

Maíz: perfil nutricional y su influencia en la salud humana Corn: nutritional profile and its influence on human health

C.B. Muñoz Llandes ^a, G.K. González Quijano ^b, J. Castro-Rosas ^c, F.A. Guzmán-Ortiz ^{d*}

^a Escuela Superior de Tizayuca, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Km. 2.5 de la Carretera Federal Tizayuca-Pachuca, 43816, Tizayuca, Hgo, México

^b Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECITHI-INMEGEN), Ciudad de México 14610, México.

^c Área Académica de Química, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Carretera Pachuca-Tulancingo Km 4.5 s/n, Mineral de la Reforma, Hidalgo 42184, México

^d SECITHI-Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Carretera Pachuca-Tulancingo Km 4.5 s/n, Mineral de la Reforma, 42184 Hidalgo, México

Resumen

El maíz es un cereal que constituye una fuente importante de carbohidratos complejos, principalmente almidones y fibra dietética. Aporta vitaminas del complejo B, como tiamina, niacina y ácido fólico, esenciales para el metabolismo energético y el adecuado funcionamiento del sistema nervioso. Sin embargo, presenta limitaciones en aminoácidos esenciales como lisina y triptófano, por lo que su valor proteico puede mejorarse mediante complementación. Contiene minerales relevantes como magnesio, hierro y zinc, involucrados en funciones musculares, formación de glóbulos rojos y respuesta inmunológica. El proceso tradicional de nixtamalización incrementa la biodisponibilidad de calcio, elevando su valor nutricional. Además, el maíz posee compuestos bioactivos con capacidad antioxidante, como luteína, zeaxantina, vitamina E, ácido ferúlico y antocianinas en variedades pigmentadas, los cuales contribuyen a la reducción del estrés oxidativo y la inflamación. El consumo moderado, especialmente en formas integrales y tradicionales, favorece una dieta equilibrada y saludable.

Palabras Clave: maíz, *Zea mays* L., almidón, fibra, proteína

Abstract

Maize is a cereal that represents an important source of complex carbohydrates, mainly starches and dietary fiber. It provides B-complex vitamins, such as thiamine, niacin, and folic acid, which are essential for energy metabolism and proper nervous system function. However, it is limited in essential amino acids such as lysine and tryptophan, so its protein quality can be improved through complementation. Maize also contains relevant minerals, including magnesium, iron, and zinc, which are involved in muscle function, red blood cell formation, and immune response. The traditional nixtamalization process increases calcium bioavailability, enhancing its nutritional value. Additionally, maize contains bioactive compounds with antioxidant capacity, such as lutein, zeaxanthin, vitamin E, ferulic acid, and anthocyanins in pigmented varieties, which contribute to the reduction of oxidative stress and inflammation. Moderate consumption, particularly in whole and traditional forms, supports a balanced and healthy diet.

Keywords: maize, *Zea mays* L., starch, fiber, protein.

1. Introducción

El maíz ocupa el tercer lugar entre los cereales más relevantes a nivel global, después del trigo y el arroz. Además de ser una de las principales fuentes de energía en la dieta, se transforma en diversos productos alimenticios e industriales como almidón, edulcorantes, aceite, bebidas y biocombustibles (Yu et al., 2022). En México, es un alimento

básico que constituye un elemento integral de la identidad nacional, por lo que entender sus aspectos nutricionales es esencial para la salud pública.

Este cereal aporta carbohidratos complejos, proteínas, lípidos, vitaminas, minerales y compuestos antioxidantes; sin embargo, existen limitaciones sobre su perfil de aminoácidos y la biodisponibilidad de ciertos nutrientes (Sequeiros

*Autor para la correspondencia: fabiguzman01@yahoo.com.mx

Correo electrónico: cirobaruchs_27@hotmail.com (Ciro Baruchs Muñoz-Llandes), ggonzalez@inmegen.edu.mx (Genesis K. González-Quijano), jcastro@uaeh.edu.mx (Javier Castro-Rosas), fabiguzman01@yahoo.com.mx (Fabiola Araceli Guzmán-Ortiz).

Historial del manuscrito: recibido el 25/09/2024, última versión-revisada recibida el 07/06/2026, aceptado el 07/06/2026, en línea (postprint) desde el 20/08/2027, publicado el 05/01/2027. DOI: <https://doi.org/10.29057/icbi.v14i28.13809>



Huachaca, 2022; Dhaliwal et al., 2022; Langyan et al., 2022). Aunque el maíz contiene una cantidad significativa de proteínas, su perfil no es completo al ser deficiente en lisina y triptófano, aminoácidos vitales para el crecimiento y el sistema inmunológico (Mishra et al., 2021). Por ello, se recomienda su combinación con otras fuentes proteicas o mediante la nixtamalización, proceso que mejora la digestibilidad y aumenta la biodisponibilidad de nutrientes (Menchaca-Armenta, Ramírez-Wong et al., 2020). Además, el maíz proporciona fibra dietética que ayuda a prevenir enfermedades como la diabetes tipo 2 y cardiovasculares (Bevilacqua, et al., 2024), así como ácidos grasos esenciales los cuales coadyuvan a la función cerebral (Roopashree et al., 2021). Es también una fuente valiosa de antioxidantes como luteína, zeaxantina y ácido ferúlico, que poseen propiedades antiinflamatorias (Zafar et al., 2021; Ammor, et al., 2021). Su contenido vitamínico incluye niacina, tiamina y ácido fólico (Safiul et al., 2022), además de minerales como magnesio, fósforo y zinc (Pekel et al., 2019). No obstante, la absorción de estos minerales puede verse limitada por anti-nutrientes como el ácido fítico (Pramitha et al., 2020). En México, donde

la inseguridad alimentaria y la malnutrición son problemas persistentes, el conocimiento detallado de los aspectos nutricionales del maíz puede guiar políticas alimentarias más efectivas. Programas de fortificación de alimentos y educación nutricional pueden ser implementados para mejorar la calidad dietética y abordar deficiencias nutricionales específicas. Como la nixtamalización, donde se ha reportado que mejora la digestibilidad del grano y aumenta la biodisponibilidad de niacina y calcio (Menchaca-Armenta, Ramírez-Wong et al., 2020). En el presente resumen se abordan los principales nutrientes del maíz y su impacto en la salud como un componente vital de la dieta, con una rica composición nutricional que ofrece numerosos beneficios para la salud. No obstante, para maximizar estos beneficios y mitigar las limitaciones, es crucial promover un consumo equilibrado y variado, combinado con otras fuentes de nutrientes esenciales. A través de un enfoque integral y basado en evidencia científica, es posible mejorar la salud y el bienestar de la población mexicana, aprovechando al máximo los recursos nutricionales del maíz.

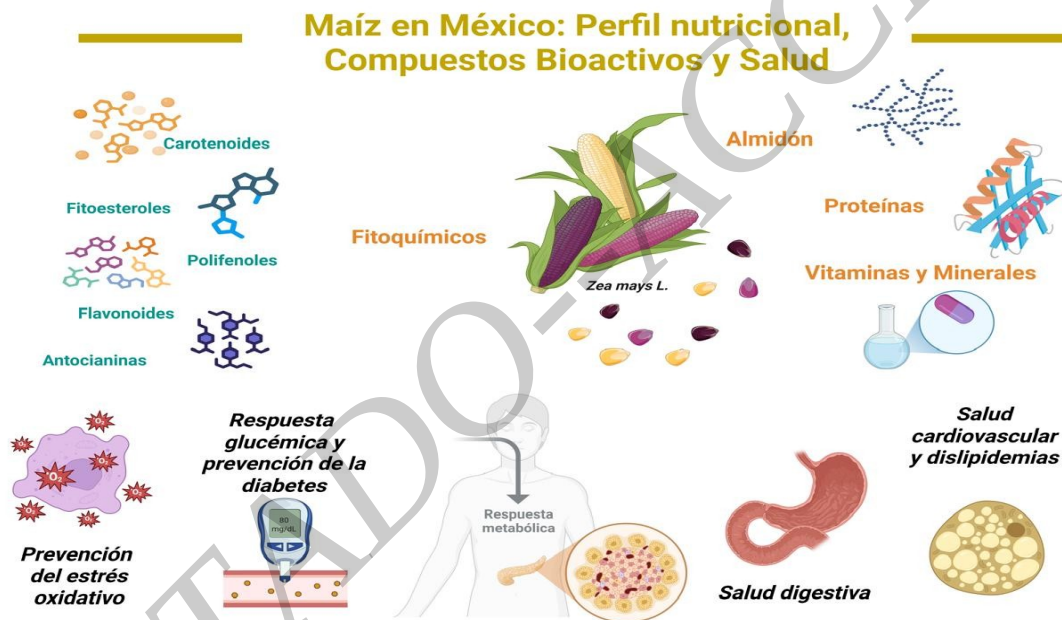


Figura 1. Compuestos bioactivos y su impacto en la salud humana.

2. Materiales y métodos

Para la elaboración de este capítulo, se realizó una revisión narrativa de la literatura científica utilizando bases de datos como PubMed, ScienceDirect, Google Scholar y la base de datos de la USDA. Se emplearon descriptores como 'composición nutricional del maíz', 'compuestos bioactivos', 'nixtamalización' y 'salud pública'. Se seleccionaron artículos originales, revisiones y reportes técnicos publicados principalmente en los últimos 10-15 años, priorizando aquellos con evidencia sobre el impacto del consumo de maíz en la salud humana.

3. Valor nutricional del maíz

El maíz (*Zea mays L.*) pertenece a la familia de las gramíneas *Poaceae* (*Gramineae*), su origen fue en los trópicos, sin embargo, es cultivado en una amplia diversidad de ambientes, es un cultivo completamente domesticado y es el cereal más cultivado y consumido en el mundo. Su valor e importancia económica se relaciona con su versatilidad para ser utilizado como alimento humano, alimento de animales y como materia prima para diversas industrias (García-Lara & Serna-Saldivar, 2019). Entre las múltiples variedades de maíz, el maíz blanco, amarillo, morado y rojo parecen tener una cierta relación en cuanto a popularidad de consumo o contenido de pigmentos entre sí. El maíz blanco (*Zea mays*) es biológica y genéticamente muy similar

al maíz amarillo, sin embargo, la diferencia en su apariencia se debe a la ausencia de pigmentos de aceite de carotina en el grano (FAO & CIMMYT, 1997). El maíz blanco es el más común para consumo humano y el amarillo destaca por su contenido en carotenoides, las variedades pigmentadas ofrecen perfiles fitoquímicos únicos; por ejemplo, los maíces azules y morados poseen una concentración de antocianinas significativamente superior, lo que eleva su capacidad antioxidante. Por otro lado, las variedades rojas presentan una combinación de ácidos fenólicos y flavonoides que les confieren propiedades antiinflamatorias diferenciadas de las variedades claras (Zafar et al., 2021).

Los maíces criollos pigmentados como el morado, amarillo y rojo son de gran interés, debido a que poseen compuestos bioactivos, como compuestos fenólicos (ácidos fenólicos, antocianinas y flavonoides), carotenoides como

luteína y zeaxantina, fibra dietética y ácidos grasos poliinsaturados, los cuales se han relacionado con la disminución al riesgo de padecer enfermedades crónicas no transmisibles (Figura 1). Se ha reportado que las variedades de maíz pigmentado tienen un alto valor nutricional derivado de sus nutrientes básicos y abundantes compuestos antioxidantes (Piña, 2023; Libron et al., 2021). Sobre las antocianinas, además de dar color al grano, tiene importantes funciones biológicas como su capacidad antioxidante (Alegría-Marroquín et al., 2020).

El grano de maíz está constituido de un 82-84% de endospermos, 10-12% de germen, 5-6% de pericarpio y 1% de capa apical (Gwirtz & García-Casat, 2014). La composición nutricional del maíz puede variar según la variedad (Tabla 1), pero en general, el maíz es una rica fuente de carbohidratos, proteínas, lípidos, fibra, vitaminas y minerales.

Tabla 1. Composición de las variedades de maíz blanco y granos pigmentados.

Tipo de maíz	Humedad	Proteína	Cenizas	Lípidos	Fibra	Carbohidratos
				%		
Blanco	6.6-7.46	9.3-9.54	1.2-1.49	4.8-7.67	2.2-2.97	70.91-78.2
Amarillo	7.45-12.2	4.27- 15.87	1.36- 1.62	4.36- 6.36	7.79	73.6-75.07
Morado/ azul	9.8-10.43	6.76-8.2	1.1-1.39	3.7- 5	3.32-8.47	74.30-77.2
Rojo	6.86-12.97	7.45- 12.63	1.22- 1.49	4.14 - 5.40	6.39-11.17	68.7-72.31

(Alegría-Marroquín et al., 2020; Libron et al., 2021; Sequeiros, 2022; García-Campos et al., 2020; Mex-Álvarez, 2016)

3.1. Carbohidratos

Los carbohidratos, constituyen aproximadamente el 68-78% del peso seco del grano (Tabla 1). La mayor parte de estos carbohidratos se encuentra en forma de almidón, lo que hace que el maíz sea una fuente de energía de liberación lenta y constituyen la mayor parte de su peso seco. Los carbohidratos en el maíz incluyen almidón, polisacáridos no amiláceos y azúcares simples (USDA, 2019).

3.1.1 Almidón

El almidón es el principal carbohidrato en el maíz, representando aproximadamente el 70-80% del contenido de carbohidratos y se encuentra principalmente en el endospermo. El almidón está compuesto por dos polisacáridos principales: la amilosa, una cadena lineal de unidades de

glucosa conectadas mediante enlaces α (1 $\rightarrow$ 4), que representa aproximadamente el 75%, y la amilopectina, una molécula ramificada formada por cadenas de glucosa con enlaces α (1 $\rightarrow$ 4) y puntos de ramificación en los enlaces α (1 $\rightarrow$ 6), que constituye el 25% del gránulo de almidón (Figura 2A y B). (Jeon et al., 2010; Tetlow, 2011). La estructura química de la amilopectina es más compleja debido a sus ramificaciones. El contenido de amilosa y amilopectina pueden cambiar por las distintas variedades de maíz, desde menos del 2% de amilosa en el maíz ceroso, hasta más del 90% en las variedades con alto contenido de amilosa (Owens, 2005). El almidón de maíz puede estar presente en el endospermo que se caracteriza por ser blando (harinoso) o duro (vítreo). Estos dos polímeros tienen propiedades físicas diferentes y la proporción de amilosa y amilopectina son clave en la apariencia, estructura y calidad del procesamiento industrial (Yu et al., 2022).

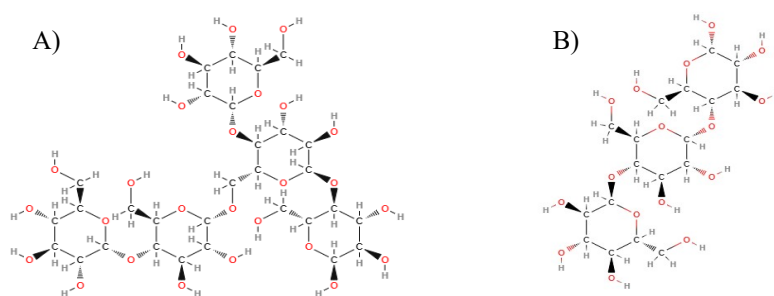


Figura 2. Estructura de: A) amilopectina y B) amilosa

3.1.2 Polisacáridos no amiláceos

Dentro los polisacáridos no amiláceos se encuentra la celulosa, hemicelulosa (arabinosilanos y β -glucanos) y la pectina, esta última en baja concentración. El salvado de maíz está compuesto de 23% de celulosa, 70% de hemicelulosa y 0.1% de lignina. Estos compuestos son importantes para los procesos fisiológicos del grano y constituyen el componente principal de la fibra dietética, forman parte de la estructural del cereal (Hamaker et al., 2019).

La celulosa es una cadena lineal de β -D-glucosa unida por enlaces β -(1 $\rightarrow$ 4). La hemicelulosa: Es una mezcla de polisacáridos que pueden incluir xilanos, glucuronosilanos, arabinosilanos, glucomanos y galactoglucomanos. Las estructuras varían según el tipo de hemicelulosa, pero todas son polisacáridos complejos. La lignina es un polímero complejo altamente ramificado compuesto por unidades fenilpropanoides que no tiene una estructura química uniforme debido a su naturaleza heterogénea (Gilbert, 2010).

Las hemicelulosas son un grupo de polisacáridos que, a diferencia de la celulosa, están compuestos por grupos heterogéneos de azúcares pentosa y hexosa, incluyendo xilosa, manosa, glucosa y galactosa en la cadena principal, y arabinosa, galactosa, glucosa y ácido glucurónico en las ramificaciones. Las principales hemicelulosas que se encuentran en el maíz son los arabinosilanos y los β -glucanos. Los arabinosilanos son conocidos en el maíz como heterosilanos, representan del 90-95% de las hemicelulosas del maíz. Tienen una cadena de xilano β -(1 $\rightarrow$ 4) y, en su forma más simple, las unidades β xilopiranosilo de la cadena principal están ramificadas con unidades de α -arabinofuranosa en sus posiciones O-2 y/o O-3. Se encuentran en la pared celular del endospermo y en el salvado (Yadav et al. 2007a, Yadav et al. 2007b). Los arabinosilanos del salvado de maíz están constituidos por el 27.4 % de arabinosa, 51.2 % de xilosa, 7.5 % de galactosa, 1.6 % de glucosa y 4.5 % de ácido urónico (Rumpagaporn et al., 2015).

Los β -glucanos son homopolisacáridos lineales de unidades de D-glucopiranosilo conectadas a través de una mezcla de enlaces β -(1 $\rightarrow$ 4) y β -(1 $\rightarrow$ 3), con bloques de unidades enlazadas (1 $\rightarrow$ 4) (segmentos oligoméricos similares a la celulosa) separados por enlaces (1 $\rightarrow$ 3) (Lazaridou & Biliaderis, 2007; Yoshida et al., 2014). En el maíz, los β -glucanos se encuentran principalmente en las paredes celulares de los granos. Para extraerlos, se realiza un proceso que generalmente incluye la molienda del maíz, la separación de los componentes solubles e insolubles y la purificación de los β -glucanos. La cantidad de β -glucano en el maíz varía de 0.8% a 1.7% (base de peso) (El-Khoury et al., 2012).

Por otra parte, el maíz también contiene azúcares simples de fácil digestión y absorción, tales como la glucosa, la

fructosa y la sacarosa. Mientras que la glucosa y la fructosa se clasifican como monosacáridos, la sacarosa es un disacárido constituido por la unión de ambos mediante un enlace glicosídico, compuestos que están estrechamente ligados al índice glicémico posprandial (Singh et al., 2010).

3.2. Proteínas

El contenido proteico del maíz es moderado, oscilando entre 4.27- 15.87%, dependiendo de las variedades y las condiciones de cultivo. El endospermo representa alrededor del 90% de la masa del grano y del 8% al 15% se compone de proteínas. Aproximadamente del 60% al 70% de la proteína del endospermo está compuesta por un grupo de tres proteínas de almacenamiento de prolaminas estructuralmente distintas llamadas zeínas. Debido a su abundancia, las zeínas tienen un gran impacto en la calidad nutricional del maíz; también influyen en las características físicas del grano y funcionales de la harina de maíz para el desarrollo de alimentos. Existen diferentes tipos de zeínas, categorizadas en α -, β -, γ -, y δ -zeínas (Tabla 2). Las proteínas δ -zeína, al igual que las γ -zeínas, son proteínas ricas en azufre. Contienen un nivel significativo de cisteína y un porcentaje aún mayor de metionina de 22% y 25%, respectivamente en comparación a las γ -zeínas. La β -zeína tiene un alto contenido tanto de metionina (11%) como de cisteína. Las β - y δ -zeínas son el principal reservorio de metionina, y las γ - y β -zeínas el principal reservorio de cisteína en el grano maduro (Wu & Messing, 2014). Las zeínas tienen un mayor contenido de glutamina/ácido glutámico (21%) que las albúminas, globulinas y glutelinas (11%–12%). Cuatro aminoácidos (glutamina, prolina, leucina y alanina) representan casi el 65% de los aminoácidos en la fracción de zeína (Lawton & Wilson 2003).

De acuerdo a la clasificación de Osborne (1908), las globulinas y albúminas son proteínas solubles en agua y soluciones salinas diluidas. Estas representan una fracción menor del contenido proteico total del maíz (<10%). En este caso las globulinas tienen funciones tanto estructurales como enzimáticas y las albúminas son importantes por sus roles enzimáticos en el transporte de moléculas pequeñas. Las albúminas, globulinas y glutelinas tienen un contenido más alto de lisina (5%–6%), en comparación con las zeínas (0.1%), mientras que el contenido de metionina de las glutelinas (2.2%) es algo más alto que el de las albúminas, globulinas y zeínas (0.9%–1.3%). Las glutelinas representan el 40% de la proteína del grano de maíz maduro, pero no son detectables hasta que la semilla madura. Son proteínas insolubles en agua y soluciones salinas diluidas, pero solubles en soluciones de detergentes o agentes reductores. Tienen una importancia secundaria en comparación con las zeínas en el maíz. El perfil de aminoácidos del maíz es incompleto en términos de nutrición humana, ya que es deficiente en ciertos aminoácidos esenciales como lisina y triptófano (Wu et al., 2021).

Tabla 2. Tipos de zeínas y sus características

Tipos de zeínas	Características
α -Zeínas	Peso molecular de α -zeínas de 19 kDa y α -zeínas de 22 kDa. Constituyen aproximadamente el 70-85% del total de zeínas y están compuestas principalmente por secuencias repetitivas de prolina y glutamina. Son insolubles en agua, pero solubles en alcohol.
β -Zeínas	Peso molecular aproximado: 15–17 kDa, formadas por cadenas polipeptídicas de alrededor de 160 aminoácidos. Ricas en aminoácidos como cisteína y metionina.
γ -Zeínas	Peso molecular típico γ -27 kDa y γ -16 kDa Tienen un alto contenido de cisteína y metionina, el alto contenido de cisteína, permite la formación de una red densa de enlaces covalentes tipo puente disulfuro que le dan mayor estabilidad estructural
δ -Zeínas	Peso molecular bajo, $\approx$ 10 kDa, variantes de 18 kDa y 11 kDa, son ricas en aminoácidos azufrados. Son las menos abundantes y tienen un contenido de aminoácidos similar a las γ -zeínas.

(Lending, & Larkins 1989; Shukla & Cheryan 2001; Khan et al., 2019; Zhang et al., 2022; Mainieri et al., 2018)

3.3. Lípidos

El maíz contiene una pequeña cantidad de lípidos, incluyendo ácidos grasos esenciales como el ácido linoleico, además de triglicéridos, fosfolípidos y ácidos grasos libres. La mayor proporción de lípidos (80%) se encuentran en el germen, el resto en el endospermo y la capa de aleurona, por lo que la composición en los lípidos puede variar dependiendo de donde se obtiene el aceite y el solvente de extracción (Wang & White, 2019).

El perfil de ácidos grasos del maíz está compuesto por ácidos grasos saturados (palmitico y esteárico), monoinsaturados (oleico) y poliinsaturados (linoleico y linolénico) (Roopashree, Shetty et al. 2021). Los ácidos grasos principales que pueden proporcionar mayor cantidad de beneficios a la salud son el ácido linoleico (C18:2, ω -6), el ácido oleico (C18:1, ω -9), el ácido palmítico (C16:0), y el ácido linolénico (C18:3, ω -3), (Tabla 3) (A, A et al. 2020).

Los triglicéridos son la forma principal de almacenamiento de lípidos en el maíz. Un triglicérido está compuesto por una molécula de glicerol unida a tres ácidos grasos mediante enlaces éster. Al igual los fosfolípidos son componentes importantes de las membranas celulares y consisten en una molécula de glicerol, dos ácidos grasos y un grupo fosfato unido a una base nitrogenada.

Tabla 3. Ácidos grasos presente en el aceite vegetal de maíz (%)

Ácido palmítico	11.6
Ácido esteárico	1.8
Ácido oleico	25.2
Ácido alfa-linolénico	0.8
Ácido linoleico	59.7

(Wang & White, 2019).

Además de los triglicéridos, el grano de maíz contiene una variedad de lípidos, como fosfolípidos, glicolípidos, hidrocarburos, fitoesteres, ácidos grasos libres, carotenoides (algunos relacionados con la vitamina A), tocoferoles (algunos con vitamina E) y ceras. Aunque estos lípidos desempeñan roles clave en la estructura de las membranas vegetales, como el fosfatidilglicerol en la

membrana tilacoidal de los cloroplastos (Wang & White, 2019).

3.4. Vitaminas

Hay 13 vitaminas conocidas que son esenciales para el funcionamiento adecuado del cuerpo. Los granos de maíz contienen la mayoría de estas vitaminas, aunque los granos maduros no contienen vitaminas B12 y C. En el maíz, el germen y la aleurona son ricos en vitaminas liposolubles e hidrosolubles, respectivamente, lo que implica que durante la molienda y otros métodos de procesamiento disminuyan significativamente su concentración (Acosta-Estrada et al., 2019).

3.4.1 Vitaminas hidrosolubles

Las vitaminas hidrosolubles se encuentran en mayor medida en la capa de aleurona. El maíz contiene las vitaminas del complejo B, B1 (tiamina), B2 (riboflavina), B3 (niacina), B5 (ácido pantoténico), B6, B7 (biotina), B12 y ácido fólico. Aunque hay presencia de B12, esta vitamina es carente en el maíz. La vitamina B, se encuentra en la aleurona, esto provoca que puede disminuir su concentración al aplicar algún proceso (Acosta-Estrada et al., 2019).

El contenido de vitamina B1 del maíz varía entre 0.01 y 3.6 mg/100 g. Las pérdidas de esta vitamina en el maíz descascarado y desgerminado pueden alcanzar hasta el 25% y el 81% (Dunn et al., 2014). La vitamina B2 se encuentra en el maíz en una concentración de 0.045 y 0.22 mg/100g. Esta vitamina es muy sensible a las condiciones de luz y calor en el procesamiento. Los contenidos de B1 y B2 también disminuyen con la cocción alcalina, alcanzando pérdidas de aproximadamente 50% y 70%, respectivamente. Por otro lado, vitamina B3, se puede sintetizar en el cuerpo humano a partir del triptófano, aunque la conversión no es eficiente porque se requieren aproximadamente 70 mg de triptófano para producir 1 mg de niacina (Serna-Saldívar, 2010). El contenido de vitamina B5 en la harina de maíz es de aproximadamente 0.43 mg/100 g, en la harina de maíz integral es mayor de 0.66 mg/100g. El contenido de B7 oscila entre 0.001-0.007 mg/100g (Dunn et al., 2014), la biotina presente en el maíz es 100% biodisponible. Finalmente, del grupo de vitaminas hidrosolubles se encuentran los folatos (formas naturales) y ácido fólico (forma sintética del ácido pteroilmonoglutámico o PGA), son compuestos lábiles, propensos a la escisión

fotooxidativa. El maíz entero contiene entre 0.013 y 0.028 mg/100 g de folatos (Rossi et al., 2011, USDA, 2019).

La vitamina C, o ácido ascórbico, pertenece al grupo de vitaminas hidrosolubles presente en el maíz, es una molécula con carga neutra que puede protonarse y convertirse en ascorbato. La vitamina C es un compuesto común que existe en la mayoría de los organismos vivos y presenta una función importante en la eliminación de radicales libres en las células vivas. Sin embargo, el ácido ascórbico está presente en cantidad significativa en el maíz verde o inmaduro dulce (Ramírez-Esparza et al., 2024, Alamu et al., 2021).

3.4.2 Vitaminas liposolubles

Las vitaminas liposolubles son provitamina A o carotenoides, se encuentra en granos amarillos, anaranjados y la vitamina E o tocoferol, está principalmente en el germen. El β -caroteno es un precursor de provitamina y vitamina A, y su ingesta puede obtenerse de alimentos como el maíz, los granos amarillos y anaranjados, que contienen carotenoides como luteína, zeaxantina, β -caroteno, β -cryptoxantina y α -caroteno (Egesel et al., 2003). El maíz, en particular, es una fuente rica en carotenoides provitamina A. Estos carotenoides son pigmentos que se convierten en vitamina A en el cuerpo humano. Además, el maíz contiene vitamina E como α -tocóferoles y tocotrienoles, siendo el α -tocóferol la forma más activa de vitamina E, junto con el γ -tocóferol (Cukelj et al., 2010; Dhaliwal, Sharma et al., 2022).

3.5. Minerales

El maíz es fuente de manganeso (Mn) y selenio (Se) los cuales varían en el grano entero según la composición del suelo. El fósforo (P), el potasio (K) y el magnesio (Mg) son los minerales más frecuentes que se encuentran en el maíz, aportan casi el 85% del contenido total de cenizas (Nuss & Tanumihardjo, 2010). El K, es un mineral esencial que participa en la regulación del balance de fluidos y la función muscular, el Mg es un cofactor esencial para muchas enzimas y es importante para la síntesis de proteínas y la función muscular. También presenta concentraciones a niveles bajos de calcio (Ca), hierro (Fe) y zinc (Zn). El Ca, esencial para la formación de huesos y dientes, así como para la función neuromuscular y la coagulación sanguínea, Fe es un componente de la hemoglobina y mioglobina, y para el transporte de oxígeno en el cuerpo. En este caso el ion hierro ($\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$) puede existir en dos estados de oxidación, como ion ferroso (Fe^{2+}) o férrico (Fe^{3+}). El Zinc es cofactor de enzimas y es importante para la función inmunológica y la síntesis de ADN. Manganeso (Mn) que también es un cofactor para muchas enzimas y es importante para la formación de huesos y el metabolismo de aminoácidos, colesterol y carbohidratos (Langyan et al., 2022) (Tabla 4).

Los minerales del grano de maíz constituyen menos del 2% del peso total del grano en base seca (Pekel, Çalık et al.

2019) y el germen contiene casi el 75%–80% de la cantidad total (Nuss & Tanumihardjo, 2010; Dei, 2017). Por lo tanto, las harinas, sémolas y alimentos refinados pierden la mayoría de estos nutrientes durante las operaciones de molienda (Serna-Saldívar, 2010). Otro factor importante a considerar es la presencia de antinutrientes como el ácido fítico (fitato), que afecta la biodisponibilidad de los minerales (Dei, 2017).

4. Compuestos bioactivos

4.1. Compuestos fenólicos

En el maíz los principales compuestos que se encuentran presentes son los flavonoides y los ácidos fenólicos. La concentración de los compuestos varía por la variedad del maíz. Se ha reportado que el contenido de fenoles totales puede variar de 243.8 a 320 mg equivalentes de ácido gálico (EAG)/100 g de muestra. En el maíz, los ácidos fenólicos contribuyen a los sabores ácido, amargo y astringente, con un umbral de percepción gustativa entre 40 y 90 ppm (Maga, 1973). Entre los ácidos hidroxibenzoicos presentes en el maíz, se encuentran el ácido vanílico y el ácido sirínico, mientras que entre los ácidos hidroxicinámicos se identifican el ácido p-cumárico, ferúlico y cafeico (Huang, 1991). Se ha reportado que el contenido total de ácidos fenólicos en la harina de maíz dentado amarillo es de 309 ppm, siendo los ácidos cis y trans-ferúlico, p-cumárico y sirínico los predominantes. El ácido ferúlico es el que se encuentra en mayor proporción en el maíz, y se presenta principalmente en forma unida a la pared celular, asociada a celulosa, lignina y proteínas mediante enlaces éster (Liu, 2010). Adom y Liu, (2002), reportaron que los ácidos ferúlicos están predominantemente en forma ligada. El contenido total de ácido ferúlico en el maíz es de $906.13 \pm 9.09 \mu\text{mol}/100 \text{ g}$ de grano, de los cuales el 98.9% está en forma ligada, el 1% en forma soluble conjugada, y solo el 0.1% en forma libre (López-Martínez et al., 2009).

4.2. Flavonoides

Como se ha mencionado previamente, el contenido de flavonoides en el maíz depende de la variedad. En el maíz amarillo, el contenido total de flavonoides es de aproximadamente $1.68 \pm 0.17 \mu\text{mol}$ equivalentes de catequina por gramo, de los cuales la mayoría están en forma ligada y una pequeña fracción en forma libre (Adom & Liu, 2002). Los granos de maíz con pigmentos rojos, azules y morados contienen mayor cantidad de estos compuestos que los granos de maíz blanco. Entre los flavonoides, las antocianinas son uno de los grupos principales de flavonoides solubles en agua, responsables de los colores que van del morado al rosado en el maíz, dependiendo de los niveles de pH y concentraciones. El pericarpio contiene el mayor porcentaje de antocianinas, aproximadamente el 50%, en la aleurona se encuentran una cantidad menor (Luna-Vital et al. 2017a). El maíz pigmentado es una de las fuentes más ricas de antocianinas, con concentraciones que van desde 5.1 mg/100 g en el maíz rojo hasta 130–1640 mg/100 g en el maíz morado y 36.8 mg/100g

en el maíz azul (De la Parra et al., 2007; Lao & Giusti, 2016; Li et al., 2017). Las principales antocianinas del maíz son los glucósidos de cianidina y peonidina. Otras antocianinas presentes en el maíz son cianidina-3-(6'-

malonilglucósido), cianidina-3- O-glucósido-2-malonilglucósido, peonidina-3- O-glucósido, peonidina-3-(6'-malonilglucósido), pelargonidina-3-(6"-malonilglucósido) y peonidina-3-(dimalonilglucósido) (Li et al., 2017).

4.3. Carotenoides

Los carotenoides se dividen en carotenos y xantofilas. La estructura molecular de las xantofilas es similar a la de los carotenos, pero contienen átomos de oxígeno, mientras que los carotenos son hidrocarburos puros sin oxígeno (Díaz-Gómez et al., 2017). El maíz blanco carece de carotenos, se ha reportado un contenido de sólo 3 µg/g de carotenoides totales, mientras que los genotipos amarillos contienen cantidades significativas tanto de carotenos como de xantofilas de hasta 66 y 95 µg/g de carotenoides totales (Burt et al. 2010; Díaz-Gómez et al., 2017; Taleon et al., 2017). El maíz rico en carotenoides puede ayudar a disminuir la deficiencia de vitamina A, especialmente en el mundo subdesarrollado, y se utiliza para complementar la luteína, la zeaxantina y otros nutracéuticos relacionados. (Leeson & Caston, 2004; Burt et al., 2010). Los carotenoides del maíz también están presentes en niveles sustanciales en los amiloplastos, plástidos especializados en el almacenamiento de gránulos de almidón (Díaz-Gómez et al., 2017). Se encuentran principalmente en el endospermo córneo (74%–86%), seguido del endospermo harinoso (9%–23%), el germen (2%–4%) y el pericarpio (1%) (Serna-Saldívar, 2010).

4.4. Fitoesteroles

El maíz es una fuente importante de fitoesteroles, donde el sitosterol, el campesterol y el estigmasterol son los componentes mayoritarios. Estos representan aproximadamente el 70%, 20% y 5% del contenido total de esteroides, respectivamente, con una concentración global que oscila entre 450 y 900 mg por cada 100 g de aceite de maíz (Roopashree et al. 2021). Estos compuestos se encuentran presentes en el germen de maíz, donde la concentración es alrededor de 310 mg/100g (Acosta-Estrada et al., 2019), esto dependerá del tipo de maíz y condiciones de cultivo, posteriormente en el endospermo y el pericarpio.

Las concentraciones mayoritarias de los fitoesteroles se encuentran principalmente en el aceite de maíz en una proporción del 56 al 60%, principalmente en forma de ésteres de esterilo (Verleyen et al., 2002). El aceite de maíz crudo presenta un mayor contenido de esteroides que el aceite refinado. En el aceite crudo se han reportado concentraciones de 0.809-1.557 g/100g y en el aceite refinado de 0.715 a 0.952 g/100g (Piironen et al., 2000). Los fitoesteroles presentes en el maíz son el sitosterol el cual representa la mayor proporción de fitoesteroles, posteriormente campestanol, estigmasterol y el delta 5-avenasterol.

Tabla 4. Composición nutricional del maíz

Componente	Concentración por cada 100g	Referencia
Carbohidratos totales	73 g	USDA, (2019).
Almidón	61-64 g	Mishra et al. (2021)
Azúcares simples	1-3 g	USDA, (2019)
Fibra dietética	7.3 g	USDA, (2019)
Proteínas totales	9.4 g	USDA, (2019)
Lisina	0.25 g	Toro et al. (2003); Cázares-Sánchez, (2015)
Triptófano	0.07 g	Loy & Lundy, (2019)
Metionina	0.17 g	USDA, (2019)
Arginina	0.41 g	USDA, (2019)
Grasas totales	4.7 g	USDA, (2019)
Ácidos grasos saturados	0.67 g	USDA, (2019)
Ácidos grasos monoinsaturados	1.3 g	Xu & Huang, (2020)
Ácidos grasos poliinsaturados	2.2 g	USDA, (2019)
Ácido linoleico (Omega-6)	2.1 g	Perez-Perez, (2015)
Vitamina E	0.49 mg	USDA, (2019)
Tiamina (B1)	0.39 mg	USDA, (2019)
Riboflavina (B2)	0.20 mg	USDA, (2019)
Niacina (B3)	2.7 mg	Loy & Lundy, (2019)
Ácido fólico (B9)	34 µg	USDA, (2019)
Calcio	7 mg	USDA, (2019)
Hierro	5 mg	Loy & Lundy, (2019)
Magnesio	127 mg	USDA, (2019)
Fósforo	132-474 mg	Dunn et al. (2014)
Potasio	287 mg	USDA, (2019)
Zinc	2.21 mg	USDA, (2019)
Luteína + Zeaxantina	644 µg	Lacko-Bartošová M y Leváková L. (2017)
Ácido ferúlico	120 mg	Zavala-López et al. (2020)

5. Impacto en la dieta y la salud de la población

El maíz, un alimento fundamental en muchas dietas alrededor del mundo, tiene un impacto considerable en la

salud y la nutrición. Sus componentes aportan diversos beneficios para la salud. A continuación, se presentan brevemente algunos de los efectos observados en la salud humana como resultado del consumo de maíz (*Zea mays* L.).

5.1. Respuesta glucémica y prevención de la diabetes

El almidón desempeña un papel importante en la dieta, ya que proporciona energía y tiene un impacto en los niveles de azúcar en sangre. Las consideraciones de salud en torno al almidón se han centrado en el índice y la respuesta glucémica, refiriéndose a la velocidad y el grado de digestión del almidón, que indican la liberación y absorción de glucosa en la sangre. El perfil glucémico del almidón de maíz depende de su estado no gelatinizado o gelatinizado, de si se ha enfriado y retrogradado, o del tipo de matriz alimentaria en que se encuentre. El almidón de maíz nativo no gelatinizado es una buena fuente de almidón de lenta digestión (ALD) y se digiere principalmente en el tracto gastrointestinal superior (Zhang et al., 2006a; Zhang et al., 2006b; Zhang & Hamaker, 2009). Debido a que se encuentra en la estructura laminar del gránulo y en que el almidón de maíz tiene numerosos poros que permiten que la α -amilasa penetre en el interior y digiera la estructura en capas de manera lenta. Cuando se gelatiniza el almidón, se transforma principalmente en almidón de rápida digestión (ARD), aunque en la retrogradación se genera cierto grado de ALD debido a las dobles hélices y la formación de cristallitos. La estructura de la amilopectina también influye en la cantidad de ALD. En los alimentos a base de maíz, la estructura de la matriz y el procesamiento afectan la tasa de digestión del almidón. Aun así, los alimentos a base de maíz tienden a tener un índice glucémico relativamente alto, con la mayoría de los productos en el rango de 70 a 90 (glucosa = 100, como alimento de referencia) (Foster-Powell et al., 2002).

El almidón de maíz con elevado contenido de amilosa ha sido empleado como una fuente de almidón resistente tipo 2 (no gelatinizado), dado que su temperatura de gelatinización supera los 100 °C (Fuentes-Zaragoza et al., 2010). Cuando se someten a cocción con alta temperatura (121 °C), los almidones con alto contenido de amilosa se gelatinizan y, al enfriarse, retrogradan para generar una cantidad significativa de almidón resistente tipo 3 (almidón retrogradado) (Goñi et al., 1996; Copeland et al., 2009).

Por otro lado, la fibra dietética puede ayudar a regular el apetito y contribuir al control de peso, tienen la propiedad de mejorar la sensibilidad a la insulina y regular los niveles de glucosa en sangre y niveles saludables de colesterol (Serna-Perez, Loarca-Piña et al., 2021; He et al., 2022). Los arabinosilanos de maíz debido a sus propiedades prebióticas se han asociado con varios beneficios para la salud, como control glucémico (Lin et al., 2023; Nguyen et al., 2020; Rose et al., 2010).

5.2. Salud digestiva

El maíz es una rica fuente de fibras dietéticas, que son esenciales para la salud digestiva y metabólica ya que estas mejoran la motilidad intestinal y previenen el estreñimiento. La fibra de maíz es una fracción rica en pericarpio que se obtiene mediante la molienda húmeda, mientras que el salvado de maíz es un subproducto de la molienda seca (Skendi 2020; Zhang et al., 2021). Estos subproductos generalmente se consideran materiales lignocelulósicos de bajo valor y convenientes para la alimentación animal (Mehta et al., 2022). Sin embargo, el salvado de maíz que se componen

principalmente por polisacáridos no amiláceos, mejora la función intestinal en humanos al aumentar el peso total de las heces, disminuir el tiempo de tránsito intestinal y aumentar la frecuencia de las deposiciones. Los arabinosilanos contribuyen a la formación del bolo fecal y a la producción de ácidos grasos de cadena corta, los cuales son esenciales para mantener la integridad del epitelio del colon; además, tras su ingesta regulan la saciedad (Lin et al., 2023; Nguyen et al., 2020; Rose et al., 2010). Se ha reportado que en un sistema *in vitro*, los arabinosilanos extraídos con álcali del maíz tienen una tasa de fermentación lenta al inicio, pero se completa su fermentación posterior (Kaur et al., 2011), esto debido a su naturaleza compleja y ramificada, ya que se requiere más actividad enzimática para la digestión de estructuras complejas (Rumpagaporn et al., 2015). Las posibles diferencias estructurales en los arabinosilanos del salvado de maíz pueden impactar en su funcionalidad. Por otra parte, se ha evidenciado que los arabinosilanos de salvado de maíz reticulado (que tiene una baja relación arabinosa/xilosa) con lacasa ralentizan las propiedades de fermentación y favorecen la producción de butirato debido a la promoción de bacterias específicas (Zhang et al., 2019). También la fermentación puede ser prolongada por los arabinosilanos del maíz que son hidrolizados con xilanasas, lo cual favorece la generación de ácidos grasos de cadena corta y la disminución de producción de gas inicial (Rumpagaporn et al., 2015).

Por otro lado, las antocianinas presentes en el maíz aportan efectos positivos en la salud digestiva. Wu et al. (2017), reportaron una disminución de riesgo de cáncer de colon en animales de experimentación cuando fueron alimentados con antocianinas, debido a que aumentaron los niveles de ácido butírico y disminuyó el peso corporal.

5.3. Prevención del estrés oxidativo

Las antocianinas son pigmentos flavonoides responsables de los colores rojo, morado y azul en las plantas. En el maíz, especialmente en las variedades de maíz morado, las antocianinas se han asociado con propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y anticancerígenas ya que estas antocianinas neutralizan los radicales libres, reduciendo el estrés oxidativo y previniendo el daño celular (Hassan et al., 2023). También se ha reportado que disminuyen la inflamación al inhibir la actividad de enzimas proinflamatorias y la producción de citoquinas. Se ha atribuido a las antocianinas del maíz propiedades anticancerígenas ya que en estudios *in vitro* han mostrado que las antocianinas pueden inhibir el crecimiento de células cancerígenas y promover la apoptosis (Mairuae et al., 2024).

El maíz también es una rica fuente de ácidos fenólicos, incluyendo ácido ferúlico, ácido cafeico y ácido p-cumárico. Estos compuestos tienen propiedades antioxidantes y antiinflamatorias ya que ayudan a proteger a las células del daño oxidativo y pueden mejorar la salud cardiovascular, así mismo pueden reducir la inflamación sistémica y mejorar la respuesta inmunológica (Salma et al., 2020; Elsayed et al., 2022). La luteína y zeaxantina, son carotenoides antioxidantes en el maíz, ya que se encuentran en altas concentraciones en el maíz amarillo principalmente. Algunos estudios han señalado que ayudan a la salud ocular, ya que la luteína y la zeaxantina se concentran en la mácula del ojo y protegen

contra el daño de la luz azul y el estrés oxidativo, reduciendo el riesgo de degeneración macular relacionada con la edad (Lacko-Bartošová & Leváková, 2017).

5.4. Salud cardiovascular y dislipidemias

Los fitoesteroles, presentes en el maíz, son compuestos que estructuralmente son similares al colesterol, pero tienen efectos beneficiosos sobre los niveles de colesterol en sangre. Estos pueden disminuir los niveles de colesterol LDL al bloquear su absorción en el intestino por lo que mejoran la salud cardiovascular y riesgos de enfermedades cardíacas (Mishra et al., 2021). También se ha reportado que los arabinoxilanos de maíz se ha asociado con la reducción de los niveles de colesterol, (Lin et al., 2023; Nguyen et al., 2020; Rose et al., 2010). Además, las antocianinas del maíz son capaces de inhibir la síntesis de ácidos grasos y triacilglicéridos debido a que disminuyen los niveles de ARNm de las enzimas, eso ocasiona que los triacilglicéridos se acumulen en menor cantidad en el hígado y tejido adiposo blanco (Li et al., 2012; Luna et al., 2017b).

6. Investigaciones y avances en el uso del maíz en la alimentación

La dieta basada en la milpa, sustentada en el consumo de maíz, frijol y calabaza, constituye un sistema alimentario biocultural que ha sido fundamental en Mesoamérica durante miles de años. Este sistema no solo asegura la disponibilidad de alimentos, sino que también representa un elemento central de identidad cultural y cohesión social en comunidades indígenas y rurales, donde su práctica está vinculada a tradiciones, conocimientos ancestrales y soberanía alimentaria (Díaz et al., 2026). La milpa ofrece una dieta equilibrada y funcional, ya que la complementariedad entre maíz y leguminosas mejora el perfil de aminoácidos, mientras que la diversidad de cultivos aporta fibra, vitaminas y compuestos bioactivos con efectos positivos sobre la salud metabólica y el microbiota intestinal (Fernández-Demeneghi et al., 2026). Este patrón dietético ha sido reconocido como un modelo sostenible que contribuye simultáneamente a la salud humana, la seguridad alimentaria y la conservación ambiental, al promover la biodiversidad y el uso eficiente de los recursos. El consumo de tortilla y derivados del maíz, especialmente cuando forman parte de la dieta tradicional, no solo cumple una función nutricional, sino que también actúa como un vehículo de continuidad cultural y un componente clave en la prevención de enfermedades crónicas asociadas a la transición alimentaria hacia dietas industrializadas (Sánchez-Velázquez et al., 2023).

El consumo de tortilla y derivados del maíz constituye un componente central de la dieta en América Latina, particularmente en México, donde este alimento representa la base energética y cultural de la alimentación. Diversos estudios han documentado que la tortilla de maíz es un alimento fundamental que aporta carbohidratos, proteínas, fibra, calcio y micronutrientes, lo que contribuye a la seguridad alimentaria (Espejel-García et al., 2016). En términos de consumo, se ha reportado una ingesta promedio cercana a 186 g/día, lo que refleja su importancia nutricional y contribución significativa a la dieta nacional (Baldenebro-Ochoa et al., 2026). Investigaciones recientes destacan que el

consumo de productos derivados del maíz, especialmente aquellos elaborados mediante nixtamalización, contribuye a mejorar la biodisponibilidad de nutrientes y a mantener patrones dietéticos tradicionales asociados con beneficios en la salud metabólica. Sin embargo, la actual transición nutricional en América ha generado cambios en los patrones de consumo, con una disminución relativa de alimentos tradicionales y un aumento de productos ultraprocesados, lo que podría impactar negativamente la calidad de la dieta. El análisis del consumo de tortilla y derivados del maíz puede permitir establecer estratégico en la promoción de dietas saludables, sostenibles y culturalmente pertinentes.

Las investigaciones recientes se han centrado principalmente en el valor nutricional y biodisponibilidad del maíz en la alimentación y el impacto en la salud de la población mexicana, pero también en procesos para mejorar sus características y hacer que este cereal aporte los mayores beneficios.

- Se ha encontrado que el maíz, especialmente en su forma nixtamalizada (un proceso tradicional mexicano), incrementa la disponibilidad de niacina y calcio, lo que es necesario para prevenir enfermedades como la pelagra y la desmineralización ósea (Hassan et al., 2023).
- La biofortificación del maíz, especialmente con micronutrientes como el zinc y la vitamina A, ha mostrado ser una estrategia prometedora para combatir deficiencias nutricionales en comunidades rurales. Estos maíces biofortificados han sido desarrollados y promovidos para mejorar la ingesta de estos micronutrientes esenciales y existen numerosos estudios para realizar adición de nutrientes esenciales a los alimentos, pero especialmente al maíz por ser vital en la dieta de la población mexicana (Pixley et al., 2013, Colín-Chávez et al., 2020).
- El maíz en la dieta de personas con diabetes tipo 2 también ha sido investigado. Se ha observado que el consumo de maíz en su forma entera y nixtamalizada puede tener un índice glucémico más bajo en comparación con otros productos refinados de maíz, lo que ayuda a controlar los niveles de glucosa en sangre (Mlotha et al., 2016, Colín-Chávez, et al., 2020).
- Diversas intervenciones de salud pública en México han utilizado el maíz como un vehículo para la educación nutricional y la mejora de la seguridad alimentaria. Programas gubernamentales y de organizaciones no gubernamentales han implementado el uso de maíz biofortificado y técnicas tradicionales de procesamiento para mejorar la salud de comunidades vulnerables (Sheoran et al., 2022).
- Se ha reportado que el maíz ceroso se procesa mediante molienda húmeda, este almidón es relativamente fácil de gelatinizar y produce una pasta

viscosa transparente con una superficie pegajosa. Esta propiedad le confiere la ventaja de ser aplicado en la industria alimentaria como estabilizante y espesante. Además, puede ser utilizado en las industrias textil, adhesiva, corrugada y papelería (Yu et al., 2022).

- Los arabinosilanos modulan la composición de la microflora y aumentan la producción de ácidos grasos de cadena corta. Los glucuronoarabinosilanos presentes en salvado de maíz solubilizados enzimáticamente (ferulizados de manera media y reticulados con lacasa) ocasionan cambios en la microbiota, una mayor presencia de *Anaerostipes* y una mayor producción de ácido butírico, lo que sugiere que los glucuronoarabinosilanos de salvado de maíz diferulizados sustituidos y solubilizados pueden ser candidatos prebióticos potenciales (Lin et al., 2023).
- Los arabinosilanos de maíz ha demostrado excelentes propiedades emulsionantes debido a sus componentes proteicos y lipídicos unidos (Jin et al., 2017). Para lograr mejorar las propiedades emulsionantes y obtener emulsiones más estables, se han propuesto diversas estrategias, que incluyen la realización de mezclas con otros componentes o modificaciones químicas/enzimáticas para mejorar el rendimiento de arabinosilanos de maíz. Se descubrió que las propiedades emulsionantes del complejo de quitosano y arabinosilano de maíz eran superiores en comparación con el quitosano o arabinosilano solos (Wang et al., 2022). El complejo forma una película interfacial densa sobre la superficie de las gotitas de aceite, creando una barrera que impide eficazmente la floculación de las gotitas. Por lo tanto, la estabilidad de la emulsión mejoró notablemente. También se han empleado métodos de modificación química para alterar la estructura de arabinosilanos. Wei et al. (2020) reportaron que la succinilación aumentaba el carácter hidrófobo del arabinosilano modificado mejorando la capacidad del arabinosilano para interactuar con las gotitas de aceite, lo que llevó a la formación de emulsiones más estables (Boukid, 2023).
- Desarrollo de materiales de cambio de fase a base de mezcla de ésteres de aceite de maíz y agua para aplicaciones de refrigeración de alimentos. Las propiedades térmicas tanto del agua como de su mezcla con ésteres de aceite de maíz han sido estudiadas mediante métodos de calorimetría diferencial de barrido y T-historia de temperatura, donde se ha observado que las temperaturas de transición de fase de las mezclas son más bajas que las del agua individual. El éster de aceite de maíz en las mezclas actúa como un agente nucleante y es capaz de reducir el punto de congelación y desencadenar la nucleación de hielo en agua, lo que podría disminuir el sobre enfriamiento. La adición de ésteres de aceite de maíz en un 5% a 35% en soluciones de agua podría reducir la temperatura de

congelación de 0 °C a -3.5 °C a -28 °C (Nyoman et al., 2019).

7. Conclusiones

El maíz tiene importancia como una fuente de macronutrientes, así como un alimento con propiedades funcionales asociadas a su contenido de compuestos bioactivos. Componentes como los ácidos fenólicos, carotenoides, fitoesteres, arabinosilanos y el almidón resistente participan en procesos metabólicos relacionados con enfermedades crónicas, lo que refuerza el potencial del maíz como un ingrediente en la incorporación de matrices alimentarias. La funcionalidad del maíz está relacionada con las transformaciones fisicoquímicas de sus principales biopolímeros durante el procesamiento. La gelatinización y retrogradación del almidón, así como la formación de almidón resistente tipo 3, influyen directamente en el índice glucémico y en la capacidad de fermentación a nivel de colon. Las interacciones entre proteínas de reserva (zeínas) y polisacáridos no amiláceos, como los arabinosilanos, condicionan la estructura de la matriz alimentaria y la liberación de compuestos fenólicos ligados durante la digestión. Las modificaciones inducidas por procesos como la nixtamalización, entre otros determinan la biodisponibilidad de nutrientes y la actividad biológica de los compuestos bioactivos, destacando la necesidad de profundizar en estudios que integren análisis estructurales, digestibilidad y efectos fisiológicos en modelos *in vitro* e *in vivo*. Aún hay limitaciones en la evaluación de su biodisponibilidad *in vivo* y la comprensión de las interacciones entre componentes del maíz durante el procesamiento y la digestión. Se vislumbra un amplio potencial en la aplicación de tecnologías emergentes como la extrusión, la biofortificación y el diseño de ingredientes funcionales orientados a optimizar sus propiedades nutricionales y tecnológicas. La revalorización del maíz y sus derivados tradicionales no solo tiene implicaciones en la salud pública, sino también en la seguridad alimentaria y la conservación del patrimonio biocultural, consolidándolo como un eje estratégico en el desarrollo de sistemas alimentarios más saludables y sostenibles.

8. Referencias

- Acosta-Estrada, B. A., Gutiérrez-Urbe, J. A., & Serna-Saldivar, S. O. (2019). Minor constituents and phytochemicals of the kernel. In Corn (pp. 369-403). AACC International Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811971-6.00014-0>
- Adom, K.K., Liu, R.H. (2002). Antioxidant activity of grains. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50 (21), 6182–6187. <https://doi.org/10.1021/jf0205099>
- Alamu, E. O., Maziya-Dixon, B., & Dixon, A. G. O. (2021). Bioactive composition and free radical scavenging activity of fresh orange maize hybrids: Impacts of genotype, maturity stages, and processing methods. *Frontiers in*

Nutrition, 8, 640563.
<https://doi.org/10.3389/fnut.2021.640563>

Alegría-Marroquín, J., Castillo-Ruiz, O., & Saldaña-Trinidad, S. (2020). Caracterización fisicoquímica de maíz (*Zea mays* L.) pigmentado para potenciar su consumo". *Investigación Y Desarrollo En Ciencia Y Tecnología De Alimentos*, 5, 272–276.

Ali, Q., Tariq Javed, M., Haider, M. Z., Habib, N., Rizwan, M., Perveen, R., ... & Al-Misned, F. A. (2020). α -Tocopherol foliar spray and translocation mediates growth, photosynthetic pigments, nutrient uptake, and oxidative defense in maize (*Zea mays* L.) under drought stress. *Agronomy*, 10(9), 1235. <https://doi.org/10.3390/agronomy10091235>

Ammor, K., Amarti, F. E. Z., Lagzizir, R., Mahjoubi, F., Boust, D., & Chaqroune, A. (2021). Study of antioxidant, anti-inflammatory, antinociceptive activities and toxicity of stigmata of *Zea mays* extracts. *Phytothérapie*, 19(4), 216–225. <https://doi.org/10.3166/phyto-2019-0209>

Baldenebro-Ochoa, K., López-Villa, F. C., Milán-Carrillo, J., Ontiveros-Apodaca, N., & Cuevas-Rodriguez, E.-O. (2026). La nueva generación de tortillas: sabor, nutrición y propiedades saludables. *Enfoques Transdisciplinarios: Ciencia Y Sociedad*, 4(1), 193–213. <https://revistaenfoques.ciatej.mx/index.php/revistaenfoques/article/view/106>

Bevilacqua, A., D. Campaniello, B. Speranza, A. Racioppo, M. Sinigaglia and M. R. Corbo (2024). An Update on Prebiotics and on Their Health Effects. *Foods*, 13(3): 446.

Boukid, F. (2023). Corn (*Zea mays* L.) arabinoxylan to expand the portfolio of dietary fibers. *Food Bioscience*, 56, 103181. <https://doi.org/10.3390/foods13030446>

Burt, A.J., Grainger, C.M., Young, J.C., Barry, J.S., Lee, E.A. (2010). Impact of postharvest handling on carotenoid concentration and composition in highcarotenoid maize (*Zea mays* L.) kernels. *Journal Agriculture Food Chemistry*, 58 (14), 8286–8292. <https://doi.org/10.1021/jf100161r>

Cázares-Sánchez E, Chávez-Servia JL, Salinas-Moreno Y, Castillo-González F, Ramírez-Vallejo P. (2015). Grain composition variation among native maize (*Zea mays* L.) of Yucatan, Mexico. *Agrociencia*, 49.

Colín-Chávez, C., J. J. Virgen-Ortiz, L. E. Serrano-Rubio, M. A. Martínez-Téllez and M. Astier (2020). Comparison of nutritional properties and bioactive compounds between industrial and artisan fresh tortillas from maize landraces. *Curr Res Food Sci*, 3: 189–194. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2020.05.004>

Copeland, L., Blazek, J., Salman, H., & Tang, M. C. (2009). Form and functionality of starch. *Food hydrocolloids*, 23(6), 1527–1534. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2008.09.016>

De la Parra, C., Serna-Saldivar, S.O., Liu, R.H. (2007). Effect of processing on the phytochemical profiles and antioxidant activity of corn for production of masa, tortillas, and tortilla chips. *J Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55 (10), 4177–4183. <https://doi.org/10.1021/jf063487p>

Dei, H. K. (2017). Assessment of maize (*Zea mays*) as feed resource for poultry. *Poultry science*, 1, 1–32.

Dhaliwal, S. S., V. Sharma, A. K. Shukla, V. Verma, M. Kaur, Y. S. Shivay, S. Nisar, A. Gaber, M. Brestic, V. Barek, M. Skalicky, P. Ondrisk and A. Hossain (2022). Biofortification—A Frontier Novel Approach to Enrich Micronutrients in Field Crops to Encounter the Nutritional Security. *Molecules*, 27(4): 1340. <https://doi.org/10.3390/molecules27041340>

Díaz Ortega, S. O., Pérez-Flores, M. E., López-Cruz, J. Y., Morales García, I., & Jurado Celis, S. N. (2026). Milpa Food System, Nutritional Contributions in Adults and Its Sociocultural Role in a Rural Community of Oaxaca, Mexico. *World*, 7(3), 47. <https://doi.org/10.3390/world7030047>

Díaz-Gómez, J., Ramos, A.J., Zhu, C., Martín-Belloso, O., Soliva-Fortuny, R. (2017). Influence of cooking conditions on carotenoid content and stability in porridges prepared from high-carotenoid maize. *Plant Foods Hum. Nutr.* 72 (2), 113–119. <https://doi.org/10.1007/s11130-017-0604-7>.

Dunn, M. L., Jain, V., & Klein, B. P. (2014). Stability of key micronutrients added to fortified maize flours and corn meal. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1312(1), 15–25. <https://doi.org/10.1111/nyas.12310>

Egesel, C. O., Wong, J. C., Lambert, R. J., & Rocheford, T. R. (2003). Combining ability of maize inbreds for carotenoids and tocopherols. *Crop Science*, 43(3), 818–823. <https://doi.org/10.2135/cropsci2003.8180>

El Khoury, D., Cuda, C., Luhovyy, B. L., & Anderson, G. H. (2012). Beta glucan: health benefits in obesity and metabolic syndrome. *Journal of nutrition and metabolism*, (1), 851362. <https://doi.org/10.1155/2012/851362>

Elsayed, N., D. A. Marrez, M. A. Ali, A. A. A. El-Maksoud, W. Cheng and T. G. Abdelmaksoud (2022). Phenolic Profiling and In-Vitro Bioactivities of Corn (*Zea mays* L.) Tassel Extracts by Combining Enzyme-Assisted Extraction. *Foods*, 11(14): 2145. <https://doi.org/10.3390/foods11142145>

Espejel-García, María V., Mora-Flores, José S., García-Salazar, José A., Pérez-Elizalde, Sergio, & García-Mata, Roberto. (2016). Caracterización del consumidor de tortilla en el Estado de México. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 13(3), 371–384. Recuperado en 23 de abril de 2026, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-54722016000300371&lng=es&tlng=es.

FAO & CIMMYT. (1997). White maize: A traditional food grain in developing countries. <https://repository.cimmyt.org/xmlui/bitstream/handle/10883/755/66084.pdf?sequence=1>

Fernández-Demeneghi, R., Sánchez-Jiménez, M. A., Huerta-Canseco, C., Vargas Moreno, I., Rosas Sánchez, G. U., Ramírez-Rodríguez, R., ... & Álvarez-Ramírez, M. M. (2026). The Milpa diet: a functional, sustainable pattern for human and planetary health. *Frontiers in Nutrition*, 13, 1790861. <https://doi.org/10.3389/fnut.2026.1790861>

Food Data Central. USDA. (2019). Corn, sweet, yellow, raw Available online: <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/169998/nutrients>,

Foster-Powell, K., Holt, S.H.A., Brand-Miller, J.C. (2002). International table of glycemic index and glycemic load values: 2002. *Am. J. Clin. Nutr.* 76, 5–56. doi: 10.1093/ajcn/nqab233.

Fuentes-Zaragoza, E., Riquelme-Navarrete, M.J., Sánchez-Zapata, E., Perez-Álvarez, J.A. (2010). Resistant starch as functional ingredient: a review. *Food Res. Int.* 43, 931–942. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.02.004>

García-Campos, A. U., Cruz-Monterrosa, R. G., Rayas-Amor, A. A., Jiménez-Guzmán, J., Fabela-Morón, M. F., de la Paz Salgado-Cruz, M., ... & Díaz-Ramírez, M. (2020). Caracterización físico-química de maíz (*Zea mays* L.) criollo (azul y rojo) del Estado de México. *Agro Productividad*, 13(7). <https://doi.org/10.32854/agrop.vi.1728>

García-Lara, S., & Serna-Saldivar, S. O. (2019). Corn History and Culture. Corn, 1–18. doi:10.1016/b978-0-12-811971-6.00001-2

Gilbert, H. J. (2010). The biochemistry and structural biology of plant cell wall deconstruction. *Plant Physiology*, 153(2), 444–455. <https://doi.org/10.1104/pp.110.156646>

Goñi, I., Garcia-Diz, L., Mañas, E., & Saura-Calixto, F. (1996). Analysis of resistant starch: a method for foods and food products. *Food chemistry*, 56(4), 445–449. [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(95\)00222-7](https://doi.org/10.1016/0308-8146(95)00222-7)

Gwartz, J. A., & Garcia-Casal, M. N. (2014). Processing maize flour and corn meal food products. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1312(1), 66–75. <https://doi.org/10.1111/nyas.12299>

Hamaker, B. R., Tuncil, Y. E., & Shen, X. (2019). Carbohydrates of the kernel. In Corn (pp. 305–318). AACC International Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811971-6.00011-5>

Hassan S. M., F. S., Tola YB, Bikila AM, Ahmed Z. (2023). Effect of Nixtamalization on the Nutritional, Antinutritional, Functional, Physicochemical and Mineral Properties of Maize (*Zea mays*) Tortillas. *Journal Food Chem Nanotechnology*, 9(3): 132–140. <https://doi.org/10.17756/jfcn.2023-159>

He, Y., B. Wang, L. Wen, F. Wang, H. Yu, D. Chen, X. Su and C. Zhang (2022). Effects of dietary fiber on human health. *Food Science and Human Wellness* 11(1): 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2021.07.001>

Huang, C. J., & Zayas, J. F. (1991). Phenolic acid contributions to taste characteristics of corn germ protein flour products. *Journal of Food Science*, 56(5), 1308–1310. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1991.tb04759.x>

Jeon, J.S.; Ryoo, N.; Hahn, T.R.; Walia, H.; Nakamura, Y. (2010). Starch biosynthesis in cereal endosperm. *Plant Physiol. Biochem* 48,383–392. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.03.006>

Jin, Q., Cai, Z., Li, X., Yadav, M. P., & Zhang, H. (2017). Comparative viscoelasticity studies: Corn fiber gum versus commercial polysaccharide emulsifiers in bulk and at air/liquid interfaces. *Food Hydrocolloids*, 64, 85–98. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.11.002>

Kaur, A., Rose, D. J., Rumpagaporn, P., Patterson, J. A., & Hamaker, B. R. (2011). In vitro batch fecal fermentation comparison of gas and short-chain fatty acid production using “slowly fermentable” dietary fibers. *Journal of food science*, 76(5), H137–H142. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02172.x>

Khan, N. U., Sheteiwy, M., Lihua, N., Khan, M. M. U., & Han, Z. (2019). An update on the maize zein-gene family in the post-genomics era. *Food Production, Processing and Nutrition*, 1, 13, doi:10.1186/s43014-019-0012-5.

Lacko-Bartošová, M., & Leváková, Ludmila. (2017). Lutein and Zeaxanthin Content in Milling Fractions of Selected Wheat Species and Varieties. *Agrobiodiversity for Improving Nutrition, Health and Life Quality*, (1). Retrieved from <https://agrobiodiversity.uniag.sk/scientifi>

Langyan, S., R. Bhardwaj, J. Kumari, S. R. Jacob, I. S. Bisht, S. R. Pandravada, A. Singh, P. B. Singh, Z. A. Dar, A. Kumar and J. C. Rana (2022). Nutritional Diversity in Native Germplasm of Maize Collected From Three Different Fragile Ecosystems of India. *Front Nutrition*, 9: 812599. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.812599>

Lao, F., Giusti, M.M. (2016). Quantification of purple corn (*Zea mays* L.) anthocyanins using spectrophotometric and HPLC approaches: method comparison and correlation. *Food Anal. Methods*, 9 (5), 1367–1380. <https://doi.org/10.1007/s12161-015-0318-0>.

Lawton, J. W., & Wilson, C. M. (2003). Proteins of the kernel. a: Chemistry and Technology, 2nd edition. T. Paul, Minnesota, USA: American Association of Cereal Chemistry Inc.

Lazaridou, A., & Biliaderis, C. G. (2007). Molecular aspects of cereal β -glucan functionality: Physical properties, technological applications and physiological effects. *Journal of cereal science*, 46(2), 101–118. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2007.05.003>

- Leeson, S., Caston, L. (2004). Enrichment of eggs with lutein. *Poultry Science*, 83, 1709–1712. <https://doi.org/10.1093/ps/83.10.1709>
- Lending, C. R., & Larkins, B. A. (1989). Changes in the zein composition of protein bodies during maize endosperm development. *The Plant Cell*, 1(10), 1011. <https://doi.org/10.1105/tpc.1.10.1011>
- Li, J., Kang, M. K., Kim, J. K., Kim, J. L., Kang, S. W., Lim, S. S., & Kang, Y. H. (2012). Purple corn anthocyanins retard diabetes-associated glomerulosclerosis in mesangial cells and db/db mice. *European Journal of Nutrition*, 51, 961–973. <https://doi.org/10.1007/s00394-011-0274-4>
- Li, Q., Somavat, P., Singh, V., Chatham, L., Gonzalez de Mejia, E. (2017). A comparative study of anthocyanin distribution in purple and blue corn coproducts from three conventional fractionation processes. *Food Chemistry*, 231, 332–339. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.03.146>
- Libron, J. a. M. A., Cardona, D. E. M., Mateo, J. M. C., Beltran, A. K. M., Tuaño, A. P. P., & Laude, T. P. (2021). Nutritional properties and phenolic acid profile of selected Philippine pigmented maize with high antioxidant activity. *Journal of Food Composition and Analysis*, 101, 103954. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.103954>
- Lin, S., Xu, X., Holck, J., Wittrop Agger, J., Wilkens, C., Xie, Z., et al. (2023). Soluble, diferuloylated corn bran glucuronoarabinoxylans modulate the human gut microbiota in vitro. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 71(8), 3885–3897. https://doi.org/10.1021/ACS.JAFC.2C08338/SUPPL_FILE/JF2C08338_SI_001.PDF
- Liu, Q., Qiu, Y., & Beta, T. (2010). Comparison of antioxidant activities of different colored wheat grains and analysis of phenolic compounds. *Journal of agricultural and food chemistry*, 58(16), 9235–9241. <https://doi.org/10.1021/jf101700s>
- Lopez-Martinez, L. X., Oliart-Ros, R. M., Valerio-Alfaro, G., Lee, C. H., Parkin, K. L., & Garcia, H. S. (2009). Antioxidant activity, phenolic compounds and anthocyanins content of eighteen strains of Mexican maize. *LWT - Food Science and Technology*, 42(6), 1187–1192. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.10.010>
- Loy, D. D., & Lundy, E. L. (2019). Nutritional properties and feeding value of corn and its coproducts. In Corn (pp. 633–659). AACC International Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811971-6.00023-1>
- Luna-Vital, D., Li, Q., West, L., West, M., & de Mejia, E. G. (2017a). Anthocyanin condensed forms do not affect color or chemical stability of purple corn pericarp extracts stored under different pHs. *Food Chemistry*, 232, 639–647. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.03.169>
- Luna-Vital, D., Weiss, M., & Gonzalez de Mejia, E. (2017b). Anthocyanins from purple corn ameliorated tumor necrosis factor- α -induced inflammation and insulin resistance in 3T3-L1 adipocytes via activation of insulin signaling and enhanced GLUT4 translocation. *Molecular Nutrition & Food Research*, 61(12), 1700362. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201700362>
- Maga, J. A., & Lorenz, K. (1974). Gas-liquid chromatography separation of the free phenolic acid fractions in various oilseed protein sources. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 25(7), 797–802. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740250709>
- Mainieri, D., Marrano, C. A., Prinsi, B., Maffi, D., Tschofen, M., Espen, L., ... & Vitale, A. (2018). Maize 16-kD γ -zein forms very unusual disulfide-bonded polymers in the endoplasmic reticulum: Implications for prolamin evolution. *Journal of experimental botany*, 69(21), 5013–5027. doi: 10.1093/jxb/ery287
- Mairuae, N., N. Palachai and P. Noisa (2024). An anthocyanin-rich extract from Zea mays L. var. ceratina alleviates neuronal cell death caused by hydrogen peroxide-induced cytotoxicity in SH-SY5Y cells. *BMC Complementary Medicine and Therapies*, 24(1): 162. <https://doi.org/10.1186/s12906-024-04458-6>
- Mehta, D., Purohit, A., Bajarh, P., Yadav, K., Shivhare, U. S., & Yadav, S. K. (2022). Cold plasma processing improved the extraction of xylooligosaccharides from dietary fibers of rice and corn bran with enhanced in-vitro digestibility and anti-inflammatory responses. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 78, 103027. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103027>
- Menchaca-Armenta, M., B. Ramírez-Wong, P. I. Torres-Chávez, A. Quintero-Ramos, A. I. Ledesma-Osuna, M. J. Frutos, R. Gutiérrez-Dorado, O. N. Campas-Baypoli and I. Morales-Rosas (2020). Effect of extrusion conditions on the anthocyanin content, functionality, and pasting properties of obtained nixtamalized blue corn flour (*Zea mays* L.) and process optimization. *Journal of Food Science*, 85(7): 2143–2152. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15312>
- Mex-Álvarez, R. M. J. (2016). Análisis proximal y fitoquímico de cinco variedades de maíz del Estado de Campeche, México. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 12(2), 74–80.
- Mishra, A., M. P. Gowrav, V. Balamuralidhara and K. S. Reddy (2021). Health in Digital World: A Regulatory Overview in United States. *Journal of Pharmaceutical Research International* 33(43B): 438–450. DOI: 10.9734/JPRI/2021/v33i43B32573
- Mlotha, V., A. M. Mwangwela, W. Kasapila, E. W. Siyame and K. Masamba (2016). Glycemic responses to maize flour stiff porridges prepared using local recipes in Malawi. *Food Sci Nutr*, 4(2): 322–328. <https://doi.org/10.1002/fsn3.293>
- Mora-Rochin, S., Gutiérrez-Urbe, J. A., Serna-Saldivar, S. O., Sánchez-Peña, P., Reyes-Moreno, C., & Milán-Carrillo, J. (2010). Phenolic content and antioxidant activity of tortillas produced from pigmented maize processed by conventional nixtamalization or extrusion cooking. *Journal of Cereal Science*, 52(3), 502–508. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2010.08.010>

- Nguyen, N. K., Deehan, E. C., Zhang, Z., Jin, M., Baskota, N., Perez-Muñoz, M. E., et al. (2020). Gut microbiota modulation with long-chain corn bran arabinoxylan in adults with overweight and obesity is linked to an individualized temporal increase in fecal propionate. *Microbiome*, 8(1), 1–21. <https://doi.org/10.1186/s40168-020-00887-w>
- Nuss, E. T., & Tanumihardjo, S. A. (2010). Maize: a paramount staple crop in the context of global nutrition. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 9(4), 417–436. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2010.00117.x>
- Osborne T.B. (1908). Our present knowledge of plant proteins. *Science*, 28 pp. 417–427
- Owens, F. (2005, September). Corn genetics and animal feeding value. In 66th Minnesota Nutrition Conference. St. Paul, MN (pp. 20–21). DOI: 10.1126/science.28.718.417
- Pekel, A. Y., A. Çalık, M. S. Alataş, E. Kuter, Ö. Cengiz, G. Z. Omurtag and G. İnan (2019). Evaluation of Correlations Between Nutrients, Fatty Acids, Heavy Metals, and Deoxynivalenol in Corn (*Zea mays* L.). *Journal of Applied Poultry Research*, 28(1): 94–107. <https://doi.org/10.3382/japr/pfy023>
- Perez Perez JC. (2015). Determinación de ácidos grasos (oleico y linoleico) en siete diferentes genotipos de maíz (*Zea mays* L.).
- Piironen, V., Lindsay, D. G., Miettinen, T. A., Toivo, J., & Lampi, A. M. (2000). Plant sterols: biosynthesis, biological function and their importance to human nutrition. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80(7), 939–966. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(20000515\)80:7<939::AID-JSFA644>3.0.CO;2-C](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(20000515)80:7<939::AID-JSFA644>3.0.CO;2-C)
- Piña, M. G. F. L. (2023, January 1). Caracterización física, química, nutracéutica y propiedades tecnofuncionales de tres variedades de maíz (*Zea mays*) criollo pigmentado (blanco, amarillo y negro). <https://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/4340>
- Pixley, K., Rojas, N.P., Babu, R., Mutale, R., Surles, R., Simpungwe, E. (2013). Biofortification of Maize with Provitamin A Carotenoids. In: Tanumihardjo, S. (eds) Carotenoids and Human Health. Nutrition and Health. Humana Press, Totowa, NJ. https://doi.org/10.1007/978-1-62703-203-2_17
- Pramitha, J. L., G. Jeeva, R. Ravikesavan, A. J. Joel, N. K. Vinothana, B. Meenakumari, M. Raveendran, D. Uma, F. Hossain, B. Kumar and S. Rakshit (2020). Environmental impact of phytic acid in Maize (*Zea mays* L.) genotypes for the identification of stable inbreds for low phytic acid. *Physiol Mol Biol Plants*, 26(7): 1477–1488. <https://doi.org/10.1007/s12298-020-00818-x>
- Ramírez-Esparza, U., Agustín-Chávez, M. C., Ochoa-Reyes, E., Alvarado-González, S. M., López-Martínez, L. X., Ascacio-Valdés, J. A., Martínez-Ávila, G. C. G., Prado-Barragán, L. A., & Buenrostro-Figueroa, J. J. (2024). Recent advances in the extraction and characterization of bioactive compounds from corn by-products. *Antioxidants*, 13(9), 1142. <https://doi.org/10.3390/antiox13091142>
- Roopashree, P. G., S. S. Shetty and N. Suchetha Kumari (2021). Effect of medium chain fatty acid in human health and disease. *Journal of Functional Foods*, 87: 104724. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2021.104724>
- Rose, D. J., Patterson, J. A., & Hamaker, B. R. (2010). Structural differences among alkali-soluble arabinoxylans from maize (*Zea mays*), rice (*Oryza sativa*), and wheat (*Triticum aestivum*) brans influence human fecal fermentation profiles. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(1), 493–499. <https://doi.org/10.1021/jf9020416>
- Rossi, M., Amaretti, A., & Raimondi, S. (2011). Folate production by probiotic bacteria. *Nutrients*, 3(1), 118–134. <https://doi.org/10.3390/nu3010118>
- Rumpagaporn, P., Reuhs, B. L., Kaur, A., Patterson, J. A., Keshavarzian, A., & Hamaker, B. R. (2015). Structural features of soluble cereal arabinoxylan fibers associated with a slow rate of in vitro fermentation by human fecal microbiota. *Carbohydrate Polymers*, 130, 191–197. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.04.041>
- Safíul Azam, F. M., T. Lian, Q. Liang, W. Wang, C. Zhang and L. Jiang (2022). Variation of vitamin B contents in maize inbred lines: Potential genetic resources for biofortification. *Frontiers in Nutrition*, 9. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1029119>
- Salma, B., Sanaa, C., Naima, B., El Mostafa, M., & Mounia, O. (2020). Phytochemical screening and in vivo immunosuppressive, antioxidant and anti-hemolytic activities of *Zea mays* silk aqueous extract. *Pharmacognosy Journal*, 12(6). DOI:10.5530/pj.2020.12.195
- Sánchez-Nuño, Y. A., M. Zermeño-Ruiz, O. D. Vázquez-Paulino, K. Nuño and A. Villarruel-López (2024). Bioactive Compounds from Pigmented Corn (*Zea mays* L.) and Their Effect on Health. *Biomolecules*, 14(3): 338. <https://doi.org/10.3390/biom14030338>
- Sánchez-Velázquez, O. A., Luna-Vital, D. A., Morales-Hernandez, N., Contreras, J., Villaseñor-Tapia, E. C., Frago-Medina, J. A., & Mojica, L. (2023). Nutritional, bioactive components and health properties of the milpa triad system seeds (corn, common bean and pumpkin). *Frontiers in Nutrition*, 10, 1169675. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1169675>
- Sequeiros Huachaca, F. E. (2022). Potencial de nutrientes, bioactividad y funcionalidad de Quinua (*Chenopodium quinoa* W.), Maíz (*Zea mays*) y Tarwi (*Lupinus mutabilis* S.) de la región Apurímac. Tesis, Perú.
- Serna-Perez, A. B., G. Loarca-Piña and I. Luzardo-Ocampo (2021). Characterization of Dietary Fiber Extracts from Corn (*Zea mays* L.) and Cooked Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Flours and Evaluation of Their Inhibitory Potential against Enzymes Associated with Glucose and Lipids Metabolism In Vitro. *Biology and Life*

Sciences Forum, 6. <https://doi.org/10.3390/Foods2021-11049>

Serna-Saldívar, S. O. (2010). Role of cereals in human nutrition and health. S.(Serna-Saldivar, Cereals Grains Properties, Processing, and Nutritional Attributes, 565-628.

Sheoran, S., S. Kumar, V. Ramtekey, P. Kar, R. S. Meena and C. K. Jangir (2022). Current Status and Potential of Biofortification to Enhance Crop Nutritional Quality: An Overview. *Sustainability*, 14(6): 3301. <https://doi.org/10.3390/su14063301>

Shukla, R., & Cheryan, M. (2001). Zein: the industrial protein from corn. *Industrial crops and products*, 13(3), 171-192. [https://doi.org/10.1016/S0926-6690\(00\)00064-9](https://doi.org/10.1016/S0926-6690(00)00064-9)

Singh, S., N. Singh, N. Isono and T. Noda (2010). Relationship of Granule Size Distribution and Amylopectin Structure with Pasting, Thermal, and Retrogradation Properties in Wheat Starch. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(2): 1180-1188. <https://doi.org/10.1021/jf902753f>

Skendi, A., Zinoviadou, K. G., Papageorgiou, M., & Rocha, J. M. (2020). Advances on the valorisation and functionalization of by-products and wastes from cereal-based processing industry. *Foods*, 9(9). <https://doi.org/10.3390/FOODS9091243>

Taleon, V., Mugode, L., Cabrera-Soto, L., Palacios-Rojas, N. (2017). Carotenoid retention in biofortified maize using different post-harvest storage and packaging methods. *Food Chemistry*, 232, 60–66. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.03.158>.

Tetlow, I.J. (2011). Starch biosynthesis in developing seeds. *Seed Sci. Res.* 21, 5–32. <https://doi.org/10.1017/S0960258510000292>

Toro AA, Medici LO, Sodek L, Lea PJ, Azevedo RA. (2003). Distribution of soluble amino acids in maize endosperm mutants. *Scientia Agricola*, 60. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162003000100014>

USDA (2019). *FoodData Central: Corn, yellow, whole kernel, raw*. U.S. Department of Agriculture. <https://doi.org/10.15482/USDA.ADC/1529218>

Verleyen, T., Forcades, M., Verhé, R., Dewettinck, K., Huyghebaert, A., & De Greyt, W. (2002). Analysis of free and esterified sterols in vegetable oils. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 79(2), 117-122. <https://doi.org/10.1007/s11746-002-0444-3>

Wang, T., & White, P. J. (2019). Lipids of the Kernel. In Corn (pp. 337-368). AACC International Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811971-6.00013-9>

Wang, Y., Wang, S., Li, R., Wang, Y., Xiang, Q., Qiu, S., ... & Bai, Y. (2022). Synergistic effect of corn fiber gum and chitosan in stabilization of oil in water emulsion. *Lwt*, 154, 112592. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112592>

Wu, T., Guo, X., Zhang, M., Yang, L., Liu, R., & Yin, J. (2017). Anthocyanins in black rice, soybean and purple corn increase fecal butyric acid and prevent liver inflammation in high fat diet-induced obese mice. *Food & Function*, 8(9), 3178-3186.

Wu, T., S. M. Kerbler, A. R. Fernie and Y. Zhang (2021). Plant cell cultures as heterologous bio-factories for secondary metabolite production. *Plant Communications*, 2(5). DOI: 10.1016/j.xplc.2021.100235

Wu, Y., & Messing, J. (2014). Proteome balancing of the maize seed for higher nutritional value. *Frontiers in plant science*, 5, 240. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00240>

Yadav, M. P., Fishman, M. L., Chau, H. K., Johnston, D. B., & Hicks, K. B. (2007a). Molecular characteristics of corn fiber gum and their influence on CFG emulsifying properties. *Cereal Chemistry*, 84(2), 175-180. <https://doi.org/10.1094/CCHEM-84-2-0175>

Yadav, M. P., Johnston, D. B., Hotchkiss Jr, A. T., & Hicks, K. B. (2007b). Corn fiber gum: A potential gum arabic replacer for beverage flavor emulsification. *Food Hydrocolloids*, 21(7), 1022-1030. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2006.07.009>

Yoshida, T., Honda, Y., Tsujimoto, T., Uyama, H., & Azuma, J. I. (2014). Selective isolation of β -glucan from corn pericarp hemicelluloses by affinity chromatography on cellulose column. *Carbohydrate polymers*, 111, 538-542. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.04.050>

Yu, Ju-Kyung, and Yong-Sun Moon. (2022). Corn Starch: Quality and Quantity Improvement for Industrial Uses" *Plants* 11, 1: 92. <https://doi.org/10.3390/plants11010092>

Zafar, J., A. Aqeel, F. I. Shah, N. Ehsan, U. F. Gohar, M. A. Moga, D. Festila, C. Ciurea, M. Irimie and R. Chicea (2021). Biochemical and Immunological implications of Lutein and Zeaxanthin. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(20): 10910. <https://doi.org/10.3390/ijms222010910>

Zavala-López M, Flint-García S, García-Lara S. (2020). Compositional variation in trans-ferulic, p-coumaric, and diferulic acids levels among kernels of modern and traditional maize (*Zea mays* L.) hybrids. *Frontiers in Nutrition*, 7, 600747. <https://doi.org/10.3389/fnut.2020.600747>.

Zhang, B., Zhan, B., & Bao, J. (2021). Reframing biorefinery processing chain of corn fiber for cellulosic ethanol production. *Industrial Crops and Products*, 170, 15, 113791. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113791>

Zhang, G., Ao, Z., Hamaker, B.R. (2006a). Slow digestion property of native cereal starches. *Biomacromolecules*, 7, 3252–3258. <https://doi.org/10.1021/bm060342i>

Zhang, G., Hamaker, B.R. (2009). Slowly digestible starch: concept, mechanism a proposed extended glycemic

index. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 49, 852–867.
<https://doi.org/10.1080/10408390903372466>

Zhang, G., Venkatachalam, M., Hamaker, B.R. (2006b). Structural basis for the slow digestion property of native cereal starches. *Biomacromolecules*, 7, 3259–3266.
<https://doi.org/10.1021/bm060343a>

Zhang, X., Chen, T., Lim, J., Gu, F., Fang, F., Cheng, L., ... Hamaker, B. R. (2019). Acid gelation of soluble laccase-crosslinked corn bran arabinoxylan and possible gel formation mechanism. *Food Hydrocolloids*. 92, 1-9,
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.01.032>

Zhang, Y., Xu, M., Zhang, X., Hu, Y., & Luan, G. (2022). Application of zein in gluten-free foods: A comprehensive review. *Food Research International*, 160, 111722. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111722>

Zheng,H.; Wang, H.; Yang, H.; Wu, J.; Shi, B.; Cai, R.; Xu, Y.; Wu, A.; Luo, L. (2013). Genetic diversity and molecular evolution of Chinese waxy maize germplasm. *PLoS ONE*, 8, e66606.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0066606>