



**Universidad Autónoma de Sinaloa**  
**Facultad de Ciencias Químico Biológicas**  
**Programa Posgrado Ciencia y Tecnología de Alimentos**  
**Doctorado en Ciencia y Tecnología de Alimentos**

**Tortillas Funcionales Maíz Azul – Amaranto.**  
**Propiedades Nutricionales / Nutracéuticas. Uso Racional**  
**del Agua. Atención a Población Vulnerable**

# **T E S I S**

que presenta

**Laura Celeste Gámez Valdez**

como requisito para obtener el grado de  
**Doctora en**  
**Ciencia y Tecnología de Alimentos**

**Directores**

**Dr Roberto Gutiérrez Dorado**  
**Dr Cuauhtémoc Reyes Moreno**

**Culiacán Rosales, Sinaloa, México**

**Junio de 2024**



Dirección General de Bibliotecas  
Ciudad Universitaria  
Av. de las Américas y Blvd. Universitarios  
C. P. 80010 Culiacán, Sinaloa, México.  
Tel. (667) 713 78 32 y 712 50 57  
dgbuas@uas.edu.mx

## UAS-Dirección General de Bibliotecas

### Repositorio Institucional Buelna

#### Restricciones de uso

Todo el material contenido en la presente tesis está protegido por la Ley Federal de Derechos de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

Queda prohibido la reproducción parcial o total de esta tesis. El uso de imágenes, tablas, gráficas, texto y demás material que sea objeto de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente correctamente mencionando al o los autores del presente estudio empírico. Cualquier uso distinto, como el lucro, reproducción, edición o modificación sin autorización expresa de quienes gozan de la propiedad intelectual, será perseguido y sancionado por el Instituto Nacional de Derechos de Autor.

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial  
Compartir Igual, 4.0 Internacional



## Presentación

La presente investigación, titulada **“Tortillas Funcionales Maíz Azul – Amaranto. Propiedades Nutricionales / Nutracéuticas. Uso Racional del Agua. Atención a Población Vulnerable”** se llevó a cabo en el **“Laboratorio de Bioprocesos y Alimentos Funcionales”**, Programa de Posgrado Integral en Biotecnología, Facultad de Ciencias Químico Biológicas, Universidad Autónoma de Sinaloa, con sede en la ciudad de Culiacán, Sinaloa. Durante el desarrollo de la investigación, Laura Celeste Gámez Valdez realizó estancia académica en **“Laboratorio de Fisicoquímica de Alimentos I”** del Área Académica de Química, Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería y el **“Bioterio”** de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, ubicados en Mineral de la Reforma y San Agustín Tlaxiaca, respectivamente, ambos en el estado de Hidalgo. Como Asesores Académicos participaron: Dra Janitzio Xiomara Korina Perales Sánchez, Dr Carlos Alberto Gómez Aldapa (UAEH), Dr Luis Martín Sánchez Magaña, **Dr Roberto Gutiérrez Dorado (Director de Tesis)**, **Dr Cuauhtémoc Reyes Moreno (Director de Tesis)**. Este trabajo de investigación forma parte del Proyecto: **“Propiedades Nutricionales y Nutracéuticas de Tortillas Funcionales de Maíz Azul Criollo con Frijol tépari, Amaranto y Chía. Efecto de su Consumo sobre Parámetros de Enfermedades Crónico Degenerativas y Microbiota Intestinal”** [Proyecto Interinstitucional: Universidad Autónoma de Querétaro (Dra Rosalía Reynoso Camacho / Corresponsable Técnico), Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (Dr Carlos Alberto Gómez Aldapa / Corresponsable Técnico), Universidad Autónoma de Sinaloa (Dr Cuauhtémoc Reyes Moreno / Responsable Técnico)] financiado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT 2019: Ciencia Frontera / Grupo / Número de ID: 263,352). Para llevar a cabo la primera parte de esta investigación se recibió financiamiento por la Universidad Autónoma de Sinaloa (Programa de Fomento y Apoyo a Proyectos de Investigación, PROFAPI). La Tesista (**Laura Celeste Gámez Valdez**) recibió Beca Nacional para Estudios de Posgrado (Doctorado) por el CONACyT durante sus estudios doctorales 2019-2024.

## **Agradecimientos**

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas e instituciones que hicieron posible la realización de mi posgrado en Ciencia y Tecnología de Alimentos.

Al posgrado de Ciencia y Tecnología de Alimentos de la Facultad de Ciencias Químico-Biológicas de la Universidad Autónoma de Sinaloa (UAS), por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios de posgrado y contribuir significativamente a mi formación académica.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por otorgarme la beca que me permitió continuar con mis estudios de posgrado.

Al Dr. Cuauhtémoc Reyes Moreno, por darme la oportunidad de trabajar bajo su dirección y formar parte de su equipo de trabajo. Aprecio profundamente todos los valiosos consejos que me brindó durante el posgrado.

Al Dr. Roberto Gutiérrez Dorado, por permitirme continuar siendo parte de su equipo de trabajo y por brindarme constante orientación en momentos de duda. Su disposición para escucharme, su humildad y paciencia han sido invaluable. Gracias por su dedicación y apoyo constante.

A la Dra. J. Xiomara K. Perales Sánchez, por compartir sus conocimientos, estar al pendiente de nuestras necesidades. Muchas gracias por todas esas experiencias enriquecedoras.

A la Dra. Maribel Jiménez Edeza, por compartir sus conocimientos y por su apoyo y orientación, que fueron fundamentales en este proceso. Gracias por su dedicación y compromiso.

Al Dr. Carlos Alberto Gómez Aldapa, por su gran ayuda durante mi estancia en Pachuca y por sus consejos. Su apoyo y orientación fueron fundamentales en este proceso.

A mis padres, Felipe de Jesús y Laura Lorena, no encuentro palabras que expresen adecuadamente lo profundamente agradecida que estoy con ustedes por su apoyo incondicional a lo largo de todo mi posgrado y en cada etapa de mi vida. Su amor, apoyo y comprensión ante los sacrificios necesarios para mi

crecimiento profesional han sido fundamentales. Por no dejarme desistir ante las malas situaciones que se presentaron en el camino. Sin su constante apoyo y aliento, no habría podido llegar hasta aquí.

A mis hermanas, Stephany, Lucero y Estrella (los astros que más amo), gracias por las alegrías y tristezas compartidas, por animarme y escucharme cuando más lo necesitaba a pesar de la distancia que nos separaba, siempre estuvieron ahí para mí y yo para ustedes. Sus palabras de aliento siempre las llevo conmigo.

A mi tata Juan y a mi abuela Aurelia que, aunque ya no están físicamente conmigo sé que estarían muy orgullosos de mí por culminar una etapa más de mi vida profesional con éxito. Un abrazo hasta el cielo. Los amo.

Estoy sumamente bendecida de tenerlos como mi familia. Cada uno de ustedes aportó su granito de arena para que pudiera llegar hasta el final del posgrado.

Finalmente, quiero agradecer a Dios por permitirme despertar cada día y por darme la fortaleza y la oportunidad de llegar hasta este punto en mi vida y seguir creciendo profesionalmente. Gracias por poner en mi camino a todas las personas que, de diversas maneras, contribuyeron a mi formación moral y profesional durante la realización del posgrado. Su guía y protección han sido esenciales en cada paso de este recorrido.

## INDICE GENERAL

		Pág
	<b>INDICE DE CUADROS</b>	iv
	<b>INDICE DE FIGURAS</b>	v
<b>I</b>	<b>RESUMEN</b>	1
<b>I</b>	<b>ABSTRACT</b>	2
<b>II</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	3
<b>III</b>	<b>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b>	10
	<b>A NUTRICIÓN Y SALUD EN MÉXICO</b>	10
	1 Introducción	10
	2 Desnutrición en México	11
	3 Sobrepeso y obesidad en México	13
	a Población escolar y adolescentes	13
	b Prevalencia de sobrepeso y obesidad en adultos	15
	c Prevalencia de prediabetes y diabetes en México	18
	d Hipertensión en México	20
	4 Efecto de la alimentación sobre la salud	24
	a Alimentos ultraprocesados	26
	b Alimentos funcionales	27
	<b>B GRANOS BÁSICOS DE LAS CULTURAS AMERICANAS PREHISPÁNICAS</b>	31
	1 El frijol como alimento funcional	31
	2 La chía como alimento funcional	32
	3 Amaranto como alimento funcional	32
	4 El maíz como alimento funcional	35
	<b>C TECNOLOGÍAS DE PROCESAMIENTO PARA DESARROLLAR ALIMENTOS FUNCIONALES</b>	46
	1 Germinación	47
	2 Fermentación	49
	3 Extrusión	51
	<b>D ALIMENTOS DE MAYOR CONSUMO EN MEXICO</b>	53
	<b>E TORTILLA DE MAIZ NIXTAMALIZADO</b>	54
	1 Introducción	54
	2 Mejoramiento de la calidad nutricional / nutracéutica de la tortilla	58
<b>IV</b>	<b>HIPÓTESIS</b>	61
<b>V</b>	<b>JUSTIFICACIÓN</b>	62
<b>VI</b>	<b>OBJETIVOS</b>	64
	<b>A OBJETIVO GENERAL</b>	64
	<b>B OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>	64
<b>VII</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b>	65

	<b>A MATERIALES</b>	65
	<b>B MÉTODOS</b>	65
	1 Producción de harinas de maíz azul y amaranto extrudidos (HMAE; HAE)	65
	2 Evaluación de calidad de tortillas funcionales elaboradas a partir de HMAE y HAE	66
	3 Composición química de las tortillas	68
	a Humedad	68
	b Proteína cruda	68
	c Lípidos	68
	d Minerales	68
	e Fibra dietaria soluble e insoluble	69
	f Carbohidratos	69
	4 Propiedades nutraceuticas en tortillas	69
	a Actividad antioxidante	69
	1) Actividad antioxidante ABTS	70
	2) Actividad antioxidante ORAC	71
	b Compuestos fenólicos	72
	c Potencial antihipertensivo <i>in vitro</i>	72
	d Potencial hipoglucemiante <i>in vitro</i>	73
	5 Valor nutricional de las tortillas	74
	a Aminoácidos esenciales (AAE)	74
	b Digestibilidad proteínica <i>in vitro</i>	76
	c Relación de eficiencia proteínica calculada (C-PER)	76
	d Evaluación biológica de la calidad de las proteínas	77
	1) Relación de eficiencia proteínica, digestibilidades aparente y verdadera (PER, AD, TD)	78
	2) Digestibilidad proteínica corregida por perfil de AAE (PDCAAS)	81
	3) Valor Biológico (VB)	81
	4) Pruebas físicas y químicas del fémur	81
	6 Análisis estadístico	83
<b>VIII</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	84
	<b>A PROPIEDADES NUTRIMENTALES Y NUTRICIONALES DE LAS HARINAS DE MAÍZ AZUL Y AMARANTO INTEGRALES EXTRUDIDOS</b>	84
	<b>B ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE Y CONTENIDO DE COMPUESTOS FENÓLICOS DE LAS HARINAS DE MAÍZ AZUL Y AMARANTO INTEGRALES EXTRUDIDOS</b>	86
	<b>C POTENCIAL ANTHIPERTENSIVO E HIPOGLUCÉMICO DE EXTRACTOS FENÓLICOS DE GRANOS INTEGRALES</b>	88

	<b>EXTRUDIDOS</b>	
	<b>D EFECTO DE LA ADICION DE HARINA DE AMARANTO EXTRUDIDO SOBRE LAS PROPIEDADES NUTRIMENTALES / NUTRICIONALES DE LAS TORTILLAS DE HARINA DE MAÍZ AZUL EXTRUDIDO</b>	90
	<b>E EFECTO DE LA ADICION DE HARINA DE AMARANTO EXTRUDIDO SOBRE PROPIEDADES NUTRACÉUTICAS Y SENSORIALES DE TORTILLAS DE HARINA DE MAÍZ AZUL EXTRUDIDO</b>	92
	<b>F PROPIEDADES NUTRICIONALES <i>IN VIVO</i> DE LAS TORTILLAS FUNCIONALES DE MAÍZ AZUL – AMARANTO (TFHMA-AE)</b>	96
	<b>G CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS FÉMURES DE RATAS ALIMENTADAS CON DIFERENTES DIETAS</b>	105
<b>IX</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	110
<b>X</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	112
	<b>Abreviaturas</b>	144

## INDICE DE CUADROS

<b>Cuadro</b>	<b>Descripción</b>	<b>Pág</b>
<b>1</b>	Fitoquímicos (compuestos bioactivos) en grano de Amaranto	<b>36</b>
<b>2</b>	Fitoquímicos presentes en Maíz	<b>42</b>
<b>3</b>	Efecto Preventivo / Terapéutico de Fitoquímicos (Compuestos Bioactivos) presentes en Maíz ( <b>Parte 1</b> ).	<b>44</b>
<b>4</b>	Efecto Preventivo / Terapéutico de Fitoquímicos (Compuestos Bioactivos) presentes en Maíz ( <b>Parte 2</b> ).	<b>45</b>
<b>5</b>	Dietas a evaluar en Bioensayo (Evaluación Biológica Calidad de la Proteína)	<b>79</b>
<b>6</b>	Propiedades nutrimentales y nutricionales de las harinas de maíz azul y amaranto integrales extrudidos (HMAE, HAE)	<b>85</b>
<b>7</b>	Actividad antioxidante, contenido de compuestos fenólicos y potenciales antihipertensivo e hipoglucémico de harinas de maíz azul y amaranto integrales extrudidos	<b>87</b>
<b>8</b>	Composición química y propiedades nutricionales de tortillas 100% Maíz (Tortilla <b>MASECA<sup>MR</sup></b> azul), de harina de maíz azul extrudido ( <b>THMAE</b> ) y Tortilla Funcional maíz azul – amaranto extrudidos ( <b>TFHMA-AE</b> )	<b>91</b>
<b>9</b>	Propiedades nutraceuticas y sensoriales de tortillas 100% Maíz (Tortilla <b>MASECA<sup>MR</sup></b> azul), de harina de maíz azul extrudido ( <b>THMAE</b> ) y tortilla funcional maíz azul – amaranto extrudidos ( <b>TFHMA-AE</b> )	<b>93</b>
<b>10</b>	Efecto de diferentes dietas en la ganancia de peso y crecimiento en ratas.	<b>100</b>
<b>11</b>	Efecto de diferentes dietas sobre digestibilidad proteínica, valor biológico y utilización neta de proteína	<b>104</b>
<b>12</b>	Características físicas de los fémures de ratas alimentadas con diferentes dietas	<b>106</b>

## INDICE DE FIGURAS

<b>Fig</b>	<b>Descripción</b>	<b>Pág</b>
<b>1</b>	Alimentos Ultraprocesados	<b>28</b>
<b>2</b>	Cultivo de Amaranto / Grano de Amaranto	<b>34</b>
<b>3</b>	Razas nativas de maíz identificadas en México	<b>40</b>
<b>4</b>	Germinación	<b>48</b>
<b>5</b>	Fermentación en Estado Sólido	<b>50</b>
<b>6</b>	Extrusión	<b>52</b>
<b>7</b>	Tortilla de Maíz Nixtamalizado	<b>56</b>
<b>8</b>	Mejoramiento de la Calidad de la Tortilla	<b>59</b>
<b>9</b>	Elaboración de Tortillas Funcionales Maíz Azul – Amaranto	<b>67</b>
<b>10</b>	Estancia de Investigación en UAEH para evaluación biológica de calidad de la proteína de tortillas	<b>80</b>
<b>11</b>	Efecto de diferentes dietas en el peso de ratas alimentadas durante 14 días ( <b>TMASECA AZUL</b> = Tortilla de maíz azul nixtamalizado ( <b>MASECA<sup>MR</sup></b> ), <b>THMAE</b> = Tortilla de harina de maíz azul extrudido, <b>TFHMA-AE</b> = Tortilla Funcional de Maíz Azul – Amaranto Extrudidos)	<b>98</b>
<b>12</b>	Jornada de Elaboración de Tortillas Funcionales	<b>111</b>

## I RESUMEN

El sobrepeso, la obesidad y la desnutrición son padecimientos que afectan de manera importante a un segmento amplio de la población en nuestro país (México), siendo las enfermedades crónicas degenerativas (**ECD**) (enfermedades cardiovasculares, diabetes tipo 2, obesidad, algunos cánceres) una de las principales causas de mortalidad. La fortificación de tortillas representa una estrategia efectiva para elevar el nivel de nutrición y reducir riesgo de incidencia de **ECD** de la población mexicana debido a su elevado consumo. La fortificación de tortillas de maíz azul criollo con harinas de pseudocereales / leguminosas extrudidos permite mejorar sus propiedades nutricionales y nutraceuticas. El consumo de granos integrales se relaciona con reducción del riesgo de ECD y con la mejora de la salud del tracto digestivo. Maíz y Amaranto, granos básicos de las Culturas Americanas Prehispánicas y del México actual. El Maíz es el cereal más consumido por los pueblos y las culturas del Continente Americano. Los maíces pigmentados poseen potencial como alimentos funcionales; pueden contribuir a beneficios a la salud asociados con una dieta rica en antioxidantes. En el grano de amaranto destaca la presencia de proteínas de calidad alta y los múltiples beneficios para la salud y el potencial farmacéutico (antitumoral, anticancerígeno, antihipertensivo) atribuidos a péptidos bioactivos. El amaranto es de interés nutricional / nutraceutico por sus ácidos grasos, vitaminas y minerales y otros compuestos bioactivos (polifenoles, flavonoides, taninos, betacianinas) con propiedades antioxidantes. Se evaluó el efecto de la adición de 30 % de harina de amaranto extrudido (**HAE**) sobre propiedades nutricionales [perfil de aminoácidos esenciales (**AAE**), digestibilidad de proteínas *in vitro* (**DPIV**), relación de eficiencia proteica calculada (**C-PER**)], nutraceuticas [actividad antioxidante (**AAox**) y potenciales antihipertensivo e hipoglucémico] y sensoriales de tortillas de harina de maíz azul criollo extrudido (**HMACE**). Adicionalmente se evaluó la calidad de las proteínas de las "Tortillas funcionales maíz azul – amaranto", utilizando modelos murinos (*in vivo*), a través de parámetros como relación de eficiencia proteínica (**PER**), relación neta de proteína (**NPR**), valor biológico (**VB**), utilización neta de proteína (**NPU**) y el efecto del consumo de una dieta elaborado en base a "Tortillas funcionales maíz azul – amaranto" sobre las características del fémur (longitud, peso, fuerza de corte, densidad). Se aplicó la tecnología de extrusión, por su eficiencia energética y no generación de efluentes, como alternativa a la nixtamalización (utiliza 3-10 L de agua /kg maíz nixtamalizado) como estrategia para ahorro / uso racional del agua. Las "Tortillas funcionales maíz amaranto" presentaron más proteínas y fibra dietaria y mejores **DPIV**, **C-PER** y potenciales antihipertensivo e hipoglucémico que las tortillas 100% maíz azul extrudido. Las proteínas de las "tortillas funcionales maíz azul - amaranto" tuvieron mayor calidad nutricional que las proteínas de las tortillas 100% maíz [MASECA, "Tortillas maíz azul extrudido"]. Las proteínas de las "tortillas funcionales maíz azul – amaranto" tuvieron valores mayores de **PER**, **NPR**, **NPU** y **VB** que las proteínas de las tortillas 100% maíz [MASECA, "Tortillas maíz azul extrudido"]. Los fémures de las ratas alimentadas con dieta elaborada a base de "Tortillas Funcionales Maíz azul – amaranto", presentaron valores mayores de diámetro del hueso, diámetro de la articulación femoral-pelvis, peso del fémur y fuerza de corte (fuerza necesaria para romper el hueso, N) que las alimentadas con dieta a base de "Tortilla comercial de harina de maíz azul nixtamalizado" (**MASECA**).

Los resultados de la presente investigación pueden ser utilizados como "evidencia científica" para establecer "Políticas Públicas" que tengan como propósito mejorar el estado nutricional y reducir el riesgo de ECD en Sinaloa y en México, principalmente en población vulnerable.

**Palabras clave: Maíz criollo azul, amaranto, extrusión, tortillas funcionales, propiedades sensoriales**

## I ABSTRACT

Overweight, obesity and malnutrition are conditions that significantly affect a large segment of the population in our country (Mexico), with chronic degenerative diseases (**CDD**) (cardiovascular diseases, type 2 diabetes, obesity, some cancers) being between main cause of death. Tortilla fortification represents an effective strategy to raise the level of nutrition and reduce the risk of ECD incidence in the Mexican population due to its high consumption. The fortification of Creole blue corn tortillas with extruded pseudocereal / legume flours allows improving their nutritional and nutraceutical properties. Consumption of whole grains is associated with reduced risk of **CDD** and improved digestive tract health. Corn and Amaranth, basic grains of Pre-Hispanic American Cultures and current Mexico. Cereal corn most consumed by the peoples and cultures of the American Continent. Pigmented corns have potential as functional foods; may contribute to health benefits associated with a diet rich in antioxidants. In the amaranth grain, the presence of high-quality proteins and the multiple health benefits and pharmaceutical potential (antitumor, anticancer, antihypertensive) attributed to bioactive peptides. Amaranth is of nutritional/nutraceutical interest for its fatty acids, vitamins and minerals and other bioactive compounds (polyphenols, flavonoids, tannins, betacyanins) with antioxidant properties. The effect of the addition of 30% extruded amaranth flour (**EAF**) on nutritional properties [essential amino acid profile (**EAA**), *in vitro* protein digestibility (**IVPD**), calculated protein efficiency ratio (**C-PER**)], nutraceuticals [antioxidant activity (**AoxA**) and antihypertensive and hypoglycemic potentials], and sensory properties of extruded creole blue maize flour tortillas (**ECBMFT**) was evaluated. Additionally, the quality of the proteins of the "Blue maize – amaranth functional tortillas" was evaluated, using murine models (*in vivo*), through parameters such as protein efficiency ratio (**PER**), net protein ratio (**NPR**), biological value (**BV**), net protein utilization (**NPU**) and the effect of consuming a diet prepared based on "Blue maize – amaranth functional tortillas" on the characteristics of the femur (length, weight, shear force, density). Extrusion technology was applied, due to its energy efficiency and no generation of effluents, as an alternative to nixtamalization (uses 3-10 L of water/kg nixtamalized corn) as a strategy for saving/rational use of water. The "Blue maize - amaranth functional tortillas" presented more protein and dietary fiber and better **IVPD**, **C-PER** and antihypertensive and hypoglycemic potentials than the 100% extruded blue maize tortillas. The proteins from the "Blue maize - amaranth functional tortillas" had higher nutritional quality than the proteins from the 100% maize tortillas [MASECA, "Extruded blue maize tortillas"]. The proteins from the "Blue maize – amaranth functional tortillas" had higher values of **PER**, **NPR**, **NPU** and **VB** than the proteins from the 100% maize tortillas [MASECA, "Extruded blue maize tortillas"]. The femurs, the rats fed a diet made from "Blue maize – amaranth functional tortillas", presented higher values of bone diameter, diameter of the femoral-pelvis joint, weight of the femur and shear force (force necessary to break the bone, Nw) than those fed a diet based on "Blue nixtamalized maize flour commercial tortilla" (MASECA).

The results of this research can be used as "scientific evidence" to establish "Public Policies" that aim to improve nutritional status and reduce the risk of CDD in Sinaloa and Mexico, mainly in the vulnerable population.

Keywords: Blue Creole corn, amaranth, extrusion, functional tortillas, sensory

## **II INTRODUCCIÓN**

En México, acorde a la dos últimas Encuestas Nacionales de Salud y Nutrición (ENSANUT), la prevalencia de "talla baja" afectó el 13.9% y 12.6% de los menores de cinco años (más de un millón de niños y niñas) en 2020 y 2021, respectivamente; ocasionando con ello que no alcanzaran su potencial crecimiento. Asimismo, la prevalencia de "emaciación" en 2020 fue del 1.5% en menores de cinco años, mientras que, la prevalencia de "peso bajo" fue de 4.4% y 3.7% en 2020 y 2021, respectivamente, en niños de este grupo de edad. En 2020, la estimación de los < 5 años que tenían sobrepeso más obesidad (SP+OB) fue de 8.4%, mientras que para 2021 este indicador fue de 7.8% (Shamah-Levy y col., 2021, 2022).

En nuestro país (México) la prevalencia de sobrepeso y obesidad en niños con edad escolar (5 - 11 años) y adolescentes fue de 37 y 41%, respectivamente; mientras que, en adultos la prevalencia de obesidad y sobrepeso fue del 36.9% y 38.3%, respectivamente. En adultos con obesidad es frecuente encontrar enfermedades crónico-degenerativas (ECD) como hipertensión arterial, diabetes, dislipidemias y enfermedad cardiovascular. Por otro lado, de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud, en México, la prevalencia de SP+O en adultos es de 75.2% (WHO, 2021).

Acorde a ENSANUT 2022, en México, la prevalencia de diabetes diagnosticada fue de 12.6% y la prevalencia de diabetes no diagnosticada fue de 5.8%; la prevalencia de diabetes total de 18.3% (14.6 millones de personas). El número de personas con diabetes no diagnosticada es de aproximadamente 5 millones (INEGI, 2021). Es por ello que, para reducir la incidencia de la diabetes tipo 2 en nuestra población, sería de trascendencia emprender y/o fortalecer acciones como: reducir el consumo de bebidas azucaradas y alimentos ultraprocesados, incrementar el consumo de agua simple, alimentos frescos y naturales, y aumentar la actividad física desde edades

tempranas (Aguilar-Salinas y col., 2015; Barrientos-Gutiérrez y col., 2018; Barquera y col., 2020, 2022).

ENSANUT en 2022 reportó que un 47.8% de los adultos mexicanos tenían el padecimiento de hipertensión arterial (HTA) y 3 adultos de cada 5 no estaban enterados de que presentaban este padecimiento (ENSANUT, 2022; Campos-Nonato y col., 2023). La presencia de HTA se explica, en parte, por la exposición a factores de riesgo modificables (Obesidad, diabetes, Ingesta elevada de sodio, sedentarismo) (Mills y col., 2016). La obesidad condiciona una sobreactivación del sistema nervioso simpático, estimulación del sistema renina-angiotensina-aldosterona, alteraciones en las citoquinas derivadas del tejido adiposo como la Leptina, resistencia a la insulina y cambios renales estructurales y funcionales que induce el desarrollo de HTA (Hall y col., 2015). Según ENSANUT 2022, los adultos con obesidad tienen una probabilidad significativamente más alta (87%), que las personas con índice de masa corporal (IMC) normal, de tener HTA. Las personas con diabetes presentan una mayor resistencia arterial periférica causada por la remodelación vascular y un mayor volumen de líquido corporal asociado con la resistencia a la insulina que origina HTA (Ohishi y col., 2018).

Recientemente ha surgido evidencia que indica que los productos ultraprocesados aumentan el consumo de calorías y llevan a sobrepeso y obesidad y otras enfermedades crónicas inflamatorias (Monteiro y col., 2016; Hall y col., 2019; Askari y col., 2020). Los alimentos ultraprocesados son productos manufacturados que se componen principalmente de ingredientes sintéticos o altamente procesados, los cuales rara vez se encuentran en la cocina casera. Estos ingredientes pueden incluir aceites hidrogenados, almidones modificados y proteínas aisladas, así como aditivos diseñados para realzar el color, el sabor y el aroma de los alimentos. Estos aditivos se utilizan para replicar las características sensoriales de los alimentos naturales o para enmascarar los aspectos menos atractivos del producto final. Estos productos están nutricionalmente desequilibrados. Tienen un elevado contenido en azúcares,

grasa total, grasas saturadas y sodio, y un bajo contenido en proteína, fibra, minerales y vitaminas, en comparación con los productos y comidas sin procesar o mínimamente procesados (Julia y col., 2018; Monteiro y col., 2019; Nardocci y col., 2019, OPS, 2019).

Los “alimentos funcionales” desempeñan un papel importante en la nutrición moderna y en la salud humana. Recientemente, la Asociación Dietética Americana (ADA) definió los alimentos funcionales como “alimentos cuyo consumo está asociado con beneficios para la salud en términos de reducir el riesgo de enfermedades y/o apoyar el mantenimiento de una salud adecuada”. Los alimentos funcionales se utilizan no sólo para proporcionar nutrientes esenciales sino también para lograr importantes efectos terapéuticos asociados a la prevención de enfermedades relacionadas con la nutrición. Estos alimentos incluyen productos (p. ej. cereales, pseudocereales, leguminosas, oleaginosas) que contienen valiosos componentes bioactivos [p. ej. polifenoles, proteínas, ácidos grasos esenciales (AGE)]. Los productos alimenticios que son reconocidos como “alimentos saludables” también son alimentos funcionales (Motyka y col., 2023).

Los alimentos funcionales han sido utilizados a nivel mundial desde la antigüedad, particularmente, las civilizaciones prehispánicas utilizaron varias plantas como alimentos medicinales. Hoy en día, muchas poblaciones mexicanas conservan sus tradiciones y patrones alimentarios basados en el maíz, el frijol, además de otras hortalizas endémicas, principalmente diversas variedades de chile, tomate y otros alimentos vegetales. Cada especie tiene una mezcla compleja especial de compuestos bioactivos en la que cada componente contribuye a su bioactividad general. Los compuestos bioactivos son metabolitos vegetales que benefician la salud humana mediante efectos antiinflamatorios, inmunomoduladores y antioxidantes. Sin embargo, se vuelve bioactivo en el cuerpo humano cuando estos compuestos son sujetos a diversas transformaciones intestinales, debido a la acción de las enzimas digestivas, pero también por la acción del metabolismo de la

microbiota. La microbiota intestinal es el factor clave en la mediación de las funciones fisiológicas de los polifenoles de la dieta. De hecho, se dispone de información limitada, especialmente sobre los fitoquímicos dietéticos y el metabolismo de los alimentos vegetales mexicanos comúnmente disponibles (Mercado-Mercado y col., 2019).

La creciente demanda de alimentos saludables ha llevado a la exploración de alternativas a las fuentes nutricionales habituales. Una de esas alternativas es el amaranto, un pseudocereal conocido por sus beneficios nutricionales y su potencial como alimento funcional (Munhoz y col., 2014). En términos de nutrición, el amaranto destaca por su contenido alto en proteínas, superior a los cereales, y contiene todos los aminoácidos esenciales (AAE), incluida la Lisina (AAE deficiente en cereales). Rico en fibra soluble e insoluble, el amaranto favorece la salud digestiva, ayuda a la saciedad y puede ayudar a reducir el colesterol (Bachar y col., 2020; Park y col., 2020; Schmidt y col., 2021; Manisha y col., 2023). El aceite de amaranto contiene hasta un 73% principalmente de ácidos grasos insaturados, que son beneficiosos para la salud del corazón cuando se consumen con moderación (Bachar y col., 2020; Manyelo y col., 2020). El amaranto contiene Rutina, Quercetina y Kaempferol, que son flavonoides conocidos por sus efectos antioxidantes, antiinflamatorios e inmunomoduladores. También contiene ácidos Cafeico y Gálico, que son ácidos fenólicos con propiedades antioxidantes que pueden ayudar a proteger contra el daño oxidativo (Kalinova y Dadokova, 2009; Huerta-Campo y Barba de la Rosa, 2011; Li y col., 2015). El amaranto se considera un alimento funcional porque es una fuente valiosa de antioxidantes, incluidos compuestos fenólicos y flavonoides, que ayudan a proteger el cuerpo contra el estrés oxidativo y reducen el riesgo de enfermedades crónicas como enfermedades cardíacas y cáncer (Tang y col., 2016; Bachar y col., 2020; Schmidt y col., 2021).

En América el cereal más consumido es el maíz (*Zea mays* L.). Civilizaciones antiguas, como la Olmeca y la Teotihuacana en Mesoamérica y los Quechuas en la

región andina de América del Sur, se desarrollaron en torno a esta planta (Doebley, 2004). Actualmente se clasifica en más de 250 razas en el continente Americano, mientras que en México se conocen 64. De estas razas se derivan una gran cantidad de variedades, resultado de procesos de selección y mejoramiento realizados por las comunidades campesinas que las adoptaron hace miles de años, principalmente en la región Mesoamericana (Bello-Pérez y col., 2016). El consumo de maíz y otros productos integrales se ha relacionado con la reducción del riesgo de enfermedades crónicas, incluidas enfermedades cardiovasculares, diabetes tipo 2, obesidad, algunos cánceres y con la mejora de la salud del tracto digestivo (Siyuan y col., 2018). El color del maíz se debe principalmente a la presencia de una gran cantidad de metabolitos secundarios, como compuestos fenólicos (ácidos fenólicos, flavonoides, antocianinas) y carotenoides (Colombo y col., 2021). Como colorantes naturales, las antocianinas, presentes en maíces azules, negros, púrpuras, son atractivos como ingredientes alimentarios funcionales, ya que pueden contribuir a los beneficios para la salud asociados con una dieta rica en antioxidantes (Košutić y col., 2023). El consumo de granos integrales pigmentados y los alimentos funcionales derivados, como alimentos básicos, permitirá brindar beneficios nutricionales y de salud, particularmente de la población vulnerable (desnutridos, sobrepeso/obesidad, adultos mayores).

Existen algunos procesamientos que retienen y/o mejoran el contenido de compuestos fenólicos y pueden ser utilizados para desarrollar alimentos funcionales. Estos incluyen bioprocesos como germinación, hidrólisis enzimática y fermentación que, aplicados apropiadamente (optimizados) pueden mejorar el contenido de compuestos fenólicos en cereales, pseudocereales y leguminosas. Adicionalmente, algunos procesos físicos como nixtamalización, sancochado y extrusión pueden mejorar la biodisponibilidad de compuestos fenólicos (Kasote y col., 2021).

La extrusión es una tecnología versátil que suele utilizarse para desarrollar alimentos con calidad nutricional y sensorial altas. Se utiliza ampliamente en la

producción de alimentos a partir de granos integrales. La extrusión puede causar cambios en propiedades nutricionales / nutracéuticas de los granos y en sus compuestos bioactivos. Afecta sus propiedades fisicoquímicas, incluida su composición química, propiedades de expansión, propiedades de pegado, propiedades de hidratación, textura, color y microestructura (Ramos-Enríquez y col., 2018; Reyes-Moreno y col., 2018; Yi y col., 2022). Los alimentos extruidos, a partir de granos integrales, pueden inhibir significativamente enfermedades crónicas como la diabetes y la obesidad, además de reducir la oxidación y la inflamación. La extrusión es útil para incrementar el contenido de compuestos fenólicos y mejorar su bioaccesibilidad en productos a base de granos integrales (cereales, pseudocereales, leguminosas). Por tanto, la extrusión es un método eficaz para el “desarrollo de alimentos funcionales” a partir de granos integrales (Ramos-Enríquez y col., 2018; Reyes-Moreno y col., 2018; Yi y col., 2022).

Los alimentos de mayor consumo en México son la tortilla de maíz nixtamalizado, el pan de mesa y la tortilla de harina de trigo. Se estima que el 94% de la población mexicana consume tortilla de maíz nixtamalizado de manera regular. El consumo es de 335 g por día *per cápita*, equivalente al consumo de 122 kg/año (FAO, 2016). Según la Cámara Nacional de la Industria Panificadora (CANAINPA), el consumo *per cápita* anual de pan es de 33.5 kg, del cual alrededor del 75% corresponde al pan blanco y el restante a pan dulce, galletas y pasteles (UCSJ, 2019). En México se consumen diariamente 60 millones de tortillas de harina de trigo. En 2016 se produjeron 126,000 ton de tortillas de harina, siendo los estados de Nuevo León, Sonora, Baja California y Chihuahua quienes concentran el 46% del consumo (Hernández, 2016).

Las tortillas de maíz, elaboradas con masa de maíz nixtamalizado, son un alimento básico en México y algunos países de Centroamérica. Los consumidores mexicanos buscan alimentos tradicionales nativos para mejorar su ingesta de nutrientes y fitoquímicos que promueven la salud (Colín-Chávez y col., 2020). En México, el

principal producto alimenticio del maíz es la tortilla; una de las principales limitaciones de las tortillas de maíz es la falta de Lisina. El proceso de nixtamalización tradicional, utilizado para elaborar tortillas de maíz nixtamalizado, tiene la desventaja de generar descargas líquidas contaminantes; por cada kilogramo de maíz nixtamalizado se emplean de 3-10 L de agua. La nixtamalización por extrusión no genera efluentes y todos los componentes del grano de maíz (germen, pericarpio, endospermo y pedicelo) son retenidos, produciendo una tortilla con mayor contenido de nutrimentos, fibra y compuestos bioactivos, proporcionándole un mayor potencial nutricional y nutracéutico (Milán-Carrillo y col., 2006; Escalante-Aburto y col., 2013; León-López y col., 2019; Mora-Rochín y col., 2021). Las tortillas de calidad nutricional / nutracéutica alta, representan un excelente vehículo para mejorar el estado nutricional de los consumidores de tortillas. Varios investigadores han reportado mejoras en la calidad de la tortilla de maíz en cuanto a propiedades nutricionales y nutracéuticas mediante la adición de varios tipos de harinas: frijol (Treviño-Mejía y col., 2016), soya (Chuck-Hernández y Serna-Saldívar, 2019), soya germinada (Inyang y col., 2019), chía desgrasada extrudida (León-Murillo y col., 2021), garbanzo extrudido (Bon-Padilla y col., 2022).

La fortificación de tortillas de maíz azul criollo con harinas de pseudocereales / leguminosas extruidas representa una alternativa para mejorar sus propiedades nutricionales y nutracéuticas.

### **III REVISIÓN DE LA LITERATURA**

#### **A SITUACIÓN NUTRICIONAL EN MÉXICO**

##### **1 Introducción**

A lo largo de más de un siglo y dos décadas, desde 1890 hasta 2022, se han observado cambios significativos en la alimentación y el estado nutricional de la población mexicana. Durante el período comprendido entre 1890 y 1950, los desafíos principales se centraban en la desnutrición severa en niños menores de cinco años y en el consumo de dietas poco equilibradas con deficiencias en nutrimentos esenciales. Durante esta fase, las publicaciones estaban principalmente orientadas hacia estudios clínicos, evolucionando gradualmente hacia análisis descriptivos de la situación nutricional en diversas comunidades hacia el final del periodo. Desde los años 1950 hasta los 1970, la atención se desplazó hacia la desnutrición moderada y el consumo de dietas insuficientes. Durante este lapso, hubo un cambio hacia la consideración de la cantidad de alimentos consumidos, aunque también se iniciaron estudios sobre la calidad de las dietas en amplios segmentos de la población. Las publicaciones de esta época se enfocaron en el análisis de la situación nutricional en comunidades específicas, así como en sus determinantes sociales y culturales, marcando el inicio de encuestas realizadas en numerosas comunidades rurales y áreas urbanas marginadas (Rivera-Dommarco y col., 2023).

Desde la década de 1980 hasta el presente, ha tenido lugar una transformación significativa en el panorama nutricional, dando lugar a lo que se conoce como la "triple carga de la nutrición": la coexistencia de la desnutrición, la deficiencia de micronutrientes y la obesidad junto con sus enfermedades asociadas. Durante este periodo, los principales estudios han sido las Encuestas Nacionales de Salud y Nutrición (ENSANUT), que son encuestas probabilísticas representativas a nivel nacional y estratificadas por áreas urbanas y rurales. Estas encuestas han permitido

comparaciones a lo largo del tiempo y han documentado la reducción de la desnutrición crónica y las deficiencias de nutrimentos, así como el aumento de la obesidad y sus complicaciones. Durante los últimos 35 años, el enfoque en la nutrición y la alimentación, junto con sus determinantes sociales, culturales, económicos y comerciales, a través de las ENSANUT, ha revelado una tendencia preocupante: nuestras dietas están cada vez más cargadas de azúcares añadidos, grasas saturadas, carnes procesadas y rojas, y productos ultraprocesados, en especial bebidas azucaradas. Estos patrones dietéticos no solo plantean preocupaciones sobre los efectos en nuestra salud, sino también sobre el impacto ambiental, debido a los métodos de producción de alimentos, el tipo de dieta que seguimos y el alto nivel de desperdicio alimentario (Rivera-Dommarco y col., 2023).

En la actualidad, nos enfrentamos a desafíos significativos en el ámbito de la alimentación y la nutrición en nuestra nación. Uno de los principales problemas es la calidad insuficiente de las dietas a lo largo de todas las etapas de la vida, lo que contribuye a la persistencia de la desnutrición y las deficiencias nutricionales, especialmente entre la población infantil, las mujeres y los adultos mayores. Además, otro desafío importante es el consumo excesivo de energía, que puede conducir a problemas de salud a largo plazo. Estos problemas requieren una atención cuidadosa y acciones efectivas para promover hábitos alimenticios más saludables y mejorar el bienestar nutricional de nuestra sociedad (Rivera-Dommarco y col., 2023).

## **2 Desnutrición en México**

La desnutrición se caracteriza por un estado de nutrición insuficiente en el que la carencia de energía, proteínas y/o otros nutrimentos conlleva efectos adversos y mensurables en la composición y funcionamiento de los tejidos y órganos, afectando así la salud general del individuo. En la actualidad, los criterios más ampliamente reconocidos para evaluar la nutrición incluyen: (1) la pérdida de peso involuntaria,

(2) un índice de masa corporal bajo, (3) la disminución de la masa muscular, (4) la reducción en la ingesta o absorción de nutrientes, y (5) la presencia de enfermedades o inflamación que agravan el estado nutricional. Estos parámetros proporcionan una guía fundamental para identificar y abordar eficazmente la desnutrición en diferentes contextos clínicos y poblacionales (Higuera-Pulgar y col, 2020).

La malnutrición se refiere a la disparidad entre los nutrientes necesarios para el correcto funcionamiento del organismo y aquellos que realmente se ingieren. Esencialmente, implica una falta de equilibrio entre la demanda nutricional del cuerpo y la cantidad y calidad de nutrientes disponibles (Higuera-Pulgar y col, 2020). El desequilibrio puede presentarse debido a: (1) Deficiencia en la ingesta de nutrientes o desnutrición (peso bajo, talla baja, emaciación), (2) Exceso en el consumo de nutrientes (sobrepeso u obesidad) y (3) Deficiencia o exceso en la ingesta de minerales y vitaminas (WHO, 2020). Las niñas y los niños, especialmente en etapas tempranas, se encuentran en mayor riesgo de presentar algún tipo de malnutrición con repercusiones en su bienestar físico, mental y social (Walson y Berkeley, 2018). Entre las principales consecuencias de la malnutrición están las alteraciones musculares, cardio-respiratorias, en el sistema inmune y en los procesos curativos, además de efectos adversos psicosociales como ansiedad, apatía, autorrechazo, depresión (Sauders y Smith, 2010). Estos desenlaces en su salud acompañan a los individuos incluso hasta su vida adulta, con el desarrollo de enfermedades asociadas a la malnutrición en cualquiera de sus formas; además, aumentan la probabilidad de mortalidad (Reinhardt y Fanzo, 2014).

La transición epidemiológica y nutricional ha dado lugar al surgimiento de un fenómeno conocido como la "doble carga de la malnutrición", en el cual coexisten la desnutrición y el sobrepeso. Este desafío persiste debido a la insuficiencia de acceso a alimentos nutritivos y también a la creciente prevalencia de la ingesta excesiva de

productos industrializados con un valor nutricional limitado (Cuevas-Nasau y col., 2023).

De acuerdo con el Reporte *Joint Child Malnutrition Estimates* (JME), elaborado por colaboración entre el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF, por sus siglas en inglés), Organización Mundial de la Salud (WHO, por sus siglas en inglés) y Banco Mundial, la prevalencia de *talla baja*, en menores de cinco años, en 2020 fue de 22% (149.2 millones), la de *emaciación* de 6.7% (45.4 millones) y la de *sobrepeso* de 5.7% (38.9 millones) (UNICEF, 2021). En el Reporte se enfatizan las tendencias decrecientes en indicadores como *talla baja*, pero se señala el estancamiento o crecimiento en las tendencias de *emaciación* y *sobrepeso*, a pesar de los compromisos adquiridos para alcanzar los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS) para 2030 (UN, 2015).

En México, según los datos recientes de las dos últimas Encuestas Nacionales de Salud y Nutrición (ENSANUT), se observa que, en 2020, el 13.9% de los niños menores de cinco años presentaban talla baja, cifra que disminuyó ligeramente a 12.6% en 2021. Esto significa que más de un millón de niños en edad preescolar no alcanzan su potencial de crecimiento adecuado. En cuanto a la emaciación, se estimó que afectaba al 1.5% de los niños menores de cinco años en 2020, mientras que la prevalencia de peso bajo fue del 4.4%. En 2021, la prevalencia de peso bajo disminuyó a 3.7%. Por otro lado, la combinación de sobrepeso y obesidad afectaba al 8.4% de los niños menores de cinco años en 2020, cifra que se redujo ligeramente al 7.8% en 2021. Estas cifras reflejan la complejidad de la situación nutricional de los niños en México y la necesidad de seguir trabajando para abordar estos problemas de manera efectiva (Shamah-Levy y col., 2021, 2022).

### **3 Sobrepeso y obesidad en México**

#### **a Población escolar y adolescentes**

La prevalencia de sobrepeso y obesidad en la población escolar (de 5 a 11 años) en México entre 2020 y 2022 fue significativa, con un 19.2% para sobrepeso y un 18.1% para obesidad. Se observaron diferencias por género, siendo mayor la prevalencia de sobrepeso en mujeres (21.4%) que en hombres (17.0%), mientras que la obesidad fue más frecuente en hombres (22.4%) que en mujeres (13.6%). Además, la prevalencia de sobrepeso y obesidad fue más alta en áreas urbanas que en áreas rurales, con un 19.9% frente al 17.0% para sobrepeso y un 19.1% frente al 15.2% para obesidad. En cuanto al análisis histórico, la prevalencia combinada de sobrepeso y obesidad ha mostrado una tendencia estable en torno al 20% a nivel nacional en escolares, mientras que la obesidad ha mostrado un posible aumento, pasando del 14.6% en 2006 al 18.1% entre 2020 y 2022. Específicamente, en los hombres escolares se observa un incremento en la prevalencia de obesidad del 5.8%, mientras que en las mujeres esta cifra se ha mantenido estable en torno al 13% y 14%. Estos datos resaltan la importancia de implementar estrategias efectivas para abordar el problema creciente de la obesidad infantil en México (Shamah-Levy y col., 2023).

En México, en el periodo 2020-22, en población adolescente (12-19 años), el 23.9% tuvieron sobrepeso (SP) y 17.2% obesidad (OB). Al comparar la prevalencia de SP y OB por zonas de diferente nivel socioeconómico encontramos que este padecimiento es más elevado en población urbana (24.4% y 18.0%, respectivamente) que en población rural (22.5% y 14.5%, respectivamente).

Al observar la evolución del sobrepeso y la obesidad en adolescentes a nivel nacional a lo largo del período comprendido entre 2006 y 2020-2022, se destaca que el sobrepeso ha oscilado entre el 21.3% y el 23.9%. Por otro lado, la obesidad ha mostrado una posible tendencia al alza, aumentando del 11.9% en 2006 al 17.2% en 2020-2022. Esta tendencia se ha observado tanto en hombres como en mujeres, con un incremento aproximado del 50% en este período. Estos datos subrayan la importancia de abordar de manera efectiva el problema de la obesidad en la

población adolescente para promover hábitos de vida más saludables y prevenir complicaciones a largo plazo. (Shamah-Levy y col., 2023).

En resumen, se encontró que la prevalencia combinada de sobrepeso y obesidad en niños en edad escolar (de 5 a 11 años) fue del 37%, mientras que en la población adolescente alcanzó el 41%. Se destaca un aumento del 24% en la prevalencia de obesidad entre 2006 y 2020-2022. Este incremento fue más pronunciado en los hombres en edad escolar, con un aumento del 35%, en comparación con las mujeres, cuyo incremento fue del 7.6%. En los adolescentes, se observó un comportamiento similar entre hombres y mujeres, con un aumento del 50% en las prevalencias de obesidad durante este período. Estos resultados coinciden con los reportes a nivel mundial, que muestran que en las últimas tres décadas el incremento en las prevalencias de SP y OB en niños y adolescentes ha sido alarmante. Estos hallazgos subrayan la necesidad de implementar estrategias efectivas para abordar la obesidad desde edades tempranas y promover un estilo de vida saludable en la población juvenil (Han y col., 2010; Gungor, 2014).

## **b Prevalencia de sobrepeso y obesidad en adultos**

De acuerdo con los datos obtenidos de la Encuesta ENSANUT 2022, se observó que la prevalencia de sobrepeso alcanzó el 38.3%, siendo más pronunciada en hombres con un 41.2% y en mujeres con un 35.8%. En cuanto a la obesidad, se registró una prevalencia del 36.9%, con un mayor porcentaje en mujeres (41.0%) que en hombres (32.3%). Respecto a la obesidad abdominal (OA), se encontró una alta prevalencia del 81.0%, siendo más predominante en mujeres (87.9%) que en hombres (73.9%). Al analizar por grupos de edad, se destacó que la prevalencia de obesidad fue más elevada en adultos de 40 a 59 años, alcanzando el 44.4%, en comparación con adultos de 20 a 39 años, con un 33.0%, y adultos mayores de 60 años, con un 32.2%. Estos resultados subrayan la importancia de implementar

estrategias efectivas de prevención y tratamiento de la obesidad, especialmente en grupos de mayor riesgo como los adultos de mediana edad.

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud, una persona presenta obesidad cuando su índice de masa corporal (IMC) es igual o mayor a 30 Kg/m<sup>2</sup>. A su vez es posible clasificar la obesidad en 3 categorías: grado I (IMC=30.0 a 34.9 Kg/m<sup>2</sup>), grado II (IMC=35.0-39.9 Kg/m<sup>2</sup>) y grado III u obesidad mórbida (IMC≥40.0 Kg/m<sup>2</sup>). En el análisis de las categorías de obesidad, se identificó un aumento significativo en la prevalencia de obesidad grado II entre los hombres, con un incremento del 37.5%, así como un incremento notable del 160% en la obesidad grado III. En el caso de las mujeres, el mayor aumento (48.6%) durante el periodo de 2006 a 2022 se observó en la categoría de obesidad grado III. Estos hallazgos resaltan la importancia de abordar las diferentes categorías de obesidad de manera específica para diseñar intervenciones efectivas que puedan reducir el impacto de este problema de salud pública (Shamah-Levy y col., 2023).

En resumen, en México, se ha observado una alta prevalencia de obesidad en adultos, alcanzando el 36.9%, junto con un 38.3% de prevalencia de sobrepeso. La obesidad abdominal (OA) afecta al 81.0% de las personas mayores de 20 años. Se destaca que las mujeres tienen un 45% más de probabilidad de desarrollar obesidad en comparación con los hombres, y los adultos de 40 a 59 años tienen 1.7 veces más riesgo que los jóvenes de 20 a 39 años. Además, se encontró una asociación significativa entre la obesidad abdominal y la presencia de enfermedades crónicas como la diabetes, la hipertensión arterial, las dislipidemias y las enfermedades cardiovasculares en adultos. Factores como la predisposición genética, el envejecimiento, la falta de actividad física, el aumento del peso materno, el bajo nivel educativo y el entorno alimentario que favorece el acceso a alimentos densamente energéticos contribuyen al desarrollo de la obesidad. Estos hallazgos destacan la importancia de implementar estrategias integrales y multifacéticas para abordar eficazmente el problema de la obesidad y sus consecuencias para la salud

pública en México. A pesar de que la obesidad es una condición prevenible y modificable, actualmente afecta a 2,000 millones de personas en todo el mundo y cada año causa la muerte de tres millones de adultos (Ryan y col., 2021). La región de las Américas tiene la prevalencia más alta de sobrepeso y obesidad (62.5%) entre todas las regiones de la Organización Mundial de la Salud (WHO, 2021), pero en México todavía es más alta esta prevalencia (75.2%). La obesidad es uno de los principales retos para la salud pública a nivel global y en México, desde el año 2016, fue declarada por las autoridades de salud como una emergencia sanitaria (Secretaría de Salud, 2023).

En la región de las Américas, aproximadamente el 26% de los hombres y el 31% de las mujeres sufren de obesidad. Este problema de salud tiende a aumentar con la edad, alcanzando su punto máximo alrededor de la cuarta y quinta década de vida. Sin embargo, a partir de este punto, se observa una tendencia a la disminución del peso corporal en los años siguientes. Al mismo tiempo, la circunferencia de la cintura aumenta 5 a 10 cm a partir de los 50 años, generando ganancia de masa grasa visceral y pérdida de tejido magro, factores que predicen daños en la salud en los adultos con obesidad (Mathus y col., 2012). Los resultados obtenidos en México respaldan este fenómeno biológico, ya que se encontró una mayor probabilidad de obesidad y obesidad abdominal en adultos de 40 a 59 años en comparación con jóvenes de 20 a 39 años. Esto sugiere una tendencia hacia el aumento de peso con la edad en la población adulta mexicana (Shamah-Levy y col., 2023).

En los países en vías de desarrollo, la obesidad suele ser más frecuente en los grupos de mayor nivel socioeconómico por su mayor consumo de alimentos con alta densidad de energía (como bebidas azucaradas, alcohol, y productos ultraprocesados), además de que tienden a realizar trabajos que requieren un menor gasto energético (Dina y col., 2012). La obesidad se relaciona con condiciones adicionales conocidas como comorbilidades, entre las cuales se incluyen la diabetes mellitus tipo 2, la hipertensión arterial y los trastornos del metabolismo lipídico, como

las dislipidemias. El control de estas comorbilidades es una estrategia eficaz de prevención primaria de enfermedad cardiovascular, que es la principal causa de mortalidad en adultos (Modkad y col., 2001).

El índice de masa corporal (IMC) es el parámetro de mayor utilización a nivel poblacional para evaluar la presencia de obesidad y analizar desenlaces crónicos (Cornier y col., 2011). Según los datos de la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición de 2022 en México, se encontró una asociación significativa entre la obesidad abdominal (OA) en la población adulta y una mayor prevalencia de condiciones como la diabetes (12.6% con OA frente al 4.7% sin OA), hipertensión arterial (18.5% con OA frente al 4.8% sin OA), dislipidemia (24.2% con OA frente al 7.7% sin OA) y enfermedad cardiovascular (5.0% con OA frente al 2.5% sin OA). Estas tendencias fueron similares al evaluar la obesidad utilizando el Índice de Masa Corporal (IMC). (Shamah-Levy y col., 2023).

### **c Prevalencia de prediabetes y diabetes en México**

Según los datos recopilados por la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición de 2022 en México, se observó que la prevalencia de prediabetes alcanzó el 22.1%, lo que equivale a aproximadamente 17.6 millones de personas. En cuanto a la diabetes diagnosticada, se registró una prevalencia del 12.6%, mientras que la diabetes no diagnosticada afectó al 5.8% de la población. Esto resulta en una prevalencia total de diabetes del 18.3%, lo que corresponde a alrededor de 14.6 millones de personas. Durante el período comprendido entre 2006 y 2022, se observó un aumento gradual en la prevalencia de diabetes, pasando del 14.4% al 18.3%. Sin embargo, es alentador notar que la prevalencia de diabetes no diagnosticada ha experimentado una disminución, pasando del 7.1% al 5.8% en el mismo período de tiempo; esto sugiere un avance en el tamizaje y la detección de las personas con diabetes. Sin embargo, el número de personas con diabetes no diagnosticada (~5 millones) sigue representando un reto para el control y la prevención secundaria

(INEGI, 2021). De acuerdo con el *Global Burden of Disease*, la tasa de incidencia de diabetes en México aumentó de 367 a 496/100,000 habitantes de 2006 a 2019 (IHME, 2019). Si bien el incremento en la incidencia de diabetes en México puede ser atribuido al envejecimiento de la población, es crucial reconocer la influencia de otros factores de riesgo que también deben ser abordados de manera prioritaria (Meza y col., 2015). Factores como una alimentación de mala calidad, obesidad e inactividad física requieren de paquetes de intervenciones estructurales inmediatas para reducir la incidencia de diabetes (Barrientos-Gutiérrez y col., 2018; Barquera y col., 2022).

La prevalencia de prediabetes a nivel mundial está aumentando y se proyecta que para 2030 más de 470 millones de personas presentarán este factor de riesgo (Tabák y col., 2012). La disponibilidad de información sobre esta condición en México es limitada; los estudios realizados en adultos no representativos ofrecen estimaciones que varían entre el 16% y el 30% (Leyva-Jiménez y col., 2019; Flores y col., 2020). En ENSANUT 2022 se reporta una prevalencia de prediabetes, en adultos mexicanos, de 22.1% (32.8% en adultos de 60 años o más), la cual es menor que en Estados Unidos (38%) entre 2017-2020 (CDCP, 2022). A nivel global, las estimaciones de prediabetes son difíciles de comparar porque varían de acuerdo con la definición [Asociación Americana de Diabetes (ADA), Organización Mundial de la Salud (OMS), Federación Internacional de Diabetes (IDF, por sus siglas en inglés)], si utilizan HbA1c o si utilizan curva de tolerancia a la glucosa (Hostalek, 2019). La estimación de la prediabetes genera controversia, ya que, si bien entre el 5% y el 10% de las personas con prediabetes desarrollan diabetes cada año, un porcentaje similar experimenta una reversión a niveles de glucemia normales (Twohig y col., 2018). Identificar a las personas con prediabetes podría facilitar intervenciones tempranas, aunque la evidencia sobre programas efectivos es escasa (Twohig y col., 2018).

La prevalencia de prediabetes con la definición de la Organización Mundial de la Salud (OMS) se reduce a 3.4% en México, usando como puntos de corte de la glucosa de 110 a 125 mg/dL y no usando HbA1c como indicador (Hostalek, 2019). La alta tasa de diabetes en México representa un desafío crítico para el sistema de salud y tiene un impacto significativo en la calidad de vida de la población. Es fundamental implementar medidas preventivas sólidas para abordar esta situación. Esto implica promover un estilo de vida saludable que incluya una alimentación equilibrada, rica en alimentos frescos y naturales, y limitando la ingesta de productos azucarados y ultraprocesados. Además, fomentar la actividad física desde la infancia puede ayudar a reducir el riesgo de desarrollar diabetes en el futuro. Es crucial que tanto el gobierno como la sociedad en su conjunto se comprometan a adoptar hábitos saludables para combatir esta enfermedad y mejorar la calidad de vida de todos los mexicanos (Aguilar-Salinas y col., 2015; Barrientos-Gutiérrez y col., 2018; Barquera y col., 2020, 2022). Desde la prevención secundaria, es necesario implementar modelos de atención con un enfoque integral para las personas que viven con diabetes (CDCP, 2021).

En el ámbito de la salud en México, las enfermedades no transmisibles son abordadas mediante la implementación de Normas Oficiales Mexicanas y Guías de Práctica Clínica, junto con estrategias como PrevenIMSS y PrevenISSSTE, las cuales han estado en vigencia por más de diez años. Estas directrices y programas son fundamentales para orientar el manejo adecuado de condiciones crónicas, garantizando así un enfoque integral y basado en la evidencia para la atención de la salud de la población. Estas guías y estrategias deben actualizarse de manera continua para ofrecer las mejores opciones de tratamiento y control de esta enfermedad (Basto-Abreu y col., 2023).

#### **d Hipertensión arterial (HTA) en adultos**

Según datos recientes de la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (ENSANUT) de 2022, casi la mitad de los adultos en México, un 47.8%, padecía de hipertensión arterial. Sorprendentemente, tres de cada cinco personas afectadas desconocían por completo que tenían esta condición. Además, solo un tercio de aquellos que estaban al tanto de su hipertensión arterial lograban mantenerla bajo control. Estas cifras resaltan la necesidad urgente de aumentar la conciencia sobre la hipertensión y mejorar el acceso al diagnóstico y tratamiento efectivo para reducir el impacto de esta enfermedad en la población. La presencia de HTA se explica, en parte, por la exposición a factores de riesgo modificables (ingesta elevada de sodio, obesidad, diabetes y sedentarismo) (Mills y col., 2016). El dimorfismo sexual juega un papel importante en la manifestación de la presión arterial, y la prevalencia de la hipertensión arterial puede variar significativamente entre hombres y mujeres a lo largo de la vida debido a varios factores. Entre ellos se encuentran el efecto diferencial de las hormonas, los factores psicosociales, las conductas de riesgo y las diferencias cromosómicas, como se señala en un estudio reciente (Connelly et al., 2022). Estos factores contribuyen a que la hipertensión arterial sea más frecuente en hombres que en mujeres, subrayando la importancia de comprender y abordar estas diferencias para una atención de salud más efectiva y equitativa. Acorde a ENSANUT 2022, los hombres tuvieron una prevalencia de HTA 26% más alta que las mujeres. Esto es consistente con las estadísticas en el continente americano donde la prevalencia es 13% mayor en hombres que en mujeres (OPS, 2023).

A medida que avanza la edad ocurren cambios, microscópicos y macroscópicos, en corazón, sistema vascular y sistema nervioso autónomo que pueden incrementar inflamación, rigidez vascular y presión arterial (Buford, 2016). Entre los 40 y 69 años de edad, cada aumento de 20 mm de Hg en la *presión arterial sistólica* (PAS) o aumento de 10 mm de Hg en la *presión arterial diastólica* (PAD) se asocia con el doble de riesgo de morir por ictus o cardiopatía isquémica (Lewington y col. 2022). En el análisis de los datos de la ENSANUT 2022, se evidenció que la prevalencia de

hipertensión arterial aumentaba significativamente con la edad entre los adultos participantes. En particular, se observó que los adultos de 60 años o más tenían una prevalencia de hipertensión arterial 5.2 veces mayor que los jóvenes de 20 a 29 años. Esto es consistente con los resultados de un estudio basado en poblaciones de 90 países que encontró que la prevalencia de HTA es cinco veces mayor en las personas que tienen  $\geq 60$  años (65.6-74.7%) que en los adultos más jóvenes (10.4-15.2%) (Mills y col., 2016). Estos hallazgos subrayan el impacto del envejecimiento en la salud cardiovascular y destacan la importancia de implementar estrategias de prevención y manejo de la hipertensión en la población adulta, especialmente en los grupos de mayor edad.

La obesidad condiciona una sobreactivación del sistema nervioso simpático, estimulación del sistema renina-angiotensina-aldosterona, alteraciones en las citoquinas derivadas del tejido adiposo como la Leptina, resistencia a la insulina y cambios renales estructurales y funcionales que induce el desarrollo de HTA (Hall y col., 2015). De acuerdo con los datos de la ENSANUT 2022, se encontró que los adultos con obesidad tenían un riesgo de desarrollar hipertensión un 87% mayor en comparación con aquellas personas que mantenían un índice de masa corporal (IMC) dentro de los rangos considerados normales. Esto resalta la estrecha relación entre la obesidad y la hipertensión, y la importancia de abordar la gestión del peso como parte integral de la prevención y el control de la hipertensión arterial. Las personas con diabetes presentan una mayor resistencia arterial periférica causada por la remodelación vascular y un mayor volumen de líquido corporal asociado con la resistencia a la insulina que origina HTA (Ohishi y col., 2018). Según los datos recopilados por la ENSANUT 2022, se observó que los adultos diagnosticados con diabetes tenían una prevalencia de hipertensión arterial un 56.3% mayor en comparación con aquellos adultos que no tenían diabetes. Esto es consistente con lo reportado previamente en otras poblaciones (Chahoud y col., 2015). Esto destaca la estrecha asociación entre la diabetes y la hipertensión, subrayando la importancia

de abordar estas condiciones de manera conjunta en la gestión de la salud de la población adulta.

Diagnosticar la hipertensión arterial es fácil, sin embargo, cerca de la mitad de los adultos desconocen tener esta enfermedad porque nunca han sido diagnosticados (Zhou y col., 2021). Según los resultados de la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (ENSANUT) 2022 en México, se descubrió que un sorprendente 65.5% de los adultos participantes no estaban al tanto de que tenían hipertensión arterial hasta que se les realizó la medición de su presión arterial durante el estudio. Este hallazgo subraya la importancia de realizar exámenes de salud regulares y concientizar sobre la importancia de controlar la presión arterial para detectar y tratar afecciones como la hipertensión de manera oportuna.

Aunque la HTA es fácil de tratar con medicamentos de bajo costo y modificaciones en el estilo de vida, en un estudio poblacional de 104 millones de participantes, menos de una de cada cuatro mujeres y uno de cada cinco hombres con hipertensión tenía presión arterial controlada (Zhou y col., 2021). Los resultados de la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (ENSANUT) 2022 revelaron que la prevalencia de presión arterial controlada fue del 27.9% en hombres y del 37.9% en mujeres. Estos hallazgos resaltan las diferencias en el control de la presión arterial entre hombres y mujeres, lo que destaca la necesidad de implementar estrategias específicas para mejorar el control de la presión arterial en ambos grupos de la población.

En el transcurso del año 2022, se registró una notable disminución del 16.7% en la prevalencia de hipertensión arterial diagnosticada oportunamente en comparación con el año 2018. Asimismo, se observó una reducción significativa en la prevalencia de adultos diagnosticados, pero no tratados, pasando del 28.4% en 2018 al 17.7% en 2022. Estos datos sugieren avances positivos en el diagnóstico y tratamiento de la hipertensión arterial en la población, lo que puede tener un impacto significativo en la salud cardiovascular y el bienestar general de la sociedad.

En México, se llega a la conclusión de que aproximadamente la mitad de los adultos sufren de hipertensión arterial, y alarmantemente, tres de cada cinco de ellos no habían sido diagnosticados durante el año 2022. Estos hallazgos resaltan la necesidad urgente de mejorar la detección temprana y el manejo de la hipertensión arterial en la población adulta para prevenir complicaciones graves asociadas con esta enfermedad (Campos-Nonato y col., 2023). El sistema de salud debe mejorar sus mecanismos de detección de HTA porque el subdiagnóstico y el mal control de la presión arterial ocasiona discapacidad, mala calidad de vida o, incluso, morir por ictus o cardiopatía isquémica (Lewington y col., 2002).

#### **4 Efectos de la alimentación sobre la salud**

Existen alimentos cuyo consumo protege la salud; estos alimentos se clasifican en cinco grupos: (1) Frutas, (2) Vegetales, (3) Nueces y Semillas, (4) Granos Integrales, (5) Leche y derivados. Se cree que ayudan a disminuir el riesgo de padecer una o más de las siguientes condiciones: obesidad, enfermedad coronaria, enfermedad cardiovascular, diabetes y varios tipos de cáncer. Son reconocidos como "alimentos saludables". Por otro lado, hay alimentos cuyo consumo se ha asociado con un aumento en el riesgo de diversos padecimientos. Por ejemplo, se ha observado que el consumo de carnes rojas está relacionado con un mayor riesgo de desarrollar cáncer de colon y recto, así como diabetes. Los embutidos, por su parte, se clasifican como carcinógenos tipo 1 y se ha demostrado que aumentan el riesgo de cáncer de colon y recto, así como el riesgo de desarrollar diabetes y enfermedad coronaria. Es importante tener en cuenta estos riesgos al momento de planificar la alimentación y tomar decisiones sobre la dieta diaria. Las bebidas azucaradas aumentan sobrepeso y obesidad, diabetes, enfermedad coronaria y gota, y, a través de la obesidad, se relacionan con el incremento en el riesgo de enfermedad y muerte de 14 tipos de cáncer (WCRF, 2018; Miller y col., 2022).

Recientemente ha surgido evidencia que indica que los productos ultraprocesados aumentan el consumo de calorías y llevan a sobrepeso y obesidad y otras enfermedades crónicas inflamatorias (Monteiro y col., 2016; Hall y col., 2019; Askari y col., 2020).

En un ensayo clínico aleatorizado llevado a cabo en un entorno controlado, veinte participantes fueron asignados en periodos independientes de quince días a una dieta compuesta principalmente por productos ultraprocesados, según la clasificación NOVA, y a una dieta basada en alimentos frescos, los cuales fueron preparados o consumidos en su estado natural. Los participantes tenían libertad para consumir los alimentos según su demanda (Hall et al., 2019). Los resultados revelaron que durante el periodo en el que los participantes consumieron productos ultraprocesados, su ingesta promedio de energía fue aproximadamente 500 calorías más alta por día en comparación con el grupo que consumió alimentos frescos, y experimentaron un aumento de casi 0.9 kg de peso en quince días. Por el contrario, cuando los participantes pasaron al grupo de alimentos frescos preparados, su ingesta de energía disminuyó. La conclusión de este trabajo es que el consumo de una dieta rica en productos ultraprocesados aumenta el consumo de energía y lleva a ganancia de peso corporal, por lo que se recomienda limitar el consumo de alimentos ultraprocesados como una estrategia para reducir el riesgo de obesidad (Hall y col., 2019). En línea con estos hallazgos, Askari y sus colegas (2020) encontraron que aquellos individuos que consumen una mayor cantidad de productos ultraprocesados tienen un 18% más de probabilidades de desarrollar sobrepeso y un 26% más de probabilidades de desarrollar obesidad, en comparación con aquellos que consumen estos productos en menor medida. Estos datos son muy relevantes en el contexto de nuestro país, ya que cerca del 30% de la energía que consume nuestra población proviene de productos ultraprocesados (Marrón-Ponce y col., 2018). En los niños en edad preescolar, la contribución de energía proveniente de productos ultraprocesados alcanza un 38.6%, la cifra más alta registrada. Por

otro lado, en los niños en edad escolar y adolescentes, esta contribución es de aproximadamente el 35%, mientras que en adultos es de un 26.2%. Además, se observa una mayor contribución de energía de los productos ultraprocesados en las áreas urbanas y entre la población de mayor nivel socioeconómico, así como entre la población adulta con la mayor escolaridad (Marrón-Ponce y col., 2018). Estos datos resaltan la notable presencia de productos ultraprocesados en la dieta de los niños en edad preescolar, así como en grupos de mayor edad, lo que subraya la importancia de abordar el consumo de estos productos para promover una alimentación más saludable en todas las etapas de la vida.

### **a Alimentos ultraprocesados**

Durante el último siglo, se ha observado un aumento constante en la prevalencia del sobrepeso y la obesidad, especialmente en países de bajos ingresos, afectando tanto a adultos como a niños. La obesidad no solo representa un factor de riesgo significativo para enfermedades metabólicas, sino también para enfermedades cardiovasculares, accidentes cerebrovasculares, diabetes tipo 2 y diversos tipos de cáncer. Es importante reconocer que la obesidad no es simplemente un problema estético, sino una enfermedad metabólica que requiere atención y abordaje adecuados para prevenir complicaciones graves para la salud (Beslay y col., 2020). El aumento en la incidencia de estas enfermedades ha sido acompañado por un incremento en el consumo de alimentos procesados en la alimentación diaria.

Los alimentos ultraprocesados son productos industriales compuestos principalmente por sustancias extraídas o derivadas de alimentos, pero que no se utilizan en la preparación de comidas caseras. Estos incluyen ingredientes como aceites hidrogenados, almidones modificados, aislados de proteína y una variedad de aditivos como potenciadores de color, sabor y aroma. Dichos aditivos se emplean con el propósito de imitar y realzar las cualidades sensoriales de los alimentos naturales o para ocultar aquellas características menos atractivas del producto final.

Su proceso de ultraprocesamiento los hace rentables y visualmente atractivos, pero su valor nutricional es deficiente. Estos productos tienden a ser desequilibrados en términos nutricionales, siendo altos en azúcares, grasas totales, grasas saturadas y sodio, mientras que presentan un bajo contenido de proteínas, fibra, minerales y vitaminas en comparación con los alimentos sin procesar o mínimamente procesados. Se incluyen entre ellos las bebidas gaseosas y otros jugos y bebidas azucaradas, los snacks dulces y salados, los caramelos (dulces), los panes industriales, las tortas y galletas (bizcochos), los cereales endulzados para el desayuno, los productos cárnicos reconstituidos y los platos previamente preparados (Julia y col., 2018; Monteiro y col., 2019; Nardocci y col., 2019, OPS, 2019).

Los productos ultraprocesados son consumidos principalmente como snacks, en prácticamente cualquier momento y lugar. Antes de la segunda mitad del siglo XX, el consumo de snacks entre adultos era bastante limitado. Pero ahora, en países como Estados Unidos, Canadá, México, Brasil y China, los productos en forma de snacks representan hasta una cuarta parte de todas las calorías consumidas (Monteiro y col., 2013).

## **b Alimentos Funcionales**

Los “alimentos funcionales” (Food for Specified Health Use - FOSHU) desempeñan un papel importante en la nutrición moderna y en la salud humana. Recientemente, la Asociación Dietética Americana (ADA) definió los alimentos funcionales como “alimentos cuyo consumo está asociado con beneficios para la salud en términos de reducir el riesgo de enfermedades y/o apoyar el mantenimiento de una salud adecuada”. Los alimentos funcionales se utilizan no sólo para proporcionar nutrimentos esenciales sino también para lograr importantes efectos terapéuticos asociados a la prevención de enfermedades relacionadas con la nutrición. Estos alimentos incluyen productos (p. ej. cereales, leguminosas,



**Fig 1. Alimentos ultraprocesados**

Productos industrializados compuestos mayormente por componentes extraídos o derivados de alimentos, pero que no suelen encontrarse en la preparación casera de comidas. Estos pueden incluir aceites hidrogenados, almidones modificados, proteínas aisladas y una variedad de aditivos como colorantes, saborizantes y aromatizantes, empleados para mejorar la apariencia y el sabor de los alimentos. Estos productos están nutricionalmente desequilibrados. Tienen un elevado contenido en azúcares, grasa total, grasas saturadas y sodio, y un bajo contenido en proteína, fibra, minerales y vitaminas, en comparación con los productos y comidas sin procesar o mínimamente procesados.

**Fuente: Monteiro y col. (2019); OPS (2019)**

oleaginosas) que contienen valiosos componentes bioactivos [p. ej. polifenoles, proteínas, ácidos grasos esenciales (AGE)]. Los productos alimenticios que son reconocidos como "alimentos saludables" también son alimentos funcionales (Motyka y col., 2023)

Los alimentos funcionales se consideran alimentos que tienen posibles efectos benéficos para la salud más allá de su valor nutricional básico. Promueven la buena salud y reducen el riesgo de enfermedades. Los alimentos funcionales han ganado popularidad en todo el mundo y se les conoce como "nutracéuticos" y "alimentos de diseño". El concepto de alimento funcional fue iniciado y regulado por el Ministerio de Salud y Bienestar de Japón en el año 1980 y luego avanzó a América del Norte y otros mercados (Mellentin y col., 2014). La cantidad de compuestos bioactivos en los alimentos es muy pequeña; su efecto benéfico se ha estudiado en modelos de roedores y en estudios clínicos. Los resultados de estudios epidemiológicos han demostrado que el consumo de frutas, granos integrales, productos animales y vegetales específicos ricos en compuestos bioactivos reduce el riesgo de diversos trastornos metabólicos y cáncer (Karasawa y Mohan 2018; Essa y col., 2023).

Los alimentos funcionales se han utilizado, a nivel mundial, desde la antigüedad. Las civilizaciones prehispánicas (Aztecas, Mayas, Incas) utilizaron varias plantas como alimentos medicinales. Actualmente, muchas poblaciones mexicanas conservan sus tradiciones y patrones alimentarios basados en el maíz, el frijol, además de otras plantas (diversas variedades de chile, tomate y otros alimentos vegetales). Cada especie tiene una mezcla especial de compuestos bioactivos en la que cada componente contribuye a su bioactividad general. Los compuestos bioactivos son metabolitos vegetales que benefician la salud humana mediante efectos antiinflamatorios, inmunomoduladores y antioxidantes. Sin embargo, se vuelve bioactivo en el cuerpo humano cuando estos compuestos son sujetos a diversas transformaciones intestinales, debido a la acción de las enzimas digestivas, pero también por la acción del metabolismo de la microbiota. La microbiota intestinal

es el factor clave en la mediación de las funciones fisiológicas de los polifenoles de la dieta. Se dispone de información limitada, especialmente sobre los fitoquímicos dietéticos y el metabolismo de los alimentos vegetales mexicanos comúnmente disponibles (Mercado-Mercado y col., 2019).

En la revisión "Alimentos Tradicionales Mexicanos como Agentes Funcionales en el Tratamiento de Factores de Riesgo Cardiometabólico" Escalante-Araiza y Gutiérrez-Salmeán (2020) comentan que los principales fenotipos de riesgo cardiometabólico incluyen resistencia a la insulina (RI), hiperinsulinemia, sobrepeso, obesidad y dislipidemia, que contribuyen a la actual pandemia de enfermedades crónicas prevalentes en todo el mundo. Entre los tratamientos tradicionales, los hábitos alimentarios representan uno de los aspectos más difíciles y controvertidos de implementar en el manejo de las alteraciones metabólicas. El uso de remedios herbales por parte de Latinos e Hispanos, como parte del autocuidado de enfermedades metabólicas, ha sido bien documentado en varios estudios, principalmente porque son "naturales", familiares, consistentes con su cultura, accesibles y asequibles. Los fitoquímicos están presentes en frutas, granos integrales, verduras y diversas plantas, y constituyen nutrimentos como vitaminas o minerales, muchos de ellos consumidos de forma popular o utilizados como remedios herbales o suplementos dietéticos. Existe evidencia que alimentos tradicionales endémicos mexicanos como cacao, maíz, frijol, chía, amaranto, tuna, chile, aguacate como "agentes funcionales" para mejorar el estado metabólico en fenotipos de riesgo.

La industria agroalimentaria desempeña un papel crucial en la intersección entre alimentos y salud. Gracias a los avances científicos y tecnológicos actuales, ahora es posible producir ingredientes nutraceuticos y alimentos y bebidas funcionales que satisfacen las necesidades cambiantes de los consumidores y contribuyen al bienestar social en una sociedad cada vez más envejecida. En este contexto, donde las enfermedades crónicas degenerativas representan una carga significativa para la

sociedad y los sistemas de salud, la prevención emerge como la mejor estrategia de tratamiento, y los alimentos, especialmente aquellos con propiedades nutraceuticas y funcionales, se presentan como aliados vitales en este esfuerzo.

## **B GRANOS BÁSICOS DE LAS CULTURAS AMERICANAS PREHISPÁNICAS**

### **1 Frijol como alimento funcional**

Las enfermedades cardiovasculares (ECV) son la principal causa de mortalidad mundial y representan el 31% de las muertes en todo el mundo. Hábitos alimentarios "saludables" basados en el consumo de "compuestos bioactivos" presentes en las dietas vegetales pueden contribuir a la prevención de las ECV. En este contexto, resulta relevante el consumo de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). Existen varias especies de frijoles, todas las cuales aportan proteínas, carbohidratos, fibra dietaria, vitaminas, minerales y compuestos fenólicos. Más recientemente, la complejidad de los componentes fitoquímicos se ha ampliado, incluido el papel de los factores antinutricionales en la biodisponibilidad de nutrientes y las respuestas inmunes. Estudios experimentales y clínicos han demostrado que el consumo de frijoles resulta en un menor consumo de alimentos, control del peso corporal y mejora de los parámetros bioquímicos metabólicos. Así, el consumo de frijoles se asocia con una disminución de los factores de riesgo de ECV. Hasta la fecha, no se han realizado estudios de intervención que evalúen los resultados de las enfermedades cardiovasculares, como hospitalización, infarto y mortalidad, en el contexto del consumo de frijoles. Además, faltan estudios sobre el efecto del consumo de frijoles en la metabolómica y la microbiota intestinal. Los hábitos alimentarios basados en el consumo de "compuestos bioactivos" presentes en el frijol pueden contribuir a la prevención de enfermedades cardiovasculares. Existe una gran laguna en la literatura sobre el consumo de frijoles asociado con resultados clínicos, como la hospitalización y la mortalidad (Vieria y col., 2023).

## **2 Chía como alimento funcional**

La chía, grano ancestral, fue cultivada en México y Guatemala por los Mayas y Aztecas en la época precolombina. Las semillas de chía son una fuente concentrada de ácidos grasos omega-3 (principalmente ácido Linolénico), fibra (insoluble) y compuestos fenólicos (Miricetina, Quercetina, Kaempferol, ácidos Clorogénico y Cafeico), en cantidades considerablemente más altas que en otros granos (cereales, semillas oleaginosas). Debido a sus propiedades nutracéuticas y fisicoquímicas, la chía se ha utilizado ampliamente como semilla entera, harina, mucílago de semilla, gel y aceite para desarrollar diversos productos alimenticios enriquecidos, como harinas instantáneas, tortillas, pan, pasta, galletas, etc. Los reportes de investigación indican que la chía tiene una gran perspectiva para su utilización como alimento y medicina. Sin embargo, se necesitan más investigaciones para validar el posible efecto terapéutico de la suplementación con chía en la salud humana. Actualmente, los investigadores están utilizando diversas estrategias para incrementar el contenido de compuestos bioactivos en semillas y germinados de chia. Investigaciones recientes ponen en evidencia que la chia posee propiedades cardioprotectoras, hipotensoras, antidiabéticas, antioxidantes, antiinflamatorias, hipolipemiantes, neuroprotectoras y hepatoprotectoras (Orona-Tamayo y col., 2015, 2017; Gómez-Favela y col., 2017; Kaur y Bains, 2020, Motyka y col., 2023).

## **3 Amaranto como alimento funcional**

La creciente demanda de alimentos saludables ha llevado a la exploración de alternativas a las fuentes nutricionales habituales. Una de esas alternativas es el amaranto, un pseudocereal conocido por sus beneficios nutricionales y su potencial como alimento funcional (Munhoz y col., 2014). *Amaranthus* sp. cuenta con casi 60 especies, algunas variedades se utilizan frescas en ensaladas y sopas, y otras en la industria alimentaria para mejorar el sabor y la nutrición (Joshi y col., 2018, 2019;

Martínez-Villaluenga y col., 2020). Los productos de amaranto pueden enriquecer la oferta de alimentos funcionales debido a su alto contenido de proteínas, su naturaleza libre de gluten y su rica variedad de nutrientes esenciales. Además, la adaptabilidad del amaranto en diversos productos alimenticios (alimentos para desayunar, refrigerios, productos horneados) ofrece a los fabricantes oportunidades para crear productos innovadores y centrados en la salud que satisfagan las preferencias cambiantes de los consumidores por opciones alimentarias nutritivas y sostenibles (Caselato y Amaya-Farfan, 2012). Diversos estudios han demostrado su potencial para reducir los niveles de colesterol debido a compuestos como los fitoesteroles que se encuentran en sus grasas y fibras solubles (Berganza y col., 2003; Ferreira y col., 2007). Algunos cereales se utilizan en la nutrición humana en forma de copos, harina o incluso como fuente de bebidas funcionales (Manyelo y col., 2020; Manassero y col., 2020). La harina de amaranto puede sustituir total o parcialmente a las harinas de maíz nixtamalizado o de trigo, y puede utilizarse para preparar una gran diversidad de alimentos, como tortillas, pan, pastas, galletas, etc. (Akande y col., 2017; Ramos-Díaz y col., 2017; García-Valle y col., 2021; Gámez-Valdéz y col., 2021). En términos de nutrición, el amaranto destaca por su alto contenido en proteínas, superior a muchos otros cereales, y contiene todos los aminoácidos esenciales, incluida la lisina, que muchas veces falta en otros cereales. Rico en fibra soluble e insoluble, el amaranto favorece la salud digestiva, ayuda a la saciedad y puede ayudar a reducir el colesterol (Bachar y col., 2020; Park y col., 2020; Schmidt y col., 2021; Manisha y col., 2023). Además, el amaranto es una buena fuente de vitaminas como A, C, E y varias vitaminas B, cruciales para el metabolismo, la salud de la piel y la función inmune. Su contenido mineral, incluido hierro, calcio y zinc, favorece la salud de los huesos y los músculos (Alvarez-Jubete y col., 2009; Park y col., 2020). Su perfil



**Fig 2. Cultivo de Amaranto / Grano de Amaranto**

El grano de amaranto contiene proteínas de calidad alta (perfil de aminoácidos esenciales completo). Los compuestos fenólicos presentes en el grano de amaranto poseen actividades antioxidante, antihipertensiva, hipoglucémica. Los péptidos e hidrolizados proteínicos de amaranto extrudido poseen propiedades antiescleróticas, anti-inflamatorias, anticancerígenas y antihipertensivas

**Fuente: Montoya-Rodríguez y col. (2014a,b; 2015a,b); Reyes-Moreno y col. (2018)**

de ácidos grasos, principalmente grasas insaturadas, es beneficioso para la salud del corazón. El aceite de amaranto contiene hasta un 73% principalmente de ácidos grasos insaturados (PUFA), que son beneficiosos para la salud del corazón cuando se consumen con moderación (Bachar y col., 2020; Manyelo y col., 2020).

El contenido de compuestos fenólicos totales del amaranto puede variar según factores como la variedad, las condiciones de cultivo y los métodos de procesamiento. El amaranto contiene Rutina, Quercetina y Kaempferol, que son flavonoides conocidos por sus efectos antioxidantes, antiinflamatorios e inmunomoduladores. También contiene ácidos Cafeico y Gálico, que son ácidos fenólicos con propiedades antioxidantes que pueden ayudar a proteger contra el daño oxidativo (Kalinova y Dadokova, 2009; Huerta-Campo y Barba de la Rosa, 2011; Li y col., 2015). **Ver Cuadro 1.** Generalmente, el contenido de compuestos fenólicos totales (CFT) se expresa como equivalentes de ácido gálico (GAE/g). Los estudios que evalúan el contenido DE CFT del amaranto han reportado concentraciones desde 1.04 hasta 14.94 mg GAE/g de materia seca; el amaranto se considera una buena fuente de polifenoles (Steffensen y col., 2011; Joshi y Verma, 2020). El amaranto se considera un alimento funcional porque es una fuente valiosa de antioxidantes, incluidos compuestos fenólicos y flavonoides, que ayudan a proteger el cuerpo contra el estrés oxidativo y reducen el riesgo de enfermedades crónicas como enfermedades cardíacas y cáncer (Tang y col., 2016; Bachar y col., 2020; Schmidt y col., 2021).

#### **4 Maíz como alimento funcional**

El maíz es el cereal más consumido por los pueblos y las culturas del continente americano. Civilizaciones antiguas, como la Olmeca y la Teotihuacana en Mesoamérica y los Quechuas en la región andina de América del Sur, se desarrollaron en torno a esta planta (Doebley, 2004). Los nativos precolombinos deificaron esta planta por su relevancia en sus vidas; el libro sagrado de los Mayas,

**Cuadro 1.** Fitoquímicos presentes en Amaranto

<b>Componente</b>	<b>Contenido</b>	<b>Referencia</b>
<b>Compuestos fenólicos</b>		
Harina cruda/ harina extrudida	56.60/69.50 mg EAG/100 g	Milán-Carrillo y col, (2012)
<b>Ácido vainillico</b>		
Var Tulyehualco/ DGETA/Gabriela/ Nutrisol	1.8/1.7/1.8/1.5 µg/ g de harina	Barba de la Rosa y col, (2009)
<b>Ácido siríngico</b>		
Var Tulyehualco/ DGETA	0.8/ 0.7 µg/ g de harina	Barba de la Rosa y col, (2009)
<b>Ácido ferúlico</b>		
	8.32 mg/ 100 g bs	Repo-Carrasco y col, (2010b)
<b>Ácido p-hidroxibenzoico</b>		
Var Tulyehualco/ DGETA/Gabriela/ Nutrisol	1.7/ 2.0/ 2.2/ 1.9 µg/ g de harina	Barba de la Rosa y col, (2009)
<b>Flavonoides</b>		
Extractos metanólicos	18.66 2.10 mg EC/ 100 g bs	López y col, (2011)
<b>Rutina</b>		
Var. Gabriela/ Nutrisol/ Tulyehualco/ DGETA	4.0/ 4.7/10.1/5.8 µg/ g de harina	Barba de la Rosa y col, (2009)
<b>Isoquercetina</b>		
Var Tulyehualco/ Nutrisol DGETA	0.5/0.5/0.3 µg/ g de harina	Barba de la Rosa y col, (2009)
<b>Quercetina</b>		
Semilla/flor	68 ± 3.65/5155 ± 205 mg/ kg bs	Kalinova y Dadakova (2009)
<b>Nicotiflorina</b>		
Var Tulyehualco/ DGETA/ Gabriela/ Nutrisol	5.5/5.6/7.2/4.8 µg/ g de harina	Barba de la Rosa y col, (2009)
<b>Taninos</b>		
	0.060 ± 0.11 % bs	Goristein y col, (2008)
<b>Antocianinas</b>		
	35.33 1.70 mg/ 100 g bs	López y col, (2011)

el Popol Vuh, explica el origen del hombre narrando cómo el maíz fue entregado a la humanidad por los dioses Paxil y Cayalan (Vela, 2007).

En América Latina el maíz es un alimento básico, por lo que es el cultivo de mayor producción, y también se utiliza como insumo dietético para el ganado y para la producción industrial de gran cantidad de productos. Desde el punto de vista nutricional, económico, político y social, es el producto agrícola más importante. Generalmente, la alimentación de un pueblo desarrolla una memoria colectiva y trasciende el mero consumo de alimentos, expresando relaciones socioeconómicas y revelando actos profundamente arraigados en el simbolismo cultural (Doebley e Iltis, 1980; Fernández-Suárez y col., 2013). El maíz como alimento ha sido encontrado en ruinas arqueológicas y manuscritos como los Códices Florentino o Mendoza, en los que se ha podido dilucidar que el maíz representó los principales componentes de la dieta Mesoamericana desde el Preclásico Medio (1200-400 a.C.) (Doebley e Iltis, 1980; Taube, 1989; Fernández-Suárez y col., 2013). Los restos arqueológicos también muestran el uso y consumo de otras plantas importantes durante ese período; sin embargo, los antiguos colonos desarrollaron una preferencia por el maíz y su popularidad siguió creciendo. En la época prehispánica destacó la producción de harinas, pinole y el antiguo equivalente a las modernas "palomitas" (Mera-Ovando, 2009).

Actualmente, el maíz se consume mucho en forma de tortillas, tamales, tostadas, totopos, botanas, mazorcas, arepas y formas diversas. En cuanto a la tortilla, ahora se sabe que no es tan antigua como se pensaba anteriormente, pero ya prevalecía en la dieta Mesoamericana cuando los españoles llegaron al continente. Hoy en día, la tortilla es considerada como la base de la dieta del pueblo mexicano, directamente relacionada con su supervivencia por más de 3,500 años (Paredes-López y col., 2009). La riqueza de la cocina indígena basada en el maíz quedó registrada en testimonios confiables de conquistadores y cronistas, desde Hernán Cortés y Bernal Díaz del Castillo hasta Bernardino de Sahagún, todos ellos evidenciando el alto

desarrollo cultural de los antiguos mexicanos, así como de la rica diversidad de maíz. El mestizaje resultante de la Conquista española tuvo en la gastronomía una de sus principales manifestaciones, enriqueciendo la dieta prehispánica con elementos de la cocina hispano-árabe, y también al revés. Sin embargo, en este “mestizaje alimentario” predominó el elemento indígena, como lo demuestra el hecho de que el maíz sigue siendo un ingrediente fundamental y una de las principales fuentes de energía en la dieta latinoamericana actual (Fernández-Suárez y col., 2013).

El maíz (*Zea mays* L.) forma parte del patrimonio biológico y cultural de varios países Latinoamericanos, incluido México. Los maíces nativos son aquellos que han sido preservados a lo largo del tiempo mediante la selección de semillas realizada por los agricultores de generación en generación. Se distinguen de las variedades desarrolladas a través de métodos de mejoramiento, como las variedades de polinización libre, líneas puras e híbridos. Estos maíces nativos poseen un potencial significativo para proporcionar información valiosa que contribuye a abordar los desafíos del cambio climático. Se clasifican en razas, término utilizado para agrupar maíces que comparten características morfológicas, ecológicas, genéticas e históricas de cultivo. Además, su cultivo abarca una amplia gama de ambientes, desde secos hasta húmedos, fríos y cálidos, y se nombran en función de sus características fenotípicas, el tipo de grano, la región donde fueron cosechados y el nombre por el cual son conocidos en sus respectivas áreas de cultivo. En América Latina se han descrito cerca de 220 razas de maíz, de las cuales 64 (29%) se han identificado, y descrito en su mayoría para México y 59 son nativas mientras que las restantes 5 fueron originalmente descritas en otras regiones (Cubano Amarillo y del Caribe, junto con cuatro razas guatemaltecas: Nal Tel de Altura, Serrano, Negro de Chimaltenango y Quicheño), pero también se han recolectado o informado en el país (Bello-Pérez y col., 2016, CONABIO, 2023). **Ver Fig 3.**

Las razas de maíz se denominan según diversas características fenotípicas, como su forma [por ejemplo, ***Cónico***, en referencia a la forma de la mazorca], su

comportamiento [como **Reventador**, por la capacidad de los granos de explotar y producir palomitas], su origen geográfico [como **Tuxpeño**, típico de Tuxpan, Veracruz; o **Chalqueño**, característico del Valle de Chalco] o el nombre utilizado por los grupos indígenas o mestizos que los cultivan [por ejemplo, **Zapalote Chico**, en el Istmo de Oaxaca; o **Apachito**, en la Sierra Tarahumara]. Esta diversidad se refleja también en la amplia gama de colores de los granos, que van desde el negro hasta el rosa pálido, siendo los tonos rojo y azul/morado los más comunes. Además, existe variabilidad en el tamaño, la densidad y la dureza de los granos, así como en su composición química. Estas variables, están definidas por el factor genético [**amylose extender** (ae), **waxy** (wx), **floury** (fl), **dull** (du)], pero también dependen de las prácticas de cultivo, condiciones climáticas y tipo de suelo, así como la interacción entre estos factores (Bello-Pérez y col, 2016). Dentro de estos grupos, en la región del Noroeste de México, particularmente en el estado de Sinaloa, se identificó el grupo Chapalote, el cual comprende 7 razas nativas específicas de esta área [**Onaveño**, **Tabloncillo Perla**, **Tuxpeño**, **Chapalote**, **Dulcillo del Noroeste**, **Reventador**, **Elotero de Sinaloa**]. La variedad Elotero de Sinaloa se distingue por tener granos de color azul (**Fig 3**) (Pineda-Hidalgo y col, 2013).

Los fitoquímicos del maíz han recibido menos atención que los de las frutas, verduras y otros cereales. El consumo de maíz y otros productos integrales se ha relacionado con la reducción del riesgo de enfermedades crónicas, incluidas enfermedades cardiovasculares, diabetes tipo 2, obesidad, algunos cánceres y con la mejora de la salud del tracto digestivo (Siyuan y col., 2018).

Desde el primer informe histórico, se describió que las semillas de maíz tenían diferentes colores, como blanco, rojo y negro (Petroni y col., 2014). El color del maíz se debe principalmente a la presencia de una gran cantidad de metabolitos secundarios, como compuestos fenólicos (ácidos fenólicos, flavonoides, antocianinas) y carotenoides (Colombo y col., 2021). Los granos de maíz presentan



**Fig 3.** Razas nativas de maíz identificadas en México

una variedad de compuestos fenólicos que se clasifican en simples, flavonoides y antocianinas. Todos los tipos de maíz contienen fenoles simples, mientras que solo los maíces pigmentados, como los de color azul o morado, contienen cantidades significativas de antocianinas. Estas sustancias no solo confieren al grano un valor añadido significativo, sino que también aumentan su atractivo para distintas industrias (Feregrino-Pérez y col, 2024).

Diferentes culturas de todo el mundo han cultivado y consumido varios tipos de maíz durante siglos, cada uno con su propio color, sabor, textura y usos únicos. Ya sea para consumo humano, alimento para ganado o con fines ornamentales, el maíz es un cultivo versátil y diverso. El desarrollo de nuevos genotipos coloreados tiene como objetivo ampliar la disponibilidad y la producción comercial de variedades de maíz pigmentado. Estos pigmentos se consideran componentes fisiológicamente activos y/o promotores de la salud ya que su papel en la promoción de la buena salud y la reducción del riesgo de enfermedades crónicas ha sido documentado científicamente (Abdel-Aal y Hucl, 1999; Košutić y col., 2023). Los niveles y tipos específicos de antioxidantes y compuestos bioactivos pueden variar entre las diferentes variedades de maíz pigmentado. Se identificaron y cuantificaron pigmentos antocianínicos de una amplia variedad de trigo, cebada, maíz, arroz y arroz silvestre comestibles y ornamentales de color negro, azul, rosa, morado, rojo y blanco para evaluar su potencial como colorantes naturales o ingredientes alimentarios funcionales (Abdel-Aal y Hucl, 1999). Como colorantes naturales, las antocianinas se pueden utilizar para mejorar el atractivo visual de productos alimenticios. Además, sus propiedades antioxidantes los hacen atractivos como ingredientes alimentarios funcionales, ya que pueden contribuir a los beneficios para la salud asociados con una dieta rica en antioxidantes (Košutić y col., 2023). El maíz pigmentado es apreciado en las comunidades productoras y se utiliza para preparar platillos tradicionales. Sin embargo, corre el riesgo de desaparecer debido a la disminución del área de cultivo, su limitado uso y su baja

**Cuadro 2.** Fitoquímicos (Compuestos bioactivos) presentes en maíz

<b>Fitoquímico (mg/100 g)</b>	<b>Maíz blanco</b>	<b>Maíz azul</b>	<b>Ref</b>
<b><i>Compuestos fenólicos</i></b>			<b>1,2,3,4</b>
Libres	30-40	27.0-45.5	
Ligados	110-226	115-221	
Totales	170-450	40-343	
<b><i>Ácidos fenólicos</i></b>			<b>1,2,3</b>
Ferúlico	120-474	130-336	
Cumárico	0.66	0.13	
Gálico	0.39	ND	
<b><i>Antocianinas</i></b>			
Totales	0.27-1.60	27-63	<b>1,2,3,5</b>
Cianidina 3-glucósido; pelargonidina 3-Glucósido; peonidina 3.glucósido	-----	0.23-11.2	<b>6,7,8</b>
Cianidina 3-(6-malonil-glucósido); Cianidina 3-(6-succinil-glucósido); Pelargonidina 3-(6-malonil-glucósido)	-----	2.3-5.9	<b>6</b>

(1) Del Pozo Insfrán y col. (2006); (2) De la Parra y col. (2007), (3) Mora-Rochín y col. (2010); (4) Aguayo-Rojas y col. (2012); (5) López-Martínez y col. (2012); (6) Mora-Rochín y col. (2016); (7) Jing y col. (2008); (8) Abdel-Aal y col. (2006)

demanda como materia prima para los molinos de maíz. Ante esto, se buscan estrategias para conservarlos, promover su siembra y aumentar su producción en campo (Salinas-Moreno y col., 2021).

Mora-Rochin y col, (2016) identificaron y cuantificaron las antocianinas presentes en quince accesiones de maíz azul mexicano (Elotero de Sinaloa), reportando valores en un rango de 14.1 – 34.3 mg ECG/ 100 g (bs), siendo las del tipo aciladas las más abundantes (CY-Suc-Glu, y, CY-diSuc-Glu) representando el 52.1% y 15.6% del total de antocianinas, respectivamente. **Ver Cuadros 2, 3,4**

En el Cuadro 1 se resume la composición bromatológica del maíz pigmentado reportada por diversos autores (Cázarez-Sánchez y col., 2015; Mex-Álvarez, 2016; Chauhan y col., 2022; Domínguez-Hernández y col., 2022). En general, la composición entre los diferentes granos pigmentados, así como en comparación con los granos blancos y amarillos, puede presentar diferentes rangos de variación. Se han realizado varios estudios sobre la composición del maíz pigmentado. En el maíz azul los resultados fueron los siguientes: proteína 8.00 % (bs) , grasa cruda 4.24 % (bs) y ácidos grasos (g/100 g lípidos): Palmítico 14.66, Esteárico 3.53, Oleico 41.54, Linoleico 38.34 y Linolénico 1.15. Para maíz rojo: Proteína 8.20 % (bs), Grasa cruda 4.05 % (bs) y ácidos grasos (g/100 g lípidos): Palmítico 13.48, Esteárico 3.23, Oleico 38.19, Linoleico 42.82 y Linolénico 0.95 (Agama-Acevedo y col., 2011). El contenido de fitoquímicos, micronutrientes y macronutrientes varía según la variedad de maíz, su raza (genotipo), así como la temporada en la que fue cultivado y cosechado. Esto confiere a cada raza y variedad un potencial nutracéutico diferente y condiciona en gran medida sus posibles usos en la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética, entre otras (Sánchez-Nuño y col., 2024).

**Cuadro 3.** Efecto Preventivo / Terapéutico de Fitoquímicos (Compuestos Bioactivos) presentes en Maíz (**Parte 1**).

<b>Compuesto</b>	<b>Parte anatómica</b>	<b>Efecto</b>
<b>Fenólicos</b> (Ac Ferúlico)	Pericario	Previenen estrés oxidativo, cáncer, colesterol alto, arterioesclerosis, envejecimiento.
<b>Antocianinas</b> (antocianinas). <b>Flavonoides</b> (Flavonoles, flavan-3-ols)	Aleurona	Ayudan a reducir el estrés oxidativo, el riesgo de cáncer, los niveles elevados de colesterol, el desarrollo de arterioesclerosis y los signos de envejecimiento.
<b>Carotenoides</b> (Carotenos)	Endospermo (Maíces amarillos)	Los betacarotenos se transforman en vitamina A o retinol en el cuerpo. Tienen propiedades preventivas contra el cáncer, las enfermedades cardiovasculares y fortalecen el sistema inmunológico.
<b>Carotenoides</b> (Xantofilas, Luteína, Zeaxantina, Criptoxantina)	Endospermo (Maíces amarillos)	Ayudan a prevenir la degeneración macular y la formación de cataratas (opacidad del cristalino ocular), así como a retrasar la aparición de síntomas relacionados con la retinitis pigmentosa. También contribuyen a prevenir enfermedades cardiovasculares.
<b>Fitoesteroles</b> (Sitosterol, Estigmasterol, Campesterol)	Germen, Pericarpio, Capa de Aleurona	Compiten con los sitios de absorción del colesterol; son considerados hipocolesterolemicos y para prevención de enfermedades cardiovasculares.
<b>Fibra</b> (Soluble; como Arabinosilanos y Hemicelulosas solubles)	Pericarpio	Mejora la función gastrointestinal al incrementar la viscosidad del bolo alimenticio y reducir el índice glucémico. Esto, a su vez, disminuye el riesgo de diabetes e hipocolesterolemia. Además, la mayoría de las fibras solubles son prebióticas, ya que se fermentan rápidamente en el tracto gastrointestinal posterior, generando ácidos grasos volátiles (inhiben enzima hepática HMG Co-A Reductasa).
<b>Fibra</b> (Insoluble como Celulosa y Lignina)	Endospermo de Maíces Amarillos	Mejora función gastrointestinal, incrementa ácidos biliares, volumen/peso de heces fecales reduciendo constipación, cáncer.

Fuente: Serna-Saldívar (2010)

**Cuadro 4.** Efecto Preventivo / Terapéutico de Fitoquímicos (Compuestos Bioactivos) presentes en Maíz (**Parte 2**).

<b>Compuesto</b>	<b>Parte anatómica</b>	<b>Efecto</b>
<b>Acidos grasos poliinsaturados</b> (Linoleico y Linolénico / Omega 6 y Omega 3)	Germen	Contribuyen a disminuir los niveles de triglicéridos y colesterol en la sangre. Estos ácidos grasos son convertidos en prostaglandinas y otros ácidos grasos importantes como el EPA y el DHA.
<b>Fosfolípidos</b> (Fosfatidil Colina, Etanolamina, Inositol, Serina)	Germen	La Fosfatidil Colina (también conocida como <b>Lecitina</b> ), <b>Etanolamina</b> , <b>Inositol</b> y <b>Serina</b> son fundamentales para el correcto funcionamiento de las membranas celulares y las neuronas cerebrales. Ayudan a prevenir el envejecimiento celular y niveles altos de colesterol. La <b>Colina</b> , en particular, desempeña un papel crucial en la producción de <b>Acetilcolina</b> , que es el principal neurotransmisor del sistema nervioso
<b>Vitaminas</b> (Tocoferoles)	Germen	Los <b>Tocoferoles</b> son compuestos antioxidantes. El <b><math>\alpha</math>-tocoferol</b> , o <b>vitamina E</b> , se reconoce como una segunda línea de defensa contra el estrés oxidativo, lo que contribuye a prevenir enfermedades cardiovasculares, niveles elevados de colesterol y diversos tipos de cáncer. También se ha asociado con mejoras en la capacidad mental y la función cerebral.
<b>Vitaminas</b> (Ácido Fólico)	Capa de Aleurona	El <b>Ácido fólico</b> es vital durante el embarazo, ya que ayuda a prevenir abortos y defectos del tubo neural, así como malformaciones en los bebés. Además, contribuye a reducir los niveles de homocisteína en el organismo, lo que a su vez ayuda en la prevención de enfermedades cardiovasculares.
<b>Policosanoles o Ceras</b> (Octacosanol, Tricontanol, Hexacosanol, Dotacontrianol)	Germen y Pericarpio	<b>Policosanoles.</b> - Reducen lípidos séricos, colesterol y la agregación de plaquetas (Arruzazabala y col, 1996).

**Fuente: Serna-Saldívar (2010)**

## **C TECNOLOGÍAS DE PROCESAMIENTO PARA DESARROLLAR ALIMENTOS FUNCIONALES**

El procesamiento poscosecha, como secar, almacenar y moler cereales y leguminosas, puede alterar la concentración de compuestos fenólicos e influir en la actividad antioxidante. Además, la cocción degrada los compuestos termolábiles. Sin embargo, existen algunos procesamientos que retienen y/o mejoran el contenido de compuestos fenólicos y pueden ser utilizados para desarrollar alimentos funcionales. Estos incluyen bioprocesos como germinación, hidrólisis enzimática y fermentación que, aplicados apropiadamente (optimizados) pueden mejorar el contenido de compuestos fenólicos en cereales, pseudocereales y leguminosas. Adicionalmente, algunos procesos físicos como nixtamalización, sancochado y extrusión pueden mejorar la biodisponibilidad de compuestos fenólicos. Tecnologías recientes que utilizan ultrasonido, polímeros de micro o nano cápsulas y procesos que utilizan infrarrojos han sido reportadas como eficaces a la hora de mejorar el contenido de fenólicos y la bioaccesibilidad. En general, los granos pigmentados, poseen contenido alto de compuestos fenólicos (p.ej. maíz azul) (Kasote y col., 2021).

Es posible desarrollar alimentos funcionales a partir de la germinación, fermentación, hidrólisis enzimática y extrusión de granos integrales, preferentemente pigmentados, para mejorar la bioaccesibilidad de los compuestos fenólicos. Se necesitan estudios clínicos para toda la gama de alimentos funcionales producidos a partir de granos integrales para determinar los beneficios a largo plazo. Se necesitan investigaciones adicionales sobre las ventajas para la salud del microbioma intestinal de los granos integrales pigmentados. El consumo de granos integrales pigmentados y los alimentos funcionales derivados, como alimentos básicos, permitirá brindar beneficios nutricionales y de salud, particularmente a los sectores más pobres de la sociedad, y, al mismo tiempo, satisfacer las preocupaciones de salud de los consumidores urbanos (Gómez-Favela y col., 2021;

Kasote y col., 2021; Moreno-Espinoza y col., 2021; Astorga-Gaxiola y col., 2023; Košutić y col., 2023).

## **1 Germinación**

La germinación suaviza el grano tras la imbibición y aumenta la biodisponibilidad nutricional. Es un método eficaz para aumentar los bioactivos, como el contenido fenólico de cereales y leguminosas (Ti y col., 2014; Xu y col., 2021). La germinación mejora la funcionalidad de las semillas debido al aumento de fitoquímicos y actividades antioxidantes asociadas (Chavarín-Martínez y col., 2022). Se ha descubierto que el trigo y el arroz integral germinados tienen más compuestos fenólicos, tanto libres como ligados, que los granos no germinados (Ti y col., 2014; Bei y col., 2018; Xu y col., 2021). Entre los fenólicos, la cantidad de ácido ferúlico y ácido p-cumárico unidos aumentó significativamente durante la germinación de trigo y el arroz (Bei y col., 2018). En el trigo, la temperatura y la duración de la germinación tienen un efecto benéfico sobre la acumulación de ácidos fenólicos solubles, flavonas C-glucósidos y lignanos (Tomé-Sánchez y col., 2020). En cebada, la germinación alteró sustancialmente el perfil de compuestos fenólicos y su nivel se incrementó significativamente cuando la germinación se prolongó a 36 h (Ge y col., 2021). Chavarín-Martínez y col. (2022) estudiaron el efecto de la germinación + elicitación UV-B sobre composición química, actividad antioxidante (AAox), contenido de compuestos fenólicos totales (CFT), antocianinas totales (AT) y de ácido  $\gamma$ -aminobutírico (GABA, por sus siglas en inglés) en semillas de maíz azul. La aplicación de radiación UV-B (longitudes de onda de 280 - 311 nm) durante 37 h fue un inductor eficaz. La harina de maíz azul germinado-elicitado (HMAGE) tuvo mayor contenido de proteínas (+29.1%), fibras dietaria (+22.0 %) y mayor AAox (ABTS: +133.9%; DPPH: +173.4%) que la harina de maíz azul crudo (HMAC). El incremento en AAox estuvo estrechamente relacionado con el aumento observado en CFT (+587 %), AT (+29.9%) y GABA



**Germinación**  
Efecto sobre calidad nutricional,  
compuestos bioactivos y  
propiedades nutraceuticas

Proteínas	↑↑
Digestibilidad proteínica	↑↑
Fibra dietaria	↑↑
Lípidos	↓↓
Vitaminas	↑↑
Almidón resistente	↑↑
Actividad antioxidante	↑↑
Rutina	↑↑
Taninos	↑↑
Lunasina	↑↑
Isoflavonas	↑↑
Antocianinas	↑↑
GABA	↑↑

**Fig 4. Germinación**

Mejora calidad nutricional de las semillas al incrementar fibra dietaria total, contenido de aminoácidos y reducir factores antinutricionales. Durante la germinación, compuestos con actividad antioxidante se incrementan. El consumo de germinados favorece reducción de incidencia de enfermedades asociadas al estrés oxidativo (hipertensión, diabetes, hipercolesterolemia, cáncer)

**Fuente: Peucar-Menacho y col. (2010), Perales-Sánchez y col. (2015), Gómez-Favela y col. (2017), Salas-López y col. (2018), Chavarín-Martínez y col. (2019, 2021), Domínguez-Arispuero y col. (2018, 2021), Bon-Padilla y col. (2022)**

(+199.9%). La HMAGE podría utilizarse como fuente de proteínas, fibra dietaria y antioxidantes naturales en la formulación de nuevos alimentos y bebidas funcionales. Estos resultados también podrían contribuir al uso y conservación del maíz azul, un cereal subutilizado.

## **2 Fermentación en estado sólido (FES)**

La FES de centeno germinado incrementó el contenido de ácidos fenólicos libres, compuestos fenólicos totales, ácidos fenólicos libres y lignanos; por otro lado, la FES del salvado de centeno incrementó el contenido de compuestos fenólicos totales y de ácido ferúlico (Katina y col., 2007). Asimismo, la fermentación con *Lactobacillus johnsonii* LA1, *Lactobacillus reuteri* SD2112 y *Lactobacillus acidophilus* LA-5 incrementó el contenido de ácidos fenólicos libres de 2.6 a 69.9 µg/g y de 4.1 a 109.4 µg/g de masa seca en granos integrales de cebada y avena, respectivamente (Hole y col., 2012). Salar y col. (2012) reportaron que la FES de maíz, utilizando *Thamnidium elegans* CCF 1456, incrementó el contenido de compuestos fenólicos totales. Utilizando técnicas de FES, los granos de trigo de diferentes cultivares fermentados con una cepa de *Aspergillus awamori* incrementaron su contenido de compuestos fenólicos totales (Sandhu y col., 2016). En avena, FES con *Monascus anka* incrementó contenido de compuestos fenólicos, especialmente ácido ferúlico en la fracción insoluble y ácido vainílico en la fracción soluble. Esta investigación demostró que las enzimas hidrolizantes de carbohidratos de *Monascus anka* mediaban la movilización de compuestos fenólicos de la avena fermentada. Además, la xilanasa y la celulasa fueron fundamentales para degradar la estructura celular (Bei y col., 2018). Por otro lado, según Yin y col. (2018) la FES de salvado de trigo con especies de *Aspergillus* dio como resultado la liberación de ácidos fenólicos ligados (ácidos ferúlico,



**Fig 5. Fermentación en Estado Sólido**

Efecto de la fermentación en estado sólido (FES) sobre calidad nutricional, compuestos bioactivos y propiedades nutracéuticas. FES= Bioprocesamiento microbiano de sustrato alimenticio sólido (soporte físico y fuente de nutrimentos) en presencia de poco líquido libre superficial. Tempe = Alimento tradicional de origen indonés (soya / *Rhizopus oligosporus*)

**Fuente:** Reyes-Moreno y col. (2000a,b, 2004), Cuevas-Rodríguez y col. (2004, 2006), Angulo-Bejarano y col. (2008), Reyes-Bastidas y col. (2010), Guzmán-Urriarte y col. (2013), Sánchez-Magaña y col. (2013), Rochín-Medina y col. (2015), Sánchez-Magaña y col. (2019), Mora-Uzeta y col. (2019)

clorogénico y siríngico). Acorde a lo reportado por Chen y col. (2019) la FES de fracciones de salvado de arroz, trigo y centeno incrementa su contenido de compuestos fenólicos totales y su bioaccesibilidad. A medida que se fermentó el salvado de arroz desgrasado, mejoró la biodisponibilidad de los fenólicos en un 64.4 % en comparación con el salvado crudo.

### **3 Extrusión**

Los granos integrales contienen una variedad de componentes bioactivos y tienen un papel comprobado en el control de enfermedades crónicas. Las "Guías Dietéticas Mundiales" recomiendan incrementar la ingesta de granos integrales en la dieta (Yi y col., 2022). La extrusión es un proceso termomecánico, que cambia las propiedades estructurales y funcionales del material extrudido debido a la exposición a temperaturas, presiones y fuerzas de corte altas durante un período de tiempo corto (Ramos-Enríquez y col., 2018; Zhang y col., 2018). La extrusión es una tecnología versátil y avanzada que suele utilizarse para desarrollar alimentos con alta calidad nutricional y sensorial. Esta tecnología se utiliza ampliamente en la producción de alimentos a partir de granos integrales y el proceso de extrusión puede provocar una serie de cambios en las propiedades y composición de estos granos. La extrusión afecta sus propiedades fisicoquímicas, incluida su composición química, propiedades de expansión, propiedades de pegado, propiedades de hidratación, textura, color y microestructura (Yi y col., 2022). Los alimentos extruidos, a partir de granos integrales, pueden inhibir significativamente enfermedades crónicas como la diabetes y la obesidad, además de reducir la oxidación y la inflamación debido a los cambios en las propiedades fisicoquímicas de los granos integrales durante la extrusión. Estos procesos de extrusión son útiles para incrementar el contenido de compuestos fenólicos y mejorar su bioaccesibilidad en productos a base de granos integrales (cereales,



**Fig 6. Extrusión**

Extrusión: Tecnología apta para desarrollo de alimentos funcionales. Ventajas: (1) Incrementa digestibilidad y valor biológico de las proteínas, (2) Retiene (más del 60%) y/o incrementa contenido de compuestos bioactivos / propiedades nutraceuticas, (3) No genera efluentes

**Fuente:** Reyes-Moreno y col. (2002, 2003, 2012, 2013, 2018), Milán-Carrillo y col. (2002, 2006, 2007, 2012), Gutiérrez-Dorado y col. (2008), Mora-Rochín y col. (2010, 2016), Aguayo-Rojas y col. (2018), Garzón-Tiznado y col. (2013), Montoya-Rodríguez y col. (2014a,b,2015), Corrales-Bañuelos y col. (2016), Gaxiola-Cuevas y col. (2017), Argüelles-López y col. (2018), Félix-Medina y col. (2020), Gámez-Valdez y col. (2021), León-Murillo y col. (2021), Astorga-Gaxiola y col. (2022), Chávez-Ontiveros y col. (2022)

pseudocereales, leguminosas). Por tanto, la extrusión es un método eficaz para el “desarrollo de alimentos funcionales” a partir de granos integrales (Ramos-Enríquez y col., 2018; Yi y col., 2022; Chávez-Ontiveros y col., 2022).

Hole y col. (2012) realizaron estudios utilizando un modelo porcino y demostraron que la extrusión de cebada y avena mejoró la bioaccesibilidad de los ácidos fenólicos de la dieta en comparación con la cebada integral y la avena descascarillada. Ti y col. (2014) informaron que, en el salvado de arroz negro, los compuestos fenólicos y las antocianinas totales se incrementaron después de la extrusión. Zeng y col (2016) reportaron que la extrusión incrementó el contenido de ácidos fenólicos de arroz, trigo y avena integrales en un 6.5, 8.8 y 9.1 %, respectivamente. El efecto observado dependió de la matriz del cereal y de la sensibilidad de los fenólicos libres y ligados. Chen y col. (2019) observaron que la bioaccesibilidad de los fenólicos aumentaba en un 40.5 % en el salvado de arroz extruido después de la digestión *in vitro* en comparación con el salvado de arroz crudo.

## **D ALIMENTOS DE MAYOR CONSUMO EN MÉXICO**

Los alimentos de mayor consumo en México son la tortilla de maíz nixtamalizado, el pan de mesa y la tortilla de harina de trigo. Se estima que el 94% de la población mexicana consume tortilla de maíz nixtamalizado de manera regular. El consumo es de 335 g por día *per cápita*, equivalente al consumo de 122 kg/año (FAO, 2016) que pueden llegar a los 144 kg en el autoconsumo (CEDRSSA, 2015). La tortilla contiene 6.3% de proteína, 1.2% de fibra, 0.85% de grasas, 46% carbohidratos y 1% de minerales, en base húmeda (Martínez-Vázquez y col., 2017). Para cubrir la demanda de tortilla existe, ampliamente distribuida en todo el país, la industria de la tortilla, que produce un promedio de 40,200 ton de tortillas / día, y aproximadamente 14.67 millones ton tortilla / año (SNIIM, 2020).

La industria de la panificación engloba aquellas empresas dedicadas a la elaboración, distribución y venta tanto al por mayor como al por menor de una

amplia gama de productos horneados, que incluyen panes, pasteles, galletas, crackers y tortillas. En la gastronomía mexicana, el pan dulce ocupa un lugar emblemático y, al igual que las tortillas, es un elemento indispensable en el desayuno y la merienda. A nivel global, el pan dulce mexicano se distingue por su autenticidad y diversidad, con más de 300 variedades reconocidas, que incluyen desde pan blanco como el bolillo y la telera, hasta conchas, corbatas, cuernos, banderillas, orejas, polvorones y pan de muerto, entre otros. Según expertos en historia gastronómica, esta amplia variedad y el colorido del pan dulce son el resultado de siglos de experimentación que fusionaron la tradición mexicana con influencias extranjeras. Según la Cámara Nacional de la Industria Panificadora (CANAINPA), el consumo *per cápita* anual de pan es de 33.5 kg, del cual alrededor del 75% corresponde al pan blanco y el restante a pan dulce, galletas y pasteles (UCSJ, 2019).

En México se consumen diariamente 60 millones de tortillas de harina de trigo. En el año 2016, se elaboraron 126,000 toneladas de tortillas de harina de trigo, con los estados de Nuevo León, Sonora, Baja California y Chihuahua concentrando el 46% del consumo total. En Sonora, la tortilla de harina de trigo complementa aproximadamente el 40% de los platillos típicos, mientras que en Nuevo León, se posiciona como el séptimo alimento más consumido. Estos cuatro estados consumieron, en 2016, alrededor de 57,000 mil ton de tortillas de harina de trigo. Rubén Hernández, embajador de la marca Inca en México, explicó que la tortilla de harina en nuestro país no es sólo un alimento sino una tradición, además de ser un elemento que ha reunido generaciones y dado un sentido de continuidad en los estados donde predominantemente se consume (Hernández, 2016).

## **E LA TORTILLA DE MAÍZ NIXTAMALIZADO**

### **1 Introducción**

México fue, en 2021, uno de los principales productores de maíz del mundo, con 27 millones ton de los 1,200 millones ton producidas a nivel mundial. Las tortillas de

maíz, preparadas con masa de maíz nixtamalizado, son fundamentales en la dieta de México y algunas naciones de Centroamérica. La masa de maíz nixtamalizado puede ser fresca o rehidratada a partir de harina de masa seca. La calidad nutricional de estas tortillas puede fluctuar según el genotipo de maíz utilizado y las técnicas empleadas en su elaboración. México tiene diversos genotipos como variedades locales, variedades e híbridos en diferentes regiones (FAO, 2023). Las variedades locales son diversas variedades tradicionales de polinización abierta adaptadas a regiones específicas a lo largo de generaciones, mientras que los híbridos y variedades, que son más uniformes en su composición genética y se han desarrollado mediante técnicas modernas de mejoramiento, apuntan a producir mayores rendimientos. Además, las variedades se crean mediante cría selectiva durante al menos siete generaciones, mientras que los híbridos son el resultado del cruce de dos líneas endogámicas genéticamente uniformes. Con la creciente demanda de maíz, se ha producido un cambio hacia el cultivo de híbridos y variedades de alto rendimiento para satisfacer la demanda de alimentos, piensos y la industria (Acosta-Estrada y col., 2023).

Se ha estudiado ampliamente la calidad nutricional de las tortillas de maíz producidas a partir de variedades locales e híbridos y variedades de alto rendimiento. No obstante, los estudios actuales en este campo tienden a examinar (Chávez y col., 2020; Rodríguez-Salinas y col., 2020). Sin embargo, estos estudios a menudo no tienen en cuenta la complejidad de la situación, ya que la mayoría de las variedades locales evaluadas son azules. Además, estas evaluaciones generalmente comparan variedades locales con contrapartes comerciales blancas sin especificar el genotipo, y las tortillas en su mayoría se compran y se elaboran sin su insumo o control. Esto genera preocupación sobre el impacto del cambio



**Fig 7. Tortilla de Maíz Nixtamalizado**

Tortilla de Maíz Nixtamalizado: Alimento de mayor consumo en México (° 1,400 millones tortillas / día ° 94 % hogares mexicanos ° 110-144 kg tortillas / año ° 180,766 tortillerías)

**Fuente: Unión Nacional Industriales de Molinos y Tortillerías (2018), DENU-INEGI (2022)**

hacia híbridos y variedades de alto rendimiento en la calidad nutricional de las tortillas de maíz, que es el alimento básico más importante en México (Acosta-Estrada y col., 2023).

Los consumidores mexicanos buscan alimentos tradicionales nativos para mejorar su ingesta de nutrimentos y fitoquímicos que promueven la salud (Colín-Chávez y col., 2020). Sin embargo, no hay información sobre el desempeño general de diferentes genotipos de maíz en las características nutricionales de las tortillas. Por ejemplo, Urías-Lugo y col. (2014, 2015) investigaron composición química, propiedades físicas y compuestos bioactivos de los híbridos de maíz azul, mostrando que estas variedades tienen una mayor capacidad antioxidante, contenido fenólico y valor nutricional que el maíz blanco o amarillo. Mariscal-Moreno y col. (2015) examinaron la composición nutricional de tortillas de maíz elaboradas a partir de diferentes variedades locales híbridos, destacando la variabilidad en el contenido de proteínas, fibra y minerales entre variedades. Salinas Moreno y col. (2017) evaluaron contenido de compuestos fenólicos, capacidad antioxidante y perfil de ácidos grasos de diferentes variedades de maíz de colores; reportaron que unas tienen mayor potencial antioxidante y nutracéutico que otras. Herrera-Sotero y col. (2017) estudiaron composición química y propiedades térmicas del almidón de maíz de diferentes variedades; observaron que las características del almidón pueden variar dependiendo de factores genéticos y ambientales. Gaxiola-Cuevas y col. (2017) evaluaron perfiles de ácidos fenólicos y actividad antioxidante celular en tortillas elaboradas con maíz criollo mexicano procesado de dos formas (nixtamalización tradicional / nixtamalización por extrusión); los resultados obtenidos sugieren que los maíces criollos mexicanos utilizados en esta investigación pueden ser considerados para la elaboración de productos alimenticios nixtamalizados y extrudidos con potencial nutracéutico. Salinas-Moreno y col. (2017) y Rodríguez-Salinas y col. (2020) reportaron composición de ácidos grasos y propiedades

fisicoquímicas de tortillas de maíz elaboradas con variedades de diferentes colores: observaron que algunos tipos tenían mayor calidad nutricional que otros.

En una revisión reciente, Acosta-Estrada y col. (2023) comparan la calidad nutricional de tortillas elaboradas a partir de variedades locales e híbridos y variedades de alto rendimiento, así como harinas de masa seca, con un enfoque particular en micronutrientes y compuestos bioactivos como fenólicos, minerales y antioxidantes, pero también sobre fracciones de almidón y proteínas como uno de los principales macronutrientes de los productos a base de tortilla y maíz. La revisión brinda información sobre los posibles beneficios para la salud del uso de variedades de maíz en la producción de tortillas que pueden ser útiles para Consumidores, Agricultores y Procesadores de Alimentos.

## **2 Mejoramiento de la calidad nutricional / nutracéutica de la tortilla**

En México, el principal producto alimenticio del maíz es la tortilla, con un consumo diario promedio de 1,400 millones de tortillas. El consumo anual de México asciende a más de 120 kg *per cápita*; en la edad adulta se consumen de 8 a 10 tortillas diarias. Una de las principales limitaciones de las tortillas es la falta de lisina. El proceso de nixtamalización tradicional, utilizado para elaborar tortillas de maíz nixtamalizado, presenta problemas de descargas líquidas contaminantes; por cada kilogramo de maíz nixtamalizado se emplean de 3-10 L de agua. La nixtamalización por extrusión, alternativa a la nixtamalización tradicional, no genera efluentes contaminantes y todos los componentes del grano, incluido el pericarpio, son retenidos, produciendo una tortilla con mayor contenido de fibra y mayor potencial nutracéutico (Milán-Carrillo y col., 2006; Escalante-Aburto y col., 2013; León-López y col., 2019; Mora-Rochín y col., 2021). Las tortillas de calidad nutricional / nutracéutica alta, representan un excelente vehículo para mejorar el estado nutricional de los consumidores de tortillas (mexicanos). Varios investigadores han reportado mejoras en la calidad de la tortilla de maíz en cuanto



**Fig 8. Mejoramiento de la Calidad Nutricional / Nutracéutica de la Tortilla**  
La utilización de harina de maíz nixtamalizado adicionada con harina de pseudocereales (amaranto, chía) y/o leguminosas (frijol, garbanzo, lenteja), extrudidos en condiciones optimizadas, mejora sustancialmente la calidad nutricional / nutracéutica de la tortilla

**Fuente: Treviño-Mejía y col. (2016), León-López y col. (2019), León-Murillo y col. (2021), Bon-Padilla y col. (2022)**

a propiedades nutricionales y nutraceuticas mediante la adición de varios tipos de harinas: frijol (Treviño-Mejía y col., 2016), soya (Chuck-Hernández y Serna- Saldívar, 2019), soya germinada (Inyang y col., 2019), chía desgrasada extrudida (León-Murillo y col., 2021), garbanzo extrudido (Bon-Padilla y col., 2022).

La fortificación de tortillas de maíz azul criollo con harinas de pseudocereales / leguminosas extrudidas representa una alternativa para mejorar sus propiedades nutricionales y nutraceuticas. Los consumidores mexicanos buscan alimentos tradicionales nativos para mejorar su ingesta de nutrimentos y fitoquímicos que promueven la salud (Colín-Chávez y col., 2020).

## IV HIPÓTESIS

Las tortillas representan un excelente vehículo para mejorar el estado nutricional y reducir la incidencia de enfermedades crónico-degenerativas (ECD) de los Mexicanos. Los granos integrales (maíz, frijol, amaranto, chía), procesados por extrusión, aumentan su contenido de compuestos fenólicos y actividad antioxidante relacionada con propiedades nutraceuticas. Poseen un gran potencial para ser utilizados como ingredientes funcionales para su uso en la elaboración de tortillas que pueden incluirse en las "Portafolios Alimentarios" para mejorar estado nutricional y reducir riesgo de incidencia de enfermedades crónico-degenerativas (ECD). La adición de harinas de granos integrales extrudidos (frijol, amaranto, chía) a harina de maíz azul integral extrudido permite producir "tortillas funcionales" con mejores propiedades nutricionales/nutraceuticas que las "tortillas tradicionales" [tortillas de harina de maíz nixtamalizado comercial (MASECA<sup>MR</sup>).

Las "tortillas funcionales" tendrán un mejor equilibrio de aminoácidos esenciales, más proteínas, mejores perfiles de compuestos bioactivos (principalmente compuestos fenólicos) y fibra dietaria, un mejor "potencial nutraceutico (antioxidante, antihipertensivo, hipoglucémico), y un mejor efecto en el crecimiento de animales (modelo murino) en el que se refiere a incremento de peso corporal, longitud y peso del fémur, densidad ósea y que las "tortillas tradicionales".

Los resultados de esta investigación podrán ser utilizados como "evidencia científica" para justificar el establecimiento de políticas públicas para mejorar el estado nutricional y reducir el riesgo de incidencia de ECD. Políticas públicas: **(1)** Rescate de maíz nativos, **(2)** Convertir a México en el primer productor mundial de amaranto, **(3)** Crear Programas Estatales / Nacionales para promover, incentivar alimentación saludable (consumo tortillas funcionales) en toda la población, principalmente la vulnerable, para Mejorar el estado nutricional y reducir el riesgo de incidencia de ECD.

## V JUSTIFICACIÓN

La prevalencia del sobrepeso y la obesidad ha aumentado continuamente durante el último siglo, particularmente en los países de bajos ingresos, tanto en adultos como en niños. La obesidad no es solo un factor de riesgo importante de enfermedades metabólicas, sino también de enfermedades cardiovasculares, accidentes cerebrovasculares, diabetes tipo 2 y cáncer. La tendencia creciente de estas enfermedades ha ido acompañada de un incremento en el consumo de "alimentos ultraprocesados". Estos productos están nutricionalmente desequilibrados; tienen un elevado contenido en azúcares, grasa total, grasas saturadas y sodio, y un bajo contenido de proteínas de calidad, fibra dietaria, minerales y vitaminas, en comparación con productos y comidas sin procesar o mínimamente procesados. Se ha reportado que las personas con mayor consumo de productos ultraprocesados tienen 18% más probabilidad de presentar sobrepeso y 26% más para obesidad, en comparación con las personas en la categoría más baja de consumo. En México, cerca del 30% de la energía que consume nuestra población proviene de productos ultraprocesados.

La mayoría de los adultos mexicanos consume diariamente menos de la cantidad recomendada de granos integrales, fibra dietaria y compuestos con actividad antioxidante. El incremento en la ingesta de estos alimentos se relaciona con la reducción del riesgo de desarrollar ECD (hipertensión, diabetes, enfermedades cardiovasculares). Con el incremento en la prevalencia de estas enfermedades y la ingesta inadecuada de granos integrales, fibra dietaria y compuestos con actividad antioxidante, es evidente la necesidad de "alimentos saludables" de amplio consumo. En México, la tortilla se consume diariamente en el 96% de los hogares, una mejora significativa en la calidad nutricional / nutracéutica de la tortilla de maíz nixtamalizado podría dar como resultado "tortillas saludables", sensorialmente aceptables.

Ante la escasez de alimentos saludables y con buena aceptación por parte del consumidor, las "tortillas funcionales" [elaboradas con mezclas de harinas de maíz azul y amaranto integrales (70:30)] obtenidas mediante extrusión (proceso que no genera efluentes), resultarían una alternativa novedosa, de valor nutricional / nutracéutico alto y sensorialmente aceptables.

Futuras oportunidades de investigación incluyen estudios sobre el efecto de agregar a las tortillas de maíz nixtamalizado harinas de granos (frijol tépari, amaranto, chía) previamente sometidos a procesamiento secuencial (germinación – extrusión), sobre propiedades nutricionales y nutracéuticas, sobre parámetros de salud asociados con ECD. Investigaciones similares se realizarán con granos (garbanzo, frijol común, frijol tépari) sometidos a procesamiento secuencial "fermentación en estado sólido-extrusión" para mejorar sus propiedades nutricionales y nutracéuticas y ser sensorialmente aceptables.

## VI OBJETIVOS

### A OBJETIVO GENERAL

Conocer propiedades nutricionales (*in vitro* / *in vivo*) y nutracéuticas (*in vitro*) de tortillas funcionales amaranto – maíz (hechas con maíz nativo azul extrudido adicionado con amaranto integral extrudido) para justificar científicamente su inclusión en portafolios alimentarios (Programas Estatales / Nacionales) para reducir desnutrición e incidencia de enfermedades crónico-degenerativas.

### B OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1 Evaluar propiedades nutrimentales de harinas de maíz azul y de amaranto integrales extrudidos y de sus tortillas (Tortilla funcional maíz azul – amaranto integrales extrudidos)

2 Evaluar las propiedades nutricionales [Contenido de aminoácidos esenciales (**AAE**), digestibilidad de proteínas *in vitro* (**DPIV**), relación de eficiencia proteínica calculado (**C-PER**), índice de eficiencia de proteínas (PER), relación neta de proteínas (**NPR**), digestibilidad de proteínas corregida por puntuación de **AAE** (**PDCAAS**)] de las "tortillas funcionales maíz azul – amaranto integrales extrudidos" (**TFHMA-AE**)

3 Conocer la actividad biológica *in vitro* (antioxidante, antihipertensiva, hipoglucémica) de los extractos de compuestos fenólicos de las "tortillas funcionales".

4 Determinar mediante un bioensayo el efecto de la calidad de la proteína de "tortillas funcionales de maíz azul – amaranto extrudidos" (**TFHMA-AE**) sobre las características físicas (longitud, peso, fuerza de corte, densidad) de los fémures de ratas macho Wistar.

## VII MATERIALES Y MÉTODOS

### A MATERIALES

Granos integrales de maíz azul criollo (*Zea mays* L) y amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* L) se obtuvieron en mercados de las localidades de Tepeaca, Puebla, México y Temoac, Morelos, México, respectivamente. Los granos se limpiaron y envasaron en recipientes de plástico, de cierre hermético, en lotes de 01 kg y almacenados bajo refrigeración (5-10 °C) hasta su uso.

### B MÉTODOS

#### 1 Producción harinas de maíz azul y amaranto extrudidos (HMAE, HME)

La producción de HMAE y HME se realizó acorde a la metodología propuesta por Milan-Carrillo y col. (2006) y Milán-Carrillo y col. (2012), respectivamente. Lotes de 500 g se grano (maíz azul, amaranto) se colocaron en licuadora doméstica para obtener fragmentos, que pasaron a través de tamiz de malla 40 US (0.425 mm) pero que quedaron retenidas sobre un tamiz de malla 200 US (0.074 mm), y polvo fino. Los fragmentos de los granos se mezclaron con cal (0.21 g/100 g de grano fragmentado) y agua para lograr un nivel de agua de 28 g/100 g maíz azul y 20 g/100 g amaranto, respectivamente. Todos los lotes se empacaron en bolsas de polietileno y se almacenaron (4 °C/12 h). Antes de la extrusión, los granos fragmentados se atemperaron (25 °C). La extrusión se llevó a cabo en un extrusor de Laboratorio de un solo tornillo Modelo 20 DN (CW Brabender Instruments, Inc, NJ, EUA). Una tolva accionada por tornillo alimentó la materia prima al extrusor a 30 rpm. La velocidad de alimentación se fijó en 70 g/min. La temperatura de extrusión se definió como la temperatura del dado al final del cilindro. Las condiciones de operación del extrusor fueron las siguientes [Temperatura de extrusión (TE) y velocidad del tornillo (VT)]: Maíz azul criollo: TT=85 °C/VT=240 rpm; amaranto: TE=130 °C/VT=124 rpm. Los extrudidos enfriados y equilibrados en condiciones ambientales (25 °C, HR=65 %), se molturaron (UD Cyclone Sample

Mill, UD Corp, Boulder, CO, EUA) para pasar a través de un tamiz de malla 80-US (0.180 mm) y se empaquetaron en bolsas de plástico. Las harinas de maíz azul y amaranto extrudidos (HMAE, HAE) se almacenaron a 4°C hasta su utilización.

## **2 Evaluación de calidad de tortillas funcionales elaboradas a partir de HMAE y HAE**

Las "Tortillas Funcionales Maíz Azul – Amaranto " (**TFHMA-AE**) se elaboraron a partir de una mezcla de harinas de maíz azul y amaranto integrales extrudidos (70% **HMAE** + 30% **HAE**). Las **TFHMA-AE** compararon con tortillas elaboradas con 100% **HMAE** (**THMA**). Como control se utilizaron tortillas elaboradas con **MASECA<sup>MR</sup>** de maíz azul. Las tortillas se prepararon con agua a 30 °C hasta obtener una consistencia adecuada. El "inflado" de las tortillas se evaluó durante su cocción utilizando una escala de 1 a 3, donde: **1**= Sin inflado, **2**= Inflado intermedio y **3**= Inflado completo (Milan-Carrillo y col. 2006). Se evaluó la "rolabilidad" de la tortilla 30 min después de la elaboración. Se enrollaron utilizando una varilla de vidrio de 2.54 cm de diámetro y el grado de rotura de la superficie de la tortilla (0-100 %) indicó la enrollabilidad (1-5) de la siguiente manera: **5**=100%, **4**=75%, **3**=50 %, **2**=25% y **1**=0% (Bedolla y Rooney, 1984). Para la evaluación sensorial, se presentaron pequeños trozos (cuadrados) de tortilla precalentados a 45°C a ciento veinte consumidores (de 18 a 35 años), quienes eran consumidores habituales de tortilla. Los panelistas utilizaron agua corriente como limpiador del paladar. Entre muestras. Los panelistas evaluaron sabor, olor, color, textura y aceptación general. Se pidió a cada panelista que indicara su grado de agrado o desagrado utilizando una escala hedónica de 9 categorías (1 = no me gusta extremadamente y 9 = me gusta extremadamente). Las tortillas (**MASECA<sup>MR</sup>** maíz azul, **THMA**, **TFHMA-AE**) se secaron y molturaron para obtener "harina de tortillas" adecuada para evaluar composición nutrimental y propiedades nutricionales y nutraceuticas de las tortillas.



**Fig 9. Elaboración Tortillas Funcionales Maíz Azul – Amaranto**

Elaboración de "Tortillas Funcionales Maíz Azul – Amaranto" (TFMAA) a partir de la mezcla 70% Harina de Maíz Azul Extrudido (HMAE) + 30% Harina de Amaranto Extrudido (HAE).

Adaptado de: Milán-Carrillo y col. (2006), Milán-Carrillo y col. (2012)

### **3 Composición química de las tortillas**

#### **a Humedad**

Se determinó humedad en las muestras aplicando el método 925.09B de la AOAC (2012). Se calculó la pérdida de peso de 2 g de muestra, después de calentar a 130°C durante 1 h en una estufa con circulación de aire forzado (FELISA mod 142<sup>a</sup>, México).

#### **b Proteína cruda**

Se utilizará el método 960.52, microKjeldahl, de la AOAC (2012) para la determinación de nitrógeno en un sistema Kjeltex (Mod 1009 y 1002, Tecator, Suecia). Se digirieron 0.2 g de muestra, con 5 mL de ácido sulfúrico y mezcla reactiva de selenio (Merck Co., Alemania) a una temperatura de 200°C. En la destilación de la muestra, previamente diluida con 10 mL de agua, se emplearon disoluciones de NaOH al 40% y ácido bórico al 4% como indicador para recibir el destilado. La titulación se llevó a cabo con una disolución valorada de HCl 0.1 N. Posteriormente, la proteína cruda se calculó por multiplicación del contenido de nitrógeno total por el factor 6.25.

#### **c Lípidos**

Se extrajo 1 g de muestra en un sistema Soxtec (Mod 1043, Tecator, Suecia) durante 4 h a 70°C con éter de petróleo, y se cuantificó según lo recomendado por el método 920.39C de la AOAC (2012).

#### **d Minerales**

El contenido de cenizas se determinó de acuerdo con el método 923.03 de la AOAC (2012). Este se calculó a partir de la pérdida de peso de 2 g de muestra después de incineración en una mufla (Felisa mod FE 330, México) a 550°C durante 3 h.

#### **e Fibra dietaria (soluble, insoluble)**

Se determinó de acuerdo al método oficial 985.29 (AOAC 2012), siguiendo las instrucciones del kit de análisis de fibra dietaria total (TDF-100, Sigma). A 1 g de muestra seca desgrasada se le agregaron a 50 mL de solución reguladora de fosfato (pH 6) y se gelatinizó (95°C, 10 min) con 100 µL de alfa-amilasa, posteriormente se ajustó el pH a 7.5 y posteriormente se hizo una digestión enzimática con 100 µL de solución de proteasa (5 mg) (60°C, 30 min), se ajustó el pH (4-4.6) y se agregó 100 µL de amiloglucosidasa (60°C, 30 min) para degradar las proteínas y almidón. Se precipitó la fibra adicionando cuatro volúmenes de etanol. El residuo total se filtró y lavó con etanol al 78%, etanol al 96% y acetona. Posteriormente el residuo se secó (70°C, 12 h), se registró el peso, se determinó el contenido de proteína y cenizas del residuo. El contenido de fibra dietética total se calculó empleando la siguiente formula:

$$\text{FDT} = [(\text{Peso del Residuo} - \text{P} - \text{A}) / (\text{Peso de la Muestra})] \times 100$$

Dónde: **Peso del residuo** = promedio de los pesos (mg) de los residuos de las muestras; **P** y **A** = Pesos (mg) de proteína y cenizas de los residuos; **Peso de la muestra** = Promedio de los pesos (mg) de las muestras crudas.

#### **f Carbohidratos**

El contenido de carbohidratos se calculó por diferencia.

### **4 Propiedades nutraceuticas de las tortillas**

#### **a Actividad antioxidante**

Para la evaluación de la actividad antioxidante, primeramente, se llevó a cabo una extracción de fitoquímicos libres y ligados. La extracción de fitoquímicos libres se realizó acorde a Adom y Liu (2002). Los fitoquímicos libres se extrajeron de 0.5 g de muestra con 10 mL de etanol al 80% (v/v); la suspensión se agitó en un rotavapor (OVAN noria R, EUA 2010) a 25 rpm / 10 min. Se centrifugó a 3,000

xg/10°C durante 10 min. El sobrenadante se colocó en un tubo cónico y se concentró a 45°C a presión baja (Apud Vac Concentrator, Thermo Elector Corporation) hasta alcanzar un volumen final de 2 mL. El concentrado, conteniendo los fitoquímicos libres, se almacenó (-20°C) hasta su posterior utilización. El precipitado se utilizó para la extracción de fitoquímicos ligados.

La extracción de fitoquímicos ligados se realizó según el procedimiento de Adom y Liu (2002), con ligeras modificaciones (Mora-Rochín y col, 2010). El precipitado se digirió con 10 mL de NaOH 2 M, se eliminó el oxígeno con presencia de N<sub>2</sub> gas y la muestra se sometió a tratamiento térmico [Baño María a 95 °C/30 min]. Posteriormente se agitó durante 1 h a temperatura ambiente (25 °C). La mezcla se neutralizó con 2 mL de HCl concentrado, se agitó por 2 min en un vórtex y se centrifugó (3,000xg/10°C) por 10 min. Posteriormente se realizó una extracción con hexano para remover lípidos y se realizaron extracciones de los fitoquímicos ligados con acetato de etilo, el cual se colectó y almacenó en tubos cónicos. Esta operación se realizó cinco veces. La fracción de acetato de etilo se evaporó hasta sequedad (Apud Vac Concentrator, Thermo Elector Corporation). Los compuestos extraídos, fitoquímicos ligados, se reconstituyeron con metanol y almacenaron (-20°C) hasta su utilización.

### **1) Actividad antioxidante ABTS**

Se determinó la capacidad de captación de radicales libres mediante el método de ABTS [ácido 2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolona-6-sulfónico)], el cual es un potente radical libre. El ensayo se realizó acorde a Re y col. (1999). Este método se basa en la generación de un cromóforo del radical ABTS\* (color verde) y la capacidad del antioxidante para decolorar este radical. Se preparó una solución de ABTS mezclada con persulfato de potasio (K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub>) a una concentración de 2.45 mM en etanol, la solución restante se almacenó en oscuridad por 16 h para permitir el desarrollo del radical. Posteriormente se realizó una dilución de la solución en agua desionizada

hasta alcanzar una absorbancia de 0.7 – 1.0 a 735 nm. Se prepararon diluciones de los extractos de los fitoquímicos libres y ligados en agua desionizada a diferentes concentraciones, se tomaron 20 µl del blanco (agua) y se mezclaron con 1980 µl de la solución de ABTS\*, se homogenizaron suavemente y su absorbancia fue leída después de 15 min a 734 nm. La capacidad antioxidante se expresó en µmol equivalentes de Trolox (ET)/100g de muestra, base seca (bs). La determinación se realizó por triplicado.

## **2) Actividad antioxidante ORAC**

Se aplicó la metodología propuesta por Prior y col. (2003). El método de capacidad de absorbancia de radicales oxígenos (ORAC, por sus siglas en inglés) se desarrolló para compuestos hidrofílicos y lipofílicos. Se utilizó el compuesto 2-2'-azobis amidinopropano (AAPH) que mediante la degradación térmica produce radicales peroxilo (ROO\*), los cuales oxidan al compuesto fluorescente, Diclorofluoresceína (DCFH) al compuesto no fluorescente, Diclorofluoresciscina (DFC). La preparación de la solución de AAPH, se realizó de la siguiente manera: 0.207 g del reactivo se aforó en un matraz volumétrico de 5 ml con solución reguladora de fosfato (pH 7.4). La fluoresceína se preparó a una concentración de 0.1 mM con solución reguladora de fosfato (pH 7.4) hasta el final debido a que en condiciones ambientales puede oxidarse lentamente. Para la preparación de las muestras a analizar, se llevaron a cabo diluciones a cada una de los extractos, tanto libres como ligados, empleando 75 mM solución reguladora de fosfato (pH 7.4). Posteriormente se transfirieron 25 µl de cada dilución y de cada punto de la curva de Trolox (por triplicado) a una placa de 96 pozos, la cual, previamente se cargó cargada con 180 µl de agua destilada únicamente en los pozos de las orillas de la placa. La placa con las muestras se colocó en el lector de microplatos (Synergy<sup>HT</sup> Multi-Detection, BioTek, Inc., Winooski, VT) del espectrofotómetro de fluorescencia. Por por medio del autodispensador del equipo se agregaron 150 µl de Fluoresceína

a cada pozo del microplato, la solución se mezcló y agitó (1,200 rpm/20 seg). La reacción inició agregando 25  $\mu$ l de AAPH por medio del autodispensador del equipo previamente programado a una temperatura de 37°C y la fluorescencia se midió a 485 nm de excitación y 538 nm de emisión.

Los Trolox equivalentes de la muestra se calcularon usando la siguiente ecuación lineal o cuadrática ( $Y = a + bX$ , lineal; o  $Y = a + bX + cX^2$ , cuadrática) entre la concentración de Trolox (Y) ( $\mu$ M) y el área neta bajo la curva de la disminución de la fluoresceína (X) ( $ABC_{muestra} - ABC_{blanco}$ ). La regresión lineal se aplicó en un rango de 100-25  $\mu$ M de Trolox (Mora-Rochín y col, 2010).

### **b Compuestos fenólicos totales**

Para determinar la concentración de compuestos fenólicos totales (libres + ligados) se empleó el método colorimétrico de Folin-Ciocalteu (Singleton y col., 1999). En una placa de 96 celdas, se agregaron 20  $\mu$ l de una solución estándar de ácido gálico para construir una curva de calibración, en las siguientes celdas se agregaron 20  $\mu$ l de extracto de fitoquímicos libres y ligados y se utilizó etanol como blanco. El estándar y los extractos se mezclaron con 180  $\mu$ l del reactivo de Folin, la reacción se neutralizó con 50  $\mu$ l de  $Na_2CO_3$  al 7% y posteriormente se incubó en el espectro. Después de 90 min se midió la absorbancia a 750 nm en un lector de microplatos ((Synergy<sup>HT</sup> Multi-Detection, BioTek, Inc., Winooski, VT, EUA). Los resultados se expresaron como mg equivalentes de ácido gálico (EAG) / 100 g de muestra, bs. El contenido de compuestos fenólicos totales se calculó al sumar los compuestos fenólicos presentes en los extractos de fitoquímicos libres y ligados.

### **c Potencial antihipertensivo (IC<sub>50</sub>) *in vitro* de las tortillas**

La inhibición de la enzima convertidora de angiotensina (ECA), reconocida como potencial antihipertensivo (IC<sub>50</sub>), se determinó a extractos de compuestos fenólicos libres y ligados utilizando el Kit ACEt-WST (A502-10) (Dojindo

Laboratories, Kumamoto, Japón). Esta metodología se basa en la detección colorimétrica de ácido 3-hidroxi-butílico (3HB) generado a partir del 3HB-GGG (3-hidroxi-butiril-Gly-Gly-Gly). La ECA hidroliza Gly-Gly, generando 3-hidroxi-butiril-Gly; posteriormente, por acción de una aminoacilasa, se obtiene ácido 3-hidroxi-butílico, el cual, posteriormente, se hace reaccionar con una solución indicadora. En una microplaca se agregaron 20 µL de los extractos a evaluar, posteriormente se agregó el sustrato 3HB-GGG y la ECA, además de un Blanco 1 (sin muestra) y un blanco 2 (sin muestra ni solución enzimática). La reacción se llevó a cabo a 37°C durante 01 h en una incubadora y posteriormente se agregaron 20 µL de la solución indicadora. Se incubó por 10 min a temperatura ambiente y enseguida se midió la absorbancia a una longitud de onda de 420 nm en un lector de microplacas (Synergy™ HT Multi-Detection, BioTek, Inc., Winooski, VT, EUA). Para determinar el porcentaje de inhibición se preparó una curva de inhibición utilizando la concentración de la muestra para el eje X y el porcentaje de inhibición de ECA para el eje Y, calculada mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Act Inhb ECA} = [(Abs_{450\text{control}} - Abs_{450\text{extracto}}) / (Abs_{450\text{control}} - Abs_{450\text{blanco}})] \times 100$$

Donde: **Abs<sub>450extracto</sub>** = Absorbancia a 450 nm de la solución que contiene extracto fenólico; **Abs<sub>450control</sub>** = Absorbancia a 450 nm de la solución sin extracto fenólico; **Abs<sub>450blanco</sub>** = Absorbancia a 450 nm de la solución con enzima y sin sustrato y extracto fenólico. Solución de reacción con enzima y sin sustrato ni extracto fenólico. Los valores de **IC<sub>50</sub>** (concentración de extracto fenólico que causa inhibición del 50% de la actividad de la ECA) se calcularon a partir de diferentes concentraciones de extractos fenólicos y valores de actividad inhibidora de la ECA utilizando el Software Prism v5 (GraphPad Prism) (Argüelles-López y col., 2018).

#### **d Potencial hipoglucemiante *in vitro* de las tortillas**

La actividad inhibidora de los extractos fenólicos libres y ligados frente a la  $\alpha$ -amilasa se determinó mediante la medición colorimétrica de la maltosa liberada después de detener la reacción entre el almidón y la  $\alpha$ -amilasa con ácido 3,5-dinitrosalicílico. La actividad inhibidora de estos extractos frente a la  $\alpha$ -glucosidasa se determinó midiendo la formación de p-nitrofenol por la  $\alpha$ -glucosidasa después de reaccionar con p-nitrofenil- $\alpha$ -D-glucopiranosido (PNP) (Astawan y col, 2020). Las actividades de inhibición de la  $\alpha$ -amilasa y la  $\alpha$ -glucosidasa se definieron como la actividad de las enzimas en el control (enzima sola) / actividad de las enzimas con el extracto (Astawan y col., 2020).

$$\text{Inhibición } \alpha - \text{amilasa (\%)} = \left[ \frac{(A_{540} \text{ control} - A_{540} \text{ extracto})}{A_{540} \text{ control}} \right] \times 100$$

$$\text{Inhibición } \alpha - \text{glucosidasa (\%)} = \left[ \frac{(A_{540} \text{ control} - A_{540} \text{ extracto})}{A_{540} \text{ control}} \right] \times 100$$

Los valores de IC<sub>50</sub> se calcularon a partir de los gráficos de % de inhibición frente a la concentración del extracto fenólico.

## 5 Valor nutricional de las tortillas

### a Aminoácidos esenciales (AAE)

Se preparó solución de aminoácidos [ácido aspártico (Asp), ácido glutámico (Glu), serina (Ser), glicina (Gly), histidina (His), arginina (Arg), treonina (Thr), alanina (Ala), prolina (Pro), tirosina (Tyr), valina (Val), meteonina (Met), isoleucina (Ile), leucina (Leu), fenilalanina (Phe) y lisina (Lys)] utilizando agua grado HPLC a partir de patrones individuales. Se utilizaron los reactivos isotiocianato de fenilo (PITC), fosfato disódico anhidro (Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>), ácido clorhídrico, acetato de sodio, ácido acético glacial, acetonitrilo grado HPLC, metanol, trietilamina (TEA), agua grado HPLC y MILIQ. Las muestras (harinas) se desgrasaron; 100 mg de muestra desgrasada se colocaron en tubos para su hidrólisis; se adicionaron 10 mL de ácido clorhídrico (6 M) al 1% de phenol. Los tubos se cerraron en atmósfera de nitrógeno y se colocaron en horno eléctrico a 110 °C durante 24 hrs para su hidrolisis. Después

de la hidrólisis las muestras se enfriaron y filtraron (papel Whatman No. 41) al vacío. La muestra se recuperó en matraz bola y se diluyó en 25 mL de agua MilliQ. Se llevaron a cabo lavados para retirar excedentes de HCl utilizando un concentrador; después de los lavados la muestra se concentró a 0.1 mL. El líquido resultante se filtró a través de membranas Millipore (0.45  $\mu\text{m}$ ) para obtener el hidrolizado.

La derivatización de la muestra se realizó acorde a González-Castro y col, (1997) con ligeras modificaciones. La solución estándar de aminoácidos y la muestra hidrolizada se colocaron en viales y secaron en horno (42 °C /20 min). Se adicionaron 50  $\mu\text{L}$  de mezcla metanol-agua-TEA (2:2:1 v/v; 50); la solución resultante se secó, a temperatura ambiente, durante 20 min. El residuo resultante se suspendió en 50  $\mu\text{L}$  de mezcla metanol-agua-TEA-PITC (7:1:1:1 v/v;) y se agitó en Vortex (15 s). Las muestras se dejaron en reposo, a temperatura ambiente, durante 20 min. Las muestras se secaron, en horno de vacío, a 25 °C x 100 min. Posterior a la derivatización se añadieron 100  $\mu\text{L}$   $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  (5 mM al 5% acetonitrilo), y mezclaron en vortex por 15 s.

Se utilizó un Sistema Cromatográfico Spectra-Physics equipado con una bomba inteligente PV-1589, un circuito de inyección de 20-  $\mu\text{L}$  y un detector UV-visible acoplado a un escáner detector óptico, controlado con el software PC-1000 (Thermo Separation Products, Fremont, CA, EUA). La temperatura se controló a 27 °C  $\pm$  0.1 °C utilizando una columna termostatazador (Spectra-Physics modelo 8792). Los aminoácidos se separaron utilizando una columna de fase reversa ODS-2, de tamaño de partícula de 5 $\mu\text{m}$  y dimensiones de 25 cm de largo por 0.4 cm de diámetro interno (Teknokroma, Barcelona, España). La cantidad de muestra inyectada fue 20  $\mu\text{L}$ . La fase móvil fue un gradiente preparado de dos soluciones (A y B); la solución A fue una solución reguladora (buffer) de acetato de amonio (0.14 M) que contuvo 0.05% (v/v) de TEA (se ajustó pH 6.4 con ácido acético glacial), la solución B fue una solución 60:40 (v/v) acetonitrilo-agua. Gradientes de elución (min: A%): 0:90,

8:90, 10:70, 12:70, 18:52, 20:0, 25:0, 28:90, 35:90. El flujo de corrida fue 1.1 mL min<sup>-1</sup> y la longitud de onda ( $\lambda$ ) de detección 254 nm.

### **b Digestibilidad proteínica *in vitro***

El cálculo de digestibilidad *in-vitro* se realizó según lo reportado por Rathod y Annapure (2016) con ligeras modificaciones. 01 g de muestra desgrasada se disolvió en una solución de pepsina (20 mL HCl 0.1N + 15 mg pepsina) dentro de un matraz Erlenmeyer de 250 mL y se incubó a Baño María (37°C) durante 3 h. Después de la incubación se neutralizó con 10 mL de NaOH 0.2N y se adicionó solución de pancreatina (7.5 mL solución reguladora de fosfato + 40 mg pancreatina) ajustando a pH 8; se incubó en Baño María (37 °C) durante 24 h. Al término de la incubación se adicionaron 700  $\mu$ L de ácido tricloroacético y centrifugó (5,000 x g /10 min); se recuperó el precipitado, se disolvió en 30 mL de agua destilada y, después, se secó (40°C) durante 12 h. A la muestra seca se le determinó el contenido de proteína mediante el método de Microkjhaldal y la digestibilidad proteínica *in vitro* (DPIV) se calculó con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ DPIV} = \frac{\text{Proteína residual}}{\text{Proteína inicial}} \times 100$$

Todas las determinaciones se hicieron por triplicado.

### **c Relación de eficiencia proteínica calculada (C-PER)**

La evaluación de C-PER de las tortillas se llevó a cabo acorde a AOAC (2012) y Salas-López y col. (2018); el cálculo consiste en relacionar el perfil de aminoácidos de la muestra y su digestibilidad *in-vitro*. El procedimiento para el cálculo C-PER fue el siguiente: **(1)** Determinar la digestibilidad de la proteína *in-vitro* de la muestra, **(2)** calcular los aminoácidos esenciales de la muestra (g/100g de proteínas), **(3)** Expresar cada aminoácido como porcentaje utilizando el patrón de la FAO/OMS utilizando la siguiente ecuación:

$$\% \text{ AAE}_{\text{FAO}} = [\text{gAAE}/100\text{g proteína}] \times [\text{DPIV}] / [\text{Valor FAO/WHO para AAE}]$$

(4) Reajustar el %AAE<sub>FAO</sub> de acuerdo al siguiente criterio: Si todos los %AAE<sub>FAO</sub> son < al 100% del estándar FAO/OMS continuar con el procedimiento; Si algún %AAE<sub>FAO</sub> es > que el 100% del estándar FAO/OMS, reducir al 100% antes de continuar el procedimiento, (5) Calcular los valores X y Y de acuerdo a:

$$X = \Sigma [1/((\%AAE_{FAO}) (\text{peso asociado}))]$$

$$Y = \Sigma (\text{peso asociado})$$

(6) Calcular la calificación de AAE de la caseína y de las muestras de acuerdo a:

$$\text{Calificación de AAE} = Y/X$$

(7) Calcular la relación de la proteína de la muestra con la caseína (MPC):

$$\text{MPC} = [\text{Calificación AAE muestra}] / [\text{Calificación AAE caseína}]$$

Si  $0.99 < \text{MPC} < 1.01$  el C-PER de la muestra es 2.5, de lo contrario el cálculo del C-PER es:

$$\text{C-PER} = \text{MPC} \times 2.5$$

#### **d Evaluación biológica de la calidad de las proteínas de las tortillas**

Se empleó un modelo animal, suministrando distintas dietas a ratas Wistar, machos, las cuales se manipularon siguiendo los protocolos estipulados por la Norma Oficial Mexicana NOM-062-ZOO-1999. 50 (cincuenta) ratas Wistar, macho, recién destetadas (Bioterio-ICSA), de 21 días de nacidas, se distribuyeron individualmente en jaulas metabólicas (metálicas / policarbonato) a una temperatura de 22°C y ciclos de luz/oscuridad 12:12. Se estructuraron cinco grupos con 8 ovho animales de acuerdo a su peso corporal inicial, teniendo un total de 40 ratas. Se evaluaron cinco muestras: (1) **Dos controles**: **Control 01**: Muestra sin Proteína, **Control 02**: Caseína y (2) **Tres Tortillas**: **Grupo 01**: Tortilla de Maíz Azul Comercial (MASECA<sup>MR</sup> de Maíz Azul), **Grupo 02**: Tortilla de Maíz Azul Extrudido (**TMAE**), **Grupo 03**: Tortilla Funcional Maíz Azul – Amaranto Extrudido (**TFMAE**). Las dietas se prepararon de acuerdo con la dieta AIN-93G para roedores purificados, las cuales se ajustaron al 10% de proteína. Las dietas se formularon con mezcla de vitaminas (AIN-93G, MP Biomedicals), mezcla de minerales (AIN-93G, MP Biomedicals), L-

Glutamina (Abastecedora Química HASEN), celulosa (DANNOVA Química) y aceite vegetal.

### 1) Relación de eficiencia proteínica, retención neta de proteína, digestibilidades aparente y verdadera (PER, NPR, AD, TD)

Se suministraron "dieta" y agua desionizada *ad libitum*. Las ratas se alimentaron con dietas que contenían 10% de proteína, durante un período de aclimatación preliminar de 7 días, y durante 28 días para la determinación del índice de eficiencia proteínica (**PER**, por sus siglas en inglés) (**Cuadro 8, Fig 10**). El consumo de alimento se registró diariamente y el aumento de peso cada tercer día. Los valores de "Relación neta de proteína" (**NPR= Net protein ratio**, por sus siglas en inglés) se evaluaron durante un periodo de 08 días (del día 18 al día 26). El contenido de nitrógeno en las dietas y las heces se analizó mediante el método microKjeldahl (AOAC, 2012). "Digestibilidad aparente" (**AD**, por sus siglas en inglés), "Relación de eficiencia proteínica" (**PER**, por sus siglas en inglés) y "Digestibilidad verdadera" (TD, por sus siglas en inglés) se determinaron acorde a Eggum (1973). La **TD** se corrigió por la excreción endógena de nitrógeno. Se utilizaron las siguientes ecuaciones (Milán-Carrillo y col., 2000).

$$PER = \frac{\text{Weight gain (g)}}{\text{Protein consumed (g)}}$$

$$NPR = \frac{[\text{Weight gain (g)} + \text{Weight loss of protein free group (g)}]}{\text{Protein consumed (g)}}$$

$$AD(\%) = \frac{100[\text{g TN intake}^{(18-26\text{d})} - \text{g TN faeces}^{(18-26\text{d})}]}{\text{g TN intake}^{(18-26\text{d})}}$$

$$TD(\%) = \frac{100[\text{g TN intake}^{(18-26\text{d})} - \text{g TN faeces}^{(18-26\text{d})} - \text{g TN faeces protein free diet}^{(18-26\text{d})}]}{\text{g TN intake}^{(18-26\text{d})}}$$

**Cuadro 8.** Dietas a evaluar en el bioensayo (Evaluación Biológica de la Calidad de las Proteínas de Tortillas)

<b>Grupo</b>	<b>Dieta</b>
Control 01	Muestra sin proteína
Control 02	Caseína
Grupo 01	Tortilla de maíz azul comercial ( <b>MASECA<sup>MR</sup> Azul</b> )
Grupo 02	Tortilla de maíz azul integral extrudido ( <b>TMAE</b> )
Grupo 03	Tortilla Funcional de Maíz Azul – Amaranto Integrales Extrudidos ( <b>TFMAAE</b> )



**Fig 10. Estancia de Investigación en UAEH**

Laura Celeste Gámez Valdéz (Alumna Doctorado en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Facultad Ciencias Químico-Biológicas, Universidad Autónoma de Sinaloa). Estancia de Investigación en Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (Tutor Académico: Dr Carlos Alberto Gómez Aldapa). Laura Celeste realizó "Evaluación Biológica de Proteínas de "Tortillas de Maíz Azul Nixtamalizado (Comercial)", "Tortillas 100% Maíz Azul Integral Extrudido" y" Tortillas Funcionales Maíz Azul – Amaranto Integrales Extrudidos"

## 2) Digestibilidad proteínica corregida por perfil de AAE (PDCAAS)

PDCAAS se determinó de acuerdo a la metodología propuesta por la FAO/OMS (1991), que plantea los siguientes pasos: **(1)** Conocer la composición de AAE de la muestra, **(2)** Calcular la calificación química de cada AAE, **(3)** Identificar el AAE limitante. La digestibilidad proteínica corregida por perfil de AAE (**PDCAAS**) se calculó a partir del AAE limitante relacionado con el requerimiento de niños multiplicado por los datos de digestibilidad de proteína *in vivo* estimados con ratas recién destetadas (Schaafsma, 2000).

## 3) Valor biológico (VB)

Las heces y la orina fueron recolectados diariamente desde el día 14 al día 28 e inmediatamente se colocaron en un congelador a temperatura de -20°C. La ingesta de las ratas se monitoreó cuidadosamente por ese periodo de tiempo. Después de 14 días consecutivos de recolección de heces y orina, el nitrógeno se analizó en el alimento y heces secas siguiendo la metodología oficial de la AACC método 46 de Kjeldahl-13:01. El nitrógeno de la orina se evaluó en un equipo TOC-L (Total Organic Carbon Analyzer, SHIMADZU®, Serial No. H543257 32442) para muestras líquidas. El valor biológico fue calculado con la siguiente fórmula:

$$VB = \frac{[(Ingesta)(\% \text{ de } N \text{ en alimento})] - [(heces)(\% N \text{ en heces}) - [(orina)(\% N \text{ orina})]]}{[(Ingesta)(\% N \text{ alimento})] - [(heces)(\% N \text{ heces})]} \times 100$$

## 4) Pruebas físicas y químicas del fémur

La prueba se realizó de acuerdo a lo descrito Serna-Saldívar y col, (1992). Las ratas se sacrificaron al término de las pruebas. Ambos fémures, tibias y peronés se removieron del animal, se le quitó el tejido con Bisturi No. 3. Los huesos se secaron a temperatura ambiente. Luego los huesos se pesaron y, utilizando un vernier (Absolutdigimatic, Mitutoyo, Japón), se midieron sus dimensiones físicas: **(1)** Largo (L), **(2)** Diámetro promedio del hueso (DPH), **(3)** Diámetro de la articulación femoral

y pelvis (Dafp), **(4)** Diámetro de la articulación femoral y tibia (Daft). Los huesos se almacenaron en bolsas de polietileno para su posterior uso. La densidad del hueso se calculó mediante las siguientes fórmulas:

$$Vol = \left\{ 4\pi/3 \left[ (Dafp/2)^3 + (Daft/2)^3 \right] \right\} + \left\{ \pi \left( \frac{DPH}{2} \right)^2 (L - [(Dafp + Daft)/2]) \right\}$$

$$\rho = \frac{Peso}{Vol}$$

Donde:

Vol= Volumen del hueso (mm<sup>3</sup>).

Dafp= diámetro de la articulación del femoral y pelvis (mm).

Daft = diámetro de la articulación del femoral y tibia (mm).

DPH= diámetro promedio del hueso (mm).

$\rho$  = densidad del hueso (mg/mm<sup>3</sup>).

La carga (en Newtons) requerida para quebrar los fémures secos y los tendones correspondientes (mm/mm), se determinó mediante un Texturómetro universal (TA), modelo TA-T2 (Texture Technologies Corp., Godalming, UK) de 25 Kgf de capacidad equipado con una sonda de cuchillo plano TA-90 3 mm de grosor y 6.93 cm de ancho. El fémur se colocó en un plato hecho especialmente para este experimento con un hoyo de 1 cm de ancho y 7 cm de largo. La fuerza de compresión aplicada para romper el fémur de las ratas fue de una velocidad constante de 2 mm/s y una distancia de 10 mm.

El contenido de cenizas se determinó quemando los fémures después de haber sido evaluados mediante la fuerza de quiebre a una temperatura de 590°C por 24 h. La determinación de contenido de minerales (Ca, P y Mg) de las muestras a evaluar se llevó a cabo utilizando Espectroscopia de Emisión de Plasma [Spectro Analytical Instruments, Spectro Flame model (Cole-Parmer Instrument Company, Vernon Hills, Illinois, EUA)]

## **6 Análisis estadístico**

Los resultados obtenidos para las tortillas de maíz azul extrudido, tortilla de maíz azul extrudido adicionado con amaranto extrudido y el control se analizaron estadísticamente mediante análisis de varianza (ANOVA) de una sola vía y las medias de los resultados se compararon entre sí aplicando la Prueba de Rangos Múltiples de Duncan con un nivel de significancia de 0.05 (Statgraphics-Plus 6.0).

## VIII RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### A PROPIEDADES NUTRIMENTALES Y NUTRICIONALES DE LAS HARINAS DE MAÍZ AZUL Y AMARANTO INTEGRALES EXTRUDIDOS

El **Cuadro 6** muestra el contenido de proteínas, lípidos y fibra dietaria de harinas de maíz azul y amaranto extrudidos (**HMAE**, **HAE**). El contenido de proteína de **HMAE** y **HAE** fue de 10.08 y 15,52 % (bs), respectivamente. El contenido de lípidos de las harinas de granos integrales extrudidos osciló entre 6.11 y 6.98 % (bs); la **HMAE** tuvo el más bajo valor. La fibra dietaria contenida en las harinas de granos integrales extrudidos varió del extruidas. Varió del 12.43 % (bs) (**HMAE**) al 13.68 % (bs) (**HAE**); en ambas harinas, el contenido mayor de fibra dietaria correspondió a la fracción de fibra dietaria insoluble cuyo contenido varió de 9.37 % (bs) (**HAE**) a 10.61 % (bs) (**HMAE**). El contenido de aminoácidos esenciales (**AAE**) de **HMAE** y **HAE** también se muestra en **Cuadro 6**. En general, el contenido de **AAE** de las harinas de granos extrudidos fue superior a las recomendaciones de **AAE** de FAO (2013) para niños (3 años y mayores), adolescentes y adultos; los **AAE** limitantes en **HMAE** y **HAE** fueron Lys y Leu, respectivamente. La digestibilidad proteínica *in vitro* (**DPIV**) de las harinas de granos integrales extrudidos osciló de 78.26 % (**HMAE**) a 81,05 % (**HAE**). El valor más alto de **C-PER** (1.72-2.22) correspondió a harina de amaranto extrudido (**HAE**) (**Cuadro 6**). La **DPIV** de los granos se incrementó debido a la destrucción de factores antinutricionales (inhibidores de tripsina y quimotripsina) y desnaturalización de proteínas, debido a las condiciones aplicadas (fuerzas de corte, temperatura y humedad) durante la extrusión – cocción proceso (Gamel y col., 2006; Montoya-Rodríguez y col., 2015).

**Cuadro 6.** Composición química y contenido de aminoácidos esenciales en harina de maíz azulnixtamalizado comercial (**MASECA™ azul**) y harinas maíz azul y amaranto extrudidos (**HMAE, HAE**)

Property	MASECA™ Azul	HMAE	HAE	FAO <sup>1</sup>
<b>Composición química</b> (%, bs)				
Proteínas	7.83±0.08 <sup>C</sup>	10.08±0.11 <sup>B</sup>	15.52±0.07 <sup>A</sup>	
Lipidos	2.40±0.10 <sup>C</sup>	6.11±0.08 <sup>B</sup>	6.98±0.06 <sup>A</sup>	
Minerales	1.52±0.06 <sup>B</sup>	1.56±0.05 <sup>B</sup>	3.47±0.06 <sup>A</sup>	
Fibra dietaria				
Soluble	0.72±0.04 <sup>C</sup>	1.82±0.10 <sup>B</sup>	4.31±0.07 <sup>A</sup>	
Insoluble	8.75±0.12 <sup>C</sup>	10.61±0.08 <sup>A</sup>	37±0.07 <sup>B</sup>	
Total	9.47±0.10 <sup>C</sup>	12.43±0.12 <sup>B</sup>	13.68±0.09 <sup>A</sup>	
Carbohidrates	78.80±0.15 <sup>A</sup>	69.82±0.17 <sup>B</sup>	60.35±0.14 <sup>C</sup>	
<b>Nutricional</b>				
AAE <sup>2</sup> (g/100 g proteína)				
His	2.57±0.04 <sup>B</sup>	3.18±0.02 <sup>A</sup>	2.46±0.03 <sup>C</sup>	1.60
Ile	2.88±0.02 <sup>B</sup>	2.62±0.05 <sup>C</sup>	4.02±0.02 <sup>A</sup>	3.00
Leu	13.88±0.08 <sup>A</sup>	7.90±0.04 <sup>B</sup>	5.88±0.04 <sup>C</sup>	6.10
Lys	2.48±0.03 <sup>C</sup>	3.85±0.05 <sup>B</sup>	5.94±0.03 <sup>A</sup>	4.80
Met+Cys	3.73±0.06 <sup>C</sup>	5.49±0.04 <sup>A</sup>	3.88±0.03 <sup>B</sup>	2.30
Phe+Tyr	7.82±0.04 <sup>A</sup>	6.65±0.06 <sup>C</sup>	7.77±0.05 <sup>B</sup>	4.10
Thr	2.98±0.05 <sup>C</sup>	3.18±0.03 <sup>B</sup>	4.18±0.04 <sup>A</sup>	2.50
Trp	0.56±0.03 <sup>C</sup>	0.77±0.02 <sup>B</sup>	1.29±0.02 <sup>A</sup>	0.66
Val	4.48±0.04 <sup>B</sup>	5.88±0.05 <sup>A</sup>	4.17±0.03 <sup>C</sup>	4.00
Total	41.38	39.52	39.59	29.06
Calificación Química AAE	0.52	0.80	0.96	
AAE limitante	Lys	Lys	Leu	
DPIV <sup>3</sup> (%)	74.05±0.10 <sup>C</sup>	78.26±0.12 <sup>B</sup>	81.05±0.14 <sup>A</sup>	
C-PER <sup>4</sup>	1.00±0.02 <sup>C</sup>	1.72±0.04 <sup>B</sup>	2.22±0.09 <sup>A</sup>	

<sup>A-C</sup> Medias con diferentes superíndices en la misma fila son diferentes (Duncan,  $p \leq 0.05$ )

<sup>1</sup> **FAO**= Requerimientos de AAE para niños (3 años y mayores), adolescentes y adultos según FAO (2013)

<sup>2</sup> **AAE** = Aminoácido esencial    <sup>3</sup> **DPIV**= Digestibilidad proteínica *in vitro* (%)

<sup>4</sup> **C-PER** = Relación de eficiencia proteínica calculada

## **B ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE (AAox) y CONTENIDO DE COMPUESTOS FENÓLICOS DE LOS GRANOS INTEGRALES EXTRUDIDOS**

En el **Cuadro 7** se muestra la actividad antioxidante (AAox), el contenido fenólico y los potenciales antihipertensivo e hipoglucémico de harinas de maíz azul y amaranto integrales extrudidos (**HMAE, HAE**). La **AAox**, evaluada mediante ORAC, de **HMAE** y **HAE** fue de 15,587 y 5,387  $\mu\text{mol}$  equivalentes de Trolox (ET)/100 g de muestra bs, respectivamente. La harina comercial de maíz azul nixtamalizado (MASECA<sup>MR</sup> Azul) presentó una AAox=12,403  $\mu\text{mol}$  ET/100 g de muestra bs. La **AAox** de los granos integrales extrudidos, evaluada por ABTS, presentó una tendencia similar. El contenido de compuestos fenólicos totales (**CFT**) de las harinas de granos integrales extrudidos (**HMAE, HAE**) osciló entre 64.65 y 282.61 mg equivalentes de ácido gálico (EAG)/100 g de muestra bs; el valor menor correspondió a **HAE**. La tecnología de cocción por extrusión tiene potencial para el desarrollo de alimentos funcionales ya que permite retener o incluso aumentar el contenido de compuestos fenólicos, relacionados con la actividad antioxidante, en mayor proporción que la nixtamalización tradicional ((Ramos-Enríquez y col., 2018; Chen y col., 2019; Yi y col., 2022). Aplicar la extrusión-cocción a granos integrales con proceso "optimizado" para obtener valores máximos de actividad antioxidante (**AAox**) y contenido de compuestos fenólicos totales (**CFT**) favorece la obtención de harinas de granos integrales extrudidos con valores altos de **AAox** y **CFT** (Espinoza-Moreno y col., 2016; León-López y col., 2019; Bon-Padilla y col., 2022). La valores altos de **AAox** (ya sea por retención o aumento) podría resultar de la liberación de compuestos fenólicos durante el proceso de extrusión, evitando la oxidación de compuestos fenólicos en el producto extrudido por inactivación enzimática durante el procesamiento, y la presencia de productos de la reacción de Maillard (MRP, por sus siglas en inglés). La generación de MRP ocurre durante la extrusión de materias primas que contienen aminoácidos y azúcares reductores (Escalante-Aburto y col., 2013;

**Cuadro 7. Actividad antioxidante y contenido de compuestos fenólicos en harina de maíz azul nixtamalizado comercial (MASECA™ azul) y harinas maíz azul y amaranto extrudidos (HMAE, HAE)**

Propiedad	MASECA™ Azul	HMAE	HAE
<b>Actividad antioxidante<sup>1</sup></b>			
<b>ORAC</b>			
Fenólicos libres	2,295±79 <sup>B</sup>	3,021±98 <sup>B</sup>	2,510±130 <sup>A</sup>
Fenólicos ligados	10,108±42 <sup>B</sup>	12,566±597 <sup>A</sup>	2,977±141 <sup>C</sup>
Total	12,403±581 <sup>B</sup>	15,587±605 <sup>A</sup>	5,387±136 <sup>C</sup>
<b>ABTS</b>			
Fenólicos libres	847±58 <sup>B</sup>	1,218±85 <sup>A</sup>	1,267±72 <sup>A</sup>
Fenólicos ligados	2,708±167 <sup>B</sup>	3,879±156 <sup>A</sup>	2,389±59 <sup>C</sup>
Total	3,555±120 <sup>B</sup>	5,097±160 <sup>A</sup>	3,656±87 <sup>B</sup>
<b>Compuestos fenólicos<sup>2</sup></b>			
Libres	61.85±0.58 <sup>B</sup>	64.18±0.37 <sup>A</sup>	20.14±0.23 <sup>C</sup>
Ligados	134.59±0.83 <sup>B</sup>	218.43±2.83 <sup>A</sup>	44.51±0.19 <sup>C</sup>
Totales	196.44±0.92 <sup>B</sup>	282.61±3.70 <sup>A</sup>	64.65±0.37 <sup>C</sup>
<b>Potencial</b>			
Antihipertensivo (IC <sub>50</sub> ) <sup>3</sup>	2.51±0.07 <sup>C</sup>	0.49±0.03 <sup>A</sup>	0.40±0.03 <sup>B</sup>
Hipoglucémico (IC <sub>50</sub> ) <sup>3</sup>			
α-amilasa	27.22±1.37 <sup>A</sup>	28.67±1.11 <sup>A</sup>	10.85±0.76 <sup>B</sup>
α-amiloglucosidasa	18.22±1.01 <sup>B</sup>	20.98±0.89 <sup>A</sup>	14.35±0.83 <sup>C</sup>

**A-C** Medias con distintos superíndices en una misma fila son diferentes (Duncan,  $p \leq 0,05$ )

<sup>1</sup> μmol equivalentes de Trolox (ET) / 100 g de muestra bs

C mg equivalentes de ácido Gálico / 100 mg muestra bs

C mg extracto / mL

Espinoza-Moreno y col., 2016). Durante la producción de las harinas de granos integrales extrudidos, tanto de maíz azul como de amaranto, los compuestos fenólicos ligados fueron los principales contribuyentes (hasta 80 %) a los valores de AAox (**Cuadro 7**). El contenido de **CFT** en harinas de granos integrales extrudidos se relaciona con la destrucción de las paredes celulares, la liberación de compuestos fenólicos y la formación de MRP cuantificados como compuestos fenólicos (Espinoza-Moreno y col., 2016).

### **C POTENCIALES ANTIHIPERTENSIVO E HIPOGLUCÉMICO DE EXTRACTOS FENÓLICOS DE GRANOS INTEGRALES EXTRUDIDOS**

El potencial antihipertensivo, **IC<sub>50</sub>**, se define como: “**Concentración (mg de extracto/mL) necesaria para producir una inhibición del 50 % de la actividad de la Enzima Convertidora de Angiotensina (ECA)**”. Los compuestos fenólicos extraídos **HMAE** y **HAE** tuvieron un potencial antihipertensivo (**IC<sub>50</sub>**) de 0.49 y 0.40 mg extracto / mL, respectivamente. Los extractos fenólicos de MASECAMR Azul tuvieron un **IC<sub>50</sub>**=2.51 mg extracto / mL (**Cuadro 7**). Los valores de **IC<sub>50</sub>** obtenidos en la presente investigación están en concordancia con los **IC<sub>50</sub>** reportados para extractos fenólicos de semillas de soya sin procesar (**IC<sub>50</sub>**=0.143-0.160 mg/mL) y semillas de chía desgrasadas-extrudidas (**IC<sub>50</sub>**=0.35-0.51 mg/mL) (Ademiluyi y Oboh, 2013; Leon-Lopez y col., 2019).

La mejora de los valores de **IC<sub>50</sub>** durante el proceso de extrusión de semillas de maíz azul y amaranto integrales pudo haber ocurrido por la liberación y formación de compuestos bioactivos [compuestos fenólicos y productos de la Reacción de Maillard (MRP, por sus siglas en inglés)] con potencial antihipertensivo. Los compuestos fenólicos (ácidos fenólicos, flavonoides, taninos, estilbenos) inhiben la actividad de la ECA *in vitro*. El grado de inhibición de la actividad de la ECA depende

de la absorción y metabolismo de estos compuestos, y su modo de acción está relacionado con la clase (subclase) y la estructura del compuesto fenólico que se emplea (Massaretto y col., 2011; Al-Shukor y col., 2013). Según esta investigación, los compuestos fenólicos presentes en las harinas de granos extrudidos son aptos para su uso como complementos alimenticios funcionales o medicamentos naturales para tratar la hipertensión.

El potencial hipoglucémico, **IC<sub>50</sub>**, se define como: "**Concentración (mg de extracto/mL) necesaria para producir una inhibición del 50 % de la actividad de las enzimas  $\alpha$ -amilasa o  $\alpha$ -glucosidasa**". Los extractos fenólicos de la harina de amaranto integral extrudido (**HAE**) tuvieron mejor potencial hipoglucémico [ $\alpha$ -amilasa, **IC<sub>50</sub>**=10.85 mg/mL /  $\alpha$ -glucosidasa, **IC<sub>50</sub>**=14.35 mg/mL] que los extractos fenólicos de **HMAE** [ $\alpha$ -amilasa, **IC<sub>50</sub>**= 28.67 mg/mL /  $\alpha$ -glucosidasa, **IC<sub>50</sub>**=20.98 mg/mL] (**Cuadro 7**). Los extractos fenólicos de la harina **MASECA<sup>MR</sup> Azul** presentaron potenciales hipoglicémicos [ $\alpha$ -amilasa **IC<sub>50</sub>**=27.22 /  $\alpha$ -glucosidasa, **IC<sub>50</sub>**=18.22 mg/mL) muy similares a los extractos fenólicos de la **HMAE**. Estos resultados sugieren que la **HAE** es una fuente potencial de fenólicos antioxidantes y inhibidores naturales de las actividades de ECA, la  $\alpha$ -amilasa y  $\alpha$ -glucosidasa (Ademiluyi y Oboh, 2012; 2013). Esta información puede ayudar con la utilización eficaz de la harinas de maíz azul y amaranto extrudidos como alimentos / ingredientes funcionales para promover la salud.

## **D EFECTO DE LA ADICION DE HARINA DE AMARANTO EXTRUDIDO SOBRE LAS PROPIEDADES NUTRIMENTALES / NUTRICIONALES DE LAS TORTILLAS DE HARINA DE MAÍZ AZUL EXTRUDIDO**

En el **Cuadro 8** se muestran composición química y propiedades nutricionales de tortillas de harina de maíz azul nixtamalizado (Tortillas **MASECA<sup>MR</sup>** Azul), tortillas de harina de Maíz Azul extrudido (**THMAE**) y Tortillas Funcionales elaboradas con harinas de maíz azul y amaranto extrudidos (**TFHMA-AE**). Las tortillas funcionales (**TFHMA-AE**) tuvieron un valores mayores de contenidos de proteínas, lípidos y fibra dietaria y mejor digestibilidad proteínica in vitro (**DPIV**) y relación de eficiencia proteínica calculada (**C-PER**) que las tortillas 100% maíz azul (**THMAE**). La adición de harina de amaranto extrudido (**HAE**) a harina de maíz azul extrudido (**HMAE**) mejoró composición química y propiedades nutricionales de las tortillas.

Pacheco de Delahaye y Portillo (1990) estudiaron el efecto del enriquecimiento de harina de maíz blanco (*Zea mays*) con harina de semilla de amaranto (*Amaranthus* sp). Prepararon tres mezclas de harina de maíz blanco precocida con harina de amaranto en los niveles de sustitución del 10, 20 y 30 %. Las tres mezclas mostraron aumentos graduales en el contenido de fibra, grasa y cenizas en relación con la harina de maíz blanco precocida. A partir de estas mezclas se elaboraron arepas y se realizaron pruebas de aceptabilidad; las mezclas con los niveles de 10% y 20% de sustitución fueron aceptables desde el punto de vista sensorial. La calidad proteínica de las arepas producidas a partir de la mezcla 80 % harina de maíz blanco precocida + 20 % harina de amaranto, se analizó en términos de relación de eficiencia proteínica (PER) y fue superior a las arepas de harina de maíz blanco precocida. Las arepas adicionadas con harina de amaranto presentaron digestibilidad aparente alta (92 %). El contenido de lisina en las arepas elaboradas a partir de las mezclas con sustitución de 10 % (1.6 g lisina/100

**Cuadro 8.** Composición química y propiedades nutricionales de tortillas 100% Maíz (Tortilla **MASECA<sup>MR</sup>** azul), de harina de maíz azul extrudido (**THMAE**) y Tortilla Funcional Maíz Azul – Amaranato Extrudidos (**TFHMA-AE**)

Propiedad	Tortilla MASECA <sup>TM</sup> Azul		THMAE	TFHMA-AE	FAO
<b>Composición (% , bs)</b>					
Proteínas	8.07±0.05 <sup>C</sup>		10.05±0.08 <sup>B</sup>	11.69±0.07 <sup>A</sup>	
Lipidos	2.41±0.02 <sup>C</sup>		5.92±0.05 <sup>B</sup>	6.21±0.04 <sup>A</sup>	
Minerales	1.57±0.04 <sup>B</sup>		1.63±0.06 <sup>B</sup>	2.15±0.5 <sup>A</sup>	
Fibra dietaria					
Soluble	0.76±0.03 <sup>C</sup>		1.81±0.03 <sup>B</sup>	2.43±0.04 <sup>A</sup>	
Insoluble	8.66±0.07 <sup>B</sup>		9.38±0.08 <sup>A</sup>	9.49±0.07 <sup>A</sup>	
Total	9.43±0.06 <sup>C</sup>		11.19±0.06 <sup>B</sup>	11.92±0.05 <sup>A</sup>	
Carbohidratos	78.52±1.08 <sup>A</sup>		71.21±1.03 <sup>B</sup>	69.03±1.11 <sup>C</sup>	
<b>Nutricional</b>					
<b>AAE<sup>2</sup>(g/100g proteína)</b>					
His	2.49±0.02 <sup>C</sup>		3.13±0.04 <sup>A</sup>	2.88±0.02 <sup>B</sup>	1.6
Ile	2.83±0.03 <sup>B</sup>		2.50±0.03 <sup>C</sup>	3.03±0.03 <sup>A</sup>	3.0
Leu	12.94±0.06 <sup>A</sup>		7.39±0.03 <sup>B</sup>	7.19±0.05 <sup>C</sup>	6.1
Lys	2.44±0.04 <sup>C</sup>		3.01±0.02 <sup>B</sup>	4.51±0.04 <sup>A</sup>	4.8
Met+Cys	3.39±0.03 <sup>B</sup>		3.42±0.03 <sup>B</sup>	5.00±0.02 <sup>A</sup>	2.3
Phe+Tyr	7.58±0.05 <sup>B</sup>		9.8±0.02 <sup>A</sup>	6.92±0.05 <sup>C</sup>	4.1
Thr	2.70±0.02 <sup>B</sup>		2.56±0.04 <sup>C</sup>	3.41±0.03 <sup>A</sup>	2.5
Trp	0.56±0.04 <sup>C</sup>		0.64±0.02 <sup>B</sup>	0.91±0.02 <sup>A</sup>	0.6
Val	4.23±0.05 <sup>C</sup>		5.50±0.03 <sup>A</sup>	5.35±0.03 <sup>B</sup>	4.0
Total	39.16		37.95	39.20	29.0
Calificación química	0.51		0.62	0.94	
<b>AAE limitante</b>	Lys		Lys	Lys	
<b>DPIV (%)</b>	76.86±0.21 <sup>C</sup>		77.21±0.20 <sup>B</sup>	79.39±0.19 <sup>A</sup>	
<b>C-PER<sup>3</sup></b>	1.52±0.06 <sup>B</sup>		1.54±0.05 <sup>B</sup>	1.95±0.07 <sup>A</sup>	

<sup>A-C</sup> Medias con diferentes superíndices en la misma fila son diferentes (Duncan,  $p \leq 0.05$ )

<sup>1</sup> **FAO**= Requerimientos de AAE para niños (3 años y mayores), adolescentes y adultos según FAO (2013)

C **AAE** = Aminoácido esencial

C **C-PER** = Relación de eficiencia proteínica calculada

g de proteína) y 20 % (2.0 g lisina/100 g de proteína) también fue superior a las preparadas con harina de maíz blanco (0.7 g lisina / 100 g proteína).

Vázquez-Rodríguez y col. (2013) evaluaron el efecto de la adición de harinas de frijol y amaranto sobre las propiedades nutricionales de Tortillas de maíz nixtamalizado. Fortificaron harina de maíz nixtamalizado con harinas de frijol común (*Phaseolus vulgaris*) y amaranto (*Amaranthus* spp.) en tres proporciones diferentes frijol:amaranto (3:7, 5:5, 7:3) respecto a la harina de maíz nixtamalizado comercial. Recomendaron este producto fortificado como una alternativa para resolver la cantidad/calidad baja de proteínas de los productos alimenticios; particularmente la fortificación con 3 % de frijol y 7 % de amaranto. Las "tortillas fortificadas" tuvieron niveles más altos de proteínas, y de los AAE Lisina y Triptófano, que la tortilla elaborada con 100% maíz nixtamalizado.

## **E EFECTO DE LA ADICION DE HARINA DE AMARANTO EXTRUDIDO SOBRE ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE Y PROPIEDADES NUTRACÉUTICAS Y SENSORIALES DE TORTILLAS DE HARINA DE MAÍZ AZUL EXTRUDIDO**

Las tortillas funcionales (**TFHMA-AE**) tuvieron menor actividad antioxidante, evaluada por ORAC, que las tortillas 100% maíz azul (**THMAE**) [**TFHMA-AE**: AAox =13,187  $\mu\text{mol ET /100 g, BS}$ , **THMAE**: AAox=15,298  $\mu\text{mol ET /100 g, BS}$ ) (**Cuadro 9**). Esto se debe al efecto de dilución por la adición de harina de amaranto extrudido (**HAE**: Harina con menor contenido en compuestos fenólicos) a la **HMAE** para la elaboración de la tortilla funcional, así como un efecto antagónico por la interacción de compuestos fenólicos de ambos granos. Hajimehdipoor et al. (2014), encontró un efecto antagonista y la actividad antioxidante disminuyen en una combinación ternaria de rutina y cafeico, rosmarínico, Ácidos clorogénico y gálico. Concluyeron que la posibilidad de interactuar podría neutralizar los efectos de la actividad antioxidante.

**Cuadro 9.** Propiedades nutraceuticas y sensoriales de tortillas 100% Maíz (Tortilla **MASECA<sup>MR</sup>** azul), de harina de maíz azul extrudido (**THMAE**) y tortilla funcional maíz azul – amaranto extrudidos (**TFHMA-AE**)

<b>Propiedad</b>	<b>Tortilla MASECA<sup>TM</sup> Azul</b>	<b>THMAE</b>	<b>TFHMA-AE</b>
<b>Nutraceutico</b>			
Actividad antioxidante <sup>1</sup>	12,031±561 <sup>C</sup>	15,298±505 <sup>A</sup>	13,187±545 <sup>B</sup>
Potencial			
Antihipertensivo ( <b>IC<sub>50</sub></b> ) <sup>2</sup>	2.43±0.11 <sup>A</sup>	0.45±0.04 <sup>B</sup>	0.37±0.05 <sup>C</sup>
Inhibición ECA			
Hipoglucémico ( <b>IC<sub>50</sub></b> ) <sup>2</sup>			
Inhibición α-amilasa	24.63±0.86 <sup>A</sup>	25.17±1.05 <sup>A</sup>	18.33±0.59 <sup>B</sup>
Inhibición α-amiloglucosidasa	17.55±0.61 <sup>B</sup>	18.37±0.55 <sup>A</sup>	15.04±0.46 <sup>C</sup>
<b>Sensorial</b>			
Aceptabilidad general <sup>3</sup>	8.40±0.21 <sup>A</sup>	8.10±0.35 <sup>B</sup>	8.01±0.21 <sup>B</sup>
Color <sup>3</sup>	8.40±0.30 <sup>A</sup>	8.15±0.25 <sup>B</sup>	8.00±0.29 <sup>B</sup>
Sabor <sup>3</sup>	8.50±0.25 <sup>A</sup>	8.22±0.44 <sup>B</sup>	7.88±0.34 <sup>C</sup>
Textura <sup>3</sup>	8.41±0.35 <sup>A</sup>	8.21±0.22 <sup>B</sup>	7.97±0.25 <sup>C</sup>
Hinchamiento <sup>4</sup>	2.92±0.28 <sup>A</sup>	2.92±0.28 <sup>A</sup>	2.63±0.24 <sup>B</sup>
Rolabilidad <sup>5</sup>	2.00±0.00 <sup>A</sup>	2.08±0.18 <sup>A</sup>	1.96±0.20 <sup>A</sup>

C μmol equivalentes de Trolox (ET) / 100 g, BS

C mg extracto / mL

C Grado de Gusto / Disgusto usando una escala hedónica de 09 puntos (01 = No Disgusta Extremadamente, 09= Me Gusta Extremadamente)

<sup>4</sup> **1**= Sin hinchamiento, **2**=Hinchamiento intermedio y **3**= Hinchamiento completo

<sup>5</sup> Grados de rotura de la superficie de la tortilla (0-100 %) indican "Rolabilidad" (1-5) de la siguiente manera: **5**=100%, **4**=75%, **3**= 50%, **2**=25%, **1**=0%

Por otro lado, las tortillas funcionales maíz azul – amaranto (**TFHMA-AE**) mostraron mejores potenciales antihipertensivo (**IC<sub>50</sub>**=0.37 mg/mL vs **IC<sub>50</sub>**=0.45 mg/mL) e hipoglucemiante [**α-amilasa** (**IC<sub>50</sub>**=18.33 mg/mL vs **IC<sub>50</sub>**=25.17 mg/mL), **α-glucosidasa** (**IC<sub>50</sub>**=15.04 vs mg/mL vs **IC<sub>50</sub>**=18.37 mg/mL)] que las tortillas elaboradas con 100 % maíz azul extrudido (**THMAE**) (**Cuadro 9**). En ambos casos, potenciales antihipertensivo e hipoglucémico, los valores más bajos de **IC<sub>50</sub>** corresponden a un mayor potencial. La mejora en el potencial antihipertensivo podría estar relacionada con el presencia de compuestos bioactivos [principalmente ácidos fenólicos (Gálico, Rosmarínico, Cafeico, Clorogénico, Vanílico) y flavonoides (Quercetina, Rutina, Isoquercitrina, Nicotiflorina)], con potencial alto de inhibición de **ECA**, en la harina de amaranto integral extrudido (**HAE**) agregada a la harina de maíz azul extrudido (**HMAE**) para elaborar tortillas funcionales maíz azul – amaranto (**TFHMA-AE**) (Peyrat-Maillard y col., 2003; Barba de la Rosa y col., 2009; López-Mejía y col., 2014). Existen diferentes hipótesis respecto los mecanismos de inhibición de **ECA** por los compuestos fenólicos: **(1)** Inhibición competitiva, por la estructura de los fenoles que inhiben, por aglutinación, la actividad de **ECA**; **(2)** Inhibición no competitiva: tanto el sustrato como el inhibidor se unen a la enzima simultáneamente, **(3)** Secuestro de metales: La **ECA** es una metaloproteinasas dependiente de  $Zn^{2+}$ ; los compuestos fenólicos pueden quelar metales no específicos que presentan efecto inhibidor de **ECA**; **(4)** Interacciones entre fenoles y puentes disulfuro (cisteínas oxidadas) que residen en la superficie de la **ECA**, provocando modificaciones en la estructura de la **ECA** lo cual inhibe su actividad (Arenas-Carvajal y col., 2009; Ademiluyi y Oboh, 2013; Al-Shukor y col., 2013).

En cuanto al potencial hipoglucémico, este puede estar relacionado al tipo de compuestos fenólicos y las interacciones no covalentes entre polifenoles y enzimas. Esto es debido a los grupos hidroxilo y galoilo presentes en la estructura molecular de los polifenoles. Los compuestos fenólicos pueden formar enlaces hidrógeno con

los grupos polares de las enzimas. En contraste, es posible encontrar aminoácidos hidrofóbicos presentes en las enzimas (proteínas). Los grupos galloilo en los polifenoles muestran hidrofobicidad y por lo tanto, los polifenoles pueden unirse a las enzimas a través de asociación hidrofóbica. El grupo galloilo puede desempeñar un rol importante en la interacción con  $\alpha$ -amilasa y  $\alpha$ -glucosidasa y sus posiciones afectan principalmente la eficiencia de estas enzimas (Ali-Asgar, 2012).

Alu'datta y col. (2017) reportaron que la inhibición de la actividad de **ECA**,  $\alpha$ -amilasa,  $\alpha$ -glucosidasa depende del método de extracción y de la concentración de compuestos fenólicos. Estos investigadores informaron que los ácidos fenólicos solubles mayoritariamente predominantes en *Rosmarinus officinalis* son Rosmarínico, Vainílico, Clorogénico y Cafeico. (Khan y col. (2017) reportaron concentraciones altas de ácido Gálico y Rutina en extractos de Moringa, los cuales mostraron potenciales hipoglucémicos **IC<sub>50</sub>** = 52.5 mg/mL para  $\alpha$ -amilasa e **IC<sub>50</sub>** = 33.4 mg/mL para  $\alpha$ -glucosidasa. Por lo tanto, la presencia de estos compuestos fenólicos mejora ambos potenciales (antihipertensivo, hipoglucémico) mediante la inhibición de la actividad de las enzimas **ECA**,  $\alpha$ -amilasa, y enzimas  $\alpha$ -glucosidasa (Ademiluyi y Oboh, 2012; 2013).

La evaluación sensorial de las tortillas se realizó mediante una prueba de aceptabilidad general y atributos, utilizando una escala hedónica de 9 puntos, donde **1**= "Me Disgusta Extremadamente", **5** = "Ni me Gusta ni me Disgusta" y **9**= "Me Gusta Extremadamente". Las tortillas funcionales presentaron un valor de aceptabilidad general de 8.2, el cual correspondió al descriptor "Me gusta mucho". Este valor fue similar ( $p > 0.05$ ) al de las tortillas elaboradas con harina de maíz azul integral extrudido (**THMAE**) (aceptabilidad general = 8.10). La aceptabilidad general se correlaciona con los atributos de color, sabor y textura de las tortillas; estos atributos son decisivos en la calidad sensorial de la tortilla. Al igual que para el atributo de aceptabilidad general, no hubo diferencia significativa ( $p > 0.05$ ) para la propiedad

de color (8.00 vs 8.15) entre la tortilla funcional maíz – amaranto extrudidos (**TFHMA-AE**) y las tortillas de harina de maíz azul extrudido (**THMAE**).

Aunque las tortillas funcionales (**TFHMA-AE**) presentaron valores ligeramente menores de sabor (7.88 vs 8.15) y textura (7.97 vs 8.20) que las tortillas de maíz azul (**THMAE**) la aceptabilidad general no fue diferente entre estos dos tipos de tortillas, lo que indica que la incorporación de 30 % de harina de amaranto extrudido (**HAE**) en las tortillas funcionales no afectó de manera importante las propiedades sensoriales evaluadas por los panelistas. Asimismo, la propiedad sensorial de textura como parámetro de calidad asociado al grado de hinchamiento y roabilidad de las tortillas no mostró diferencias significativas en la roabilidad entre las tortillas funcionales (**THMA-AE**) y las tortillas de maíz azul extrudido (**THMAE**), mientras que las tortillas funcionales presentaron un menor hinchamiento que las **THMAE**. Las nuevas tortillas funcionales elaboradas con una mezcla 70:30 de **HMAE** y **HAE** podrían representar un alimento básico valioso para mejorar los valores nutricionales y nutraceuticos de productos alimenticios de amplio consumo. Los resultados de la evaluación sensorial de las tortillas funcionales son prometedores, ya que la tortilla es un vehículo ideal para mejorar el estado de salud general de los consumidores, especialmente en países donde este producto se consume masivamente por la población, como es el caso de México.

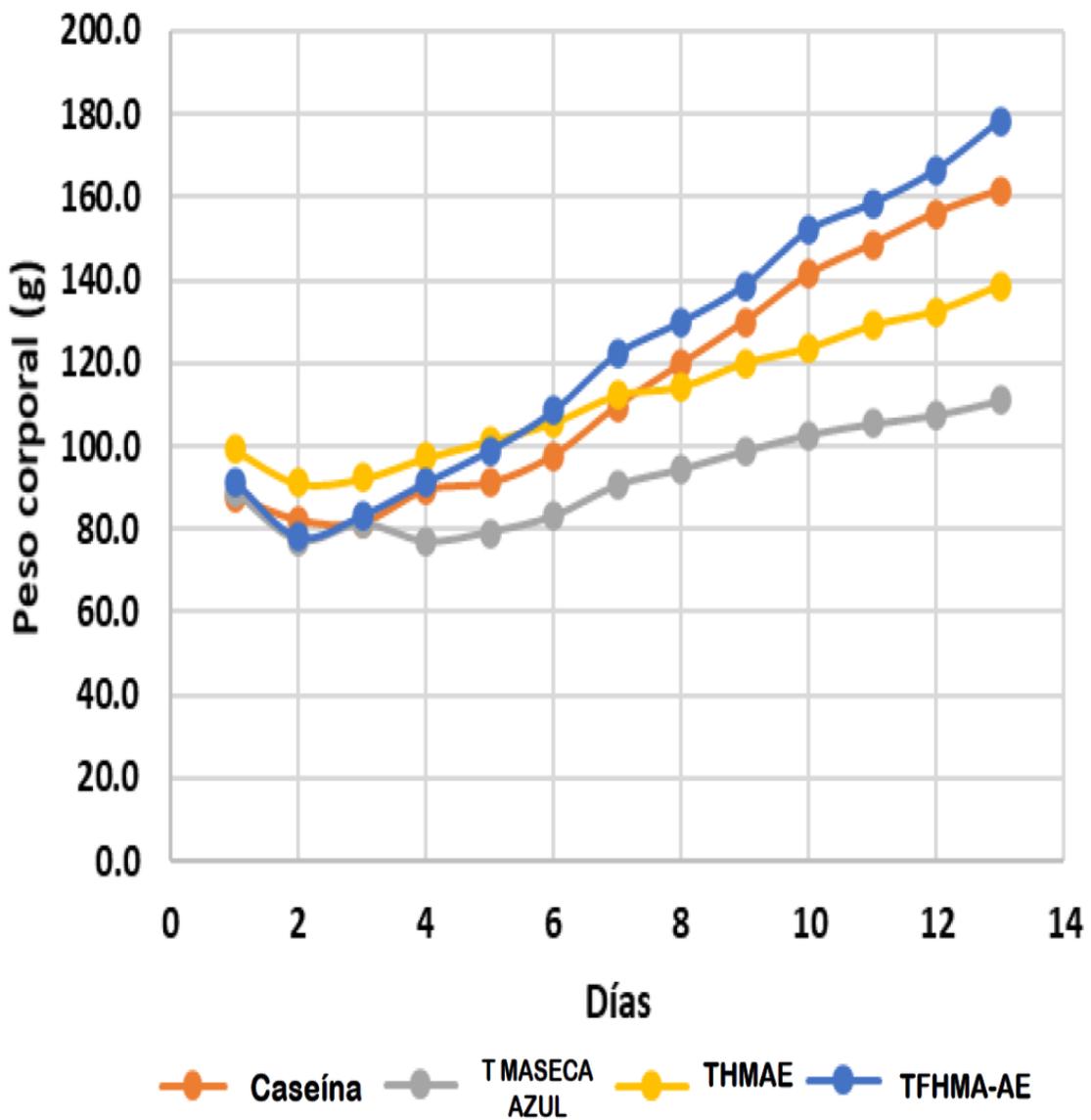
## **F PROPIEDADES NUTRICIONALES *IN VIVO* DE LAS PROTEÍNAS DE LAS TORTILLAS FUNCIONALES DE MAÍZ AZUL – AMARANTO (TFHMA-AE)**

Para el diseño de dietas y sistemas alimentarios saludables y sostenibles, es importante considerar no sólo la cantidad sino también la calidad de los nutrientes. Esto es particularmente importante para las proteínas, dada la gran variabilidad en la composición de aminoácidos y la digestibilidad entre las proteínas de la dieta. Se prefieren los métodos de calidad de las proteínas basados en las concentraciones y la digestibilidad de los aminoácidos individuales, porque no sólo permiten clasificar las proteínas, sino también evaluar la complementariedad de las fuentes de

proteínas. La integración de la calidad de las proteínas a nivel dietético también debe realizarse basándose en mediciones de cada aminoácido individual. Deben considerarse los efectos del procesamiento, que se aplica a todos los alimentos, ya que también puede afectar la calidad de las proteínas a través de efectos sobre la digestibilidad y la modificación del aminoácido (Adhikari y col., 2022)

En la **Fig 11** se muestra el efecto del consumo de las diferentes dietas sobre el peso corporal (g), de animales de laboratorio (ratas), en un periodo de 14 días. Las cuatro dietas suministradas se elaboraron en base a: **(1)** Caseína, **(2)** Tortilla de maíz nixtamalizado azul comercial (**TMASECA<sup>MR</sup>** Azul), **(3)** Tortilla de maíz azul integral extrudido (**THMAE**), **(4)** Tortilla funcional de maíz azul y amaranto integrales extrudidos (relación 70:30) (**TFHMA-AE**). Las dietas para ratas en crecimiento son importantes para garantizar un desarrollo saludable y óptimo. La comparación de estas dietas con una “dieta control” a base de Caseína proporciona información valiosa sobre cómo diferentes fuentes de proteínas afectan el crecimiento y desarrollo de los animales.

La Caseína es una proteína láctea de digestión lenta que se encuentra en la leche. La Caseína es buena fuente de AAE, Calcio y otros nutrientes presentes en los productos lácteos. Al utilizar Caseína como fuente principal de proteínas, se puede controlar mejor esta variable para observar específicamente sus efectos en comparación con otras fuentes de proteína. En la presente investigación se estudió el efecto de la adición de 30% de harina de amaranto extrudido (**HAE**) a 70% harina de maíz azul integral extrudido (**HMAE**) en el desarrollo de “Tortillas Funcionales Maíz Amaranto”. Se estudió efecto sobre crecimiento y desarrollo de los animales, observando crecimiento, desarrollo óseo y peso corporal. Las ratas alimentadas con la dieta que tenía como base “tortilla funcional de maíz azul – amaranto integrales extrudidos” (**TFHMA-AE**) consumieron, en promedio, mayor cantidad de alimento que aquellas alimentadas con Caseína (17.56 g vs 14.54 g);



**Fig 11.** Efecto de diferentes dietas en el peso de ratas alimentadas durante 14 días. **TMASECA AZUL** = Tortilla de maíz azul nixtamalizado (**MASECA<sup>MR</sup>**), **THMAE** = Tortilla de harina de maíz azul extrudido, **TFHMA-AE**= Tortilla Funcional de Maíz Azul – Amaranto Extrudidos

el menor consumo correspondió a ratas alimentadas con dieta elaborada con "Tortilla de maíz azul nixtamalizado comercial" (**TMASECA<sup>MR</sup> Azul**) (10.30 g) (**Cuadro 10**). Las dietas elaboradas con base a Caseína y **TFHMA-AE** presentan un mejor perfil y contenido de **AAE** que las preparadas con **THMAE (Cuadro 8)**. Algunos investigadores (Amaya-Guerra y col., 2004; Acevedo-Pacheco y col., 2016) han reportado una "menor ingesta de alimento" en animales que consumen una dieta que contiene proteínas de "calidad baja". Asimismo, las ratas alimentadas con la dieta a base de "Tortilla funcional maíz azul – amaranto extrudidos" (**TFHMA-AE**) tuvieron el mejor rendimiento de peso ganado (crecimiento) con 92 g de aumento de peso promedio (**Cuadro 10**), valor que no presentó diferencias significativas respecto al peso ganado (crecimiento) que presentaron las ratas alimentadas con dieta elaborada a base de Caseína (73 g). Las ratas alimentadas con dieta a base de "Tortilla de harina de maíz azul integral extrudido" (**THMAE**) tuvieron "crecimiento" menor (22.0 g). Esta tendencia es similar a la reportada por Acevedo-Pacheco y col., (2016) quienes informaron que ratas alimentadas con dietas a base de "tortillas de maíz fortificadas con soya" y de "tortillas de trigo fortificadas con soya" presentaron valores mayores de "aumento de peso promedio" (crecimiento) (63.8 y 52.2 g, respectivamente) que las alimentadas con dietas elaboradas solo con "tortillas de maíz" y "tortillas de trigo" (16.6 y 13.2 g, respectivamente). Por lo tanto, se puede concluir que la fortificación de las dietas mejoró "retención neta de proteína" (NPR) (**Cuadro 10**) y esto se expresó en un aumento mayor de peso corporal (crecimiento).

En la presente investigación se observó que las ratas alimentadas con una dieta a base de "Tortillas Funcionales de Maíz Azul – Amaranto Integrales Extrudidos" (**TFHMA-AE**) presentaron una mayor relación de eficiencia proteínica (**PER** =2.00) que las alimentadas con las dietas a base de "Tortilla de maíz azul integral extrudido" (**THMAE**) (**PER**=1.43, **PER**=1.35, respectivamente) (**Cuadro 10**). Las ratas alimentadas con las dietas elaboradas a base de "Caseína" y "Tortilla

**Cuadro 10.** Efecto de diferentes dietas en la ganancia de peso y crecimiento

<b>Parámetros evaluados</b>					
<b>Dieta</b>	<b>Consumo promedio (g)</b>	<b>Peso ganado (g)</b>	<b>PER<sup>1</sup></b>	<b>PER<sub>ADJ</sub><sup>2</sup></b>	<b>NPR<sup>3</sup></b>
Caseína	14.54 <sup>B</sup>	73.0 <sup>A</sup>	2.12 <sup>A</sup>	2.50 <sup>A</sup>	3.53 <sup>A</sup>
<b>TMASECA<sup>MR</sup></b> Azul	10.30 <sup>C</sup>	22.0 <sup>B</sup>	1.43 <sup>B</sup>	1.69 <sup>B</sup>	2.01 <sup>B</sup>
<b>THMAE</b>	14.91 <sup>B</sup>	39.5 <sup>B</sup>	1.35 <sup>B</sup>	1.59 <sup>B</sup>	2.42 <sup>B</sup>
<b>TFHMA-AE</b>	17.56 <sup>A</sup>	92.0 <sup>A</sup>	2.00 <sup>A</sup>	2.36 <sup>A</sup>	3.81 <sup>A</sup>
Valor- <i>p</i> (Ryan Joiner)	0.987	0.996	0.981	0.981	0.996
Valor- <i>p</i> (Barlett)	0.530	0.097	0.187	0.187	0.205

**A-C** Las medias (n=8) con la misma letra en la misma columna no presentan diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ).

**1** **PER** = Rrelación de eficiencia de proteína

**C** **PER<sub>ADJ</sub>** = Relación de eficiencia de proteína ajustada

**C** **NPR** = Retención neta de proteína

**4** **TMASECA<sup>MR</sup> Azul** = Tortilla de maíz azul nixtamalizado comercial

**5** **THMAE** = Tortilla de harina de maíz azul integral extrudido

**6** **TFHMA-AE** = Tortilla funcional harina de maíz azul – amaranto integrales extrudidos

Se empleó la prueba de normalidad de Ryan Joiner para verificar la normalidad de los datos (un valor  $p > 0.05$  indica que los datos siguen una distribución normal), mientras que la prueba de Bartlett se utilizó para verificar la igualdad de varianzas (un valor  $p > 0.05$  indica que las varianzas de los datos son iguales).

Funcional de maíz azul y amaranto integrales extrudidos" (**TFHMA-AE**) presentaron valores de "relación de eficiencia proteínica" similares (**PER**=2.12, **PER**=2.00) (**Cuadro 10**). Estos resultados son similares a lo reportado por Amaya-Guerra y col, (2004); ellos alimentaron ratas con una dieta a base de maíz de calidad proteínica (QPM, por sus siglas en inglés) fortificada con soya desgrasada al 3%; estos animales presentaron una relación de eficiencia proteínica (PER) de 2.13. Mientras que la relación de eficiencia proteínica de ratas alimentadas con dieta elaborada a base de tortillas de QPM, sin fortificar con soya desgrasada, fue de 1.84. Estos investigadores (Amaya-Guerra y col., 2004) también observaron una mejora en la calidad nutricional de las tortillas provocada por el enriquecimiento de ellas con minerales (Hierro, Zinc) y vitaminas (Tiamina, Riboflavina, Niacina, ácido Fólico). Los métodos biológicos en ratas para evaluar la calidad nutricional de dietas que contengan la proteína a analizar se basan en la ganancia de peso o en la retención de nitrógeno. Para esto, se utilizan dietas que contengan un 10% de proteína en base seca para asegurarse que el consumo de proteína sea menor que las necesidades diarias del animal; en la presente investigación, todas las dietas experimentales se ajustaron a un contenido de 10% de proteína en base seca. En estas condiciones, las proteínas de la dieta son utilizadas al máximo para el crecimiento. El parámetro biológico PER, se refiere específicamente a la eficacia nitrogenada, y la ganancia de peso del animal se debe a este único factor en las condiciones experimentales establecidas (López y col, 2006). Resultados similares al **PER** se obtuvieron en este parámetro ajustado con el valor teórico para la caseína (PER teórico = 2.5), el cual se reconoce como "Relación de Eficiencia Proteínica Ajustado" (**PER<sub>ADJ</sub>**). El **PER<sub>ADJ</sub>** de las ratas alimentadas con la dieta a elaborada a base de "Tortilla de maíz azul – amaranto integrales extrudidos" (**TFHMA-AE**) fue de 2.36 y no presentó diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) respecto al valor del **PER<sub>ADJ</sub>** de las ratas alimentadas con dieta elaborada a base de Caseína (**PER<sub>ADJ</sub>**=2.50); sin embargo, fue mayor ( $p < 0.05$ ) que los valores de **PER<sub>ADJ</sub>**

registrados por las ratas alimentadas con las dietas elaboradas a base de "Tortilla de Maíz Nixtamalizado comercial" (**TMASECA<sup>MR</sup>** azul) y "Tortilla de maíz azul integral extrudido" (**THMAE**) (1.69 y 1.59, respectivamente) (**Cuadro 10**). La dieta a base de **TFHMA-AE**, la cual tiene un mayor contenido de aminoácidos esenciales (**AAE**) y que se consumió en mayor cantidad, resultó en un significativo aumento de peso y **PER** (**Cuadro 10**).

La "Relación Neta de Proteína" (**NPR** = Net protein ratio, por sus siglas en inglés) intenta resolver algunos problemas asociados con el **PER**. El **NPR** se fundamenta en que existe una relación lineal para el incremento de peso del animal en función de la calidad de la proteína consumida. Este método emplea, además del grupo de animales alimentados con la dieta experimental, otro grupo de animales alimentados con una dieta libre de nitrógeno (cero por ciento de proteína). El grupo con dieta libre de nitrógeno se incluye para la corrección de incremento de peso; ya que no toda la proteína que se consume se destina al crecimiento, parte de ella se va a utilizar para mantener el balance cero (balance de nitrógeno corporal). Una vez cubierta esta necesidad de nitrógeno, el resto del nitrógeno proveniente de la proteína dietaria se utiliza para crecimiento (Adhikari y col., 2022)

Las ratas alimentadas con la dieta a base de "Tortilla funcional de maíz azul – amaranto extrudidos" (**TFHMA-AE**) y aquellas alimentadas con "dieta control", elaborada a base de Caseína, no presentaron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) en el valor de **NPR** (3.81 vs 3.53, respectivamente) (**Cuadro 10**). Las ratas alimentadas con dietas elaboradas a base de "Tortilla de maíz azul nixtamalizado comercial" (**TMASECA<sup>MR</sup>** Azul) y "Tortilla de maíz azul integral extrudido" (**THMAE**) presentaron los **NPR** menores (2.01 y 2.42, respectivamente) (**Cuadro 10**). Además del valor nutricional, las propiedades fisicoquímicas y el comportamiento durante el procesamiento juega un papel importante en la determinación de la calidad final de los alimentos; la calidad de la proteína se basa en el contenido de aminoácidos esenciales (AAE), presencia de factores antinutricionales y el

procesamiento térmico a la que se somete (Almirudis-Echeverría y col, 2020; Singh y col., 2022). La adición del 30% de harina de amaranto integral extrudido (**HAE**) a "harina de maíz azul integral extrudido" (**HMAE**), en proporción 70%, y su utilización como "Mezcla de harinas maíz azul – amaranto (70:30)" permitió obtener una "Tortilla funcional maíz azul – amaranto extrudidos" (**TFHMA-AE**) que, al compararse con "Tortilla de maíz azul extrudido (**THMAE**)", mejoró el contenido de **AAE** Triptófano y Lisina. Las "Tortillas funcionales maíz azul – amaranto" presentaron **NPR** significativamente mayor ( $p < 0.05$ ) que aquellas que se alimentaron con dietas basadas en tortillas 100% maíz (**TMASECA<sup>MR</sup>** Azul, **THMAE**) (**Cuadro 10**) indicando una mayor retención de proteínas.

La calidad de una proteína se determina no solo por su composición de aminoácidos, sino también por su digestibilidad o biodisponibilidad. Varios factores, como la digestibilidad de proteínas, Lisina disponible, utilización neta de proteínas (**NPU**), relación de eficiencia proteica (**PER**) o valor biológico (**VB**), son comúnmente utilizados como medidas para evaluar la calidad nutricional de las proteínas (Adhikari y col., 2022). Las digestibilidades aparente y verdadera (**DA**, **DV**), valor biológico (**VB**) y la utilización neta de proteínas (**NPU**) de las proteínas de las diferentes dietas se muestra en **Cuadro 11**. Las proteínas de la dieta a base de Caseína registraron los valores más altos ( $p < 0.05$ ) de digestibilidad aparente (**DA=92.26%**), digestibilidad verdadera (**DV=94.43%**) y utilización neta de proteína (**NPU=92.26%**). Mientras que las proteínas de la dieta a base de "Tortillas funcionales de maíz azul – amaranto extrudidos" (**TFHMA-AE**) tuvieron valores menores ( $p < 0.05$ ) de digestibilidades aparente y verdadera (**DA: 83.47 vs 87.48 %**, **DV: 84.97 vs 90.17 %**) que las proteínas de la dieta elaborada con "Tortilla de harina de maíz azul extrudido (**THMAE**)". Se ha reportado que la presencia de fibra disminuye la absorción de ciertos nutrimentos, lo que resulta en

**Cuadro 11.** Efectos de diferentes dietas sobre digestibilidad proteínica, valor biológico y utilización neta de proteína

<b>Parámetros evaluados</b>				
<b>Dieta</b>	<b>DA<sup>1</sup></b>	<b>DV<sup>1</sup></b>	<b>VB<sup>1</sup></b>	<b>NPU<sup>1</sup></b>
<b>Caseína</b>	92.26 <sup>A</sup>	94.43 <sup>A</sup>	93.44 <sup>A</sup>	88.20 <sup>A</sup>
<b>TMASECA<sup>MR</sup></b> Azul <sup>2</sup>	78.33 <sup>D</sup>	80.94 <sup>D</sup>	78.85 <sup>B</sup>	63.82 <sup>C</sup>
<b>THMAE<sup>3</sup></b>	87.48 <sup>B</sup>	90.17 <sup>B</sup>	74.99 <sup>B</sup>	67.66 <sup>C</sup>
<b>TFHMA-AE<sup>4</sup></b>	83.47 <sup>C</sup>	84.97 <sup>C</sup>	95.29 <sup>A</sup>	80.98 <sup>B</sup>
Valor- <i>p</i> (Ryan Joiner)	0.981	0.989	0.993	0.992
Valor- <i>p</i> (Barlett)	0.519	0.717	0.227	0.489

<sup>A-C</sup> Las medias (n=8) con la misma letra en la misma columna no presentan diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ).

<sup>1</sup> **DA** = Digestibilidad aparente (%), **DV** = Digestibilidad verdadera (%), **VB** = Valor Biológico, **NPU** = Utilización neta de proteína

<sup>2</sup> **TMASECA<sup>MR</sup> Azul** = Tortilla de maíz azul nixtamalizado comercial

<sup>3</sup> **THMAE** = Tortilla de harina de maíz azul integral extrudido

<sup>4</sup> **TFHMA-AE** = Tortilla funcional harina de maíz azul – amaranto integrales extrudidos

\*Se empleó la prueba de normalidad de Ryan Joiner para verificar la normalidad de los datos (un valor  $p > 0.05$  indica que los datos siguen una distribución normal), mientras que la prueba de Bartlett se utilizó para verificar la igualdad de varianzas (un valor  $p > 0.05$  indica que las varianzas de los datos son iguales).

Una reducción de la digestibilidad y, en consecuencia, aumenta la excreción endógena de nitrógeno en las heces (Almirudis-Echeverría y col., 2020).

En cuanto al valor biológico (VB), las proteínas de la dieta elaborada a base de Caseína y las de aquella elaborada a base de "tortilla funcional de maíz azul – amaranto extrudidos (**TFHMA-AE**)" presentaron valores biológicos similares (**VB**: 93.44 vs 95.29) (**Cuadro 11**); los **VB** menores correspondieron a las proteínas de las dietas elaboradas a base de "Tortilla de maíz nixtamalizado comercial (**TMASECA<sup>MR</sup>** Azul)" y de "Tortillas de maíz azul extrudido (**THMAE**)" (78.85 y 74.99, respectivamente). En lo que respecta a la "Utilización neta de proteína (**NPU**)", en el **Cuadro 11** se puede observar que las proteínas de las dietas elaboradas a base de Caseína y **TFHMA-AE** presentaron **NPU** de 88.20 y 80.98, respectivamente. Los valores de **NPU** menores correspondieron a las proteínas de las dietas elaboradas a base de **TMASECA<sup>MR</sup>** Azul (**NPU**=63.82) y **THMAE** (**NPU**=67.66). Acevedo-Pacheco y col. (2016) reportaron tendencias similares al efectuar evaluaciones de la calidad de la proteína a dietas elaboradas a base de "Tortillas de maíz nixtamalizado fortificadas con soya" y "Tortillas de harina de trigo fortificadas con soya", con valores de **NPU** de 57.1% y 51.4%, respectivamente; sin embargo, las proteínas de "Tortillas de maíz" y de "Tortillas de trigo", ambas sin soya adicionada, presentaron valores de **NPU** menores: 40.5% y 47.1%, respectivamente. Por otro lado, Amaya-Guerra y col. (2004) fortificaron tortillas de maíz de calidad proteínica (QPM, por sus siglas en inglés) con 6% de soya; estos investigadores reportaron que las proteínas de estas tortillas registraron **NPU**=59.16%; valor menor que el encontrado para el "Control" (Caseína) utilizado (**NPU**=68.27%).

## **G PRUEBAS FÍSICAS DEL FÉMUR**

En el **Cuadro 12** se muestran el efecto de la calidad de la proteína sobre las características físicas de los fémures de ratas alimentadas con diferentes dietas.

**Cuadro 12.** Características físicas de los fémures de ratas alimentadas con diferentes dietas

Parámetros a evaluados							
Dietas	Largo (mm)	A (mm)	B (mm)	C (mm)	Peso (mg)	Fuerza corte (N)	Densidad (mg/mm <sup>3</sup> )
Caseína	25.31 <sup>A</sup>	2.64 <sup>A</sup>	5.61 <sup>A</sup>	5.81 <sup>A</sup>	278.96 <sup>A</sup>	68.10 <sup>A</sup>	1.24 <sup>A</sup>
TMASECA <sup>MR</sup> Azul <sup>1</sup>	23.02 <sup>B</sup>	2.36 <sup>B</sup>	5.37 <sup>AB</sup>	5.70 <sup>A</sup>	216.74 <sup>D</sup>	54.47 <sup>B</sup>	1.20 <sup>AB</sup>
THMAE <sup>2</sup>	23.66 <sup>B</sup>	2.52 <sup>A</sup>	5.70 <sup>A</sup>	5.80 <sup>A</sup>	259.68 <sup>C</sup>	66.95 <sup>A</sup>	1.22 <sup>A</sup>
TFHMA-AE <sup>3</sup>	23.36 <sup>B</sup>	2.60 <sup>A</sup>	5.77 <sup>A</sup>	5.83 <sup>A</sup>	267.38 <sup>B</sup>	72.85 <sup>A</sup>	1.22 <sup>A</sup>
Aproteica	21.33 <sup>C</sup>	2.25 <sup>B</sup>	5.15 <sup>B</sup>	5.28 <sup>B</sup>	167.71 <sup>E</sup>	45.44 <sup>C</sup>	1.09 <sup>B</sup>

<sup>A-C</sup> Las medias con la misma letra en la misma columna no presentan diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ )

**A**= Diámetro del hueso, **B**= Diámetro de la articulación femoral-pelvis,

**C** = Diámetro de la articulación femoral-tibia

<sup>C</sup> **TMASECA<sup>MR</sup> Azul** = Tortilla de maíz azul nixtamalizado comercial

<sup>C</sup> **THMAE** = Tortilla de harina de maíz azul integral extrudido

<sup>4</sup> **TFHMA-AE** = Tortilla funcional harina de maíz azul – amaranto integrales extrudidos

Las ratas alimentadas con la dieta "sin proteína" (aproteica) presentaron un fémur más corto (21.33 mm), mientras que las ratas alimentadas con la dieta elaborada a base de Caseína presentaron un fémur más largo (25.31 mm). Las ratas alimentadas con dieta elaborada a base de Caseína presentaron un largo de fémur significativamente mayor ( $p < 0.05$ ) que el de las ratas alimentadas con dietas elaboradas en base a "Tortillas de maíz nixtamalizado comercial" (**TMASECA<sup>MR</sup>** Azul), "Tortillas de maíz azul extrudido (**THMAE**)" y "Tortillas funcionales elaboradas con maíz azul – amaranto extrudidos (**TFHMA-AE**)". No se observaron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) en la longitud de los fémures de las ratas alimentadas con dietas en base a **TMASECA<sup>MR</sup>** Azul, **THMAE** y **TFHMA-AE**, los cuales registraron longitudes 23.02 mm, 23.66 mm y 23.36 mm, respectivamente (**Cuadro 12**).

No se observaron diferencias significativas en diámetro del hueso (**A**), diámetro de la articulación femoral-pelvis (**B**), diámetro de la articulación femoral – tibia (**C**) y la densidad ( $\text{mg}/\text{mm}^3$ ) de los fémures de ratas alimentadas con Caseína y los fémures de las ratas alimentadas con las otras tres dietas (**TMASECA<sup>MR</sup>** Azul, **THMAE**, **TFHMA-AE**) (**Cuadro 12**).

En relación al peso (mg) de los fémures, se observó que el mayor peso correspondió a los de las ratas alimentadas con dieta a base de Caseína (278.96 mg), le siguieron los fémures de ratas alimentadas con dieta a base de **TFHMA-AE** (267.38 mg); los pesos menores se presentaron en los fémures de las ratas alimentadas con dietas elaboradas a base de **THMAE** y **TMASECA<sup>MR</sup>** Azul, con pesos de 259.66 mg y 216.74 mg, respectivamente. El menor peso correspondió a ratas alimentadas con dieta a base de "Tortilla de maíz nixtamalizado comercial (**TMASECA<sup>MR</sup>** Azul) con un peso de 216.74 g (**Cuadro 12**).

En cuanto al parámetro "Fuerza de Corte (N)", que es la fuerza requerida, en Newtons, para romper los fémures se observó que las ratas alimentadas con dietas a base de Caseína, **THMAE** y **TFHMAE-AE** presentaron fémures que requerían,

para su corte, fuerzas de corte estadísticamente similares (68.10 N, 66.95 N, 72.85 N, respectivamente) para su ruptura (**Cuadro 12**). Los fémures de las ratas alimentadas con dietas elaboradas en base a **TMASECA<sup>MR</sup>** Azul y "Aproteica" requirieron fuerza de corte menor ( $p < 0.05$ ) para la ruptura de los fémures (54.47 N y 45.44 N, respectivamente) (**Cuadro 12**). Los resultados coinciden con los reportados por Gómez-Aldapa y col. (1999) quienes estudiaron el efecto de la adición de 0.15 y 0.25% de Ca a tortillas de maíz extrudido en comparación de maíz crudo y nixtamalizado sobre los huesos de las ratas, obteniendo que la adición de Ca mejoró el contenido de este en los huesos y a su vez afectó positivamente en las características físicas de los fémures de las ratas (longitud, diámetro, peso, fuerza de corte, volumen y densidad). Por otro lado, Serna-Saldívar y col, (1992) observaron una tendencia similar en las características físicas de los huesos; sin embargo, reportaron algunas diferencias atribuyéndole al tipo y edad de las ratas utilizadas en el experimento. La proteína desempeña un papel fundamental en la estructura del hueso (Shams-White y col, 2017); las proteínas que consumimos en nuestra dieta deben proporcionar los aminoácidos esenciales necesarios para la síntesis de nueva estructura ósea. En estudios con ratas, se ha observado que la desnutrición proteica se asocia con una disminución en la masa y la fuerza ósea, y esto está influenciado por el eje de la hormona del crecimiento y el factor de crecimiento similar a la insulina 1 (IGF-1) (Ammann y col, 2000). Además, se ha demostrado que en animales que reciben una dieta baja en proteínas, la fuerza ósea puede aumentar mediante la suplementación dietética con aminoácidos esenciales (Ammann y col, 2002). Se ha encontrado evidencia de una relación positiva entre la densidad mineral ósea (BMD) y la ingesta de energía y proteínas en varios estudios. Además, se ha observado que la suplementación oral mejora el resultado clínico en pacientes de edad avanzada que sufren fracturas de cuello femoral. En conclusión, ajustar tanto la cantidad como la calidad de las proteínas consumidas en la dieta es

una estrategia prometedora para prevenir la pérdida ósea (Tkatch y col., 1992; Mardon y col, 2008).

## IX CONCLUSIONES

Las tortillas funcionales maíz azul – amaranto presentaron mayor cantidad de proteínas y fibra dietaria y mejor digestibilidad proteínica *in vitro* y relación de eficiencia proteínica calculada que las tortillas 100% maíz azul extrudido. La adición de harina de amaranto integral extrudido permitió obtener tortillas funcionales, sensorialmente aceptables, con mayor valor nutricional y mejores potenciales antihipertensivo e hipoglucémico que tortillas 100% maíz. Las propiedades nutracéuticas evidenciadas *in vitro* deben confirmarse con modelos animales / humanos.

Las proteínas de las “tortillas funcionales maíz azul - amaranto” tuvieron mayor Calidad Nutricional que las proteínas de las tortillas 100% maíz [“Tortillas de harina de maíz nixtamalizado comercial” (MASECA), “Tortillas de maíz azul integral extrudido”]. Las proteínas de las “tortillas funcionales maíz azul – amaranto” tuvieron valores mayores de relación de eficiencia proteínica (PER), relación neta de proteína (NPR), Utilización neta de proteína (NPU), Digestibilidad proteínica (Aparente y verdadera, DA, DV), y valor biológico (VB) que las proteínas de las tortillas 100% maíz [“Tortillas de harina de maíz nixtamalizado comercial” (MASECA), “Tortillas de maíz azul integral extrudido”].

Respecto a las características físicas de los fémures, las ratas alimentadas con dieta elaborada a base de “Tortillas Funcionales Maíz azul – amaranto”, presentaron valores mayores de diámetro del hueso, diámetro de la articulación femoral-pelvis, peso del fémur y fuerza de corte (fuerza necesaria para romper el hueso, N) que las alimentadas con dieta a base de “Tortilla de harina de maíz nixtamalizado azul comercial (**MASECA<sup>MR</sup>**).

Los resultados de la presente investigación pueden ser utilizados como “evidencia científica” para establecer “Políticas Públicas” que tengan como propósito mejorar el

estado nutricional y reducir el riesgo de incidencia de enfermedades crónico-degenerativas (ECD) en Sinaloa y en México



**Fig 12. Jornada de Elaboración de Tortillas Funcionales**  
Izquierda a derecha: (1) Dr Héctor Manuel Cárdenas Cota, (2) Dr Carlos Karam Quiñonez (Dir CONFIE, Gob Edo Sinaloa), (3) MC Luisa Fda Madrigales Réatiga (Est Doctorado en Ciencia y Tecnología de Alimentos FCQB-UAS), (4) MC Laura Celeste Gámez Valdez (Est Doctorado C y T Alimentos, FCQB-UAS), (5) Dr Roberto Gutiérrez Dorado (Inv Nacional Nivel 2, FCQB-UAS), (6) LAE Carlo Severo Cárdenas Cota (Administrador: "Tortillas de Harina Tía Violeta")

## X BIBLIOGRAFÍA

- Abdel-Aal ESM, Hucl P. 1999. A rapid method for quantifying total anthocyanins in blue aleurone and purple pericarp wheats. *Cereal Chemistry* 76:350–354 <http://dx.doi.org/10.1094/CCHEM.1999.76.3.350>
- Acevedo-Pacheco L, Serna-Saldívar SO. 2016. *In vivo* protein quality of selected cereal-based staple foods enriched with soybean proteins. *Food Nutrition Research* 19(60):31382 <https://doi.org/10.3402/fnr.v60.31382>
- Acosta-Estrada BA, Serna-Saldívar SO, Chuck-Hernández C. 2023. Nutritional assessment of nixtamalized maize tortillas produced from dry masa flour, landraces, and high yield hybrids and varieties. *Frontiers in Nutrition* 10:1183935 <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1183935>
- Adhikari S, Schop M, de Boer IJM, Huppertz T. 2022. Protein quality in perspective: A review of protein quality metrics and their applications. *Nutrients* 14:947 <https://doi.org/10.3390/nu14050947>
- Ademiluyi AO, Oboh G. 2012. Phenolic-rich extracts from selected tropical underutilized legumes inhibit  $\alpha$ -amylase,  $\alpha$ -glucosidase, and angiotensin I converting enzyme *in vitro*. *Journal of Basic and Clinic Physiology and Pharmacology* 23(1):17-25 <https://doi.org/10.1515/jbcpp-2011-0005>
- Ademiluyi AO, Oboh G. 2013. Soybean phenolic-rich extracts inhibit key enzymes linked to type 2 diabetes ( $\alpha$ -amylase and  $\alpha$ -glucosidase) and hypertension (angiotensin I converting enzyme) *in vitro*. *Experimental and Toxicologic Pathology* 65:305-309 <https://doi.org/10.1016/j.etp.2011.09.005>
- Adom KK, Liu RH. 2002. Antioxidant activity of grains. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50:6182-6187 <https://doi.org/10.1021/jf0205099>
- Agama-Acevedo, E.; Salinas-Moreno, Y.; Pacheco-Vargas, G.; Bello-Pérez, L.A. 2011. Características físicas y químicas de dos razas de maíz azul: Morfología del almidón. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 2:317–329 <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263119714002>

- Aguayo-Rojas J, Mora-Rochín S, Cuevas-Rodríguez EO, Serna-Saldivar SO, Gutiérrez-Uribe JA, Reyes-Moreno C, Milán-Carrillo J. 2012. Phytochemicals and antioxidant capacity of tortillas obtained after lime-cooking extrusion process of whole pigmented Mexican maize. *Plant Foods for Human Nutrition* 676:178–185. <https://doi.org/10.1007/s11130-012-0288-y>
- Aguilar-Salinas CA, Hernandez-Jimenez S, Hernández-Avila M, Hernández-Avila JE. 2015. Acciones para enfrentar la diabetes. Documento de postura de la Academia Nacional de Medicina. México: Conacyt. Disponible en: <http://www.anmm.org>
- Al-Shukor N, Van-Camp J, Gonzales GB, Staljanssens D, Struijs K, Zotti MJ, Raes K, Smagghe G. 2013. Angiotensin-converting enzyme inhibitory effects by plant phenolic compounds: a study of structure-activity relationships. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 61:11832-11839 <https://doi.org/10.1021/jf404641v>
- Ali-Asgar M. 2012. Anti-diabetic potential of phenolic compounds: A review. *International Journal of Food Properties* 16(1):91-103 <https://doi.org/10.1080/10942912.2011.595864>
- Almirudis-Echeverría SJ, Ramírez-Wong B, Medina-rodríguez CL. 2020. Antioxidant activity of amaranth flours obtained by extrusion and partial analysis of their protein quality *in vivo*. *Biotechnia* XXII(1):24-31 <https://doi.org/10.7440/res64.2018.03>
- Alu'datta MH, Rababaha T, Alhamadb MN, Johargyc A, Gammoha S, Ereifeja K, Almajould A, Al-Karakie G, Kubowf S, Ghozlan KA. 2017. Phenolic contents in vitro antioxidant activities and biological properties, and HPLC profiles of free and conjugated phenolics extracted from onion, pomegranate, grape, and apple. *International Journal of Food Properties* 20(S2): S1823-S1837 <https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1349140>
- Amaya-Guerra CA, Alanis-Guzmán MG, Serna-Saldívar SO. 2004. Effects of soybean fortification on protein quality of tortilla-based diets produced from regular and

- quality protein maize. *Plant Foods for Human Nutrition* 59:45–50  
<https://doi.org/10.1007/s11130-004-0030-5>
- Ammann P, Bonjour JP, Rizzoli R. Essential amino acid supplements increase muscle weight, bone mass and bone strength in adult osteoporotic rats. *Journal of Musculoskeletal Neuronal Interact* 1(1):43– 44.
- Ammann P, Laib A, Bonjour JP, Meyer JM, Rüeggsegger P, Rizzoli R. Dietary essential amino acid supplements increase bone strength by influencing bone mass and bone microarchitecture in ovariectomized adult rats fed an isocaloric low-protein diet. *Journal of Bone and Mineral Research* 17(7):1264–1272  
<https://doi.org/10.1359/jbmr.2002.17.7.1264>
- Angulo-Bejarano P, Verdugo-Montoya N, Cuevas-Rodríguez EO, Milán-Carrillo J, Mora-Escobedo R, Garzón-Tiznado JA, Reyes-Moreno C. 2008. Tempeh flour from chickpea (*Cicer arietinum* L). Nutritional and physicochemical properties. *Food Chemistry*. 106:106-112  
<https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2007.05.049>
- AOAC. 2012. *Association of Official Analytical Chemists*. Official Methods of Analysis. Methods: 925.09B, 920.39 C, 960.52, Arlington,VA, EUA. *Association of Official Analytical Chemists*
- Arenas-Carvajal, R., Pachon-Gomez, E., Mendez-Callejas, G., and Guzman-Avendano, A. 2009. Estudio del efecto inhibitorio de extractos de *Salvia scutellarioides* sobre la actividad de la enzima convertidora de Angiotensina. *Revista Javeriana* 14(2-3):141-150 Disponible en línea en: [www.javeriana.edu.co/universitas\\_scientiarum](http://www.javeriana.edu.co/universitas_scientiarum)
- Argüelles-López OD, Reyes-Moreno C, Gutiérrez-Dorado R, Sánchez-Osuna MF, López-Cervantes J, Cuevas-Rodríguez EO, Milán-Carrillo J, Perales-Sánchez JXK. 2018. Functional beverages elaborated from amaranth and chia flours processed by germination and extrusion. *Biotechnia* XX(3):135-145  
<https://doi.org/10.18633/biotechnia.v20i3.721>

- Askari M, Heshmati J, Shahinfar H, Tripathi N, Daneshzad E. 2020. Ultra-processed food and the risk of overweight and obesity: a systematic review and meta-analysis of observational studies. *International Journal of Obesity (London)* 44(10):2080-91 <https://doi.org/10.1038/s41366-020-00650-z>
- Astawan M, Rahmawati IS, Cahyani AP, Wresdiyati T, Putri SP, Fukusaki E. 2020. Comparison between the potential of tempe flour made from germinated and nongerminated soybeans in preventing *Diabetes mellitus*. *HAYATI Journal of Biosciences* 27(1):16-23 <http://dx.doi.org/10.4308/hjb.27.1.16>
- Astorga-Gaxiola AH, Reyes-Moreno C, Milán-Carrillo J, Jiménez-Edeza M, Cuevas-Rodríguez EO, Castañeda-Ruelas GM, Mora-Rochín S. 2023. Release of phenolic compounds with antioxidant activity by human colonic microbiota after in vitro fermentation of traditional white and blue maize tortillas. *International Food Research Journal* 30(1): 240 – 251 <https://doi.org/10.47836/ifrj.30.1.20>
- Barba de la Rosa AP, Fomsgaard IS, Laursen B, Mortensen AG, Olvera-Martinez L, Silva-Sanche C, Mendoza-Herrer A, Gonzalez-Castaneda J,c De Leon-Rodriguez A. 2009. Amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*) as an alternative crop for sustainable food production: Phenolic acids and flavonoids with potential impact on its nutraceutical quality. *Journal of Cereal Science* 49: 117-121 <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2008.07.012>
- Barrientos-Gutiérrez T, Colchero MA, Sánchez-Romero LM, Batis C, Rivera-Dommarco J. 2018. Posicionamiento sobre los impuestos a alimentos no básicos densamente energéticos y bebidas azucaradas. *Salud Publica Mex.* 2018;60(5):586-91. <https://doi.org/10.21149/9534>
- Basto-Abreu A, López-Olmedo N, Rojas-Martínez R, Aguilar-Salinas CA, Moreno-Banda GL, Carnalla M, Rivera-Dommarco JA, Romero-Martínez M, Barquera S, Barrientos-Gutiérrez T. 2023. Prevalencia de prediabetes y diabetes en México. ENSANUT 2022. *Salud Publica de México* 65(supl 1):S163-S168 <https://doi.org/10.21149/14832>

- Bedolla S, Rooney LW. 1984. Characteristics of US and Mexican instant maize flour for tortilla and snack preparation. *Cereal Foods World* 29:732-735.
- Bei Q, Chen G, Lu F, Wu S, Wu Z. 2018. Enzymatic action mechanism of phenolic mobilization in oats (*Avena sativa* L.) during solid-state fermentation with *Monascus anka*. *Food Chemistry* 245:297–304  
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.10.086>
- Bello-Pérez LA, Camelo-Mendez GA, Agama-Acevedo E, Utrilla-Coello RG. 2016. Aspecto nutracéuticos de los maíces pigmentados: Digestibilidad de los carbohidratos y antocianinas. *Agrociencia* 50:1041–1063  
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30249305008>
- Beslay M, Srour B, Méjean, C. 2020. Ultra-processed food intake in association with BMI change and risk of overweight and obesity: A prospective analysis of the French NutriNet-Santé cohort. *PloS Med.*, 17(8).  
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32853224/>
- Bon-Padilla BK, Reyes-Moreno C, Milán-Carrillo J, Reynoso- Camacho R, Gómez-Aldapa CA, Gómez- Favela MA, Gutiérrez-Dorado R. 2022. Tortillas made from nixtamalized maize and extruded chickpea flours: A product with improved *in vitro* nutritional and antihypertensive properties. *Cereal Chemistry* 1–12.  
<https://doi.org/10.1002/cche.10577>
- Buford TW. 2016. Hypertension and Aging. *Ageing Res Rev.* 26:96.  
<https://doi.org/10.1016/j.arr.2016.01.007>
- Campos-Nonato I, Oviedo-Solís C, Vargas-Meza J, Ramírez-Villalobos D, Medina-García C, Gómez-Álvarez E, Hernández-Barrera L, Barquera S. 2023. Prevalencia, tratamiento y control de la hipertensión arterial en adultos mexicanos: resultados de la Ensanut 2022. *Salud Publica de México* 65(supl 1):S169-S180.  
<https://doi.org/10.21149/14779>
- Cázares-Sánchez E, Chávez-Servia JL, Salinas-Moreno Y, Castillo-González F, Ramírez-Vallejo P. 2015. Variación en la composición del grano entre poblaciones

- de maíz (*Zea mays* L.) nativas de Yucatán, México. *Agrociencia* 249:15–30  
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30236850002>
- CDCP. 2021. Centers for Disease Control and Prevention. Diabetes Report Card [citado febrero 28, 2023]. Disponible en: <https://www.Cdc.gov/diabetes/library/reports/reportcard.html>
- CDCP. 2022. Centers for Disease Control and Prevention. Prevalence of prediabetes among adults. [citado febrero 28, 2023]. Disponible en: <https://www.cdc.gov/diabetes/data/statistics-report/prevalence-of-prediabetes.html>
- Chauhan D, Kumar K, Ahmed N, Singh TP, Thakur P. 2022, Effect of processing treatments on the nutritional, anti-nutritional, and bioactive composition of blue maize (*Zea mays* L.). *Current Research in Nutrition and Food Science Journal* 10:171–182 <http://dx.doi.org/10.12944/CRNFSJ.10.1.12>
- Chahoud J, Mrad J, Semaan A, Asmar R. 2015. Prevalence of diabetes mellitus among patients with essential arterial hypertension. *Lebanese Medical Journal* 63(2):74-80 <https://doi.org/10.12816/0012554>
- Chavarín-Martínez CD, Reyes-Moreno C, Milán-Carrillo J, Perales-Sánchez X, Canizalez-Roman VA, Cuevas-Rodríguez EO, López-Valenzuela J, Gutiérrez-Dorado R. 2022. Effect of germination and UV-B elicitation on chemical compositions, antioxidant activities, and phytochemical contents of 117entigrade117ti Mexican blue maize seeds. *International Food Research Journal* 29(2): 300 – 310 <https://doi.org/10.47836/ifrj.20.2.08>
- Chávez-Ontiveros J, Reyes-Moreno C, Ramírez-Torres GI, Figueroa-Salcido OG, Arámburo-Gálvez JG, Montoya-Rodríguez A, Ontiveros N, Cuevas-Rodríguez, EO. 2022. Extrusion improves the antihypertensive potential of a kabuli chickpea (*Cicer arietinum* L.) protein hydrolysate. *Foods* 11:2562 <https://doi.org/10.3390/foods11172562>
- Chen Y, Ma Y, Dong L, Jia X, Liu L, Huang F, Chi J, Xia J, Zhang M, Zhang R. 2019. Extrusion and fungal fermentation change the profile and antioxidant activity of

- free and bound phenolics in rice bran together with the phenolic bioaccessibility. *LWT – Food Science and Technology* 115:108461 <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2019.108461>
- Chuck-Hernández CE, Serna-Saldívar SO. 2019. Flours and Bread and their Fortification in Health and Disease Prevention. 2<sup>nd</sup> edition. In: "Soybean-Fortified Nixtamalized Corn Tortillas and Related Products." Chap 25, Preedy VR, Watson RR (ed), Academic Press, pp 319-333, ISBN: 978-0- 12-814639-2.
- Colín-Chávez C, Virgen-Ortiz JJ, Serrano-Rubio LE, Martínez-Téllez MA, Astier M. 2020. Comparison of nutritional properties and bioactive compounds between industrial and artisan fresh tortillas from maize landraces. *Current Research in Food Science* 3:189–94 <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2020.05.004>
- Colombo R, Ferron L, Papetti A. 2021. Colored corn: An up-date on metabolites extraction, health implication, and potential use. *Molecules* 26:199 <https://doi.org/10.3390/molecules26010199>
- Connelly PJ, Currie G, Delles C. 2022. Sex differences in the prevalence, outcomes and management of hypertension. *Current Hypertension Reports* 24(6):185. <https://doi.org/10.1007/s11906-022-01183-8>
- Cornier MA, Després JP, Davis N, Grossniklaus DA, Klein S, Lamarche B, *et al.* 2011. Assessing adiposity: A scientific statement from the 118entigra heart association. *Circulation* 124(18):1996-2019 <https://doi.org/10.1161/CIR.0b013e318233bc6a>
- Corrales-Bañuelos AB, Cuevas-Rodríguez EO, Gutiérrez-Irbe JA, Milán-Noris EM, Reyes-Moreno C, Milán-Carrillo J, Mora-Rochín S. 2016. Carotenoid composition and antioxidant activity of tortillas elaborated from pigmented maize landraces by traditional nixtamalization or lime cooking extrusion process. *Journal of Cereal Science* 69:64-70 <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v23i2.1392>
- Cuevas-Nasu L, Muñoz-Espinosa A, Shamah-Levy T, García-Feregrino R, Gómez-Acosta LM, Ávila-Arcos MA, Rivera-Dommarco JA. 2023. Estado de nutrición de

- niñas y niños menores de cinco años en México. ENSANUT 2022. *Salud Pública de México* 65(supl 1):S211-S217 <https://doi.org/10.21149/14799>
- Cuevas-Rodríguez EO, Milán-Carrillo J, Mora-Escobedo R, Cárdenas-Valenzuela OG, Reyes-Moreno C. 2004. Quality protein maize (*Zea mays* L.) tempeh flour through solid state fermentation process. *LWT - Food Science and Technology* 37(1):59-67 [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(03\)00134-8](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(03)00134-8)
- Cuevas-Rodríguez EO, Verdugo-Montoya NM, Angulo-Bejarano PI, Milán-Carrillo J, Mora-Escobedo R, Bello-Pérez LA, Garzón-Tiznado JA, Reyes-Moreno C. 2006. Nutritional properties of tempeh flour from quality protein maize (*Zea mays* L.). *LWT - Food Science and Technology* 39:1072-1079 <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2005.07.003>
- Del Pozo-Insfran D, Brenes CH, Serna-Saldívar SO, Talcott ST. 2006. Polyphenolic and antioxidant content of white and blue corn (*Zea mays* L.) products. *Food Research International* 39:696-703 <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2006.01.014>
- de la Parra C, Serna-Saldivar SO, Liu RH. 2007. 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* 16;55(10):4177-1483. <https://doi.org/10.1021/jf063487p>.
- Dinsa GD, Goryakin Y, Fumagalli E, Suhrcke M. 2012. Obesity and socioeconomic status in developing countries: A systematic review. *Obesity Reviews* 13(11):1067-79 <https://doi.org/10.1111/j.1467-789X.2012.01017.x>
- Doebley J. 2004. The genetics of maize evolution. *Annual Review of Genetics*. 38:37-59 <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.genet.38.072902.092425>
- Doebley J, Iltis HH. 1980. Taxonomy of *Zea* (Gramineae). I. A subgeneric classification with key to taxa. *American Journal of Botany* 67(6):982-993. <https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1980.tb07730.x>

- Domínguez-Hernández E, Gaytán-Martínez M, Gutiérrez-Urbe JA, Domínguez M. 2022. The nutraceutical value of maize (*Zea mays* L.). Landraces and the Determinants of Its variability: A review. *Journal of Cereal Science* 103:103399 <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcs.2021.103399>
- Eggum BO. 1973. A study of certain factors influencing protein utilization in rats and pigs. *Report National Institute of Animal Science, Copenhagen, No. 406.* Copenhagen: Danish National Institute of Animal Science
- Escalante-Aburto A, Ramírez-Wong B, Torres-Chávez PI, Figueroa-Cárdenas JD, López-Cervantes J, Barrón-Hoyos JM, Morales-Rosas I. 2013. Effect of extrusion processing parameters on anthocyanin content and physicochemical properties of nixtamalized blue corn expanded extrudates. *CyTA – Journal of Food* 11(sup1): 29-37 <https://doi.org/10.1080/19476337.2013.764929>
- Escalante-Araiza F, Guitérrez-Salmeán G. 2020. Traditional Mexican foods as functional agents in the treatment of cardiometabolic risk factors. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 61(8):1353-1364 <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1758028>
- Espinoza-Moreno RJ, Reyes-Moreno C, Milan-Carrillo J, Lopez-Valenzuela JA., Paredes-Lopez O, Gutierrez-Dorado R. 2016. Healthy ready-to-eat expanded snack with high nutritional and antioxidant value produced from whole amarantin transgenic maize and common black bean. *Plant Foods for Human Nutrition* 71:218-224 <https://link.springer.com/article/10.1007/s11130-016-0551-8>
- Essa MM, Bishir M, Bhat A, Chidambaram SB, Al-Balushi B, Hamdan H, Govindarajan N, Freidland RP, Qoronfleh MW. 2023. Functional foods and their impact on health. *Journal of Food Science and Technology* 60:820–834 <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05193-3>
- FAO. 2013. Findings and Recommendations of the 2011 FAO Expert Consultation on Protein Quality Evaluation in Human Nutrition. In: "Dietary Protein Quality Evaluation in Human Nutrition: Report of an FAO Expert Consultation." FAO Food

and Nutrition Paper 92. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, Chapter 4, pp. 29.

FAO. 2016. Food and Agriculture Organization. Disponible en: <http://faostat.fao.org>

Food and Agricultural Organization of the United Nations. 2023. Production database. Crops dataset – Mexico, production quantity, crops primary, maize. Available at: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>

Félix-Medina JV, Montes-Ávila J, Reyes-Moreno C, J. Xiomara K. Perales-Sánchez JXK, Gómez-Favela MA, Aguilar-Palazuelos E, Gutiérrez-Dorado R. 2020. Second-generation snacks with high nutritional and antioxidant value produced by an optimized extrusion process from corn / common bean flours mixtures . *LWT – Food Science and Technology* 124(10):109172 <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109172>

Fernández-Suárez R, Morales-Chávez LA, Gálvez-Mariscal A. 2013. Importancia de los maíces nativos de México en la dieta nacional: Una revisión indispensable. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36:275-283 <http://dx.doi.org/10.35196/rfm.2013.3-S3-A.275>

Feregrino-Pérez AA, Mercado-Luna A, Murillo-Cárdenas CA, González-Santos R, Chávez-Servín JL, Vargas-Madriz AF, Luna-Sánchez E. 2024. Polyphenolic compounds and antioxidant capacity in native maize of the Sierra Gorda of Querétaro. *Agronomy* 14:142 <https://doi.org/10.3390/agronomy14010142>

Flores YN, Toth S, Crespi CM, Ramírez-Palacios P, McCarthy WJ, Briseño-Pérez A, *et al.* 2020. Risk of developing pre-diabetes or diabetes over time in a cohort of Mexican health workers. *PloS One* 15(3):e0229403. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229403>

Gamel, T.H., Linssen, J.P., Mesallam, A.S., Damu, A.A., and Shekib, L.A. 2006. Effect of seed treatments on the chemical composition of two amaranth species. Oil, sugars, minerals, and vitamins. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 80:82-89 <http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.2318>

- Garzón-Tiznado JA, Heiras-Palazuelos MJ, Espinoza-Moreno RJ, Cano-Campos M, Delgado-Vargas F, Gutiérrez-Dorado R, Milán-Carrillo J, Reyes-Moreno C. 2013. Antioxidant and antimutagenic activities of optimized extruded desi chickpea (*Cicer arietinum* L) flours. *Journal of Pharmacy and Nutrition Sciences* 3:38-47
- Gaxiola-Cuevas N, Mora-Rochín S, Cuevas-Rodríguez EO, León-López L, Reyes-Moreno C, Montoya-Rodríguez A, Milán-Carrillo J. 2017. Phenolic acids profiles and antioxidant activity in tortillas produced from pigmented maize processed by nixtamalization or lime extrusion. *Plant Foods for Human Nutrition* 72:314-320  
<https://link.springer.com/article/10.1007/s11130-017-0624-3>
- Ge X, Saleh ASM, Jing L, Zhao K, Su C, Zhang B, et al. 2021. Germination and drying induced changes in the composition and content of phenolic compounds in naked barley. *Journal of Food Composition and Analysis* 95:103594  
<https://doi.org/10.1016/J.JFCA.2020.103594>
- Gómez-Aldapa C, Martínez-Bustos F, Figueroa CJD, Ordorica-Falomir CA. 1999. A comparison of the quality of whole corn tortillas made from instant corn flours by traditional or extrusion processing. *International Journal of Food Science and Technology* 34(4):391-399  
<https://doi.org/10.1046/j.1365-2621.1999.00287.x>
- Gomez-Favela MA, Gutierrez-Dorado R, Cuevas-Rodríguez EO, CanizalezRoman VA, Leon-Sicairos CR, Milan-Carrillo J, Reyes-Moreno C. 2017. Improvement of chia seeds with antioxidant activity, GABA, essential amino acids, and dietary fiber by controlled germination bioprocess. *Plant Foods for Human Nutrition* 72(4):345–352  
<https://doi.org/10.1007/s11130-017-0631-4>
- Gómez-Favela MA, Reyes-Moreno C, Milán-Carrillo J, Partida-Preciado RA, Espinoza-Moreno RJ, Preciado-Ortiz R, Gutiérrez-Dorado, R. 2021. Gluten-free healthy snack with high nutritional and nutraceutical value elaborated from a mixture of extruded underutilized grains (quality protein maize / tepary bean). *Acta Universitaria* 31:e3024  
<https://doi.org/10.15174.au.2021.3024>

- Güngör NK. 2014. Overweight and obesity in children and adolescents. *Journal of Clinical Research in Pediatric Endocrinology* 6(3):129-43  
<https://doi.org/10.4274/jcrpe.1471>
- Gutiérrez-Dorado R, Ayala-Rodríguez AE, Milán-Carrillo J, López-Cervantes J, Garzón-Tiznado JA, López-Valenzuela JA, Paredes-López O, Reyes-Moreno C. 2008. Technological and nutritional properties of flours and tortillas from nixtamalized and extruded quality protein maize (*Zea mays* L). *Cereal Chemistry* 85(6):808-816 <http://dx.doi.org/10.1094/CCHEM-85-6-0808>
- Guzmán-Uriarte ML, Sánchez-Magaña LM, Angulo-Meza G, Cuevas-Rodríguez EO, Gutiérrez-Dorado R, Mora-Rochín S, Milán-Carrillo J, Valdez-Ortiz A, Reyes-Moreno C. 2013. Solid state bioconversion for producing common bean (*Phaseolus vulgaris* L) functional flour with high antioxidant activity and antihypertensive potential. *Food and Nutrition Sciences* 4:480-490  
<http://dx.doi.org/10.4236/fns.2013.44061>
- Hall JE, do Carmo JM, da Silva AA, Wang Z, Hall ME. 2015. Obesity-induced hypertension: interaction of neurohumoral and renal mechanisms. *Circulation Research* 116(6):991-1006  
<https://doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.116.305697>
- Hall KD, Ayuketah A, Brychta R, Cai H, Cassimatis T, Chen KY, Chung ST, Costa E, Courville A, Darcey V, Fletcher LA, Forde CG, Gharib AM, Guo J, Howard R, Joseph PV, McGehee S, Ouwerkerk R, Rasinger K, Rozga I, Stagliano M, Walter M, Walter PJ, Yang S, Zhou M. 2019. Ultra-processed diets cause excess calorie intake and weight gain: An inpatient randomized controlled trial of ad libitum food intake. *Cell Metabolism* 30(1):67-77 <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2019.05.008>
- Han JC, Lawlor DA, Kimm SY. 2010. Childhood obesity – 2010: Progress and Challenges. *Lancet* 375(9727):1737-1748 [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(10\)60171-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(10)60171-7)

- Hernández R. 2016. <https://www.milenio.com/negocios/cuatro-estados-concentran-46-del-consumo-de-tortilla-de-harina>
- Herrera-Sotero MY, Cruz-Hernández CD, Trujillo-Carretero C, Rodríguez-Dorantes M, García-Galindo HS, Chávez-Servia JL, Oliart-Ros RM, Guzmán-Gerónimo RI. 2017. Antioxidant and antiproliferative activity of blue corn and tortilla from native maize. *Chemistry Central Journal* 11:110 <https://doi.org/10.1186/s13065-017-0341-x>
- Higuera Pulgar E, Sánchez Campayo M, Llaveró Valero M. 2020. Desnutrición Malnutrición. *Medicine – Programa de Formación Médica Continuada Acreditado* 13(14):787-92 <https://doi.org/10.1016/J.med.2020.07.012>
- Hole AS, Rud I, Grimmer S, Sigl S, Narvhus J, Sahlstrøm S. 2012. Improved bioavailability of dietary phenolic acids in whole grain barley and oat groat following fermentation with probiotic *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus johnsonii*, and *Lactobacillus reuteri*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 60:6369–6375 <https://doi.org/10.1021/JF300410H>
- Hostalek U. 2019. Global epidemiology of prediabetes – present and future perspectives. *Clinical Diabetes and Endocrinology* 5(1):5 <http://dx.doi.org/10.1186/s40842-019-0080-0>
- IHME. 2019. Institute for Health Metrics and Evaluation. GBD Results Tool. Disponible en: <http://ghdx.healthdata.org/gbd-results-tool>
- INEGI. 2021. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Estadísticas a propósito del día mundial de la diabetes. Comunicado de prensa 645/21 Disponible en: [https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/aproposito/2021/EAP\\_Diabetes2021.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/aproposito/2021/EAP_Diabetes2021.pdf)
- Inyang UE, Akindolu BE, Elijah AI 2019. Nutrient composition, amino acid profile, and antinutritional factors of nixtamalized maize flour supplemented with sprouted soybean flour. *European Journal of Nutrition and Food Safety* 9: 41-51 <https://doi.org/10.9734/EJNFS/2019/46150>

- Julia C, Martínez L, Allés B, Touvier M, Hercberg S, Méjean C. 2018. Contribution of ultra-processed foods in the diet of adults from the French Nutri-NetSanté study. *Public Health Nutrition* 21(1):27-37  
<http://dx.doi.org/10.1017/S1368980017001367>
- Kapoor N, Arora S, Kalra S. 2021. Gender disparities in people living with obesity – an uncharted territory. *Journal of Mid-Life Health* 12(2):103-7.  
<https://doi.org/10.4103/jmh.jmh.48.21>
- Karasawa MMG, Mohan C. 2018. Fruits as prospective reserves of bioactive compounds: A review. *Natural Products and Bioprospecting* 8:335–346.  
<https://doi.org/10.1007/s13659-018-0186-6>
- Katina K, Liukkonen KH, Kaukovirta-Norja A, Adlercreutz H, Heinonen SM, Lampi AM, Pihlava JM, Poutanen K. 2007 . Fermentation-induced changes in the nutritional value of native or germinated rye. *Journal of Cereal Science* 46:348–355  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jcs.2007.07.006>
- Kaur S, Bains K. 2020. Chia (*Salvia hispanica* L.) – A rediscovered ancient grain, from Aztecs to food laboratories. A review. *Nutrition and Food Science* 50(3):463-479  
<http://dx.doi.org/10.1108/NFS-06-2019-0181>
- Kasote D, Tiozon RN Jr, Sartagoda KJD, Itagi H, Roy P, Kohli A, Regina A, Sreenivasulu N. 2021. Food processing technologies to develop functional foods with enriched bioactive phenolic compounds in cereals. *Frontiers in Plant Science* 12:771276 <http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2021.771276>
- Khan W, Parveen R, Chester K, Parveen S, Ahmad S. 2017. Hypoglycemic potential of aqueous extract of *Moringa oleifera* leaf and *in vivo* GC-MS metabolomics. *Frontiers in Pharmacology* 8:577 <https://doi.org/10.3389/fphar.2017.00577>
- Košutić M; Djalović I, Filipović J, Jakšić S, Filipović V, Nićetin M, Lončar B. 2023. The development of novel functional corn flakes produced from different types of maize (*Zea mays* L.). *Foods* 12(23):4257  
<http://dx.doi.org/10.3390/foods12234257>

- León-López L., Reyes-Moreno C, Ley-Osuna AH, PeralesSánchez JXK, Milán-Carrillo J, Cuevas-Rodríguez EO, Gutiérrez-Dorado R. 2019. Improvement of nutritional and nutraceutical value of nixtamalized maize tortillas by addition of extruded chia flour. *Biotecnia* XXI(3): 56-66  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=672971084007>
- León-Murillo JR, Gutiérrez-Dorado R, Reynoso-Camacho R, Milán-Carrillo J, Perales-Sánchez JXK, Cuevas-Rodríguez EO, Reyes-Moreno C. 2021. Tortillas made with extruded flours of blue maize and chia seeds as an nutritious and nutraceutical food option. *Agrociencia* 55:487-506  
<https://doi.org/10.47163/agrociencia.v55i5.2555>
- Leyva-Jiménez R, López-Carrera MT, Rodríguez-Guzmán E, Cervantes- Navarro DM. 2019. Identificación de prediabetes en grupos de riesgo: una oportunidad para prevenir la enfermedad. *Aten Primaria* 51(10):663-664  
<https://doi.org/10.1016/j.aprim.2019.03.008>
- Lewington S, Clarke R, Qizilbash N, Peto R, Collins R. 2002. Age-specific relevance of usual blood pressure to vascular mortality: A meta-analysis of individual data for one million adults in 61 prospective studies. *Lancet* 360(9349):1903-13  
[https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(02\)11911-8](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(02)11911-8)
- Li S, Zhang A, Zhao W, Li P, Si X, Liu J, Yi H. 2024. Physicochemical properties of whole grain foxtail millet sourdough and steamed bread quality: Co-fermentation of lactic acid bacteria and yeast in whole grain fermented foods. *Food Bioscience* 57(7):103581 <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.103581>
- López PP, Sánchez OI, Román GAD 2006. Biological evaluation of the protein quality of different barley varieties (*Hordeum sativum jess*) produced in the states of Hidalgo and Tlaxcala in México. *Revista Chilena de Nutrición* 33(1):86-90  
<http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182006000100009>
- Lopez-Mejia, O.A., Lopez-Malo, A., and Palou, E. 2014. Antioxidant capacity of extracts from amaranth (*Amaranthus hypochondriacus* L.) seeds or leaves.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.12.017>

López-Morales F, Taboada-Gaytán OR, Gil-Muñoz A, López PA, Reyes-López D. 2014. Morphological diversity of native maize in the humid tropics of Puebla, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 17(1):19-31

<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93930735003>

Mardon J, Trzeciakiewicz A, Habauzit V, Davicco MJ, Lebecque P, Mercier S, Tressol JC, Horcajada MN, Demigné C, Coxam V. 2009. Dietary protein supplementation increases peak bone mass acquisition in energy-restricted growing rats. *Pediatric Research* 66:513–518 <https://doi.org/10.1203/PDR.0b013e3181b9b4bb>

Mariscal Moreno RM, Figueroa JDC, Santiago-Ramos D, Arámbula Villa G, Jiménez Sandoval S, Rayas-Duarte P, Veles-Medina JJ, Martínez-Flores HE. 2015. The effect of different nixtamalization processes on some physicochemical properties, nutritional composition and glycemic. *Journal of Cereal Science* 65:140–6

<https://doi.org/10.1016/j.jcs.2015.06.016>

Marrón-Ponce JA, Sánchez-Pimienta TG, Louzada MLDC, Batis C. 2018. Energy contribution of NOVA food groups and sociodemographic determinants of ultra-processed food consumption in the Mexican population. *Public Health Nutrition* 21(1):87-93 <https://doi.org/10.1017/S1368980017002129>

Martínez-Vázquez JI, Pérez-Carrera SN, Quiroz-Ramírez MA, Espitia-Orozco FJ. 2017. Mejoramiento de la calidad proteica de tortillas hechas a base de maíz adicionadas con soya y amaranto. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 2:312-316

Massaretto IL, Madureira-Alves MF, Mussi de Mira NV, Carmona AK, Lanfer-Marquez UM. 2011. Phenolic compounds in raw and cooked rice (*Oryza sativa* L.) and their inhibitory effect on angiotensin I-converting enzyme activity. *Journal of Cereal Science* 54:263-240 <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcs.2011.06.006>

- Mathus-Vliegen EMH, Basdevant A, Finer N, Hainer V, Hauner H, Micic D, *et al.* 2012. Prevalence, pathophysiology, health consequences and treatment options of obesity in the elderly: a guideline. *Obesity Facts* 5(3):460-83. <https://doi.org/10.1159/000341193>
- Mellentin J, Heasman M. 2014. The functional foods revolution: Healthy people. Routledge, Healthy Profits <https://doi.org/10.4324/9781849776165>
- Mera-Ovando LM. 2009. Aspectos socioeconómicos y culturales. In: Kato TA, Mapes C, Mera LM, Serratos JA, Bye RA, editors. Origen y Diversificación del Maíz: Una Revisión Analítica. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad. Editorial Impresora Apolo. 2009. Pp. 33-42. ISBN: 978-607-02-0684-9
- Mercado-Mercado G, Blancas-Benítez J, Zamora-Gaga VM, Sáyago-Ayardi SG. 2019. Mexican traditional plant-foods: Polyphenols bioavailability, gut microbiota metabolism and impact human health. *Current Pharmaceutical Design* 25(32):3434-34565 <https://doi.org/10.2174/1381612825666191011093753>
- Mex-Álvarez RMJ. 2016. Análisis proximal y fitoquímico de cinco variedades de maíz del estado de Campeche, México. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales* 12: 74–80 <https://revista.itson.edu.mx/index.php/rlrn/article/view/254>
- Meza R, Barrientos-Gutierrez T, Rojas-Martinez R, Reynoso-Noverón N, Palacio-Mejía LS, Lazcano-Ponce E, *et al.* 2015. Burden of type 2 diabetes in Mexico: past, current and future prevalence and incidence rates. *Prev Med.* 81:445-50. <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2015.10.015>
- Milán-Carrillo J, Reyes-Moreno C, Armienta-Rodelo E, Cárabez-Trejo A, Mora-Escobedo R. 2000. Physicochemical and nutritional characteristics of extruded flours from fresh and hardened chickpeas (*Cicer arietinum* L). *LWT – Food Science and Technology* 33:117-123 <https://doi.org/10.1006/food.1999.0620>

- Milán-Carrillo J, Reyes-Moreno C, Camacho-Hernández IL, Rouzaud-Sandez O. 2002. Optimisation of extrusion process to transform hardened chickpeas (*Cicer arietinum* L) into a useful product. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 82: 1718 – 1728 <http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.1242>
- Milán-Carrillo J, Gutiérrez-Dorado R, Perales-Sánchez JX., Cuevas-Rodríguez EO, Ramírez-Wong B, Reyes-Moreno C. 2006. The optimization of the extrusion process when using maize flour with a modified amino acid profile for making tortillas. *International Journal of Food Science and Technology* 41(7):727-736 <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.00997.x>
- Milán-Carrillo J, Valdéz-Alarcón C, Gutiérrez-Dorado R, Cárdenas-Valenzuela OG, Mora-Escobedo R, Garzón-Tiznado JA, Reyes-Moreno C. 2007. Nutritional properties of quality protein maize and chickpea extruded based weaning food. *Plant Foods for Human Nutrition* 62:31-37 <http://dx.doi.org/10.1007/s11130-006-0039-z>
- Milán-Carrillo J, Montoya-Rodríguez A, Gutiérrez-Dorado R, Perales-Sánchez JXK, Reyes-Moreno C. 2012. Optimization of extrusion process for producing high antioxidant instant amaranth (*Amaranthus hypochondriacus* L) flour using response surface methodology. *Applied Mathematics* 3:1516-1525 <https://doi.org/10.4236/am.2012.330211>
- Milán-Carrillo J, Gutiérrez-Dorado R, Cuevas-Rodríguez EO, Sánchez-Magaña LM, Rochín-Medina JJ, Reyes-Moreno C. 2017. Functional beverage produced with bioprocessed blue maize and black beans with antihypertensive and antidiabetic potential. *Revista Fitotecnia Mexicana* 40(4):451-459 <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61054247009>
- Miller V, Micha R, Choi E, Karageorgou D, Webb P, Mozaffarian D. 2022. Evaluation of the quality of evidence of the association of foods and nutrients with cardiovascular disease and diabetes: A systematic review. *JAMA Network Open* 5(2):e2146705 <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2021.46705>

- Mills KT, Bundy JD, Kelly TN, Reed JE, Kearney PM, Rynolds K, Chen J, He J. 2015. Global disparities of hypertension prevalence and control: A systematic analysis of population-based studies from 90 countries. *Circulation* 134(6):441-450 <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.115.018912>
- Mokdad AH, Ford ES, Bowman BA, Dietz WH, Vinicor F, Bales VS, Marks J. 2003. Prevalence of obesity, diabetes, and obesity-related health risk factors, 2001. *Journal of the American Medical Association* 289(1):76-9. <https://doi.org/10.1001/jama.289.1.76>
- Monteiro CA, Cannon G, Levy RB, Moubarac JC, Louzada ML, Rauber F, Khandpur N, Cediel G, Neri D, Martínez-Steele E, Baraldi LG, Jaime PC. 2019. Ultra-processed foods: what they are and how to identify them. *Public Health Nutrition* 22(5):936- 941 <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30744710/>
- Monteiro CA, Cannon G, Levy R, Moubarac JC, Jaime P, Martins AP, Canela D, Louzada M, Parra D. NOVA. 2016. The star shines bright. *World Nutrition* 7:28-38.
- Monteiro CA, Moubarac JC, Cannon G, Ng SW, Popkin B. 2013. Ultra-processed products are becoming dominant in the global food system. *Obesity Reviews* 14(2):21-28 <http://dx.doi.org/10.1111/obr.12107>
- Montoya-Rodríguez A, González de Mejía E, Díaz VP, Reyes-Moreno C, Milán-Carrillo J. 2014. Extrusion improved the anti-inflammatory effect of amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*) hydrolysates in LPS-induced human THP-1 macrophage-like and mouse RAW264.7 macrophages by preventing activation of NF- $\kappa$ B signaling. *Molecular Nutrition and Food Research* 58:1028-1041 <http://dx.doi.org/10.1002/mnfr.201300764>
- Montoya-Rodríguez A, Milán-Carrillo J, Reyes-Moreno C, Dia V, González de Mejía E. 2014. Pepsin-pancreatin protein hydrolysates from extruded amaranth inhibit markers of atherosclerosis in LPS-induced THP-1 macrophages-like human cells

- by reducing expression of proteins in LOX-1 signaling pathway. *Proteome Science* 12:30 <http://dx.doi.org/10.1186/1477-5956-12-30>
- Montoya-Rodríguez A, Milán-Carrillo J, Reyes-Moreno C, Gonzalez de Mejía E. 2015. Characterization of peptides found in unprocessed and extruded amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*) pepsin/pancreatin hydrolysates. *International Journal of Molecular Sciences* 16:8536-8554 <http://dx.doi.org/10.3390/ijms16048536>
- Montoya-Rodríguez A, Milán-Carrillo J, Reyes-Moreno C, González de Mejía E. 2015. Characterization of peptides found in unprocessed and extruded amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*) pepsin/pancreatin hydrolysates. *International Journal of Molecular Sciences* **16**:8536-8554 <https://doi.org/10.3390/ijms16048536>
- Montoya-Rodríguez A, Gómez-Favela MA, Reyes-Moreno C, Milán-Carrillo J, González de Mejía E. 2015. Identification of bioactive peptide sequences from amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*) proteins and their potential role in prevention of chronic diseases. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 14:139-158 <http://dx.doi.org/10.1111/1541-4337.12125>
- Mora-Rochín S, Gutiérrez-Iribe JA, Serna-Saldívar SO, Sánchez-Peña P, Reyes-Moreno C, Milán-Carrillo J. 2010. Phenolic content and antioxidant activity of tortillas produced from pigmented corns processed by conventional nixtamalization or extrusion cooking. *Journal of Cereal Science* 52:502-508 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2010.08.010>
- Mora-Rochín S, Gaxiola-Cuevas N, Gutiérrez-Urbe J, Milán-Carrillo J, Milán-Noris E, Reyes-Moreno C, Serna-Saldívar SO, Cuevas-Rodríguez EO. 2016. Effect of traditional nixtamalization on anthocyanin content and profile in Mexican blue maize. *LWT – Food Science and Technology* 68:563-569 <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.01.009>

- Mora-Rochín S, Menchaca-Armenta M, Milán-Noris AK, Gutiérrez-Urbe JA, Cuevas-Rodríguez EO, Reyes-Moreno C, Milán-Carrillo J. 2021. Optimization of lipophilic compounds in tortillas from native 132entigrad maize obtained from flours by the lime cooking extrusion process. *Biotechnia* XXIII(2): 65-72  
<https://doi.org/10.18633/biotechnia.v23i2.1392>
- Mora-Rochín S, Menchaca-Armenta M, Milán-Noris AK, Gutierrez-Urbe JA, Cuevas-Rodríguez EO, Reyes-Moreno C, Milán-Carrillo J. 2021. Optimization of lipophilic compounds in tortillas from native pigmented maize obtained from flours by the lime cooking extrusion process. *Biotechnia* XXIII(2):65-72  
<https://doi.org/10.18633/biotechnia.v23i2.1392>
- Mora-Uzeta C, Cuevas-Rodríguez EO, López-Cervantes J, Milán-Carrillo J, Gutiérrez-Dorado R, Reyes-Moreno C. 2019. Improvement nutritional / antioxidant properties of underutilized legume tepary bean (*Phaseolus acutifolius* L) by solid state fermentation. *Agrociencia* 53(7):987-1003
- Moreno-Espinoza RJ, Reyes-Moreno C, Gutiérrez-Dorado R, Milán-Carrillo J, Cuevas-Rodríguez EO, MoraRochín S, Gómez-Favela MA, Perales-Sánchez JXK. 2021. Functional food for older adults produced by extrusion from whole grains of maize / common bean. *Acta Universitaria* 31:e3217.  
<https://doi.org/10.15174.au.2021.3217>
- Motyka S, Skala E, Ekiert H, Szopa A. 2023. Health – promoting approaches of the use of chia seeds. *Journal of Functional Foods* 103:105480  
<https://doi.org/10.1016/j.jff.2023.105480>
- Motyka S, Skala E, Ekiert H, Szopa A. 2023. Health-promoting approaches of the use of chia seeds. *Journal of Functional Foods* 103:105480  
<https://doi.org/10.1016/j.jff.2023.105480>
- Nardocci M, Leclerc BS, Louzada ML, Monteiro CA, Batal M, Moubarac JC. 2019. Consumption of ultra-processed foods and obesity in Canada. *Canadian Journal of Public Health* 10(1):4-14 <http://dx.doi.org/10.17269/s41997-018-0130-x>

- Ortega Catarino MA. Impacto de los alimentos procesados y su relación con la obesidad <http://dx.doi.org/10.22201/fesz.20075502e.2021.11.42.83260> 20
- Ohishi M. 2018. Hypertension with *diabetes mellitus*: physiology and pathology. *Hypertension Research* 41(6):389-393 <https://doi.org/10.1038/s41440-018-0034-4>
- OPS. 2019. Organización Panamericana de la Salud. Alimentos y Bebidas Ultraprocesados en América Latina: Ventas, Fuentes, Perfiles de Nutrientes e Implicaciones. Washington, D.C. ISBN978-92-75-32032-7 DOI:<https://doi.org/10.37774/9789275320327>
- OPS. 2023. Organización Panamericana de la Salud. ENLACE: Portal de Datos sobre Enfermedades No Transmisibles, Salud Mental, y Causas Externas. Hipertensión. Washington: OPS/OMS Disponible en: <https://www.paho.org/es/temas/hipertension>
- Orona-Tamayo D, Valverde ME, Nieto-Rendon B, Paredes-Lopez O. 2015. Inhibitory activity of chia (*Salvia hispanica* L.) protein fractions against angiotensin I converting enzyme and antioxidant capacity. *Food Science and Technology* 64(1):236–242 <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.05.033>
- Orona-Tamayo D, Valverde ME, Paredes-Lopez O. 2017. Chia – The New Golden Seed for the 21<sup>st</sup> Century. In "Sustainable Protein Sources", pp. 265–281. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802778-3.00017-2>.
- Paliwal RL, Granados G, Lafitee HR, Violic AD, Maratheé JP. 2001. El Maíz en los Trópicos: Mejoramiento y Producción. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia <https://curlacavunah.files.wordpress.com/2010/04/el-maiz-en-los-tropicos.pdf>
- Paredes-López O, Guevara-Lara F, Bello-Pérez LA. La nixtamalización y el valor nutritivo del maíz. Vol. 92-93. Ciencias: Universidad Nacional Autónoma de México; 2009. Pp. 60-70. Available from: [0187-6376revci@hp.fciencias.unam.mx](mailto:0187-6376revci@hp.fciencias.unam.mx)

- Peyrat-Maillard MN, Cuvelier ME, Berset C. 2003. Antioxidant activity of phenolic compounds in 2,2'-Azobis (2-amidinopropane) dihydrochloride (AAPH)-induced oxidation: Synergistic and antagonistic effects. *Journal of American Oil Chemist's Society* 80(10):1007-1012 <http://dx.doi.org/10.1007/s11746-003-0812-z>
- Petroni K, Pilu R, Tonelli C. 2014. Anthocyanins in corn: A wealth of genes for human health. *Planta* 240:901–911 <https://doi.org/10.1007/s00425-014-2131-1>
- Pineda-Hidalgo KV, Méndez-Marroquín KP, Vega-Álvarez E, Chávez-Ontiveros J, Sánchez-peña P, Garzón-Tiznado JA, Vega-García MO, López-Valenzuela JA. 2013. Microsatellite-based genetic diversity among accessions of maize landraces from Sinaloa in México. *Hereditas* 150:53–59 <https://doi.org/10.1111/j.1601-5223.2013.00019.x>
- Prior RL, Hoang H, Gu L, Wu X, Bacchiocca M, Howard L, Hampsch-Woodill M, Huang D, Ou B, Jacob R, 2003. Assays for hydrophilic and lipophilic antioxidant capacity (oxygen radical absorbance capacity (ORACFL)) of plasma and other biological and food samples. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51:3273–3279 <https://doi.org/10.1021/jf0262256>
- Ramos-Enríquez JR, Ramírez-Wong B, Robles-Sánchez RM, RoblesZepeda RE, González-Aguilar GA, Gutiérrez-Dorado R. 2018. Effect of extrusion conditions and the optimization of phenolic compound content and antioxidant activity of wheat bran using response surface methodology. *Plant Foods for Human Nutrition* 73(3):228–234 <https://doi.org/10.1007/S11130-018-0679-9>
- Re R, Pellegrini N, Proteggente A, Pannala A, Yang M, Rice-Evans C. 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine* 26:1231-1237 [https://doi.org/10.1016/s0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/s0891-5849(98)00315-3)
- Reinhardt K, Fanzo J. 2014. Addressing chronic malnutrition through multi-sectoral, sustainable approaches: a review of the causes and consequences. *Frontiers in Nutrition* 1:1-11. <https://doi.org/10.3389/fnut.2014.00013>

- Reyes-Bastidas M, Reyes-Fernández EZ, López-Cervantes J, Milán-Carrillo J, Loarca-Piña GF, Reyes-Moreno C. 2010. Physicochemical, nutritional and antioxidant properties of tempeh flour from common bean (*Phaseolus vulgaris* L). *Food Science and Technology International* 16:427-428 <https://doi.org/10.1177/1082013210367559>
- Reyes-Moreno C, Romero-Urías CA, Milán-Carrillo J, Valdéz-Torres B, Zárate-Márquez E. 2000<sup>a</sup>. Optimization of the solid state fermentation process to obtain tempeh from hardened chickpeas (*Cicer arietinum* L.). *Plant Foods for Human Nutrition* 55(3): 219-228 <https://doi.org/10.1023/a:1008192214018>
- Reyes-Moreno C, Romero-Urías CA, Milán-Carrillo J, Gómez-Garza RM. 2000<sup>b</sup>. Chemical composition and nutritional quality of fresh and hardened chickpea (*Cicer arietinum* L) after the solid state fermentation (SSF). *Food Science and Technology International*. 6 (3): 251-258 <http://dx.doi.org/10.1177/108201320000600308>
- Reyes-Moreno C, Milán-Carrillo J, Rouzand-Sandez O, Garzón-Tiznado J A, Mora-Escobedo R. 2002. Dehulling / softening / extrusion (DSE): Technological alternative to improve the quality of chickpea (*Cicer arietinum* L). *Agrociencia (México)* 36(2):181-189.
- Reyes-Moreno C, Milán-Carrillo J, Gutiérrez-Dorado R, Paredes-López O, Cuevas-Rodríguez EO, Garzón – Tiznado JA. 2003. Instant flour from quality protein maize (*Zea mays* L). Optimization of extrusion process. *LWT – Food Science and Technology* 36:685-695 [http://dx.doi.org/10.1016/S0023-6438\(03\)00089-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0023-6438(03)00089-6)
- Reyes-Moreno C, Cuevas-Rodríguez EO, Milán-Carrillo J, Cárdenas-Valenzuela O, Barrón-Hoyos J. 2004. Solid state fermentation process for producing chickpea (*Cicer arietinum* L) tempeh flour. Physicochemical and nutritional characteristics of the product. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 84:271-278 <http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.1637>

- Reyes-Moreno C, Argüelles-López OD, Rochín-Medina JJ, Milán-Carrillo J, Rivera-López J, Valdez-Ortiz A, López-Valenzuela JA, Gutiérrez-Dorado R. 2012. High antioxidant activity mixture of extruded whole quality protein maize and common bean flours for production of a nutraceutical beverage elaborated with a traditional formulation. *Plant Foods for Human Nutrition* 67:450-456  
<https://doi.org/10.1007/s11130-012-0324-y>
- Reyes-Moreno C, Ayala-Rodríguez AE, Milán-Carrillo J, Mora-Rochín S, López-Valenzuela JA, Valdéz-Ortiz A, Paredes-López O, Gutiérrez-Dorado R. 2013. Production of nixtamalized flour and tortillas from amarantin transgenic maize lime-cooked in a thermoplastic extruder. *Journal of Cereal Science* 58:465-471  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jcs.2013.09.008>
- Reyes-Moreno C, Reyes-Fernández PC, Cuevas-Rodríguez EO, Milán-Carrillo J, Mora-Rochín S. 2018. Changes in Nutritional Properties and Bioactive Compounds in Cereals During Extrusion Cooking, In: "Extrusion of Metals, Polymers, and Food Products", Chapter 6, Sayyad Zahid Qamar (ed), IntechOpen  
<http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.68753>
- Rivera-Dommarco JA, Sánchez-Pimienta TG, García-Guerra A, Avila MA, Cuevas-Nasu L, Barquera S, Shamah-Levy T. 2023. Situación Nutricional de la Población en México durante los Últimos 120 años. *Instituto Nacional de Salud Pública, Av. Universidad 655, col. Santa María Ahuacatitlán 62,100 Cuernavaca, MOR, MEX*
- Rochín-Medina JJ, Sánchez-Magaña L, Milán-Carrillo J, Gutiérrez-Dorado R, Cuevas-Rodríguez EO, Mora-Rochín S, Valdez-Ortiz A, Reyes-Moreno C. 2015. Enhancement of nutritional properties, and antioxidant and antihypertensive potential of black common bean seeds by optimizing the solid state bioconversion process. *International Journal of Food Science and Nutrition* 66(5):498-504  
<https://doi.org/10.3109/09637486.2015.1052377>
- Rochín-Medina J, Sánchez-Magaña LM, Milán-Carrillo J, Gutiérrez-Dorado R, Cuevas-Rodríguez EO, Mora-Rochín S, Valdez-Ortiz A, Reyes-Moreno C. 2015. Solid state

bioconversion for producing functional flours from whole quality protein maize and common beans with enhanced nutritional value, and antioxidant and antihypertensive potential. *Journal of Nutrition Health and Food Engineering*. 2(3):00057 DOI:10.15406/jnhfe.2015.02.00057

Rodríguez-Salinas PA, Zavala-García F, Urías-Orona V, Muy-Rangel D, Basilio Heredia J, Niño-Medina G. 2020. Chromatic, nutritional and nutraceutical properties of pigmented native maize (*Zea mays* L.) genotypes from the Northeast of Mexico. *Arabian Journal for Science and Engineering* 45:95–112 <https://doi.org/10.1007/s13369-019-04086-0>

Ryan D, Barquera S, Barata-Cavalcanti O, Ralston J. 2021. The global pandemic of overweight and obesity. En: Kickbusch I, Ganten D, Moeti M. Handbook of Global Health. Cham: Springer [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-45009-0\\_39](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-45009-0_39)

Salar RK, Certik M, Brezova V. 2012. Modulation of phenolic content and antioxidant activity of maize by solid state fermentation with *Thamnidium elegans* CCF 1456. *Biotechnology and Bioprocess Engineering* 17(1):109–116 <http://dx.doi.org/10.1007/s12257-011-0455-2>

Salinas-Moreno Y, Ramírez-Díaz JL, Alemán de la Torre I, Bautista-Ramírez E, Ledesma-Miramontes A. 2021. Evaluación de dos procedimientos de medición de color en granos de maíces pigmentados. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 12:1297–1303 <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i7.2276>

Salinas Moreno Y, Hernández Martínez V, Trejo Téllez LI, Ramírez Díaz JL, Iñiguez Gómez O. 2017. Composición nutricional y de compuestos bioactivos en tortillas de poblaciones nativas de maíz con grano azul/morado. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 8:1483–96 <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i7.525>

Sánchez-Magaña LM, Reyes-Moreno C, Milán-Carrillo J, Mora-Rochín S, López-León L, Gutiérrez-Dorado R, Cuevas-Rodríguez EO. 2019. Influence of solid-state bioprocessing by *R oligosporus* on antioxidant activity and phenolic compounds

of maize (*Zea mays* L). *Agrociencia* 53(1):45-57 ISSN 2521-9766, ISSN-e 1405-3195

Sánchez-Magaña LM, Cuevas-Rodríguez EO, Gutiérrez-Dorado R, Ayala-Rodríguez AE, Valdez-Ortiz A, Milán-Carrillo J, Reyes-Moreno C. 2014. Solid-state bioconversion of chickpea (*Cicer arietinum* L.) by *Rhizopus oligosporus* to improve total phenolic content, antioxidant activity and hypoglycemic functionality. *International Journal of Food Science and Nutrition* 65(5):558-564 DOI: <https://doi.org/10.3109/09637486.2014.893284>

Sánchez-Nuño YA, Zermeño-Ruiz M, Vázquez-Paulino OD, Nuño K, Villarruel-López A. 2024. Compounds from pigmented corn (*Zea mays* L.) and their effect on health. *Biomolecules* 14:338 <https://doi.org/10.3390/biom14030338>

Sandhu KS, Punia S, Kaur M. 2016. Effect of duration of solid state fermentation by *Aspergillus awamori* on antioxidant properties of wheat cultivars. *LWT – Food Science and Technology* 71:323–328. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2016.04.008>

Saunders J, Smith T. 2010. Malnutrition: Causes and consequences. *Clinical Medicine* 10(6):624-627 <https://doi.org/10.7861/clinmedicine.10-6-624>

Schaafsma G. 2000. The protein digestibility-corrected amino acid score. *Journal of Nutrition*. 130:1865S-75 <https://doi.org/10.1093/jn/130.7.1865s>

Secretaría de Salud. 2023. Emite la Secretaría de Salud emergencia epidemiológica por diabetes mellitus y obesidad. México: SS [citado marzo 9, 2023]. Disponible en: <https://www.gob.mx/salud/prensa/emite-la-secretaria-de-salud-emergencia-epidemiologica-por-diabetes-mellitus-y-o>

Serna-Saldívar SO, Rooney LW, Greene LW. 1992. Effects of lime treatment on the bioavailability of calcium in diets of tortillas and beans: bone and plasma composition in rats. *Cereal Chemistry* 69(1):78-81

Shamah-Levy T, Romero-Martínez M, Barrientos-Gutiérrez T, Cuevas- Nasu L, Bautista-Arredondo S, Colchero MA, *et al.* 2021. Encuesta Nacional de Salud y

Nutrición 2020 sobre Covid-19. Resultados Nacionales. Cuernavaca: Instituto Nacional de Salud Pública Disponible en: <https://ensanut.insp.mx/encuestas/ensanutcontinua2020/informes.php>

Shamah-Levy T, Romero-Martínez M, Barrientos-Gutiérrez T, Cuevas- Nasu L, Bautista-Arredondo S, Colchero MA, *et al.* 2022. Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2021 sobre Covid-19. Resultados nacionales. Cuernavaca: Instituto Nacional de Salud Pública

Shamah-Levy T, Gaona-Pineda EB, Cuevas-Nasu L, Morales-Ruan C, Valenzuela-Bravo DG, Méndez-Gómez Humarán I, Ávila-Arcos MA. 2023. Prevalencias de sobrepeso y obesidad en población escolar y adolescente de México. *Ensanut Continua 2020-2022. Salud Publica de México* 65(supl 1):S218-S224 <https://doi.org/10.21149/14762>

Shams-White MM, Chung M, Du M, Fu Z, Insogna KL, Karlsen MC, LeBoff MS, Shapses SA, Sackey J, Wallace TC, Weaver CM. 2017. Dietary protein and bone health: a systematic review and meta-analysis from the National Osteoporosis Foundation. *American Journal of Clinical Nutrition* 105(6):1528-1543. <https://doi.org/10.3945/ajcn.116.145110>

Singh N, Jain P, Ujinwal M, Langyan S. 2022. Escalate protein plates from legumes for sustainable human nutrition. *Frontiers in Nutrition* <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.977986>

Singleton VL, Orthofer R, Lamuela-Raventos RM. 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology* 299:152-178 [https://dx.doi.org/10.1016/S00766879\(99\)99017-1](https://dx.doi.org/10.1016/S00766879(99)99017-1)

Siyuan S, Tong L, Liu, R. 2018. Corn phytochemicals and their health benefits. *Food Science and Human Wellness* 7:185–195 <http://dx.doi.org/10.1016/j.fshw.2018.09.003>

- SNIIM. 2020. Información mensual de precios diarios de tortilla en tortillerías y autoservicios de México. Disponible en: <https://www.economiasniim.gob.mx/TortillaMesPorDia.asp>
- Tabák AG, Herder C, Rathmann W, Brunner EJ, Kivimäki M. 2012. Prediabetes: a high-risk state for diabetes development. *Lancet* 379(9833):2279-90. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(12\)60283-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(12)60283-9)
- Taube KA. 1989. The maize tamale in classic Maya diet, epigraphy, and art. *American Antiquity* 54(1):31-51 <https://doi.org/10.2307/281330>
- Tkatch L, Rapin CH, Rizzoli R, Slosman D, Nydegger V, Vasey H, Bonjour JP. Benefits of oral protein supplementation in elderly patients with fracture of the proximal femur. *Journal of the American College Nutrition* (5):519-25 <https://doi.org/10.1080/07315724.1992.10718256>
- Ti H, Zhang R, Zhang M, Li Q, Wei Z, Zhang Y, et al. (2014). Dynamic changes in the free and bound phenolic compounds and antioxidant activity of brown rice at different germination stages. *Food Chemistry* 161:337–344 <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.04.024>
- Tomé-Sánchez I, Martín-Diana AB, Peñas E, Bautista-Expósito S, Frias, J, Rico D, et al. 2020. Soluble phenolic composition tailored by germination conditions accompany antioxidant and anti-inflammatory properties of wheat. *Antioxidants* 9:9050426 <http://dx.doi.org/10.3390/antiox9050426>
- Treviño-Mejía D, Luna-Vital DA, Gaytán-Martínez M, Mendoza S, Loarca-Piña G. 2016. Fortification of commercial nixtamalized maize (*Zea mays* L) with common bean (*Phaseolus vulgaris* L) increased the nutritional and nutraceutical content of tortillas without modifying sensory properties. *Journal of Food Quality* 39:569-579 <http://dx.doi.org/10.1111/jfq.12251>
- Twohig H, Hodges V, Mitchell C. 2018. Pre-diabetes: opportunity or overdiagnosis? *British Journal of General Practice* 68(669):172-3 <https://doi.org/10.3399/bjgp18X695369>

- UCSJ. 2019. Universidad del Claustro de Sor Juana. Tendencias de panadería en México y el mundo. Disponible en: <https://www.elclauastro.edu.mx/claustroclaustronomia/index.php/investigacion/item/120-tendencias-de-panaderia-en-mexico-y-el-mundo>
- UNICEF 2021. The United Nations Children’s Fund, World Health Organization, World Bank Group. Joint Child Malnutrition Estimates. Ginebra
- United Nations. 2015. A/RES/70/1. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. United Nations General Assembly Resolution <https://sdgs.Un.org/2030agenda>
- Urias-Lugo DA, Heredia JB, Serna-Saldivar SO, Muy-Rangel MD, Valdez-Torres JB. 2015. Total phenolics, total anthocyanins and antioxidant capacity of native and elite blue maize hybrids (*Zea mays* L.). *CyTA-Journal of Food* 13(3):336-339. <https://doi.org/10.1080/19476337.2014.980324>
- Urias-Lugo DA, Heredia JB, Valdez-Torres JB, Muy-Rangel MD, Serna-Saldivar SO, García-Lara S. 2014. Physical properties and chemical characterization of macro and micro nutrients of elite blue maize hybrids (*Zea mays* L.). *Cereal Research Communications* 43:295–306 <http://dx.doi.org/10.1556/CRC.2014.0044>
- Vela E. 2007. Popol Vuh: el libro sagrado de los mayas. *Arqueología Mexicana* 15(88):42-50 <http://arqueologiamexicana.mx/mexico-antiguo/el-popol-vuh-ellibro-sagrado-de-los-mayas>
- Vieira NM, Peghinelli WV, Monte MG, Costa NA, Gomes Pereira M, Seki MM, Scmidt Azevedo P, Polegato BF, Rupp de Paiva SA, Zornoff LAM, Ferreira Minicucci M. 2023. Beans consumption can contribute to the prevention of cardiovascular disease. *Clinical Nutrition ESPN* 54:73-80 <https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2023.01.007>
- Walson JL, Berkley JA. 2018. The impact of malnutrition on childhood infections. *Current Opinion in Infectious Disease* 31(3):231-236 <https://doi.org/10.1097%2FQCO.0000000000000448>

- WCRF. 2018. World Cancer Research Fund, American Institute for Cancer Research. Diet, nutrition, physical activity and cancer: a global perspective. *World Cancer Research Fund* <http://gco.iarc.fr/today>
- WHO. 2020. World Health Organization. Fact Sheets: Malnutrition. Ginebra
- WHO. 2021. World Health Organization. Fact sheet – Obesity and overweight. Ginebra. Disponible en: <https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>
- Xu K, Debelo H, Roman L, Guo M, Ferruzzi MG, Martinez MM. 2021. Co-extruded wheat/okra composite blends result in soft, cohesive and resilient crumbs rich in health-promoting compounds. *Food Chemistry* 364:130395 doi: <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2021.130395>
- Yi C, Qiang N, Zhu H, Xiao Q, Li Z. 2022. Extrusion processing: A strategy for improving the functional components, physicochemical properties, and health benefits of whole grains. *Food Research International* 160:111681 <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111681>
- Yin Z, Wu W, Sun C, Lei Z, Chen H, Liu H, Chen W, Ma J, Min T, Zhang M, Wu H. 2018. Comparison of releasing bound phenolic acids from wheat bran by fermentation of three *Aspergillus* species. *International Journal of Food Science and Technology* 53:1120–1130 <https://doi.org/10.1111/ijfs.13675>
- Zhang R, Khan SA, Chi J, Wei Z, Zhang Y, Deng Y, Liu L, Zhang M. 2018. Different effects of extrusion on the phenolic profiles and antioxidant activity in milled fractions of brown rice. *LWT – Food Science and Technology* 88:64–70 <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2017.09.042>
- Zeng Z, Liu C, Luo S, Chen J, Gong E. 2016. The profile and bioaccessibility of phenolic compounds in cereals influenced by improved extrusion cooking treatment. *PloS One* 11:e0161086 <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0161086>

Zhou B, Carrillo-Larco RM, Danaei G, Riley LM, Paciorek CJ, Stevens GA, *et al.*  
Worldwide trends in hypertension prevalence and progress in treatment and  
control from 1990 to 2019: a pooled analysis of 1201 population-representative  
studies with 104 million participants. *Lancet* 398(10304):957  
[https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)01330-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)01330-1)

## Abreviaturas

AACC	American Association of Cereal Chemists
$\alpha$	Alfa
AAE	Aminoácidos esenciales
AAPH	2-2'-Azobis-aminopropano
AAox	Actividad antioxidante
Abs	Absorbancia
ABTS	2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolin-6-ácido sulfónico)
ADN	Ácido desoxiribonucleico
AOAC	Asociación Oficial de Químicos Analistas
AR	Almidón resistente
AS	Almidón soluble
AUC	Pérdida de fluorescencia
$\beta$	Beta
bs	Base seca
C	Carbono
°C	Grado(s) centigrade(s) / Grados Celsius
CAAE	Contenido de aminoácidos esenciales
CFT	Compuestos fenólicos totales
Cl <sup>-</sup>	Cloro
cm	Centímetro(s)
col.	Colaboradores
C-PER	Relación de eficiencia proteínica calculada
DCF	Diclorofluorescina
DCFH	Diclorofluoresceína
$\Delta E$	Diferencia total de color
EAG	Equivalentes de ácido gálico

ECA	Enzima convertidora de angiotensina I
ENSANUT	Encuesta Nacional de Salud y Nutrición
ET	Equivalentes de trolox
FAO	Organización de Alimentos y Agricultura de las Naciones Unidas
FDA	Administración de Alimentos y Medicamentos
FRAP	Ferric reducing antioxidant power
g	Gramo(s)
GRAS	Reconocido generalmente como seguro (generally recognized as safe)
h	Hora(s)
HAE	Harina de amaranto integral extrudido
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Peróxido de hidrógeno
HCl	Ácido Clorhídrico
HDL	Lipoproteínas de alta densidad
HHL	Hipuril-histidil-leucina
HMAE	Harina de maíz azul integral extrudido
HPLC	Cromatografía de líquidos de alta resolución
HTA	Hipertensión arterial
IC <sub>50</sub>	Concentración para inhibir el 50% de actividad
LDL	Lipoproteínas de baja densidad
mg	Miligramo(s)
min	Minuto(s)
μ	Micro
M	Molar
mm	Milímetro(s)
μg	Microgramo(s)
μM	Micromolar
mM	Milimolar

μL	Microlitros
mL	Mililitro(s)
NaOH	Hidróxido de sodio
NO•	Óxido nítrico
NPR	Relación neta de proteína / Retención neta de proteína
°C	Grado(s) 146entigrade(s)
O•	Oxígeno singulete
O <sub>2</sub> •	Superóxido
OH•	Radical hidroxilo
ONOO•	Peroxinitrilo
OMS	Organización Mundial de la Salud
ORAC	Capacidad de absorción de radicales de oxígeno
p/v	Peso/volumen
PDCAAS	Digestibilidad proteínica corregida por perfil de aminoácidos
%	Porcentaje
PER	Relación de eficiencia proteínica
R•	Radical alquilo
RO•	Radical alcoxilo
ROO•	Radical peroxilo
ROS	Especies reactivas de oxígeno
Rpm	Revoluciones por minute
s	Segundo(s)
SAGARPA	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación
TBARS	Método del ácido tiobarbitúrico
THMAE	Tortillas de harina de maíz azul extrudido
TFHMA-AE	Tortillas funcionales de harinas de maíz azul – amaranto extrudidos

TMASECA <sup>MR</sup>	Tortillas de harina de maíz nixtamalizado comercial (MASECA)
UV	Ultravioleta
v/v	Volumen/volumen
WHO	Organización Mundial de la Salud
Zn <sup>2+</sup>	Zinc