización provoca pérdida de los ácidos grasos como triglicéridos y diglicéridos, así como de los componentes menores (como estanoles, esteroides y ferulados), debido a la reacción con el hidróxido de calcio, dando lugar a la formación de sales desechadas en el lavado, además existe una diminuta reducción del grado de insaturación en los principales componentes lipídicos, mayormente en el maíz blanco.⁵³ Esto también sucede en un maíz híbrido con alto contenido de aceite proveniente del Bajío, donde los cambios en la insaturación de los lípidos se deben al bajo grado de oxidación que ocurre en los grupos insaturados, además el proceso de amasado,

disminuye la concentración del ácido linoleico, a causa de la saponificación y formación de complejos con amilosa.⁵⁴ Por otro lado, en el almidón del maíz comercial de endospermo duro, intermedio y blando, cultivado en Querétaro, México, durante la nixtamalización, únicamente en los granos blandos e intermedios se forman complejos amilosa-lípidos, debido a dos fenómenos: la gelatinización y el macerado (tiempo de remojo después de la cocción), en los granos duros no ocurre por su mayor grado de compactación, lo cual impide la movilidad de amilosa y lípidos durante el proceso de nixtamalización.⁵⁵ En un maíz blanco híbrido cultivado en Hermosillo, Sonora (resistente a altas temperaturas de hasta 40 °C), después del proceso de nixtamalización, el grano presenta una mayor absorción de agua, lo cual protege la estructura del almidón, promoviendo la gelatinización gradual, lo que resulta en un aumento de volumen, así como un incremento en la absorción de calcio.⁵⁶

En cuanto a las proteínas, en la cocción alcalina de maíz blanco comercial originario de Hermosillo, Sonora, México, la nixtamalización no genera pérdidas, además presenta un incremento en la solubilidad de albúminas, globulinas y prolaminas debido a su bajo peso molecular, este comportamiento se debe a la solubilización y/o formación de pequeños polímeros a consecuencia de la agregación durante el mezclado o molienda para producir la masa, lo anterior beneficia la textura del producto final que es la "tortilla" (alimento de forma circular aplanado, cocinado al fuego).⁵⁷ Gómez-Castro et. al. (2019)⁵⁸ mencionan que en el maíz dentado blanco nixtamalizado, se produce la interacción entre el calcio y las zeínas a través de puentes, esto a causa de la movilidad electroforética de la proteína, definida como la estabilidad y comportamiento de una proteína en solución, influida por su carga, también el hidróxido de calcio durante la nixtamalización, permite un incremento de globulinas y albúminas. La nixtamalización es una antigua técnica con beneficios nutrimentales, sin embargo, actualmente se están buscando nuevas técnicas de proceso para mejorar la calidad de la masa, lo cual apunta a una mejora de los subproductos, como la tortilla obtenida a partir de este proceso.

Nuevas técnicas del proceso de nixtamalización, para mejora en la producción de tortilla.

Se han realizado estudios utilizando diferentes sales de calcio, también conocidos como proceso ecológico, durante el proceso de la nixtamalización. Topete-Betancourt et. al. (2020)⁵⁹ modifican la técnica tradicional de la nixtamalización utilizando sales de calcio como Ca

CO₃, Ca SO₄, Ca Cl₂, Ca (C₂ H₅ COO) para sustituir Ca(OH)₂, que es la sal de calcio utilizada en la nixtamalización tradicional, para obtener una tortilla de mejor calidad, esta masa presenta más extensibilidad y suavidad, lo cual está relacionado con la gelatinización del almidón, sin embargo cuando se almacena a 4 °C durante 48 h, presenta menor vida de anaquel. Roldan-Cruz et al. (2020)⁶⁰ asegura que brinda mayor viscosidad debido a que, de acuerdo a estudios de digestión *in vitro*, contiene mayor almidón de lenta digestión, así como más almidón resistente, en comparación con el tratamiento tradicional, lo cual beneficia la cantidad de fibra de la tortilla.

Una nueva tecnología que ofrece un efecto similar sobre el almidón resistente, es la extrusión, la cual consiste en moler el grano de maíz entero agregando cal y agua antes de ingresar a la extrusora, a diferencia de la nixtamalización tradicional, la extrusión permite un incremento de almidón resistente y una menor absorción de agua, resultando en una tortilla con mejores características de firmeza, textura y más contenido de fibra.⁵⁶

El calentamiento óhmico, se emplea para disminuir el uso de agua en comparación con la nixtamalización tradicional, considerándolo también ecológico, en una harina de maíz instantánea nixtamalizada se genera una menor pérdida de nutrientes como la fibra, flavonoides, compuestos fenólicos, e incluso se obtiene mayor actividad antioxidante.⁵²

Enriquecimiento y fortificación de tortillas

Añadir a la tortilla alimentos para incrementar su valor nutricional sin modificar sus propiedades sensoriales, es una alternativa efectiva considerando su alto consumo en Latinoamérica.

La adición de frijol a la harina de maíz nixtamalizada (Maseca ®) en proporciones 20 % y 80 % respectivamente, aporta beneficios nutricionales entre los que destacan, un aumento significativo del 13.4 % en proteínas y 59.4 % almidón resistente, así como de flavonoides (2.05 %) y capacidad antioxidante (ABTS+ 39.9 %, DPPH+ 9.7 %)⁶¹ debido a las bondades que el frijol posee, es un complemento adecuado para mejorar nutritivamente las tortillas.

Con el objetivo de incrementar la proteína en la tortilla, una proporción de 3.75 % y 96.25 % de concentrado de sardina y de harina de maíz, respectivamente, incrementa un 41.1 % la proteína, sin afectar las propiedades reológicas de la tortilla, causando un aumento de la relación de eficiencia de proteína en ratas, resultando en un mayor crecimiento, el cual es directamente proporcional a la cantidad de proteína añadida a la mezcla.⁶²

Además, Argüello-García et al. (2016)⁶³ adicionó con 20% de harina de *Jatropha curcas* L. una masa para tortillas, logrando un incremento del 6.2 % de proteína, así como una disminución en la dureza y se duplicó la capacidad de enrollado, en cuanto a la aceptabilidad no se perciben diferencias en sabor.

La adición del 6 % de cladodios (*Opuntia ficus indica* L. Miller) a harina de maíz instantánea para preparar tortillas, aumenta la fibra insoluble en un 13 % y la soluble más del 100 %, así como el contenido de calcio (164.7 mg/100 g base seca) en comparación con el control (64 mg/100 g base seca), también se incrementa el 48 % en su bioaccesibilidad *in vitro* y una mejora en la reología de la masa al incrementar su viscosidad.⁶⁴

La fortificación de una tortilla con 1 g de inulina de agave, permite a pacientes con dislipidemias, sobrepeso u obesidad (Índice de Masa Corporal \geq a 25), una disminución significativa en los niveles de glucosa sérica, urea y nitrógeno ureico en la sangre, así como aumento en las evacuaciones, mayor saciedad postprandial y disminución del apetito.⁶⁵

Finalmente, la adición del 9 % de hongos de maguey a una masa para tortilla, incrementa la actividad antioxidante, contenido de β - glucanos y una mejora en la calidad sensorial, no obstante, se genera pérdida de antocianinas y flavonoides debido a la alta temperatura de cocción.⁶⁶

Conclusiones

El maíz (*Zea mays*) es un cereal con un aporte nutricional importante, con diversos usos para la alimentación, en la industria farmacéutica y la generación de biocombustibles. Las diferentes técnicas de nixtamalización han brindado posibilidades en la investigación para el mejoramiento en las propiedades reológicas de la masa, nutricionales y fisicoquímicas, así como la adición de alimentos a la mezcla como nopal, frijol e inulina, entre otros, para la preparación de subproductos, como lo son las tortillas, con el fin de incrementar su valor nutritivo. Por lo que el maíz es un alimento con importante aporte a la salud, por sí solo o mediante las diferentes técnicas de nixtamalización, además de su uso en otras industrias. A pesar de su importancia nutricional, un limitante en el presente manuscrito es que existen muy pocos estudios clínicos sobre los beneficios del consumo de tortillas adicionadas con otros alimentos, esto da la pauta para futuras investigaciones relacionadas al consumo de estos productos como coadyuvante o prevención de enfermedades no transmisibles, por lo que abre muchas posibilidades de estudio para beneficio a la salud.

Referencias

- [1] Gómez-Espinoza JA. Maíz, axis mundi Maíz y sustentabilidad. México: Universidad Autónoma del Estado de Morelos. 2018: 163.
- [2] Secretaría de Economía. Análisis de la cadena de valor maíz-tortilla: situación actual y factores de competencia local. 2012. [En línea]. Disponible en: http://www.2006-2012.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/informacionSectorial/20120411_analisis_cadena_valor_maiz-tortilla.pdf. Fecha de consulta: 22 de noviembre de 2020.
- [3] Cruz-Cruz NV, Portillo-Vázquez M, Francisco PS, Caamal-Cauich I, and Martínez-Damián MA. Analysis of global, national and state production of maize (*Zea Mays* L.). Agroproductividad. 2017; 10(9): 95-100.
- [4] de-la-Parra C, Serna-Saldivar SO, and Liu RH. Effect of processing on the phytochemical profiles and antioxidant activity of corn for production of masa, tortillas, and tortilla chips. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2007; 55(10): 4177-4183.
- [5] Salinas-Moreno Y, Cruz-Chávez F, Díaz-Ortiz SA, Castillo-González F. Granos de maíces pigmentados de Chiapas, características físicas, contenido de antocianinas y valor nutracéutico. Revista Fitotecnia Mexicana. 2012; 35(1): 33-41.
- [6] Bañuelos-Pineda J, Gómez-Rodiles CC, Cuéllar, Aguirre-López LO. La contribución del maíz a la salud humana. (Primera edición). London: Ed. Amanullah and Shah Fahad; 2018: 30.
- [7] Escalante-Aburto A, Mariscal-Moreno RM, Santiago-Ramos D, Ponce-García N. An update of different nixtamalization technologies, and its effects on chemical composition and nutritional value of corn tortillas. Food Reviews International. 2019; 36(5): 456-498.
- [8] Bello-Pérez LA, Camelo-Méndez GA, Agama-Acevedo E, Utrilla-Coello RG. Aspectos nutracéuticos de los maíces pigmentados: digestibilidad de los carbohidratos y antocianinas. Agrociencia. 2016; 50(8): 1041-1063.
- [9] Magdaleno-Hernández E, Mejía-Contreras A, Martínez-Saldaña T, Jiménez-Velázquez MA, Sánchez-Escudero J, García-Cué JL. Selección tradicional de semilla de maíz criollo. Agricultura Sociedad y Desarrollo. 2016; 13(3): 437.
- [10] Corona-Terán J, López-Orona CA, Romero-Gómez SJ, Martínez-Campos AR. Caracterización física, contenido de fenoles y capacidad antioxidante de maíces nativos (*Zea mays* L.) del Estado de México. ITEA Información Técnica Económica Agraria. 2017; 113(1): 5-19.
- [11] Yang Z, and Zhai W. Identification and antioxidant activity of anthocyanins extracted from the seed and cob of purple corn (*Zea mays* L.). Innovative Food Science and Emerging Technologies. 2010; 11(1): 169-176.
- [12] Agama-Acevedo E, Salinas-Moreno Y, Pacheco-Vargas G, y Bello-Pérez LA. Características físicas y químicas de dos razas de maíz azul: morfología del almidón. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 2011; 2(3): 317-32.
- [13] Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Con los colores del maíz, México se pinta solo. 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.mx/siap/articulos/con-los-colores-del-maiz-mexico-se-pinta-solo>. Fecha de consulta: 5 de septiembre de 2020.
- [14] NMX-FF-034/1-SCFI. Norma Mexicana. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano. Cereales. parte I: maíz blanco para proceso alcalino para tortillas de maíz y productos de maíz nixtamalizado. Especificaciones y métodos de prueba. 2002. [En línea]. Disponible en: <https://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-FF-034-1-2002.PDF>. Fecha de consulta: 12 de agosto de 2020.
- [15] Mex-Álvarez R, Garma P, Bolívar N, Guillén M. Análisis Proximal y Fitoquímico de Cinco Variedades de maíz del Estado de Campeche

- México. Revista Latinoamericana de Recursos Naturales. 2016; 12(2): 74-80.
- [16] Organización de las Naciones Unidas de la Alimentación y la Agricultura FAO. El maíz en la nutrición humana. 1993. [En línea]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/t0395s/T0395S00.htm#Contents> Fecha de consulta: 12 de septiembre de 2020.
- [17] Rolletschek H, Koch K, Wobus U, Borisjuk L. Positional cues for the starch/lipid balance in maize kernels and resource partitioning to the embryo. *Plant Journal*. 2005; 42(1): 69-83.
- [18] INEN, Instituto Ecuatoriano de Normalización. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 452: 2013 Tercera revisión. 2013. [En línea]. Disponible en: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/187-3R.pdf>. Fecha de consulta: 10 de agosto de 2020.
- [19] Martínez J, Ramírez M, Cámara-Córdova J. Investigaciones Científicas y Agrotecnológicas para la Seguridad Alimentaria. (Primera edición). México: Universidad Juárez Autónoma de Tabasco; 2018; 384 Pp.
- [20] Utrilla-Coello RG, Agama-Acevedo E, De-La-Rosa APB, Martínez-Salgado JL, Rodríguez-Ambríz SL, Bello-Pérez LA. Blue maize: Morphology and starch synthase characterization of starch granule. *Plant Foods for Human Nutrition*. 2009; 64(1): 18-24.
- [21] Cao G, Sofic E, Prior RL. Antioxidant and prooxidant behavior of flavonoids: Structure-activity relationships. *Free Radical Biology and Medicine*. 1997; 22(5): 749-760.
- [22] Liu RH. Potential synergy of phytochemicals in cancer prevention: Mechanism of action. *The Journal of Nutrition*. 2004; 134(12): 3479S-3485S.
- [23] Classen D, Arnason JT, Serratos JA, Lambert JDH, Nozzolillo C, Philogène BJR. Correlation of phenolic acid content of maize to resistance to *Sitophilus zeamais*, the maize weevil, in CIMMYT'S collections. *Journal of Chemical Ecology*. 1990;16(2): 301-315.
- [24] Iloki ASB, Lewis LLM, Rivera-Castañeda EG, Gil-Salido AA, Acosta-Silva AL, Meza-Cueto CY, and Rubio-Pino J. Effect of maturity and harvest season on antioxidant activity, phenolic compounds and ascorbic acid of *Morinda citrifolia* L. (noni) grown in Mexico. *African Journal of Biotechnology*. 2013; 12: 4630-4639.
- [25] Konczak I, Zhang W. Anthocyanins more than nature's Colours. USA: Hindawi Publishing. 2004; 239 Pp.
- [26] Martínez-Martínez R, Vera-Guzmán AM, Chávez-Servia JL, Bolaños ENA, Carrillo-Rodríguez JC, Pérez-Herrera A. Bioactive compounds and antioxidant activities in pigmented maize landraces. *Interciencia*. 2019; 44(9): 549-556.
- [27] Aguilar-Hernández ÁD, Salinas-Moreno Y, Ramírez-Díaz JL, Bautista-Ramírez E, Flores-López HE. Antocianinas y color en grano y olote de maíz morado peruano. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 2019; 10(5): 1071-1082.
- [28] Arroyo J, Raez E, Rodríguez M, Chumpitaz V, Burga J, De-la-Cruz W, Valencia J. Actividad antihipertensiva y antioxidante del extracto hidroalcohólico atomizado de Maíz morado (*Zea mays* L.) en ratas. *Rev. Peruana de. Medicina Experimental y Salud Pública*. 2008; 25(2): 195-199.
- [29] Recopilación de ILSI Argentina. Maíz y nutrición informe sobre los usos y las propiedades nutricionales del maíz para la alimentación humana y animal. (Segunda edición). Argentina: Ed. IntechOpen. 2006: 10-11 Pp.
- [30] NOM-147-SSA1. Norma Mexicana. Bienes y servicios. Cereales y sus productos. Harinas de cereales, alimentos a base de cereales, de semillas comestibles, harinas o sus mezclas y productos de panificación. Disposiciones y especificaciones sanitarias y nutricionales. 1996. [En línea]. Disponible en: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4891221&fecha=15/08/1997. Fecha de consulta: 1 de agosto de 2020.
- [31] OMS, Organización Mundial de la Salud. Cereales, legumbres, leguminosas y productos proteínicos vegetales. En Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2008. [En línea]. Disponible en: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/a1392s/a1392s00.pdf>. Fecha de consulta: 8 de septiembre de 2020.
- [32] Obinna-Echem PC, Robinson ES. Proximate composition, physical and sensory properties of biscuits produced from blends of maize (*Zea mays*) and tiger nut (*Cyperus esculentus*) flour. *Sky Journal of Food Science*. 2019; 7(2): 30-36.
- [33] Umerah NN, Asouzu AI, Oly-Alawuba NM. Biscuit making potentials of cooking banana and yellow maize flour blends. *Asian Journal of Advanced Research and Reports*. 2020; 12(3): 25-31.
- [34] Makinde FM, Adeyemi A. Quality characteristics of biscuits produced from composite flours of wheat, corn, almond and coconut. *Annals Food Science and Technology*. 19(2): 216-225.
- [35] Deepa C, Sarabhai S, Prabhasankar P, and Hebbar HU. Effect of micronization of maize on quality characteristics of pasta. *Cereal Chemistry*. 2017; 94(5): 840-846.
- [36] Kosiński J, and Cacak-Pietrzak G. Estimation of quality of spaghetti-form commercial gluten-free pastas. *Acta Agrophysica*. 2020; 27: 5-16.
- [37] Camelo-Méndez GA, Tovar J, and Bello-Pérez LA. Influence of blue maize flour on gluten-free pasta quality and antioxidant retention characteristics. *Journal of Food Science and Technology*. 2018; 55(7): 2739-2748.
- [38] Sabalingam S, Dharmawansa GHGUA, Wijayabandara MDJ, Siriwardhene MA, and Pathirana W. Dextrinized maize starch-maize starch combination as exclusive fillers in tablet manufacture. *Indian Journal of Pharmaceutical Sciences*. 2019; 81(5): 960-966.
- [39] Escobar-Puentes AA, García-Gurrola A, Rincón S, Zepeda A, Martínez-Bustos F. Effect of amylose/amylopectin content and succinylation on properties of corn starch nanoparticles as encapsulants of anthocyanins. *Carbohydrate Polymers*. 2020; 250: 116972.
- [40] Kiin-kabari DB, Akusu OM, Emelike NJT. Fermentation of corn starch powder for the production of "Ogi." *Journal of Food Research*. 2018; 7(5): 49-56.
- [41] Gaglio M, Tamburini E, Lucchesi F, Aschonitis V, Atti A, Castaldelli G, and Fano EA. Life cycle assessment of maize-germ oil production and the use of bioenergy to mitigate environmental impacts: A gate-to-gate case study. *Resources*. 2019; 8(2): 60.
- [42] Navas-Hernández PB. Adición de compuestos bioactivos a un aceite refinado de maíz condimentado con especias. *Saber*. 2016; 28(2): 257-264.
- [43] Mantzouridou FT, Naziri E, Kyriakidou A, Paraskevopoulou A, Tsimidou MZ, Kiosseoglou V. Oil bodies from dry maize germ as an effective replacer of cow milk fat globules in yogurt-like product formulation. *LWT-Food Science and Technology*. 2019; 105: 48-56
- [44] Bura R, Mansfield SD, Saddler JN, Bothast RJ. SO 2 - Explosión de vapor catalizada de fibra de maíz para la producción de etanol. Totowa, Nueva Jersey: Humana Press. 2002; 59.
- [45] Barros-Rios J, Romani A, Peleteiro S, Garrote G, Ordas B. Second-generation bioethanol of hydrothermally pretreated stover biomass from maize genotypes. *Biomass and Bioenergy*. 2016; 90: 42-49.
- [46] Codex Alimentarius . *Norma Del Codex Para Los Azúcares Codex Stan 212-1999*. 2001. [En línea]. Disponible en: http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252Fstandards%252FCXS%2B212-1999%252FCXS_212s.pdf. Fecha de consulta: 28 de diciembre de 2020.
- [47] Popkin BM, Armstrong LE, Bray GM, Caballero B, Frei BA. New proposed guidance system for beverage consumption in the United

- States. The American Journal of Clinical Nutrition. 2006; 83(3): 529-542.
- [48] Siedlecka D, Micał W, Krzewicka-Romaniuk E, Romaniuk A. The bitter side of high fructose corn syrup (HFCS) - the global obesity pandemic. Journal of Education. 2020; 10(9): 747-751.
- [49] Cao W, Yang F. Supercapacitors from high fructose corn syrup-derived activated carbons. Materials Today Energy. 2018; 9: 406-415.
- [50] Lin C, Wu H, Wang J, Huang J, Cao F, Zhuang W, Lu Y, Chen J, Jiand H, Ouyang P. Preparation of 5-Hydroxymethylfurfural from high fructose corn syrup using organic weak acid in situ as catalyst. Industrial and Engineering Chemistry Research. 2020; 59(10): 4358-4366.
- [51] Niglio S, Marzocchella A, Rehmann L. Clostridial conversion of corn syrup to Acetone-Butanol-Ethanol (ABE) via batch and fed-batch fermentation. Heliyon. 2019; 5(3): e01401
- [52] Ramírez-Jiménez AK, Rangel-Hernández J, Morales-Sánchez E, Loarca-Piña G, Gaytán-Martínez M. Changes on the phytochemicals profile of instant corn flours obtained by traditional nixtamalization and ohmic heating process. Food Chemistry. 2019; 276: 57-62.
- [53] Alberdi-Cedeño J, Molina M, Yahuaca-Júarez B, Ibargoitia ML, Guillén MD. Changes provoked by nixtamalization and tortilla making in the lipids of two corn varieties. A study by 1H NMR. Food Chemistry. 2020. 313: 126079.
- [54] Preciado-Ortiz RE, Vázquez-Carrillo MG, Figueroa-Cárdenas J de D, Guzmán-Maldonado SH, Santiago-Ramos D, Topete-Betancourt A. Fatty acids and starch properties of high-oil maize hybrids during nixtamalization and tortilla-making process. Journal of Cereal Science. 2018; 83: 171-179.
- [55] Santiago-Ramos D, Figueroa-Cárdenas J de D, Véles-Medina JJ, Mariscal-Moreno RM. Changes in the thermal and structural properties of maize starch during nixtamalization and tortilla-making processes as affected by grain hardness. Journal of Cereal Science. 2017; 74: 72-78.
- [56] Enríquez-Castro CM, Torres-Chávez PI, Ramírez-Wong B, Quintero-Ramos A, Ledesma-Osuna AI, López-Cervantes J, Gerardo-Rodríguez JE. Physicochemical, rheological, and morphological characteristics of products from traditional and extrusion nixtamalization processes and their relation to starch. International Journal of Food Science. 2020; 1-12.
- [57] Chaidez-Laguna LD, Torres-Chavez P, Ramírez-Wong B, Marquez-Ríos E, Islas-Rubio AR, Carvajal-Millan E. Corn proteins solubility changes during extrusion and traditional nixtamalization for tortilla processing: A study using size exclusion chromatography. Journal of Cereal Science. 2016; 69: 351-357.
- [58] Gómez-Castro CZ, Rodríguez JA, Cruz-Borbolla J, Quintanar-Guzman A, Sanchez-Ortega I, Santos EM. A theoretical and experimental approach to evaluate zein-calcium interaction in nixtamalization process. Food Chemistry. 2019; 297: 124995.
- [59] Topete-Betancourt A, Santiago-Ramos D, Figueroa-Cárdenas J de D. Relaxation tests and textural properties of nixtamalized corn masa and their relationships with tortilla texture. Food Bioscience. 2020; 33: 1-7.
- [60] Roldan-Cruz C, Garcia-Diaz S, Garcia-Hernandez A, Alvarez-Ramirez J, Vernon-Carter EJ. Microstructural changes and *in vitro* digestibility of maize starch treated with different calcium compounds used in nixtamalization processes. Starch-Staerke. 2020; 72(9-10): 1-8.
- [61] Treviño-Mejía D, Luna-Vital DA, Gaytán-Martínez M, Mendoza S, Loarca-Piña G. 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. 2016; 39(6): 569-579.
- [62] López-Alarcón MG, Montalvo-Velarde I, Bernal-Gracida L, Barbosa-Cortés M. de L. Maíz nixtamalizado suplementado con un concentrado de proteínas de sardina para mejorar el valor biológico de las tortillas. Gaceta Médica de México. 2018; 154(3): 327-334.
- [63] Argüello-García E, Martínez-Herrera J, Córdova-Téllez L, Sánchez-Sánchez O, Corona-Torres T. Textural, chemical and sensorial properties of maize tortillas fortified with nontoxic *Jatropha curcas* L. flour. CyTA- Journal of Food. 2016; 15(2): 301-306.
- [64] Ramírez-Moreno E, Cordoba-Díaz M, de-Cortes-Sánchez-Mata M, Marqués CD, Goñi I. The addition of cladodes (*Opuntia ficus indica* L. Miller) to instant maize flour improves physicochemical and nutritional properties of maize tortillas. LWT - Food Science and Technology. 2015; 62(1): 675-681.
- [65] Orozco R, Kerim A, Colunga-Lozano LE, Ávila-González AE, García-Cobian TA, Pascoe González S, Rubio Arellano ED. Efecto de la ingesta de tortilla con inulina sobre perfil metabólico en pacientes con dislipidemia e IMC > 25. Nutrición Clínica y Dietética Hospitalaria. 2017; 37(3): 138-144.
- [66] García-Rojas DA, Meneses ME, Martínez-Carrera D, Figueroa-Cárdenas JD, Sánchez-Medina MA, Bonilla-Quintero M, Petlascalco-Sánchez B, Martínez-Gutiérrez GA, Pérez-Herrera A. Effect of *Pleurotus agaves* mushroom addition on the physicochemical and sensory properties of blue maize tortillas produced with traditional and ecological nixtamalization. Food and Function. 2020; 11(10): 8768-8779.
- [67] Uriarte-Aceves PM, Sopade PA, Rangel-Peraza JG. Evaluation of wet-milling performance of commercial yellow maize hybrids grown in México and relations with grain physicochemical properties. Journal of Food Science and Technology. 2019; 1-16.