



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICO BIOLÓGICAS
MAESTRÍA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

**Bebidas funcionales elaboradas con
mezclas de granos integrales
(Amaranto/Chía) procesados por
extrusión y germinación**

T E S I S

Que presenta

MARÍA FERNANDA SÁNCHEZ OSUNA

Para obtener el Grado de

MAESTRA EN CIENCIA

Y

TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Directores

DRA. JANITZIO XIOMARA KORINA

PERALES SÁNCHEZ

DR. CUAUHTÉMOC REYES MORENO

Culiacán, Sinaloa, México

Febrero de 2018

Presentación

Este trabajo titulado **“Bebidas Funcionales Elaboradas con Mezclas de granos Integrales (Amaranto/Chía) Procesados por Extrusión y Germinación”** se desarrolló en “Laboratorio de Bioprocesos y Alimentos Funcionales”, Programa Regional de Posgrado en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Facultad de Ciencias Químico Biológicas, Universidad Autónoma de Sinaloa. Los C. Dra. Janitzio Xiomara Korina Perales Sánchez, Dr. Cuauhtémoc Reyes Moreno y Dr. Roberto Gutiérrez Dorado participaron como Asesores Académicos. Los primeros dos fungieron como Director de Tesis. La tesista María Fernanda Sánchez Osuna recibió “Beca Nacional para Estudios de Posgrado” (Maestría en Ciencias) del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) al igual que el financiamiento para la realización de la investigación de Ciencia Básica 2014/241090 de CONACyT; además del apoyo económico otorgado para la realización del mismo al Programa de Fomento y Apoyo a Proyectos de Investigación PROFAPI 2014/173 de la Universidad Autónoma de Sinaloa.

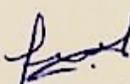


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA

CARTA CESION DE DERECHOS

En la Ciudad de Culiacán el día 07 del mes Febrero del año 2018, el (la) que suscribe L.N. María Fernanda Sánchez Osuna alumno (a) del Programa de Ciencia y Tecnología de Alimentos con número de cuenta 0930838-5, de la Unidad Académica Facultad de Ciencias Químico Biológicas, manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de Dr. Cuauhtémoc Reyes Moreno y Dra. Janitzio Xiomara Korina Perales Sánchez y cede los derechos del trabajo titulado "Bebidas funcionales elaboradas con mezclas de granos integrales (Amaranto/Chia) procesados por extrusión y germinación", a la Universidad Autónoma de Sinaloa para su difusión, con fines académicos y de investigación por medios impresos y digitales.

La Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México) protege el contenido de la presente tesis. Los usuarios de la información contenida en ella deberán citar obligatoriamente la tesis como fuente, dónde la obtuvo y mencionar al autor intelectual. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.


María Fernanda Sánchez Osuna

Nombre completo y firma

AGRADECIMIENTOS

A mi mamá, **Lilia** por ser la persona maravillosa que eres, por darme todo tu apoyo, y enseñarme a luchar por lo que quiero. A mi papá, **Javier** por que desde dónde estás estoy segura que caminas conmigo en cada paso. A mi hermana, **Elizabeth** por ser una parte muy importante en mi vida y por apoyarme en todo aun en la distancia. Los amo.

A mis abuelos, **Martha y Florencio**, por brindarme todo su apoyo, sin ustedes nada de esto hubiera sido posible.

A mi novio, **Luis** por ser una parte muy importante y especial en mi vida, por que siempre estas ahí para apoyarme, y sacarme una sonrisa cuando creo que ya no puedo, por ser paciente conmigo cuándo algo no va bien y echarme porras para seguir adelante, pero sobretodo por darme todo tu amor y paciencia. Te amo.

A mis tíos y primos **Rafael, Paty, Juan Carlos, Daniel, Sergio, Christina, Ana, Paulina y Mitzell**, por su cariño y por estar siempre en las buenas y en las malas.

A mi **Travito** por enseñarme el amor incondicional y moverme la colita cada vez que volvía cansada y estresada del laboratorio y por hacerme muy feliz.

A mis directores de tesis **Dra. Xiomara Perales y Dr. Cuahutémoc Reyes**, por dirigir este trabajo, por sus enseñanzas y por estar siempre disponibles para guiarme. Gracias.

Al Dr. **Roberto Gutiérrez** por darme la oportunidad de integrarme a su grupo de trabajo, y por todas las enseñanzas, le agradezco toda su ayuda y paciencia.

A todos y cada uno de los maestros del programa de la **Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos**, por darme la oportunidad de ingresar, aprender, por su paciencia, exigencias, disponibilidad y por contribuir en mi desarrollo académico y profesional.

A mis compañeros de generación especialmente a **Marco, Caro y Denisse** por recordarme lo que es volver a ser estudiante, por sus risas y los momentos que compartimos.

A mis amigas **Malenny, Melissa y Blanca**, gracias por su amistad, por hacer más ameno y divertido cada día, por las largas pláticas y los días de fiesta, por los viajes y los momentos que compartimos. Por su ayuda en el laboratorio, por echarme porras cada vez que no salía una técnica, y por motivarme a ser mejor... tienen un pedazo muy especial en mi corazón.

A mis compañeros de laboratorio **Mario, Daniel, Jenny, Celeste, Denisse, Yazmin, Martín, Luisa Fernanda y Demis** por hacer más amena mi estadia en el laboratorio y por su apoyo en lo que necesitara. Y muy especialmente gracias mafren **Fernando** por tu ayuda incondicional, por siempre estar dispuesto, por ser el todólogo del laboratorio pero sobretodo por el ser humano que eres, mis bendiciones siempre para ti.

A **Katy y Miriam** por sacarme una sonrisa cada día, y por su ayuda con las técnicas del laboratorio, por dejarse negrear por mí, sin ustedes muchas cosas no habrían sido posibles, en verdad gracias.

A mis amigos de toda la vida **Toño, Paul, Fede, Lety, Ana, Irene**, gracias por cada locura que han compartido conmigo, por tantos años de amistad, por crecer juntos, por estar siempre en cada momento y compartir lo mejor de la vida. Los amo, y les deseo una vida llena de amor, salud, éxitos y que podamos seguir compartiendo todo siempre.

A todas las personas que han formado parte de mi vida, que me han motivado a superarme y ser una mejor persona.

ÍNDICE

	Pág.
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE CUADROS	xi
I RESUMEN	1
ABSTRACT	2
II INTRODUCCIÓN	3
III REVISION BIBLIOGRÁFICA	7
A ESTRÉS OXIDATIVO	7
1 Especies reactivas de oxígeno (ROS).....	7
2 Daños por ROS a biomoléculas	7
a Lípidos	8
b Proteínas.....	8
c Ácido desoxirribonucleico (ADN).....	9
3 Actividad antioxidante	10
a Actividad antioxidante en granos	10
b Evaluación de la actividad antioxidante	11
B ENFERMEDADES CRÓNICO DEGENERATIVAS	14
1 Generalidades	14
2 Hipertensión	16
a Generalidades	16
b Mecanismos de la hipertensión.....	17
3 Enfermedades cardiovasculares	19
a Generalidades	19
b Hipercolesterolemia	22
4 Relación entre dieta y enfermedad.....	23
C ALIMENTOS / BEBIDAS FUNCIONALES	24
1 Definición.....	24
2 Bebidas funcionales	24
a Clasificación	25
b Propiedades nutracéuticas.....	28

3 Mercado internacional de bebidas funcionales.....	29
4 Mercado nacional de bebidas funcionales.....	29
D AMARANTO (<i>Amaranthus hypochondriacus</i> L.)	30
1 Historia/Origen	30
2 Aspectos agronómicos	31
3 Estructura del grano	31
a Episperma	31
b Endosperma.....	31
c Embrión.....	32
d Perisperma.....	32
4 Estadísticas de producción.....	35
5 Composición química del grano de amaranto	36
a Proteínas.....	36
b Carbohidratos.....	39
1) Almidón	40
2) Fibra dietaría	40
c Lípidos.....	41
1) Ácidos grasos insaturados.....	41
2) Escualeno.....	41
d Vitaminas y minerales	43
6 Valor nutricional del grano de amaranto.....	45
a) Perfil de aminoácidos esenciales.....	45
b) Digestibilidad proteínica.....	45
c) Valor biológico de la proteína.....	47
7 Fitoquímicos en granos de amaranto	47
a) Compuestos fenólicos.....	48
b) Flavonoides.....	49
c) Taninos condensados	51
8 El amaranto como alimento funcional	52
a) Propiedades nutracéuticas del grano de amaranto	52
b) Antioxidante.....	54
c) Antihipertensivo.....	55

E CHÍA (<i>Salvia hispánica</i> L)	57
1 Historia / Origen	57
2 Taxonomía	58
3 Producción	61
4 Estructura del grano	61
a Episperma	64
b Embrión.....	64
c Endosperma	64
5 Composición química	64
a) Proteínas	65
b) Carbohidratos	65
1 Fibra dietaría.....	65
c) Lípidos	66
1 Ácidos grasos insaturados.....	66
d) Vitaminas y minerales.....	66
6 Valor nutrimental del grano de chía.....	68
a Perfil de aminoácidos esenciales.....	68
b Digestibilidad proteínica	68
c Valor biológico de la proteína.....	70
7 Fitoquímicos en el grano de chía	70
a Compuestos fenólicos.....	70
b Flavonoides.....	71
c Taninos	71
8 La chía como alimento funcional	72
a Propiedades nutraceuticas del grano de chía.....	72
b Antioxidante	72
c Antihipertensivo.....	74
F TECNOLOGIAS PARA EL PROCESAMIENTO DE GRANOS.....	75
1 Generalidades	75
2 Tecnologías no convencionales	75
3 Tecnologías convencionales	76
G EXTRUSIÓN.....	76

1 Generalidades	76
2 Proceso de extrusión.....	77
3 Componentes de un extrusor	78
4 Clasificación de los extrusores	78
a Extrusor de tornillo simple	80
b Extrusor de doble tornillo	80
5 Efecto de la extrusión sobre la composición química de los granos	81
6 Efecto de la extrusión sobre el valor nutricional de los granos.....	82
7 Efecto de la extrusión sobre niveles de fitoquímicos, actividad antioxidante y propiedades nutraceuticas del grano.....	83
H GERMINACIÓN	87
1 Generalidades	87
2 Proceso de germinación.....	87
3 Principales factores que afectan el proceso de germinación.....	87
a) Tiempo y condiciones de remojo	87
b) Temperatura de germinación.....	88
c) Luz	88
d) Elicitores	89
4 Efecto de la germinación sobre la composición química del grano	90
5 Efecto de la germinación sobre valor nutricional de los granos.....	92
6 Efecto de la germinación sobre niveles de fitoquímicos, actividad antioxidante y propiedades nutraceuticas de los granos	93
IV JUSTIFICACIÓN	96
V HIPÓTESIS	97
VI OBJETIVOS	98
A OBJETIVO GENERAL	98
B OBJETIVOS ESPECÍFICOS	98
VII MATERIALES Y MÉTODOS	99
A MATERIALES	99
B MÉTODOS	99
1 Características físicas	99
a Dimensiones	99

b	Peso de 1,000 semillas	99
2	Obtención de harinas de amaranto y chía.....	99
a	Preparación de harina de amaranto germinado optimizada (HAGO)...	99
b	Preparación de harina de amaranto extrudido optimizada (HAEO) ...	100
c	Preparación de harina de chía germinada optimizada (HCGO)	102
3	Obtención de mezclas de harinas procesadas para la elaboración de bebidas funcionales.....	104
a	<i>Mezcla 1</i> [Harina de amaranto germinado optimizada (HAGO) + Harina de chía germinada optimizada (HCGO)].	104
b	<i>Mezcla 2</i> [Harina de amaranto extrudida optimizada (HAEO) + Harina de chía germinada optimizada (HCGO)]	104
4	Composición química	104
a	Humedad	104
b	Proteínas.....	106
c	Lípidos.....	106
d	Minerales	106
e	Fibra dietaría.....	107
f	Carbohidratos (CHO)	107
5	Propiedades fisicoquímicas.....	107
a	Color	107
1)	Diferencia total de color (ΔE).....	107
b	Actividad acuosa (a_w).....	108
c	pH.....	108
d	Dispersabilidad.....	108
e	Índice de absorción de agua (IAA)	109
f	Índice de solubilidad en agua (ISA).....	109
g	Índice de absorción de aceite.....	109
h	Capacidad de formación de espuma / estabilidad de espuma.....	110
i	Actividad / Estabilidad de emulsión (% AE, % EEm).....	110
6	Actividad antioxidante de harinas de amaranto, chía y mezclas	111
a)	Obtención de extractos fitoquímicos libres y ligados	111
b)	Determinación de la actividad antioxidante (AAox).....	113
1)	ORAC	113

2) ABTS	114
7 Compuestos fenólicos totales.....	114
8 Potencial antihipertensivo (IC ₅₀) de compuestos fenólicos de harinas de amaranto, chía y mezclas.....	115
9 Preparación de <i>Bebidas funcionales</i> (<i>Bebida 1: Mezcla 1: 70 % HAGO + 30 % HCGO, Bebida 2: Mezcla 2: 70 % HAEO + 30 % HCGO</i>) elaboradas a base de harinas de amaranto y chía	116
a) Evaluación sensorial	116
10 Análisis estadístico	117
VIII RESULTADOS Y DISCUSIÓN	118
A Características físicas de las semillas de amaranto y chía	118
B Composición química de las harinas de amaranto y chía	118
C Propiedades fisicoquímicas de las harinas de amaranto y chía.....	123
D Propiedades nutrimentales de las harinas de amaranto y chía.....	129
E Compuestos fenólicos y actividad antioxidante de las harinas de amaranto y chía.....	132
F Potencial antihipertensivo de las harinas de amaranto y chía.....	134
G Formulación, composición nutricional, contenido energético y propiedades nutricionales de las bebidas funcionales	135
H Actividad antioxidante, potencial antihipertensivo y propiedades sensoriales de las bebidas funcionales	138
IX. CONCLUSIONES	140
X. BIBLIOGRAFÍA	141
Abreviaturas	165

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Descripción	Página
1	Planta y semilla de amaranto (<i>Amaranthus hypochondriacus</i> L)	33
2	Estructura del grano de amaranto	34
3	Estructura química de flavonoides	53
4	Planta y semilla de chía (<i>Salvia hispánica</i> L)	60
5	Estructura del grano de chía	63
6	Componentes de un extrusor	79
7	Procedimiento para la obtención de harina de amaranto germinado optimizada (HAGO)	101
8	Procedimiento para la obtención de harina de amaranto extrudido optimizada (HAEO)	103
9	Procedimiento para la obtención de harina de chía germinada optimizada (HCGO)	105
10	Diagrama de flujo para la obtención de fitoquímicos libres y ligados para la determinación de actividad antioxidante, compuestos fenólicos	112

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Descripción	Página
1	Metodologías para la evaluación de actividad antioxidante	13
2	Producción de amaranto en México	37
3	Composición química del grano de amaranto y otros cereales	38
4	Contenido de ácidos grasos en aceite de amaranto y otros granos	42
5	Contenido de vitaminas y minerales en granos de amaranto	44
6	Aminoácidos esenciales de amaranto y algunos cereales	46
7	Fitoquímicos en especies de amaranto que dan grano	50
8	Actividad antioxidante en grano de amaranto y otros granos	56
9	Clasificación taxonómica de la chia	59
10	Producción de chía en México	62
11	Composición química del grano de chía y otros granos	67
12	Contenido de aminoácidos esenciales en chía y otros granos	69
13	Actividad antioxidante en chía y otros granos	73
14	Características físicas de las semillas de amaranto (<i>Amaranthus hypochondriacus</i> L) y Chía (<i>Salvia hispánica</i> L)	119
15	Composición proximal de harinas de amaranto y chía	121
16	Propiedades fisicoquímicas de harinas de amaranto y chía	124
17	Propiedades nutricionales de harinas de amaranto y chía	131
18	Compuestos fenólicos, actividad antioxidante y potencial antihipertensivo de harinas de amaranto y chía	133
19	Propiedades nutrimentales, nutricionales, nutracéuticas y sensoriales de las Bebidas Funcionales	137

I RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue desarrollar bebidas funcionales a partir de harinas de amaranto y chía procesados por germinación y extrusión, y evaluar sus propiedades nutricionales, antioxidante y antihipertensiva. Se aplicaron condiciones óptimas, previamente obtenidas, para producir harinas de amaranto extrudido y germinado (**HAEO, HAGO**). Se obtuvieron condiciones óptimas de temperatura (**21°C**) y tiempo de germinación (**197 h**), para elaborar harina de chía germinada optimizada (**HCGO**), con valores de actividad antioxidante (**AAox**) y contenidos de compuestos fenólicos totales y proteína (**CFT, CP**) máximos. Los procesos de extrusión y germinación incrementaron **AAox** (11-332%), **CFT** (25-782%) y el potencial antihipertensivo de amaranto y chía. Una porción de 200 mL de bebidas funcionales, preparadas con 25 g de las mezclas **70% HAEO + 30% HCGO** o **70% HAGO + 30% HCGO**, tuvieron 3.90-4.53 g de proteína de buena calidad, 5.04-6.81 g de fibra dietaría, 95-96 kcal de energía, relación de eficiencia proteínica calculada (**C-PER**)= 2.52-2.69, **AAox**= 4,009-6,495 $\mu\text{mol ET}$ y potencial antihipertensivo (**IC₅₀**)= 0.43-0.47 $\mu\text{g extracto/mL}$ y aceptabilidad sensorial entre “me gusta mucho” y “me gusta extremadamente”. Estas bebidas funcionales, por su valor nutricional alto y sus potenciales antioxidante y antihipertensivo, pueden ser empleadas para promover la salud de los consumidores.

Palabras clave: Amaranto, chía, bebidas funcionales, actividad antioxidante, antihipertensivo

ABSTRACT

The aim of this research was to develop functional beverages from amaranth and chia flours, processed by germination and extrusion, and evaluate its nutritional, antioxidant and antihypertensive properties. Optimal conditions, previously obtained, to produce extruded and germinated amaranth flours (**OEAF**, **OGAF**) were applied. Optimal conditions of germination temperature (**29°C**) and germination time (**197 h**) for elaborate optimized germinated chia flour (**OGCF**), with maximum values of antioxidant activity (**AoxA**), and total phenolic and protein contents (**TPC**, **PC**), were obtained. The extrusion and germination process increased **AoxA** (11-332%), **TPC** (25-782%), and antihypertensive potential of amaranth and chia. A 200 mL portion of the **functional beverages**, elaborated with 25 g of 70%**OEAF**+30%**OGCF** or 70%**OGAF** +30%**OGCF** mixtures, had 3.90-4.53 g good quality protein, 5.04-6.81 g dietary fiber, 95-96 kcal of energy, calculated protein efficiency ratio (**C-PER**) = 2.52-2.69, **AoxA**= 4,009-6,495 $\mu\text{mol TE}$, antihypertensive potential (**IC₅₀**)= 0.43-0.47 $\mu\text{g extract/mL}$, and sensorial acceptability between “I like it very much” and “I like it extremely”. These **functional beverages**, due to high nutritional value, and antioxidant and antihypertensive potential, can be used for health promotion of consumers.

Keywords: Amaranth, chia, functional beverages, antioxidant activity, antihypertensive

II INTRODUCCIÓN

En los últimos años, investigadores de todo el mundo han participado en la valorización de cultivos, tales como el amaranto y la chía, granos ancestrales de culturas precolombinas Americanas (Azteca, Maya) con características agronómicas destacadas y valor nutricional / nutracéutico. La explotación racional, sostenible y eficiente de los recursos naturales renovables es una condición indispensable para garantizar la seguridad alimentaria mundial en el futuro (FAO 2005).

El amaranto es considerado un grano multipropósito con valor nutricional alto (Venskutonis y Kraujalis 2013). Las tres principales especies de amaranto que producen grano son nativas del Nuevo Mundo. *Amaranthus hypocondriacus* es nativo del Noroeste y el área Central de México, *Amaranthus caudatus* es nativo de los Andes y el *Amaranthus cruentus* es nativo del Sur de México y la región Central de Guatemala. En México, la civilización Azteca utilizó *A. hypocondriacus* como uno de los granos básicos en la dieta, mientras que las civilizaciones Maya en México e Inca en Perú utilizaban *A. cruentus* y *A. caudatus*, respectivamente, como alimentos básicos (Pavlik 2011). Estas civilizaciones utilizaron el amaranto en bebidas, salsas, mezclada con harina de maíz para preparar tortillas, como tratamientos médicos e incluso utilizaban la planta y los granos en prácticas religiosas (Mlakar y col 2010).

Los granos de amaranto contienen proteínas con digestibilidad alta (aproximadamente 90%) con buenos niveles de aminoácidos esenciales; su balance está cerca del óptimo requerido en la dieta humana (FAO 2013). Dependiendo de las especies, el contenido total de proteína varía entre 12.5% a 22% (Bressani, 1995; Cai y col., 2004; Venskutonis y Kraujalis, 2013; Orona-Tamayo y Paredes-López, 2017). Las proteínas de amaranto son ricas en Lisina (3.2-8.2 g/100 g de proteína) y aminoácidos azufrados (Cisteína+Metionina) en rangos de 2.0-3.8 y 0.6-2.4 g/ 100 g de proteína, respectivamente) (Venskutonis y Kraujalis 2013; Orona-Tamayo y Paredes-López 2017). Respecto al contenido de fibra, las semillas de amaranto tienen altos valores de fibra dietaria (7.6-16.4%) el cual varía dependiendo de la especie (Bressani 1995;

Repo-Carrasco-Valencia y col 2009). El contenido de lípidos se ha reportado entre 1.9% y 13% (Bressani 1995; Cai y col 2004; Venskutonis y Kraujalis 2013; Orona-Tamayo y Paredes-López 2017) los principales ácidos grasos encontrados en especies de granos de amaranto son el Linoleico (36.70-57.86%), Oleico (18.7-38.9%) y Palmítico (16.83-23.83%) (Venskutonis y Kraujalis, 2013). Los carbohidratos son el principal constituyente de los granos de amaranto y el almidón el compuesto principal en esta fracción (51.7-75.85) (Bressani 1995).

Los granos de amaranto también son una buena fuente de minerales tales como el Ca, Fe, Mg, Mn, K, P, Na, Zn y Cu y tienen alta concentración de vitaminas del complejo B y ácido Ascórbico (Bressani 1995; Orona-Tamayo y Paredes-López 2017). Los granos de amaranto se consideran una buena fuente de alimento para la hipocolesterolemia (Plate y Arêas 2002; Mendonça y col 2009) e hipertensos (Martirosyan y col 2007) y por no tener gluten para personas celiacas (Alvarez-Jubete y col 2010). Los hidrolizados de proteínas de la harina extruida de amaranto poseen actividades antiinflamatorias y antiateroescleróticas (Montoya-Rodríguez y col 2014; 2015a).

Chía (*Salvia hispánica* L) es nativa de Mesoamérica; 3,500 años a.C. era utilizada por los Mayas y Aztecas, como alimento y medicina. Este grano contiene, en peso seco (ps), 15-25 % proteínas, 29-34 % lípidos [35-64 % ácido α -Linolénico (Omega 3), 17-35 % ácido Linoleico (Omega 6)], 26-41% carbohidratos y 18-40 % fibra dietaría (Bochicchio y col 2015; Ullah y col 2015). Además, tiene compuestos fenólicos tales como los ácidos Rosmarínico, Protocatecuico, Ferúlico, Clorogénico y Cafeíco, y flavonoles como Quercetina, Miricetina y Kaempferol (Bochicchio y col 2015; Valdivia-López y Tecante 2015) que pueden proteger a los consumidores contra las diferentes enfermedades crónico degenerativas: hipertensión, diabetes, enfermedades cardiovasculares, ciertos tipos de cáncer, entre otras (Ayerza y Coates 2001; Ullah y col 2015).

Al ingerir la mezcla de amaranto + chía se obtiene una mejora sustancial en la calidad nutricional. Además, por la suma de fitoquímicos, aumenta el potencial nutraceutico. Condiciones óptimas de procesos de extrusión y

germinación aumentan el valor biológico de las proteínas, contenido de compuestos fenólicos, actividad antioxidante y potenciales antihipertensivo, antiateroesclerótico, antidiabético y anticancerígeno en cereales, leguminosas y pseudocereales (Reyes-Moreno y col 2012; Perales-Sánchez y col 2014; Montoya-Rodriguez y col 2014, 2015; Wongsiri y col 2015; Espinoza-Moreno y col 2016; Mamilla y Mishra 2017). Las bebidas funcionales son el segmento de más rápido crecimiento (14% anual) del área de alimentos, debido a que son excelentes medios para suministrar nutrientes y compuestos bioactivos (péptidos, antioxidantes, vitaminas, minerales, ácidos grasos esenciales, fibra, prebióticos, probióticos) (Corbo y col 2014).

Pandal (2017) estima que la venta de bebidas funcionales en el mundo podría ser aproximadamente de \$ 105.5 mil millones de dólares estadounidenses.

En México, 72% de los adultos (20 años o mayores), 35% adolescentes (12-19 años) y 34.4% niños (5-11 años) padecen de sobrepeso y obesidad, y el 31.8% de los adultos sufren hipertensión arterial (INSP 2013). Para 2017, el costo directo estimado para la atención médica de enfermedades atribuibles al sobrepeso y la obesidad (hipertensión, diabetes mellitus tipo 2, enfermedades cardiovasculares, apoplejía, algunos cánceres) será de 77,919 millones de pesos mexicanos (Barrera-Cruz y col 2013). Deben implementarse políticas públicas para revertir el entorno obesigénico (se caracteriza por un mayor acceso a alimentos y bebidas con alto contenido calórico, un estilo de vida sedentario y una promoción constante del consumo de productos no saludables). El estrés oxidativo es un factor causal crucial para el inicio y la progresión de la hipertensión. Un factor importante en la regulación de la presión arterial es la enzima Convertidora de Angiotensina (ECA) que cataliza la conversión de Angiotensina I (vasoconstrictor) e inactiva la Bradiquinina (vasodilatador). Una de las estrategias para combatir la hipertensión es la investigación de inhibidores de la ECA a partir de productos naturales como péptidos, triterpenos y compuestos fenólicos derivados de pseudocereales (quínoa y amaranto) y la chía que posean efectos antioxidantes y

antihipertensivos (Arenas-Carvajal y col 2009; Asao y Watanabe 2010; Montoya-Rodríguez y col 2015b; Orona-Tamayo y col 2015).

Actualmente, el creciente interés de la industria alimentaria por generar bebidas funcionales con potencial efecto terapéutico en el consumidor es la causa del uso de ingredientes con alto valor nutricional / nutracéutico y de la aplicación de tecnologías con potencial para favorecer incrementos en el valor biológico de las proteínas, contenido de compuestos bioactivos y propiedades nutracéuticas de alimentos.

El objetivo de esta investigación fue desarrollar bebidas funcionales a partir de harinas de amaranto y chía, procesadas por germinación y extrusión, y evaluar sus propiedades nutricionales, antioxidantes y antihipertensivas.

III REVISION BIBLIOGRÁFICA

A ESTRÉS OXIDATIVO

El daño o estrés oxidativo se ha definido como la exposición de la materia viva a diversas fuentes que producen una ruptura del equilibrio que debe existir entre las sustancias o factores prooxidantes y los mecanismos antioxidantes encargados de eliminar dichas especies químicas, ya sea por un déficit de estas defensas o por un incremento exagerado de la producción de especies reactivas del oxígeno (ROS, por sus siglas en inglés). Esto tiene como consecuencia alteraciones de la relación estructura-función en cualquier órgano, sistema o grupo celular especializado. El exceso de radicales libres es la principal causa del llamado estrés oxidativo (Ames y col 1993).

1 Especies reactivas de oxígeno (ROS)

Los radicales libres se producen continuamente en el organismo por medio de reacciones bioquímicas de oxidación/reducción con oxígeno (REDOX), que tienen lugar por el metabolismo normal de las células. Las ROS pueden alterar macromoléculas como lípidos, proteínas, ácido desoxirribonucleico (ADN) y polisacáridos. Las ROS pueden clasificarse en 2 tipos: (1) Radicales libres.- Como el radical superóxido (O_2^-) y el radical hidroxilo (OH) y (2) Especies de oxígeno no radicales.- como el peróxido de hidrógeno (H_2O_2), el oxígeno singlete (O_1), que resulta una especie muy tóxica, el peroxinitrito (ONOO) y el ácido hipocloroso (HOCL) (Ames y col 1993).

2 Daños por ROS a biomoléculas

Los radicales libres son elementos fundamentales en el metabolismo, pero también constituyen un riesgo, especialmente para las células y biomoléculas, tales como lípidos, proteínas, ácido desoxirribonucleico, polisacáridos (Saavedra y col 2010).

a Lípidos

Se produce el daño mayor en un proceso que se conoce como peroxidación lipídica, afecta a las estructuras ricas en ácidos grasos poliinsaturados, ya que se altera la permeabilidad de la membrana celular produciéndose edema y muerte celular. La peroxidación lipídica o enranciamiento oxidativo representa una forma de daño que puede ser desencadenado por la acción de los radicales libres (Fu y col 2002). Los ácidos grasos insaturados son componentes esenciales de las membranas celulares, por lo que se cree son importantes para su funcionamiento normal; sin embargo, son vulnerables al ataque oxidativo iniciado por los radicales libres (ROS) (Reilly y Bulkley 1990).

Los factores que influyen en la magnitud de la peroxidación lipídica son: (1) la naturaleza cualitativa y cuantitativa del agente inicializador, (2) los contenidos de la membrana en ácidos grasos poliinsaturados y su accesibilidad, (3) la tensión de oxígeno, (4) la presencia de hierro, (5) el contenido celular de antioxidantes (beta carotenos, alfa tocoferoles, glutatión), (6) la activación de enzimas que pueden hacer terminar la cadena de reacción como es el caso de la glutatión peroxidasa (GSH-Prx). Una vez que se inicia, el proceso toma forma de “cascada”, con producción de radicales libres que lleva a la formación de peróxidos orgánicos y otros productos, a partir de los ácidos grasos insaturados. Una vez formados, estos radicales libres son los responsables de los efectos citotóxicos (Rangan y Bulkley 1993).

b Proteínas

El daño oxidativo a las proteínas tiene una química muy compleja (Shanlin y col 1997). Los residuos de aminoácidos azufrados, así como los de Lisina e Histidina suelen ser muy susceptibles al daño oxidativo. En los primeros se generan disulfuros que pueden ocasionar el establecimiento de puentes covalentes cruzados entre proteínas o subunidades con formación de agregados (Vicedo-Tomey y Vicedo-Ortega 2000). En los segundos se produce su oxidación a grupos aldehídos y cetonas lo cual también puede ocurrir con residuos de Aspártico, Prolina y Arginina, esto da lugar a un incremento de

grupos carbonilo en las proteínas agredidas (Dalle-Donne y col 2003). En los casos extremos llega a producirse incluso la fragmentación de las cadenas polipeptídicas (Grune y Davies 1997).

c Ácido desoxirribonucleico (ADN)

Se ha estimado que ocurren aproximadamente 20,000 eventos en cada célula del cuerpo humano que lo dañan cada día. Una porción significativa de estos daños es causada por las especies reactivas de oxígeno (Barzilai y Yamamoto 2004). El daño al ADN por ROS parece ocurrir de forma natural, las reacciones endógenas que puedan contribuir al continuo daño del ADN son la oxidación, metilación, despurinización y desaminación (Ames y col 1993). La especies reactivas derivadas de productos de Óxido Nítrico son agentes mutagénicos con potencial para producir reacciones de nitración, nitrosación y desaminación en las bases del ADN. Se ha encontrado que al alterar la metilación catalizada por enzimas de citosinas adyacentes estas tienen un vínculo entre el daño oxidativo del ADN y de los patrones de metilación alterados (Dizdaroglu 1991; Epe y col 1993; Box y col 1995). Las diferentes especies reactivas de oxígeno afectan de diferente manera el ADN, por ejemplo el H_2O_2 no reacciona con las bases del ADN, mientras que el OH genera una multiplicidad de productos procedentes de las cuatro bases de ADN y este patrón parece ser una "huella digital" de diagnóstico de ataque del OH (Halliwell 1995). En contraste el O_2 ataca selectivamente a la guanina (Epe y col 1993). La conversión de Guanina a 8-Hidroxiguanina es un resultado frecuente de los ataques de ROS (Epe y col 1993; Box y col 1995; Halliwell 1995). El ADN mitocondrial es especialmente vulnerable a los ataques de especies reactivas de oxígeno, debido a su proximidad con el radical O_2 generado de la cadena de transporte de electrones, debido a las histonas y a los mínimos mecanismos de acción que existen (Richter y col 1988). Si OH está atacando al ADN, debe ser producido muy cerca del ADN pero es tan reactivo que no puede difundirse desde su sitio de formación. La radiación de fondo puede ser una fuente, pero

la radiación que genera OH se forma sobre toda la célula y solo una pequeña fracción sería probable que golpeará al ADN (Halliwell 1995).

3 Actividad antioxidante

Actividad antioxidante es la función que posee cualquier sustancia que a muy bajas concentraciones, comparado con la especie oxidable, sea capaz de prevenir o retardar su oxidación (Halliwell 1995). Los antioxidantes son compuestos que pueden donar electrones fácilmente o un átomo de hidrogeno a un radical hidróxido o alcoholóxico para terminar una reacción peroxilípida en cadena o para generar un compuesto fenólico, que puede quelar metales prooxidantes. Los antioxidantes tales como la vitamina C, vitamina E y compuestos fenólicos se encuentran de manera natural en las frutas, vegetales y granos. Se ha demostrado que la actividad antioxidante de estos compuestos es la principal fuente de antioxidantes en las frutas, vegetales y productos de suplementos naturales. Los compuestos fenólicos contribuyen a la actividad antioxidante más que el tocoferol o el ácido ascórbico. Los compuestos fenólicos actúan como antioxidantes de diversas maneras, los grupos fenólicos de estos compuestos son excelentes nucleófilos y son también capaces de inhibir la peroxidación lipídica, actuando como interruptores de reacción de oxidación mediante la unión con los radicales libres generados a través de la peroxidación de lípidos. Además los compuestos fenólicos actúan como quelantes de iones metálicos que inducen la oxidación, es por esto que los compuestos fenólicos son un buen indicador de la actividad antioxidante (Han y Baik 2008).

a Actividad antioxidante en granos

Los granos enteros contienen una amplia gama de antioxidantes por lo que su ingesta puede contribuir a elevar la capacidad antioxidante corporal y a prevenir las enfermedades en las cuales el estrés oxidativo está presente. Los antioxidantes presentes en los granos enteros son hidrosolubles, liposolubles y aproximadamente la mitad son insolubles. Entre los solubles se encuentran los

ácidos fenólicos, flavonoides y tocoferoles. Gran parte de los insolubles se encuentran como ésteres de ácido cinámico unidos a las cadenas laterales del arabinosilano de la hemicelulosa, por ello la fibra insoluble de los granos tiene propiedades antioxidantes. Adicionalmente la actividad antioxidante de los granos aumenta durante su cocción y tostado (Martínez-Valverde y col 2000).

Son compuestos fenólicos los fenoles, ácidos fenólicos, ácidos fenil acéticos, ácidos cinámicos, cumarinas, isocumarinas, cromonoles, lignanos y neolignanos, flavonoides (flavonoles, flavonas, isoflavonas, entre otros) y taninos. Los ácidos fenólicos se encuentran en el salvado de los granos (Martínez-Valverde y col 2000). El ácido ferúlico y cafeico (ácidos cinámicos) actúan previniendo la formación de carcinógenos a partir de precursores y bloquean la reacción de los carcinógenos con las macromoléculas celulares (Slavin 2004). Por su parte, el ácido fítico presente en los granos, también actúa como antioxidante al quelar metales como el hierro que pueden catalizar la formación de radicales libres (Slavin, 2004), mediante este mecanismo puede prevenir el daño oxidativo del ADN (Midorikawa y col 2001).

Los granos enteros también suministran vitamina E, un antioxidante intracelular que protege a los ácidos grasos poliinsaturados de las membranas de la peroxidación lipídica (Gropper y Smith 2012). También permiten mantener al selenio en su estado reducido e inhibe la formación de nitrosaminas a pH bajo previniendo así la formación de carcinógenos a partir de precursores (Slavin 2004). El selenio, otro micronutriente presente en los granos, actúa como cofactor de la enzima glutatión peroxidasa, la cual remueve el peróxido de hidrogeno y evita así el daño oxidativo de los tejidos (Gropper y Smith 2012).

b Evaluación de la actividad antioxidante

Debido al interés en la evaluación de la actividad antioxidante se han descrito diversos métodos para llevarse a cabo. El método de decoloración del catión radical 2-2-difenil-β-picrilhidrazilo (DPPH[•]): para cuantificar la capacidad captadora de radicales libres de los extractos determina el grado de decoloración que provocan sus componentes a una solución metanólica de

DPPH (Brand-Williams y col 1995). Para el método de decoloración con el radical catiónico ABTS^{•+}: se fundamenta en la cuantificación de la decoloración del radical ABTS^{•+}, debido a la interacción con especies donantes de hidrógeno o de electrones. El radical catiónico ABTS^{•+} es un cromóforo que absorbe a una longitud de onda de 734 nm y se genera por una reacción de oxidación del ABTS (2,2'-azino-bis- (3-etil benzotiazolin-6-sulfonato de amonio) con persulfato de potasio (Arts y col 2004).

El método de capacidad de absorción de radicales oxígeno (ORAC, por sus siglas en inglés) consiste en medir la disminución en la fluorescencia de una proteína como resultado de la pérdida de su conformación cuando sufre daño oxidativo causado por una fuente de radicales peróxido (ROO). El método mide la capacidad de los antioxidantes en la muestra para proteger la proteína del daño oxidativo. La proteína usada es la fluoresceína y el mecanismo de la reacción se basa en la transferencia de un átomo de hidrogeno del antioxidante al radical libre. Por esto, se utiliza el radical iniciador, el AAPH, para generar el radical peroxil ROO (Han y Baik 2008).

Cuadro 1. Metodologías para evaluar la actividad antioxidante

Método	Principio
DPPH¹	<p>DPPH (2,2-Difeni-1-picrilhidrazilo, D9132- 1) es un radical que tiene un electrón desapareado. Éste radical es de color azul-violeta y se decolora hacia amarillo pálido en presencia de una sustancia antioxidante, se mide espectrofotométricamente a 517 nm y, por diferencia de absorbancia, se determina el porcentaje de captación de radical libre DPPH.</p> <p style="text-align: center;">% Captación= $[1-(A2 - A3) / A1] \times 100$</p> <p style="text-align: center;">A1= Absorbancia del patrón de referencia A2= Absorbancia de la muestra A3= Absorbancia del blanco de muestra</p>
ABTS²	<p>Se cuantifica la decoloración del radical ABTS^{•+}, debido a la interacción con especies donantes de hidrógeno o de electrones. El radical catiónico ABTS^{•+} es un cromóforo que absorbe a una longitud de onda de 734 nm y se genera por una reacción de oxidación del ABTS (2,2'-azino-bis- (3-etil benzotiazolin-6-sulfonato de amonio) con persulfato de potasio. Se lee el cambio en la absorbancia respecto a la referencia del reactivo, a una longitud de onda de 734 nm. La referencia del reactivo puede consistir en una solución del radical ABTS^{•+} con el solvente de la muestra. Los resultados se expresan como valores TEAC (trolox equivalent antioxidant capacity) mediante la construcción de una curva patrón usando como antioxidante TROLOX[®].</p>
ORAC³	<p>Se basa en la habilidad que tienen los compuestos antioxidantes para bloquear radicales libres por donación de un átomo de hidrógeno:</p> $X + AH \rightarrow XH + A\bullet$ <p>En este método, el radical artificial AAPH (2,2'-Azobis-(2-aminopropano)- dihidrocloruro) oxida a la fluoresceína de forma que esta pierde su fluorescencia. De esta forma, las sustancias antioxidantes presentes en el extracto obtenido a partir del alimento disminuirían dicha pérdida de fluorescencia.</p>

¹ Brand-Williams y col 1995; ²Re y col 1999; ³Ou y col 2002

B ENFERMEDADES CRÓNICO DEGENERATIVAS

1 Generalidades

Hay enfermedades simples y complejas, las primeras son aquellas que generalmente son resultado de alteraciones recientes, sin modificar amplia o sustancialmente la fisiología del organismo. Sin embargo, las enfermedades complejas, entre las que se pueden ubicar las enfermedades crónico-degenerativas (ECD), también conocidas como enfermedades no transmisibles (ENT), son aquellas que producen una serie de alteraciones fisiopatológicas amplias, complejas, profundas y en las cuales, además, se pueden identificar las características siguientes (González y col 2015).

Casi siempre son el resultado de una predisposición genética compleja (pueden participar una gran cantidad de genes), en combinación con factores ambientales y adquiridos, para el desarrollo de una o varias alteraciones patológicas. Dichas alteraciones se reflejan como producción excesiva, disminuida y/o modificaciones estructurales y funcionales de varias biomoléculas. Los mecanismos de regulación de las vías moleculares se van alterando y ampliando paulatinamente. Se generan cascadas de desregulación las cuales alteran la comunicación biológica extra e intercelular. Alteran en mayor o menor grado la mayoría de los tejidos y órganos; y hasta el momento no hay solución terapéutica total ni definitiva; tienden a ser de carácter crónico y progresivo (González y col 2015).

Entre las ECD más reconocidas se encuentran: *Diabetes mellitus*, obesidad, cáncer, hipertensión arterial sistémica, osteoartrosis, enfermedades cardiocerebrovasculares, enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), asma, hipertensión pulmonar, entre otras. La base de su manejo está en la prevención para minimizar y, de ser posible, evitar que se generen cascadas de desregulación (complicaciones y secuelas) (González y col 2015).

La enfermedad compleja es resultado de la interacción de dos fuerzas: una tendencia mórbida, resultante de la predisposición genética, de los factores ambientales y adquiridos propicios para la enfermedad y una fuerza opositora, si la primera vence a la segunda entonces se presentará una enfermedad que

se compone de tres períodos, el primero es el prodrómico el cuál se caracteriza por alteraciones biomoleculares y/o clínicas propias de la enfermedad que potencialmente se presentará en el futuro. El segundo es el período de estado, dónde se da la expresión biomolecular y clínica propia de la enfermedad y el tercer período el de daño multiorgánico-muerte (González y col 2015). Las enfermedades crónicas degenerativas (ECD) son responsables de alrededor del 82% de las muertes a nivel mundial; las enfermedades cardiovasculares (ECV) constituyen la mayoría de las defunciones anuales por ECD (17,5 millones), seguidas por cáncer (8,2 millones), enfermedades respiratorias (4 millones) y diabetes (1,5 millones) (OMS 2015). Las ECD son, en gran medida, enfermedades prevenibles. A veces las enfermedades crónicas son consideradas transmisibles a nivel de los factores de riesgo. Los hábitos alimentarios y el nivel de actividad física modernos son comportamientos de riesgo que se difunden por los países y pasan de una población a otra como una enfermedad infecciosa, con incidencia en los perfiles de morbilidad a nivel mundial (Matsudo y col 2002).

Mientras que la edad, el sexo y la vulnerabilidad genética son elementos no modificables, gran parte de los riesgos asociados a la edad y el sexo pueden ser aminorados. Tales riesgos incluyen factores conductuales (régimen alimentario, inactividad física, consumo de tabaco y consumo de alcohol), factores biológicos (dislipidemia, hipertensión, sobrepeso e hiperinsulinemia) y, por último, factores sociales, que abarcan una compleja combinación de parámetros socioeconómicos, culturales y otros elementos del entorno que interactúan entre sí (OMS 2015).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) de las Naciones Unidas, y la recientemente adoptada declaración política sobre las enfermedades crónicas no transmisibles de la Asamblea General de las Naciones Unidas, han hecho un llamado a la comunidad mundial para que se reconozcan las repercusiones devastadoras de las enfermedades no transmisibles en todo el mundo y la importancia de adoptar medidas encaminadas a reducirlas. El periodo 2012-2022 se ha definido como el decenio de las Naciones Unidas de la lucha contra

las enfermedades no transmisibles, para garantizar que el 85 % de la población mundial tenga acceso a la información, a la educación y a los servicios de salud, para reducir la vulnerabilidad y las tasas de mortalidad asociadas a las enfermedades crónicas (OMS 2015).

2 Hipertensión

a Generalidades

La hipertensión arterial (HTA) es un síndrome multifactorial de origen genético muy fácil de diagnosticar y de difícil control en el mundo. Esta se puede definir como el nivel mantenido de la presión arterial (PA) sistólica / diastólica igual o superior a 140/90 mm Hg, tomada en condiciones apropiadas en por lo menos tres lecturas de preferencia en tres días diferentes o cuando la PA inicial sea muy elevada y/o cuando el paciente presente cifras normales bajo tratamiento antihipertensivo (Granados y col 2007). La presión arterial se puede clasificar de la siguiente manera: (1) Presión arterial óptima: <120/80 mm de Hg, (2) Presión arterial normal: 120-129/80 - 84 mm de Hg, (3) Presión arterial normal alta: 130-139/ 85-89 mm de Hg. En la hipertensión arterial se distinguen tres etapas: (1) Etapa 1.- 140-159/ 90-99 mm de Hg, (2) Etapa 2.- 160-179/ 100-109 mm de Hg, (3) Etapa 3.- >180/ >110 mm de Hg (Campos-Nonato y col 2013).

En México, de acuerdo con los resultados de la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (ENSANUT) la prevalencia de hipertensión arterial se ha mantenido prácticamente sin cambios entre 2006 y 2012. Los resultados de esta encuesta indican, que un mayor porcentaje de personas hipertensas conocen su condición, lo que refleja una mejoría en las actividades de detección. Esta misma mejoría se identifica en general en la cobertura de acciones preventivas. De los individuos con diagnóstico previo de hipertensión, 73% reportó estar en tratamiento farmacológico para la atención de la misma, en tanto que 76% reportó medirse la presión arterial al menos una vez al mes (ENSANUT 2012).

En el estado de Sinaloa la prevalencia de hipertensión arterial (HTA) por diagnóstico médico previo en personas de 20 años de edad fue de 16.9%, la

cual aumentó 13.4% respecto a la prevalencia reportada en ENSANUT 2006 (14.9%). La prevalencia de hipertensión arterial fue de 21.1% en mujeres y 12.4% en hombres, con una razón mujer/hombre de 1 a 0.6. Tanto en hombres como en mujeres, se observó un incremento en la prevalencia de hipertensión arterial a partir de los 40 años (13.2% en hombres y 26.7% en mujeres), aumentando considerablemente en el grupo de 60 años o más (28.4% en hombres y 47.2% en mujeres). En los hombres, en la población de 60 años o más tuvo una prevalencia 4.2 veces mayor que la prevalencia en la población de 20 a 39 años, mientras que en las mujeres fue 6.0 veces mayor. En comparación con los resultados nacionales, la prevalencia de hipertensión arterial por diagnóstico médico previo en el estado de Sinaloa se ubicó arriba de la media nacional (15.9%) (ENSANUT 2012).

b Mecanismos de la hipertensión

El Sistema Renina-Angiotensina-Aldosterona (SRAA) es una cascada proteolítica conectada a un sistema de transducción de señales, en el que la renina divide el decapeptido Angiotensina I (AGI) del dominio N-terminal del Angiotensinógeno (Oparil y col 2002) . El riñón es el único sitio conocido en donde la Pro-renina es convertida en Renina y la única fuente de Renina Plasmática. El hígado es el lugar más importante de expresión del gen del Angiotensinógeno, pero el RNAm del Angiotensinógeno se expresa en varios lugares extrahepáticos, incluidos el cerebro, grandes arterias, el riñón, tejido adiposo y el corazón (Elwyn y col 1998). Se ha estimado que más del 85% de la Angiotensina I se forma dentro de los tejidos, más que en el plasma (Yamada y col 1991).

Hasta ahora no hay pruebas de que la síntesis local de Angiotensinógeno afecte a la velocidad de formación de Angiotensina I en los tejidos (Contra y col 2008). Una vez obtenida la AGI a partir del Angiotensinógeno por la acción de la renina, es convertida proteolíticamente en Angiotensina II (AGII) por la enzima convertidora de Angiotensina (ECA), principalmente a nivel pulmonar. Sin embargo, ahora se sabe que muchos tejidos, incluidos vasos sanguíneos, riñón,

corazón y cerebro son capaces también de generar en forma local AGII a través de vías no dependientes de la ECA (vías no-ECA) como la vía de la Quimasa, Carboxipeptidasa, Catepsina G, (teniendo como sustrato la Angiotensina I) y a través de la vía de Catepsina, Tonina y activador del Plasminógeno (teniendo como sustrato el Angiotensinógeno) (Watanabe y Berk 2004). La AGII actúa a través de por lo menos dos clases de receptores, los receptores AT-1 y AT-2. La AGII no distingue los receptores AT-1 y AT-2, uniéndose al receptor AT-2 con afinidad similar a la del receptor AT-1, la acción funcional dependerá del tipo de receptor que se encuentre con más expresión en el organismo. La mayoría de los efectos fisiológicos de la AGII son mediados a través de los receptores AT-1. Los receptores AT-2 se expresan principalmente durante el periodo fetal y se asocian con la diferenciación y regeneración celular (Watanabe y Berk 2004).

Otro componente esencial del mecanismo de la hipertensión es la ECA, la cual es estructuralmente una Metalopeptidasa de Zinc, y funcionalmente una Ectoenzima unida a membrana que representa el paso enzimático final en la producción de AGII a partir de AGI. Existen 3 isoformas principales de la ECA: **(a)** ECA somática, **(b)** ECA testicular o germinal y **(c)** ECA plasmática o soluble (Oparil y col 2002).

La ECA somática es una glucoproteína de 170 KDa que se encuentra en varios tejidos (vasos sanguíneos, riñones, corazón y cerebro principalmente). Es una Ectoenzima bilobulada unida a la membrana celular y que tiene una región hemodimérica extracelular, la cual a su vez tiene 2 dominios homólogos con un sitio catalítico activo cada uno (Sitio activo N-terminal y sitio activo C terminal), un dominio de anclaje transmembrana y una cola corta de carboxilo intracelular. El sitio C terminal es el responsable del 75% de la actividad de la ECA y el principal responsable de la conversión de la AGI a AGII (Oparil y col 2002).

La ECA testicular o germinal es una glucoproteína de 90 KDa que se encuentra exclusivamente en las células germinales de los testículos, se diferencia a la ECA somática en que sólo tiene un amino terminal en la región

extracelular y por lo tanto tiene un sitio catalíticamente activo 1,9 (Oparil y col 2002).

La ECA plasmática o soluble; se piensa que ésta deriva de la segmentación proteolítica de la región C-terminal de la ECA somática desde la membrana celular y carece del dominio transmembrana en la porción intracelular; por lo tanto, la ECA soluble corresponde a la región extracelular de la ECA somática y contiene 2 sitios activos 10,11 (Oparil y col 2002).

La ECA somática es la enzima principal para la producción de angiotensina II. La ECA inactiva la Bradiquinina mediante la liberación del dipéptido Phe-Arg del extremo terminal del péptido. Y también tiene la capacidad de escindir di y tripéptidos de la región C-terminal de sustancias como la sustancia P, Encefalinas, Neurotensina, Colecistocinina, Bombesina y hormona liberadora de hormona Luteinizante (Erdös 1990). La actividad de la ECA tiene un pH óptimo de 7 a 8 y cae rápidamente con la disminución del pH. Recientemente, un homólogo de la ECA denominado ECA-relacionada a Carboxipeptidasa (ECA-2) ha sido definido, (Donoghue y col 2000). Esta es una Metaloproteasa de Zinc expresada predominantemente en el endotelio, corazón, riñón y testículo. La ECA-2 es la responsable de convertir a la AGI y a la AGII en Angiotensina 1-9 y Angiotensina 1-7, respectivamente. La Angiotensina 1-7 ha mostrado ser un potente vasodilatador, además de que potencializa la acción de las Bradiquininas relacionadas a las prostaglandinas: potencia el efecto del óxido nítrico (ON), del factor hiperpolarizante derivado del endotelio; además tiene un efecto antitrófico y disminuye la expresión del inhibidor del activador del Plasminógeno tipo 1 (PAI-1), lo que le confiere propiedades antiinflamatorias, fibrinolíticas y regulador de la remodelación vascular (Watanabe y Berk 2004).

3 Enfermedades cardiovasculares

a Generalidades

Las enfermedades cardiovasculares (ECV) son un grupo de desórdenes del corazón y de los vasos sanguíneos, entre los que se incluyen: **(1)** La cardiopatía coronaria.- enfermedad de los vasos sanguíneos que irrigan el músculo

cardíaco; **(2)** Las enfermedades cerebrovasculares.- enfermedades de los vasos sanguíneos que irrigan el cerebro; **(3)** Las arteriopatías periféricas.- enfermedades de los vasos sanguíneos que irrigan los miembros superiores e inferiores, **(4)** La cardiopatía reumática.- lesiones del músculo cardíaco y de las válvulas cardíacas debidas a la fiebre reumática, una enfermedad causada por bacterias denominadas estreptococos, **(5)** Las cardiopatías congénitas.- malformaciones del corazón presentes desde el nacimiento, **(6)** Las trombosis venosas profundas y embolias pulmonares: coágulos de sangre (trombos) en las venas de las piernas, que pueden desprenderse (émbolos) y alojarse en los vasos del corazón y los pulmones (Weintraub y col 2016).

Los ataques al corazón y los accidentes cerebro-vasculares (ACV) suelen ser fenómenos agudos que se deben sobre todo a obstrucciones que impiden que la sangre fluya hacia el corazón o el cerebro. La causa más frecuente es la formación de depósitos de grasa en las paredes de los vasos sanguíneos que irrigan el corazón o el cerebro. Los ACV también pueden deberse a hemorragias de los vasos cerebrales o coágulos de sangre. Los ataques cardíacos y los ACV suelen tener su causa en la presencia de una combinación de factores de riesgo, tales como el tabaquismo, las dietas malsanas y la obesidad, la inactividad física, el consumo nocivo de alcohol, la hipertensión arterial, la diabetes y la hiperlipidemia (OMS 2015) .

La enfermedad subyacente de los vasos sanguíneos a menudo no suele presentar síntomas, y su primera manifestación puede ser un ataque al corazón o un AVC. Los síntomas del ataque al corazón consisten en: **(1)** Dolor o molestias en el pecho, **(2)** Dolor o molestias en los brazos, hombro izquierdo, mandíbula o espalda. Además puede haber dificultad para respirar, náuseas o vómitos, mareos o desmayos, sudores fríos y palidez. La dificultad para respirar, las náuseas y vómitos y el dolor en la mandíbula o la espalda son más frecuentes en las mujeres (Weintraub y col 2016).

El síntoma más común del AVC es la pérdida súbita, generalmente unilateral, de fuerza muscular en los brazos, piernas o cara. Otros síntomas consisten en: **(1)** La aparición súbita, generalmente unilateral, de

entumecimiento en la cara, piernas o brazos, **(2)** Confusión, dificultad para hablar o comprender lo que se dice, **(3)** Problemas visuales en uno o ambos ojos, **(4)** Dificultad para caminar, mareos, pérdida de equilibrio o coordinación, **(5)** Dolor de cabeza intenso de causa desconocida y **(6)** Debilidad o pérdida de conciencia (Tovar-Peréz y col 2009).

Las causas más importantes de cardiopatía y ACV son una dieta malsana, la inactividad física, el consumo de tabaco y el consumo nocivo de alcohol. Los efectos de los factores de riesgo comportamentales pueden manifestarse en las personas en forma de hipertensión arterial, hiperglucemia, hiperlipidemia y sobrepeso u obesidad. Estos "factores de riesgo intermediarios", que pueden medirse en los centros de atención primaria, son indicativos de un aumento del riesgo de sufrir ataques cardíacos, accidentes cerebrovasculares, insuficiencia cardíaca y otras complicaciones (Tovar-Pérez y col 2009; Weintraub y col 2016).

Está demostrado que el cese del consumo de tabaco, la reducción de la sal de la dieta, el consumo de frutas y hortalizas, la actividad física regular y la evitación del consumo nocivo de alcohol reducen el riesgo de ECV. Por otro lado, puede ser necesario prescribir un tratamiento farmacológico para la diabetes, la hipertensión o la hiperlipidemia, con el fin de reducir el riesgo cardiovascular y prevenir ataques cardíacos y accidentes cerebrovasculares. Las políticas sanitarias que crean entornos propicios para asegurar la asequibilidad y disponibilidad de opciones saludables son esenciales para motivar a las personas para que adopten y mantengan comportamientos sanos (Weintraub y col 2016).

También hay una serie de determinantes subyacentes de las enfermedades crónicas, es decir, "las causas de las causas", que son un reflejo de las principales fuerzas que rigen los cambios sociales, económicos y culturales: la globalización, la urbanización y el envejecimiento de la población. Otros determinantes de las ECV son la pobreza, el estrés y los factores hereditarios (OMS 2015).

Se calcula que en 2030 morirán cerca de 23,6 millones de personas por enfermedades cardiovasculares y se pronostica que seguirán siendo la principal causa de muerte en todo el mundo (Gómez, 2011). Cada año mueren más personas por ECV que por cualquier otra causa. Se calcula que en 2012 murieron por esta causa 17,5 millones de personas, lo cual representa un 31% de todas las muertes registradas en el mundo. De estas muertes, 7,4 millones se debieron a la cardiopatía coronaria, y 6,7 millones, a los ACV. Más de tres cuartas partes de las defunciones por ECV se producen en los países de ingresos bajos y medios. De los 16 millones de muertes de personas menores de 70 años atribuibles a enfermedades no transmisibles, un 82% corresponden a los países de ingresos bajos y medios y un 37% se deben a las ECV. La mayoría de las ECV pueden prevenirse actuando sobre factores de riesgo comportamentales, como el consumo de tabaco, las dietas malsanas y la obesidad, la inactividad física o el consumo nocivo de alcohol, utilizando estrategias que abarquen a toda la población. Para las personas con ECV o con alto riesgo cardiovascular (debido a la presencia de uno o más factores de riesgo, como la hipertensión arterial, la diabetes, la hiperlipidemia o alguna ECV ya confirmada), son fundamentales la detección precoz y el tratamiento temprano, por medio de servicios de orientación o la administración de fármacos, según corresponda (OMS 2015).

b Hipercolesterolemia

Las dislipidemias son un conjunto de patologías caracterizadas por alteraciones en la concentración de lípidos sanguíneos en niveles que involucran un riesgo para la salud, comprende situaciones clínicas en que existen concentraciones anormales de colesterol total, colesterol asociado a lipoproteínas de densidad alta (Colesterol HDL, por sus siglas en inglés), colesterol asociado a lipoproteínas de densidad baja (Colesterol LDL, por sus siglas en inglés) y/o triglicéridos. Las dislipidemias constituyen un factor de riesgo importante y modificable de enfermedades cardiovasculares, en especial coronarias.

La hipercolesterolemia es el resultado de la alteración del metabolismo de las lipoproteínas que conducen a colesterol total elevado, colesterol LDL o triglicéridos y/o HDL bajo (Goldstein 1995; Barrera-Cruz y col 2013). La hipercolesterolemia es la causa principal de aterosclerosis, esta se caracteriza por la formación de placa de tejido fibroso y elementos lipídicos, siendo su mecanismo el atrapamiento de lipoproteínas de densidad baja oxidadas por parte de los macrófagos en la matriz endotelial, iniciándose un proceso inflamatorio que involucra también a las células musculares lisas. Se ha demostrado que la reducción de los niveles de colesterol total y colesterol LDL en sangre produce beneficios tanto en morbilidad como en mortalidad cardiovascular. Estudios han demostrado que la reducción de los niveles de colesterol total y c-LDL se produce beneficios tanto en morbilidad como en mortalidad cardiovascular (Goldstein 1995).

4 Relación entre dieta y enfermedad

Los problemas alimenticios comunes en la población pueden conducir a padecimientos tales como enfermedades cardiovasculares, obesidad, diabetes, algunos tipos de cáncer, entre otros, pueden ser causados por el sedentarismo, cambios en el estilo de vida, también se atribuye a los cambios de hábitos alimenticios debido a que en los últimos años se ha acortado el tiempo de preparación de alimentos por motivo de la industrialización y la introducción al mundo laboral de las mujeres. Lo que tiene como resultado un incremento en la ingesta de alimentos densamente calóricos por ser altos en grasas y azúcares pero bajos en vitaminas, minerales y otros micronutrientes (Jiménez-Corona y col 2013).

Sin embargo, en la actualidad los consumidores buscan alimentos que les ofrezcan beneficios a la salud. Existen ciertos tipos de productos destinados para el consumo en forma de bebida, dentro de los cuales se encuentran algunas sumamente especiales, ya que con ellas se está buscando una mejora en la nutrición de la población (Jiménez-Corona y col 2013).

C ALIMENTOS / BEBIDAS FUNCIONALES

1 Definición

El término alimento funcional se propuso por primera vez en Japón en la década de los 1980's con la publicación de la *Reglamentación para los Alimentos para Uso Específico de Salud* (FOSHU= Foods for Specified Health Use) y que se refiere a aquellos alimentos procesados que contienen ingredientes que desempeñan una función específica en las funciones fisiológicas del organismo humano, más allá de su contenido nutricional. Los alimentos de este tipo son reconocidos porque llevan un sello de aprobación del Ministerio de Salud y Bienestar del gobierno japonés. La Academia Nacional de Ciencias en Estados Unidos de América, ha definido a los alimentos funcionales como: "cualquier alimento o ingrediente de los alimentos que provee un beneficio a la salud más allá de los nutrimentos tradicionales que contiene" (Arai 1996).

Los alimentos funcionales pueden ser de origen animal o vegetal (Keservani y col 2014). Estos alimentos funcionales proveen al cuerpo los requerimientos de vitaminas, proteínas, grasas, carbohidratos, etc, necesarios para una sobrevivencia saludable. Cuando los alimentos funcionales ayudan en la prevención y/o tratamiento de enfermedades o desórdenes son llamados nutraceuticos (El Sohaimy 2012).

2 Bebidas funcionales

Las bebidas funcionales son las bebidas que se han mejorado con ingredientes añadidos para proporcionar beneficios específicos a la salud más allá de la nutrición en general. Estas bebidas se han vuelto tan populares que están desplazando en las ventas a las bebidas gaseosas. Los consumidores están buscando beneficios para su salud en los alimentos y bebidas, y dichas bebidas se ajustan correctamente al ámbito de la salud en el mercado. Tanto la conveniencia y la salud han sido identificados como factores importantes en la toma de decisiones de los consumidores sobre la compra de alimentos y bebidas. Se promueven las bebidas funcionales con beneficios tales como la

salud del corazón, la inmunidad y el mejoramiento de la digestión, las articulaciones, sensación de saciedad, y la energía (Corbo y col 2014).

a Clasificación

Se han considerado diferentes ideas sobre posibles sistemas de agrupación de bebidas que permitieran el desarrollo de recomendaciones claras para la población. Se acordó por consenso que el sistema de clasificación propuesto por (Popkin y col 2006) incluyendo el número de categorías, era conveniente para el desarrollo de recomendaciones dirigidas a la población mexicana, por lo que dicho sistema fue adoptado. Las bebidas fueron, por lo tanto, clasificadas en seis niveles; desde las menos recomendadas (nivel 6), integradas por bebidas que deben consumirse sólo de forma esporádica y en cantidades limitadas, hasta las más recomendadas (nivel 1), que deben constituir la principal fuente de líquidos (el agua) (Popkin y col 2006).

Nivel 1. Agua potable.- El consumo de agua es necesario para el metabolismo y para las funciones fisiológicas normales y provee esenciales minerales como calcio, magnesio, y fluoruro. La falta de agua corporal o deshidratación aguda afecta los procesos cognitivos, provoca estados de ánimo variables, disminuye la regulación térmica, reduce la función cardiovascular y afecta la capacidad de trabajo físico. El agua potable carece casi por completo de efectos adversos en los individuos sanos cuando se consume en los intervalos de valores aceptados y no provee energía; por estas razones se considera la elección más saludable para lograr una adecuada hidratación (Popkin y col 2006).

Nivel 2. Café y té sin azúcar.- Los tés negro, verde y oolong son los más consumidos en el mundo. El té provee una variedad de flavonoides y antioxidantes, así como micronutrientes, en especial el fluoruro. Aunque existe evidencia sólida de que el té protege contra cánceres químicamente inducidos en animales experimentales, aún no está claro si su consumo reduce el riesgo de cáncer en humanos. El té también provee algunos aminoácidos, entre los cuales el más importante es la teanina. Se ha demostrado que la teanina

mejora la inmunidad innata (la capacidad del organismo para resistir infecciones) y estimula las células T γ - δ , un efecto que se ha reproducido con la cantidad de té que habitualmente consumen los seres humanos (5-6 tazas al día) (Popkin y col 2006).

Nivel 3. Leche baja en grasa (1%) y sin grasa y bebidas de soya sin azúcar adicionada.- La leche es la principal fuente de calcio y vitamina D en los niños y es una excelente proteína de alta calidad. Las leches bajas en grasa y sin grasa, y sus derivados, incluidos los yogures líquidos bajos en grasa, pueden contribuir a una dieta sana, pero no son indispensables. La leche de soya fortificada sin azúcar adicionada es una buena alternativa para individuos que prefieren no tomar leche de vaca y proporciona cerca de 75% del calcio biodisponible en la leche. Las bebidas de yogur contienen una menor cantidad de lactosa que la leche y pueden ser una mejor opción para los sujetos que tienen baja tolerancia a la lactosa. En general, los productos lácteos bajos en grasa y la leche de soya fortificada son una importante fuente de proteína, calcio y otros micronutrientes. Un gran número de beneficios y algunos efectos adversos se han atribuido al consumo de leche de vaca (Popkin y col 2006).

Nivel 4. Bebidas no calóricas con edulcorantes artificiales (café, té y refrescos de dieta).- Las bebidas con edulcorantes no calóricos (refrescos de dieta, aguas con vitaminas, bebidas energizantes y otras bebidas dietéticas a base de café o té) son preferibles a las endulzadas con calorías, ya que proveen agua y sabor dulce, pero no energía. Se considera que los edulcorantes no calóricos aprobados por la Administración para los Alimentos y Medicamentos (FDA, por sus siglas en inglés) de los Estados Unidos de América no son dañinos, aunque no hay ninguna otra evidencia disponible para este organismo en relación con la seguridad de estos productos, más allá de sus propios sistemas de vigilancia han mostrado que las bebidas con edulcorantes artificiales sin calorías se relacionan con una disminución de peso cuando se toman en cantidades similares a las bebidas con edulcorantes calóricos, las cuales se han vinculado con aumento de peso y presión arterial (Popkin y col 2006).

Nivel 5. Bebidas con alto valor calórico y beneficios limitados a la salud.- Entre estas se incluyen los jugos de frutas y vegetales los cuales proveen la mayor parte de los nutrimentos de su fuente natural pero también tiene un contenido energético alto y, con frecuencia, alteran el contenido de fibra, vitaminas y otros beneficios terapéuticos presentes en las frutas entera antes de su procesamiento. Otra bebida que se encuentra dentro de esta clasificación es la leche entera, la cual preserva la totalidad de la grasa, suministra entre 138 y 150 Cal/240 mL un aporte muy superior al de la leche baja en grasa (80-90 Cal/240mL). Además, la grasa de la leche posee un contenido alto de ácidos grasos saturados, cuyos efectos adversos se han documentado con amplitud en numerosos estudios, en particular en relación con el mayor riesgo de enfermedades cardiovasculares. Las bebidas para deportistas también caben dentro de esta categoría ya que contienen 50 a 90% de energía (75-140 Cal/240 mL) de las contenidas en refrescos con azúcar y proveen pequeñas cantidades de Sodio, Cloruro y Potasio. Estas bebidas están formuladas para atletas de resistencia alta y no son útiles o importantes para otros atletas o individuos que hacen ejercicio. Por último, están las bebidas alcohólicas, de las cuales la Administración para los Alimentos y los Medicamentos (FDA, por sus siglas en inglés), de los Estados Unidos de América, no recomienda su consumo; pero, si se consumen en cantidades moderadas proveen algunos beneficios para los adultos, sobre todo en la salud cardiovascular. El consumo moderado se define como no más de una bebida al día para mujeres y dos para hombres. Se ha reportado un aumento del riesgo de varios tipos de cáncer, en especial del tracto gastrointestinal y de mama, en relación con el consumo de alcohol, por lo que se recomienda el consumo moderado (Popkin y col 2006).

Nivel 6. Bebidas con azúcar y contenido bajo de nutrimentos: (refrescos, jugos, aguas frescas y café con azúcar).- La FDA recomienda que este conjunto amplio de bebidas sólo se consuma de manera esporádica y en porciones pequeñas. Dichas bebidas proveen calorías en exceso y ninguno o muy escaso beneficio nutricional. En México existe un amplio espectro de

bebidas a las que se agregan cantidades excesivas de azúcar. Pueden mencionarse las bebidas carbonatadas y no carbonatadas endulzadas por lo regular con sacarosa o jarabe de maíz de contenido alto de fructosa (HFCS, por sus siglas en inglés), como los refrescos. México es uno de los principales consumidores de refrescos per cápita en el mundo. México se ubica como el principal consumidor de Coca Cola per cápita, al consumir 650 bebidas en presentación de 8 onzas (355 mililitros), de acuerdo con el reporte anual 2012 de The Coca-Cola Company, Argentina ocupa el segundo lugar con 404, le sigue Brasil con 264, después la región de Centroamérica con 182, Venezuela con 164, Filipinas con 134 y Colombia con 130 (Gómez y col 2010).

b Propiedades nutraceuticas

El término “nutracéutico” se define como una palabra en la que se juntan los términos de “nutrición” y “farmacéutico” en 1989 por Stephen DeFelice, fundador y presidente de la Fundación para la innovación de la medicina (FIM). DeFelice definió a los productos nutraceuticos como: “un alimento o parte de un alimento que provee beneficios médicos o a la salud, a la prevención y/o tratamiento de una enfermedad”. Cuando los alimentos funcionales ayudan en la prevención y/o tratamiento de una enfermedad o desorden, recibe el nombre de nutraceutico. Los nutraceuticos difieren de los suplementos dietarios en que los nutraceuticos no sólo deben complementar la dieta sino que debe aportar nutrimentos y, además, ayudar en la prevención y/o tratamiento de enfermedades o desordenes.

Los nutraceuticos se utilizan como los alimentos convencionales o elementos únicos de una comida o dieta, pero donde los componentes juegan importantes roles que van más allá de nutrir, lo cual que lleva al desarrollo del concepto de alimentos funcionales y nutraceuticos (Heckman y col 2010). Existen muchas sustancias naturales que han sido estudiadas en terapias de diversos padecimientos como hipertensión, enfermedades cardiovasculares, hipercolesterolemia, entre otras. Entre estas sustancias se encuentran los ácidos grasos poliinsaturados (α -Linolénico, Linoleico), ácidos fenólicos

(Clorogénico, Cafeíco, Cinámico), flavonoides (Mircetina, Quercetina), Escualeno; diversos estudios han demostrado que las propiedades nutraceuticas de estos componentes tienen efectos significativos en la salud humana (Cencic y Chingwaru 2010).

3 Mercado internacional de bebidas funcionales

El mercado mundial de las bebidas funcionales, está liderado por Estados Unidos, seguido por Japón, China, Reino Unido, India, Taiwán, Alemania, Canadá, México e Italia. Las bebidas funcionales crecen dos veces más rápido frente a las que no lo son y ofrecen versatilidad en conceptos de valor agregado como practicidad, innovación, saborización y efectos esperados como los siguientes: **(1)** bebidas para deportistas, estimulantes, energizantes o hidratantes, **(2)** reemplazantes de una comida, con complementos nutricionales, malteadas bajas en calorías, con quemadores de grasa, bebidas que brindan saciedad y de aporte proteínico alto, **(3)** con beneficios para la salud: ayudan a prevenir la osteoporosis, problemas digestivos, cardiovasculares o mentales, **(4)** relajantes (extractos botánicos), **(5)** que evitan el envejecimiento (también llamadas Wellness) [Este efecto se logra adicionando Cosmecticos (Nutraceuticos con efectos cosméticos de grado alimenticio como la L - Carnitina, Aloe Vera, Q10)] (Cencic y Chingwaru 2010).

4 Mercado nacional de bebidas funcionales

Debido al reciente interés de la población en consumir bebidas funcionales, se ha reportado un despunte en las ventas de las mismas; en 2009 se registró un aumento en las ventas de bebidas funcionales en México DF cercano al 0.8% o de 5 millones de dólares (Gómez y col 2010).

El crecimiento fue impulsado en gran medida por las ventas de productos estrechamente asociados con la salud y el bienestar, como también por las opciones listas para beber, tales como las desarrolladas por Arizona, que resultan familiares para muchos consumidores y que se venden a precios

competitivos. Snapple también logró el éxito apuntando a los sabores preferidos por los consumidores y ofreciendo ingredientes funcionales (Gómez y col 2010).

D AMARANTO (*Amaranthus hypochondriacus* L.)

1 Historia/Origen

Históricamente, el grano de amaranto es, posiblemente junto al maíz, el grano que tiene su presencia 4,000 o más años antes de Cristo. Probablemente los primeros en utilizarlo como un cultivo altamente productivo fueron los Mayas, de quienes otros pueblos de América aprendieron su consumo. Cuando los españoles llegaron a América el amaranto o *huautli* era uno de los granos más apreciados por los Aztecas. Los principales granos que encontraron los españoles a su llegada a América fueron: maíz, frijol, quinoa, chía y amaranto (Becerra 2000).

Se estima que los aztecas producían de 15,000 a 20,000 toneladas de amaranto por año. Además de ser utilizado como alimento, formaba parte de ceremonias religiosas, pago de tributos o impuestos. Por ser utilizado en actos religiosos se prohibió por los españoles y, desde entonces, se ha ignorado su consumo y valor alimenticio en América Latina, a pesar de ser muy relevante en otros continentes tanto como para alimentación humana y animal. Recientemente su explotación se está retomando en varios países de América Latina debido a su calidad nutricional, y su amplio rango de adaptación a ambientes desfavorables para otros cultivos (Hernández Acosta y col 2014). Con el grano de amaranto preparaban una harina la cual se mezclaba con miel de maguey para formar una masa llamada *tzoalli*, con la cual elaboraban figuras e imágenes de los diferentes dioses que tenían (algunas fuentes mencionan que era agregada sangre de niños o adultos sacrificados a la masa), y posteriormente de la ceremonia, las figuras eran comidas por los aldeanos (Becerra, 2000; Bressani 2006).

2 Aspectos agronómicos

El amaranto es tolerante a la sequía y crece mejor en climas calientes y secos. Es una planta con metabolismo C4 en fotosíntesis como el maíz y, por su variabilidad en días luz, tiene un gran potencial para adaptarse en muchas y variadas regiones del mundo. El rendimiento es aproximadamente 1,500 kg/ha, aunque la variabilidad es grande. Cada planta puede dar entre 45-95 g de grano (Bressani 2006; Calderon y col 2006).

El amaranto es una planta C4 (**Fig 1**), lo que representa una modalidad fotosintética de alta eficiencia en el aprovechamiento de la radiación solar, puede tolerar el ataque de insectos y sus semillas contienen proteínas con un valor nutricional alto (Hernández Acosta y col 2014).

3 Estructura del grano

En el grano se distinguen cuatro partes importantes: **(a)** Episperma que es la cubierta seminal, la cual está constituida por una capa de células muy finas; **(b)** Endosperma que es la segunda capa, **(c)** El embrión que está formado por los cotiledones y es la parte más rica en proteínas y **(d)** Perisperma, parte interna rica en almidones (Irving y col 1981). **Fig 2**.

a Episperma

Esta es una capa o cubierta por células muy finas. La cubierta seminal o episperma se forma a partir de los tegumentos del óvulo. A veces intervienen las capas periféricas de la célula. En el episperma se observan comúnmente dos capas: la externa, la testa, derivada del tegumento externo y la interna, el tegmen, derivado del tegumento interno del óvulo y/o célula (Irving y col 1981).

b Endosperma

Puede ser constituido por un tejido vacuolado y de membranas delgadas sin sustancia de reserva. En este caso el endospermo es utilizado parcial o completamente para el desarrollo del embrión. En muchas plantas, el endospermo se diferencia como tejido de reserva para ser consumido durante la germinación. El material comúnmente almacenado es el almidón, pero

pueden almacenarse otros carbohidratos como polisacáridos y hemicelulosas, o como aceites y proteínas (Irving y col 1981).

c Embrión

Se localiza en el centro o núcleo de la semilla, a partir del cual se puede desarrollar una nueva planta. En el amaranto el embrión está formado por los cotiledones y es la parte más rica en proteínas (Irving y col 1981). Los cotiledones pueden almacenar reservar alimenticias y/o utilizarlas. El cotiledón es un tejido vivo ya que dispone de todo el aparato enzimático necesario para promover la degradación y el transporte de sus propias sustancias de reservas, pasando a nutrir el crecimiento del eje embrionario en el proceso de germinación (Irving y col 1981).

d Perisperma

Esta parte se caracteriza por su contenido alto de almidón (Irving y col 1981). Este es un tejido nuclear que se presenta en las semillas de *Amaranthaceae*, *Chenopodiaceae*, *Polygonaceae*. También se define al perisperma como tejido de reserva en semillas procedentes de la nucela y que puede ser el único tejido nutricio de éstas, como ocurre en la subclase *Caryophyllidae* (Irving y col 1981).

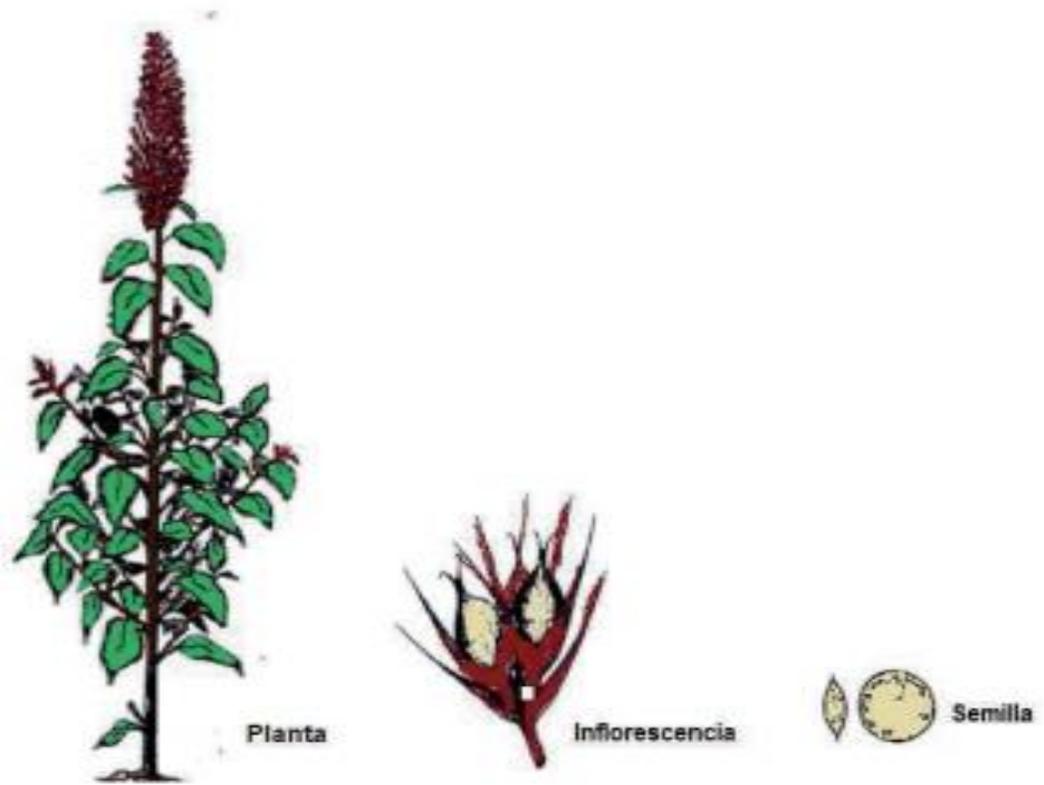


Fig 1. Planta y semilla de amaranto
Repo-Carrasco-Valencia y col (2009)

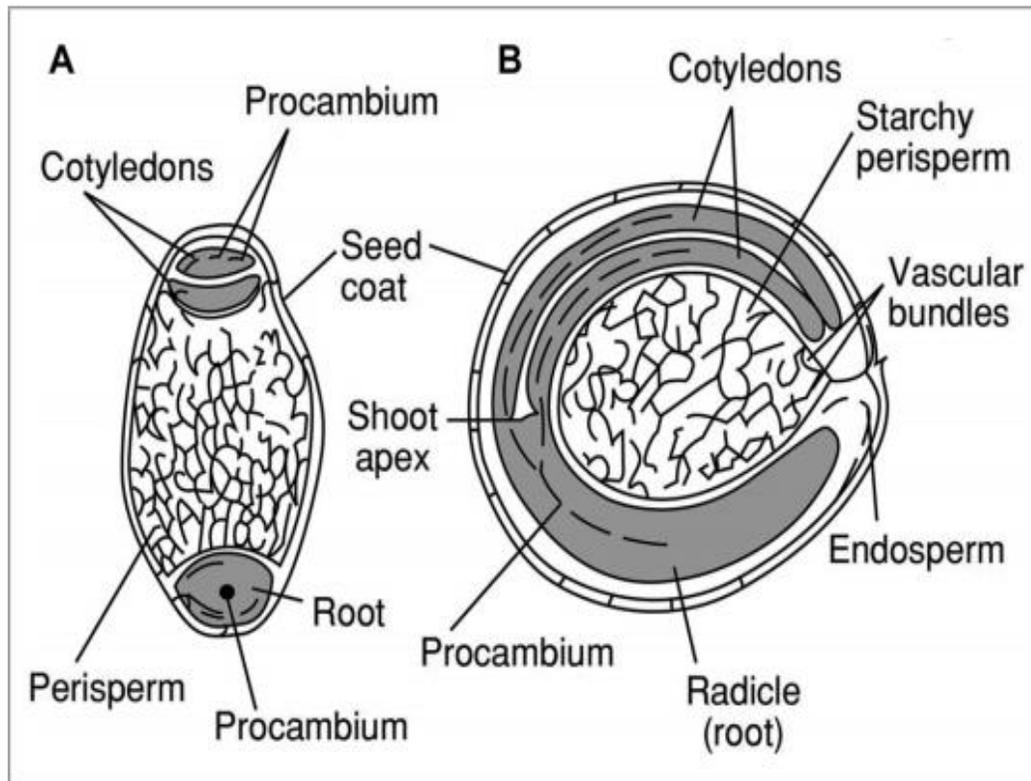


Fig 2. Estructura del grano de amaranto
Rodas-Mendoza y Bressani (2009)

4 Estadísticas de producción

En las últimas décadas el cultivo del amaranto se ha difundido de manera exponencial en varios países del mundo. El principal productor es China con 150 mil ha cultivadas, seguida por India y Perú (1,800 ha), México (900 ha) y Estados Unidos de América (500 ha). En cuanto al comercio mundial de amaranto, no existen datos oficiales de exportaciones, de derechos de importación ni de preferencias arancelarias, debido a que este grano carece de posición arancelaria propia. Si bien no se tienen cifras exactas, se cuenta con información que permite inferir que entre los países que participan en el comercio mundial de amaranto, los más importantes son Argentina que tiene una participación del 49.13%; en segundo lugar de importancia está Perú con 45.24%; en el tercer lugar se encuentra México con 3,02%, seguido de Bolivia con 0.36%, y Ecuador con 0.25%. En Europa y Estados Unidos de América se consume en forma de grano integral, copos, harinas generales, harinas integrales de amaranto tostado, amaranto reventado al estilo rosetas, polvos pregel de amaranto, aceites de amaranto, barras de cereal, panes de amaranto, tortillas de amaranto y maíz, entre otros (Tironi y Añón 2010).

Otros autores reportan que los principales países productores de grano de amaranto son China, India, Kenya, México, Nepal, Perú, Estados Unidos y Rusia. Sin embargo, la Organización para los Alimentos y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés), de las Naciones Unidas, no presenta datos de la producción de este grano en sus registros, por lo que es incierto el conocimiento de los principales países productores de este grano en el mundo (Servín Hernández y col 2010).

En México se reportan un total de 6,389 ha de superficie sembrada con una producción nacional de aproximadamente 8,551 ton. Tlaxcala es el principal productor de este grano, aportando 4,795 ton aproximadamente, seguido por Puebla con 2,333 ton y el estado de México con un aporte de 1,061 ton. La producción restante la complementan el Distrito Federal, Oaxaca, Guanajuato y San Luis Potosí (SIAP-SAGARPA 2017).

5 Composición química del grano de amaranto

El grano de amaranto es un pseudocereal, por ello la composición química (proteína, lípidos, carbohidratos, minerales) de estos materiales se compara con la de los cereales. El grano de amaranto se caracteriza por contenidos altos de proteínas (12-18% bs) y lípidos (6-9% bs); además, contiene fibra, minerales importantes (Ca, P, Fe, Zn) y vitaminas (A, B, C y E), y por la presencia de tocotrienoles (inhibidores de la síntesis de colesterol) y de escualeno. Asimismo, el grano de amaranto contiene cantidades mayores de fósforo, potasio y calcio que los cereales aunque el contenido de vitaminas es, en términos generales, muy similar (Rastogi y Shukla 2013). En el **Cuadro 3** se muestra la composición química del amaranto en comparación con otros cereales.

a Proteínas

El amaranto es considerado un pseudocereal y posee valor nutricional alto con contenido de proteínas de 15-17%, bs, y excelente balance de aminoácidos. Las proteínas de amaranto están constituidas principalmente por Albúminas que conforman alrededor del 49 al 65% del total, seguidas en abundancia por las Glutelinas (22.4-42.3%), Globulinas (13.7-18.1%) y Prolaminas (1.0-3.2%) (Terán y col 2015). Se han reportado algunas actividades biológicas de sus proteínas, tales como la disminución del contenido de colesterol, debido a la ingesta de sus semillas o extrudidos (Plate y Arêas 2002). Tironi y Añón 2010, reportaron la presencia de péptidos y polipéptidos solubles en grano de amaranto (*Amaranthus mantegaziannus*) los cuales poseen actividad de captación de radicales libres.

Cuadro 2. Producción nacional de amaranto en México

Ubicación	Superficie Sembrada (ha)	Superficie Cosechada (ha)	Producción (ton)	Rendimiento (ton/ha)	PMR (\$/Ton)	Valor Prod (Miles de Pesos)
CDMX/DF	141	141	150	1.07	23,000	3,459
Gto	22	22	20	0.90	10,500	208
Morelos	235	145	102	0.70	14,641	1,486
México	516	516	1,062	2.06	12,206	12,951
Oaxaca	44	44	70	1.57	12,830	896
Puebla	2,017	2,013	2,334	1.16	7,618	17,776
SLP	31	24	20	0.82	13,789	271
Tlaxcala	3,485	3,485	4,795	1.38	12,094	57,994
Total	6,390	6,390	8,551	1.34	11,114	95,041

(SIAP-SAGARPA 2017)

Cuadro 3. Composición química del grano de amaranto y otros cereales

Componente (%, bs)	Amaranto	Maíz	Trigo	Sorgo
Proteínas	14.5	10	13.2	12.6
Lípidos	10.2	5.2	2.7	4.0
Carbohidratos	3.1	3.2	4.2	2.0
Almidón	62.7	72.8	65.7	70.1
Fibra dietaría	8.8	9.3	12.1	8.5
Minerales	2.5	1.2	1.7	1.7

Rastogi y Shukla (2013)

Tironi y Añón (2010) reportaron que los aislados proteínicos de amaranto, obtenidos por precipitación isoelectrica, poseen una cantidad alta de Globulinas en comparación con los otros tipos de proteínas. La fracción de las Globulinas a su vez se divide en dos fracciones: la 7S y la 11S llamadas Civilina y Legumina, respectivamente. La Globulina 11S se caracteriza por formar hexámeros y ser soluble en soluciones salinas y pH neutro; posee masas moleculares comprendidas en 300 y 360 kDa. Los hexámeros están unidos por polipéptidos de diferentes pesos moleculares. En los aislados proteínicos de amaranto se encuentra presente la fracción Globulina-P. Esta Globulina tiene la particularidad de formar agregados de peso molecular alto (600-1,500 kDa) estabilizados por puentes disulfuro (Terán y col 2015). Una proporción baja de las moléculas de Globulina-P se encuentra libre, las cuales poseen una masa molecular de alrededor de 300 kDa. La Globulina-P posee una alta estabilidad térmica. Algunos autores (Terán y col 2015) coinciden que esta fracción se compone por polipéptidos de masas moleculares de 10 a 40 kDa. En el grano de amaranto se encuentran presentes, además de Albúminas y Globulinas, las Prolaminas y Glutelinas características de cereales tales como trigo, cebada y maíz. Las Prolaminas son solubles en alcohol y las Glutelinas en soluciones de pH extremos, por lo tanto se les encuentra en baja cantidad en los aislados proteínicos de amaranto obtenidos por precipitación isoelectrica. Las Prolaminas están compuestas por polipéptidos de peso molecular bajo comprendidos entre 10-22 kDa, las cuales pueden prevenir la oxidación del ácido Linoléico; sin embargo, la secuencia de aminoácidos no ha sido reportada.

b Carbohidratos

El amaranto posee un contenido de carbohidratos del 63% similar al de los cereales, siendo el componente mayoritario de esta fracción el almidón (50-60%) y el resto azúcares como sacarosa, rafinosa, estaquiosa, maltosa e inositol, los dos últimos en proporción baja (Servín-Hernández y col 2010). (Cuadro 3).

1) Almidón

El grano de amaranto es una de las pocas fuentes con pequeños gránulos de almidón, generalmente miden entre 1-3 μm de diámetro (Middlewood y Carson 2012). Debido al pequeño tamaño del almidón de amaranto los gránulos de almidón tienden a formar agregados grandes (hasta 80 micras en tamaño). Los datos en la literatura mostraron que el área de superficie específica de almidón de amaranto era significativamente mayor en comparación con la calculada para el almidón de la papa o almidón de maíz, pero por otro lado, la superficie del área específica también se vio afectada por otros factores. Se encontró una estructura de poros estable para proporcionar un área de superficie alta, incluyendo las regiones interiores y exteriores de las microesferas (Błaszczak y col 2013). Los granos contienen alrededor 630 g/kg de almidón de características cerosas. Durante la cocción seca de almidón, los principales cambios son la interrupción de las regiones cristalinas, seguido por la pérdida de la integridad del gránulo. El grado de los cambios estructurales promovido depende de los valores de las variables de procesamiento. La pérdida de la estructura cristalina se evidencia por tanto la desaparición del patrón de rayos X característico y la pérdida de birrefringencia o por la disminución de la entalpía de gelatinización. Otro efecto es una redistribución del almidón moléculas en una fase continua (Błaszczak y col 2013).

2) Fibra dietaría

El amaranto posee un porcentaje alto de fibra, la cual juega un papel importante en una variedad de funciones fisiológicas y puede ser utilizada en el tratamiento o prevención de algunas enfermedades (Terán y col 2015). Se ha reportado que el amaranto contiene de 8-16% de fibra dietaría en la semilla completa, y 33-44% de este es fibra soluble (Belton y Taylor 2002; Lamothe y col 2015). La composición de fibra insoluble en el grano de amaranto fue reportada como: Glucosa (57%), Arabinosa (22%), Xilosa (9%), Rafinosa (4 %), Manosa (2 %), y Fructosa (1 %) (Lamothe y col 2005). El contenido de Lignina en amaranto es alrededor del 5%, lo que probablemente contribuye a su mayor

proporción de contenido de fibra soluble que los cereales (Lamothe y col 2015). La composición de monosacáridos de amaranto indica que la fibra dietaria insoluble no contiene Xilanos como se encuentra en los cereales, en cambio, se parece a la fibra de los tejidos de frutas, verduras, legumbres y semillas. Una diferencia importante entre los pseudocereales, frutas y verduras es que la fibra dietaria en las semillas de los pseudocereales se deshidrata a diferencia de los tejidos hidratados de frutas y verduras (Lamothe y col 2015).

c Lípidos

El contenido de lípidos de la mayoría de las especies cultivables de amaranto es aproximadamente de 5-9%, superior al contenido de los granos de los cereales e inferior al de la soya. La fracción lipídica del grano de amaranto está compuesta por triacilglicéridos, diacilglicéridos, monoacilglicéridos, ácidos grasos, fosfolípidos, escualeno, fitoesteroles y tocoferoles (Czaplicki y col 2012, Ogrodowska y col 2014). El contenido de lípidos se encuentra principalmente en el germen del grano de amaranto. La calidad de su aceite es comparable al de las semillas de algodón y sésamo (Bressani 2006).

1) Ácidos grasos insaturados

La composición de ácidos grasos en el amaranto se ha determinado en diversos estudios, los más reportados han sido ácido palmítico alrededor del 19-23%, oleico 19-39% y linoléico 37-56%, su contenido varía dependiendo del cultivar y especies de la que provenga la semilla (Venskutonis y Kraujalis 2013). **(Cuadro 4)**.

2) Escualeno

Las semillas de amaranto contienen una buena proporción de aceites poliinsaturados y representa entre un 6-10% de la semilla. La gran variedad de ácidos grasos saturados, monoinsaturados y poliinsaturados, son de gran importancia para su consumo, sin embargo, destaca la presencia del escualeno la cual representa alrededor del 5-8% del total de aceite.

Cuadro 4. Contenido de ácidos grasos en aceite de amaranto y otros granos

Ácido Graso	Aceite (%bs)				
	Amaranto	Maíz	Soya	Algodón	Palma
Palmitico (C16)	18.8	11	10.7	25.2	44
Esteárico (C18)	3.8	2	3.9	2.7	4.5
Oléico (C18:1)	24.1	24.1	22.8	17.5	39.2
Linoléico (C18:2)	51	61.9	50.8	12.6	10.1
Linolénico (C18:3)	0.8	0.7	6.8	---	0.4
Escualeno	6.9	---	---	---	---

Calderón y col (2006)

Esta cantidad varía dependiendo del tipo de amaranto. El escualeno, como ácido graso insaturado, es muy similar en su estructura al beta-caroteno siendo un metabolito intermedio en la síntesis del colesterol. No es muy susceptible a la peroxidación y actúa como protector a la exposición de radiación UV, algunos estudios refieren su uso como terapia adjunta para una variedad de cáncer (Suárez y col 2013).

El Escualeno es un triterpeno intermedio en la ruta de la biosíntesis de colesterol, tiene actividad biológica y farmacológica así como potencial uso en la dermatología cosmética (He y col 2002). El aceite de hígado de tiburón es considerado la fuente más rica de Escualeno. Pero también se han encontrado cantidades razonables en otras fuentes como el aceite de oliva, el germen de trigo, aceite de palma, amaranto y salvado de arroz (Venskutonis y Kraujalis 2013). El Escualeno es el principal componente de los ácidos grasos poliinsaturados, actuando como emoliente, antioxidante, hidratante y agente antitumoral. El amaranto es una fuente rica de escualeno, contiene alrededor de 6.1% (He y col 2002).

d Vitaminas y minerales

El amaranto es rico en algunas vitaminas incluyendo vitaminas del complejo B, como la vitamina B₆, Riboflavina, folato, vitamina C, β -caroteno y algunos minerales (Ca, P, Fe, Mg, K, Cu, Zn, Mn) (Musa y col 2011). El amaranto contiene minerales en cantidades superiores a los cereales tradicionales e incluso se encuentran en una proporción mayor que en la leche materna: Ca 162 mg/100 g, P 455 mg/100 g y Fe 10 mg/100 g (Servín Hernández y col 2010). El amaranto, consumido como único alimento, puede proveer gran parte de la ingesta diaria recomendada de los micronutrientes principales; en los niños y en las mujeres embarazadas y amamantando aumenta la demanda de micronutrientes (Servín Hernández y col 2010). (**Cuadro 5**).

Cuadro 5. Vitaminas y minerales en granos de amaranto

Minerales	<i>A caudatus</i>	<i>A cruentus</i>	<i>A hypochondriacus</i>
Fósforo	57	556	600
Potasio	532	525	563
Calcio	217	242	244
Magnesio	319	344	342
Sodio	22	25	23
Hierro	21	26	53
Vitaminas (mg/100g)			
Tiamina	0.10-0.14	0.7-0.10	.14-.25
Riboflavina	0.19-0.32	0.19-0.23	0.29-0.32
Niacina	1	1.0-1.45	1.0-1.15
Biotina	51.3	42.5	
Ácido fólico	42.1	43.8	
Ácido Ascórbico	3-7	4.5-4.9	2.8

Añon y col (2009)

6 Valor nutricional del grano de amaranto

a) Perfil de aminoácidos esenciales

El grano de amaranto es rico en aminoácidos esenciales tales como la Cisteína, Metionina, Tirosina, Triptófano, Lisina, Histidina, Treonina, Valina, Fenilalanina y Treonina, los cuáles son bien conocidos por poseer capacidad antioxidante. Algunos autores han reportado la actividad antioxidante de péptidos hidrolizados y extrudidos de amaranto contenidos en aminoácidos azufrados y aromáticos como los anteriormente mencionados (Montoya-Rodríguez y col 2015a). Casi todos los cereales tienen una deficiencia del aminoácido esencial Lisina y, por lo tanto, se constituye en el aminoácido limitante para muchas de las proteínas de origen vegetal (Sujak y col 2009).

El amaranto, en cambio, contiene el doble de Lisina que la proteína del trigo, el triple que la del maíz y es equiparable en contenido a la proteína de la leche de vaca, la cual se considera de excelencia nutricional.

El amaranto es un complemento nutricional óptimo y balanceado en comparación con los cereales convencionales. La Organización para los Alimentos y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés) y la Organización Mundial de la Salud (WHO, por sus siglas en inglés) de las Naciones Unidas han establecido estándares cuantitativos para evaluar el puntaje químico de un alimento en base a la cantidad y calidad de los aminoácidos presentes. Basándose en estos patrones el amaranto obtiene una elevada calificación por lo que es considerado como un alimento de valor nutricional alto para la alimentación del ser humano (Terán y col 2015). (**Cuadro 6**).

b) Digestibilidad proteínica

La digestibilidad es el principal factor que afecta la eficiencia de las proteínas en la dieta. Cuando ciertos péptidos ligados no son hidrolizados en el proceso digestivo, parte de la proteína es excretada por las heces, o transformada en productos metabólicos por los microorganismos presentes en el intestino grueso.

Cuadro 6. Aminoácidos esenciales de amaranto y algunos granos

AAE (g/kg, bs)	Maíz	Frijol	Amaranto	Chía	FAO > 3 años
Histidina	1.95	2.41	2.4	2.4	1.6
Isoleucina	2.0	3.09	3.2	2.9	3.0
Leucina	9.0	7.21	5.4	5.7	6.1
Lisina	2.25	6.52	6.0	3.7	4.8
Metionina + Cisteína	2.85	2.08	6.1	2.8	2.3
Fenilalanina+ Tirosina	5.70	8.55	6.4	7.8	4.1
Treonina	2.7	3.52	3.3	2.2	2.5
Triptófano	0.45	1.35	1.1	1.6	0.66
Valina	3.0	3.53	3.8	3.5	4.0

(Bressani 2006; Repo-Carrasco-Valencia y Serna 2011; Nitrayová y col 2014; FAO 2013)

La semilla del grano de amaranto no posee gluten, lo que la hace una opción sustituible para personas con padecimiento celíacos o intolerantes al gluten (Rastogi y Shukla 2013).

c) Valor biológico de la proteína

El grano de amaranto posee niveles relativamente altos de proteína que varían entre un 12.5 a 20%, un porcentaje un poco más alto que el de los cereales tradicionales (maíz 8.9-12.9%, trigo 9.1-14.0%, avena 16.0%, arroz 7.5-8.7%). Existen varias formas para clasificar a las proteínas de la semilla de amaranto; según su morfología, función biológica, composición química y solubilidad, por lo que se han dividido en cuatro tipos: Albuminas (solubles en agua), globulinas (solubles en soluciones salinas), prolaminas (solubles en soluciones alcohólicas) y glutelinas (solubles en soluciones NaOH) (Segura-Nieto y col 1994; Fidantsi y Doxastakis 2001).

Las extraordinarias propiedades nutricionales del grano de amaranto no solo radican en la cantidad de proteínas, sino en la calidad de la misma, con un excelente balance de aminoácidos contiene altos niveles de Lisina, adecuadas cantidades de Triptófano y aminoácidos azufrados (Cisteína+Metionina) (Segura-Nieto y col 1994). La Lisina, aminoácido esencial en la alimentación humana, comúnmente es el aminoácido limitante en cereales (Schoenlechner y col 2008). El amaranto, en cambio, contiene más del doble de Lisina que las proteínas de trigo y maíz; es equiparable en contenido a la proteína de la leche de vaca, la cual se considera de buena calidad nutricional. La proteína de amaranto es de alto valor biológico en comparación con las proteínas de otros cereales, además de ser un complemento nutricional óptimo y de excelente calidad (Zapotoczny y col 2006).

7 Fitoquímicos en granos de amaranto

A diferencia de los metabolitos primarios, los fitoquímicos, que se encuentran en pequeñas cantidades en el grano de amaranto, tienen múltiples efectos biológicos y siempre han sido parte de la dieta humana. En el pasado,

se trataban de eliminar de los alimentos a través del procesamiento, debido a que eran percibidos como negativos para el consumo humano, porque afectan el valor nutricional de algunos nutrimentos, especialmente en granos, pues dificultan o inhiben su asimilación (por ejemplo proteínas y minerales). Estos fitoquímicos son de naturaleza variada y pueden llegar a ser tóxicos o causar efectos fisiológicos poco deseables como la flatulencia; distensión estomacal, afectaciones pancreáticas, aglutinación de glóbulos rojos, disminución en la asimilación de nutrientes, entre otros (Khattak y col 2007). Si se consumen en proporciones adecuadas algunos fitoquímicos pueden tener efectos benéficos en la salud de los consumidores. Los fitoquímicos con actividad biológica pueden ejercer efecto como: prebióticos, protectores del sistema circulatorio, reductores de la presión sanguínea, reguladores de la glicemia y colesterolemia, anticarcinogénicos, mejoradores de la respuesta inmune, etc; por ello, actualmente se les conoce como compuestos bioactivos (Elizalde y col 2009). El grano de amaranto posee una gran diversidad de fitoquímicos, algunos de ellos identificados como compuestos bioactivos: compuestos fenólicos, flavonoides, saponinas, tocoferoles, fitoesteroles, Escualeno, inhibidores de la tripsina y taninos bioactivos (Elizalde y col 2009).

a) Compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos son metabolitos secundarios de las plantas superiores, sintetizados durante el desarrollo de la semilla; la planta los utiliza como fuente de aminoácidos aunque su principal función parece ser la defensa de la planta frente a hongos, insectos y nematodos (Huerta-Ocampo y Barba de la Rosa 2011). Los ácidos fenólicos constituyen, aproximadamente, un tercio de los fenoles alimentarios; pueden estar presentes en las plantas en formas libres y ligadas. Los fenólicos ligados pueden estar unidos a distintos componentes de la planta a través de enlaces éster, éter o acetal (Ogrodowska y col 2012). **(Cuadro 7).**

Los ácidos fenólicos se pueden clasificar en dos subgrupos: (1) derivados del ácido hidroxibenzoico y (2) derivados del ácido hidroxicinámico. Entre los

derivados del ácido Hidroxibenzoico se incluyen al ácido Gálico, p-Hidroxibenzoico, Protocatéuico, Vainíllinico y Siríngico, que tienen en común la estructura C₆-C₁. Por otra parte, los derivados del ácido Hidroxicinámico son compuestos aromáticos con una cadena lateral de tres carbonos (C₆-C₃), siendo los más comunes los ácidos Cafeíco, Ferúlico, p-Cumárico y Sinápico (Gani y col 2012). Los compuestos fenólicos se encuentran de manera abundante en los alimentos y la mayoría de ellos tienen la habilidad de atrapar radicales libres de hidróxidos o peróxidos, quelar metales e inhibir la producción de radicales libres (Vinson y col 1998). Debido a estas características se les atribuyen efectos como antioxidantes, antiestrogénicos, antiproliferación celular, así como su posible utilidad como antibiótica, antialérgico, antidiarreico, antiúlceras y como agentes antiinflamatorios.

Estas propiedades que comúnmente se les atribuyen explican su beneficio potencial en la reducción de la incidencia de la mayoría de las enfermedades degenerativas como el cáncer, las enfermedades cardiovasculares y la diabetes (Manach y col 2004; Randhir y col 2008; Pandey y Rizvi 2009).

b) Flavonoides

Los flavonoides son los fitoquímicos más extendidos en la naturaleza, se encuentran en hojas, flores y frutos de las plantas. Por lo general, los flavonoides protegen a la planta contra la luz ultravioleta, parásitos de hongos patógenos, herbívoros y daño celular oxidativo (Cook y Samman 1996).

Los flavonoides son compuestos de peso molecular bajo, que consta de quince átomos de carbono, dispuestos en una configuración de C₆-C₃-C₆. Esencialmente la estructura consta de dos anillos aromáticos, A y B, unidos por un puente 3-carbono, generalmente en forma de un anillo heterocíclico, C. El anillo aromático A se deriva de la vía de acetato/malonato, mientras que el anillo B se deriva de fenilalanina a través de la vía del ácido Shikímico (Jiménez y col 2009).

Algunos estudios han demostrado que una ingestión rica en flavonoides se correlaciona con un menor riesgo de contraer cáncer, enfermedad

Cuadro 7. Fitoquímicos en especies de amaranto que dan grano

Fitoquímicos (mg/Kg)	Amaranto		
	<i>caudatus</i>	<i>cruentus</i>	<i>hypochondriacus</i>
Compuestos fenólicos totales	397.1	5,240	147.2-149.1
Flavonoides Totales	ND	676	134-143
Isoflavonoides			
Isoquercetina	ND	ND	0.3-0.5
Isovitexina	ND	266	ND
Nicotiflorina	ND	ND	4.8-7.2
Rutina	ND	ND	4.0-10.1
Vitexina	ND	410	ND
Taninos condensados	ND	(Claros) 800-1200 (Oscuros) 25,500	ND
Antocianinas	ND	90.83-103.6	596-625
Ácidos Fenólicos			
Cafeíco	7.0-11.3	6.6	6.5
Ferúlico	62.1- 83.2	345	288.5
p-Cumárico	203-620	ND	1.2
Sinápico	8.1-9.9	ND	ND
Gálico	0.9-3.2	440	ND
p-Hidroxibenzoico	ND	8.5-20.7	1.7-2.2
Protocatécuico	62.8-128	8.5-20.7	ND
Vainíllico	42.8- 66.7	15.5	1.5-1.8
Síringico	ND	ND	0.8

(Klimczak y col 2002; Barba de la Rosa y col 2009; Paško y col 2009 Repo-Carrasco-Valencia y Serna 2011; Czaplicki y col 2012).

cardiovascular y se ha observado que actúan por diferentes mecanismos (Cook y Samman 1996; Liu 2007; Gani y col 2012). Por un lado, disminuyen los niveles de colesterol asociado a lipoproteínas de baja densidad (Colesterol LDL, por sus siglas en inglés) debido a sus propiedades antioxidantes como quelantes de metales y como donadores de hidrógeno (a través de los grupos hidroxilo) (Tsao y col 2003). (Fig 3).

c) Taninos condensados

Son compuestos polifenólicos de peso molecular elevado (500-3,000 kDa) que habitualmente se dividen en hidrolizables y condensados. Son capaces de unirse a enzimas, proteínas, polisacáridos, ácidos nucleicos, esteroides, saponinas, y formar complejos con el hierro del alimento, dificultando su digestión de los nutrientes. Los taninos condensados juegan un papel importante en la calidad nutricional y sensorial de alimentos de origen vegetal. El consumo de taninos puede ser positivo para la salud; son moléculas que actúan como agentes anticancerígenos, antimicrobianos, antidiarreicos, antihipertensivos, antiinflamatorios (Isaza e Hipólito 2007).

Los taninos interfieren con la asimilación de disacáridos procedentes de la digestión de oligosacáridos, mediante una fuerte inhibición de maltasas, sacarasas y lactasas. Además, inhiben el transporte activo de azúcares como glucosa a través del intestino, mediante la formación de complejos con componentes del epitelio intestinal. También reducen la digestión y absorción del almidón por su unión directa a este polisacárido, a la α -amilasa, o al calcio necesario para la activación de esta enzima. A través de los tres mecanismos se reducen los niveles de glucosa en sangre y se incrementan los de insulina, pudiéndose utilizar los taninos como terapia frente a la diabetes y para el control de la obesidad (Vázquez-Flores y col 2012).

El estudio de la actividad antioxidante de taninos condensados *in vitro* e *in vivo*, demuestra que son secuestradores efectivos de radicales libres, que inhiben la oxidación de tejidos mejor que la vitamina C, vitamina E y β -caroteno. *In vitro*, se ha demostrado que los taninos condensados tienen una preferencia

por neutralizar el radical libre hidroxilo ($\bullet\text{OH}$). Asimismo, se demostró que tienen la capacidad de actuar como inhibidores no competitivos de la enzima xantina oxidasa, una de las mayores generadoras de radicales libres en el metabolismo celular (Vázquez-Flores y col 2012).

Por último, la actividad antioxidante de taninos condensados tiene la capacidad de evitar la oxidación de lipoproteínas de baja densidad (LDL) y por ello inhibe la formación de trombosis en personas con padecimientos cardíacos como la aterosclerosis. La administración de extracto de semilla de amaranto tiene efecto hipocolesterolemizante en modelos animales, específicamente disminuye las concentraciones de LDL en plasma y aumenta las lipoproteínas de alta densidad (HDL) conocidas como «colesterol bueno» (Vázquez-Flores y col 2012).

8 El amaranto como alimento funcional

El amaranto es un pseudocereal que se ha estudiado en los últimos años debido a las propiedades como alimento funcional que posee, entre las cuales se destaca la presencia de péptidos bioactivos obtenidos de las proteínas de amaranto, se han reportado que estos péptidos podrían ayudar a controlar padecimientos como cáncer (De la Rosa y col 2009; Saavedra y col 2010).

La semilla también contiene grandes cantidades de ácidos grasos poliinsaturados, los cuales ayudan con el tratamiento y prevención de ciertas enfermedades tales como diabetes, enfermedades cardiovasculares e hipercolesterolemias. Un contenido alto de Escualeno, el cual es un antioxidante para nuestro cuerpo, fortalece el sistema inmune del cuerpo y reduce la concentración de colesterol asociado a lipoproteínas de densidad baja (colesterol LDL). Además, posee vitaminas y minerales que actúan como antioxidantes y captadores de radicales libres (Milán-Carrillo y col 2012).

a) Propiedades nutracéuticas del grano de amaranto

Se ha descrito la presencia en semillas de amaranto, de algunos fitoquímicos como lectinas, polifenoles, saponinas, inhibidores de tripsina y

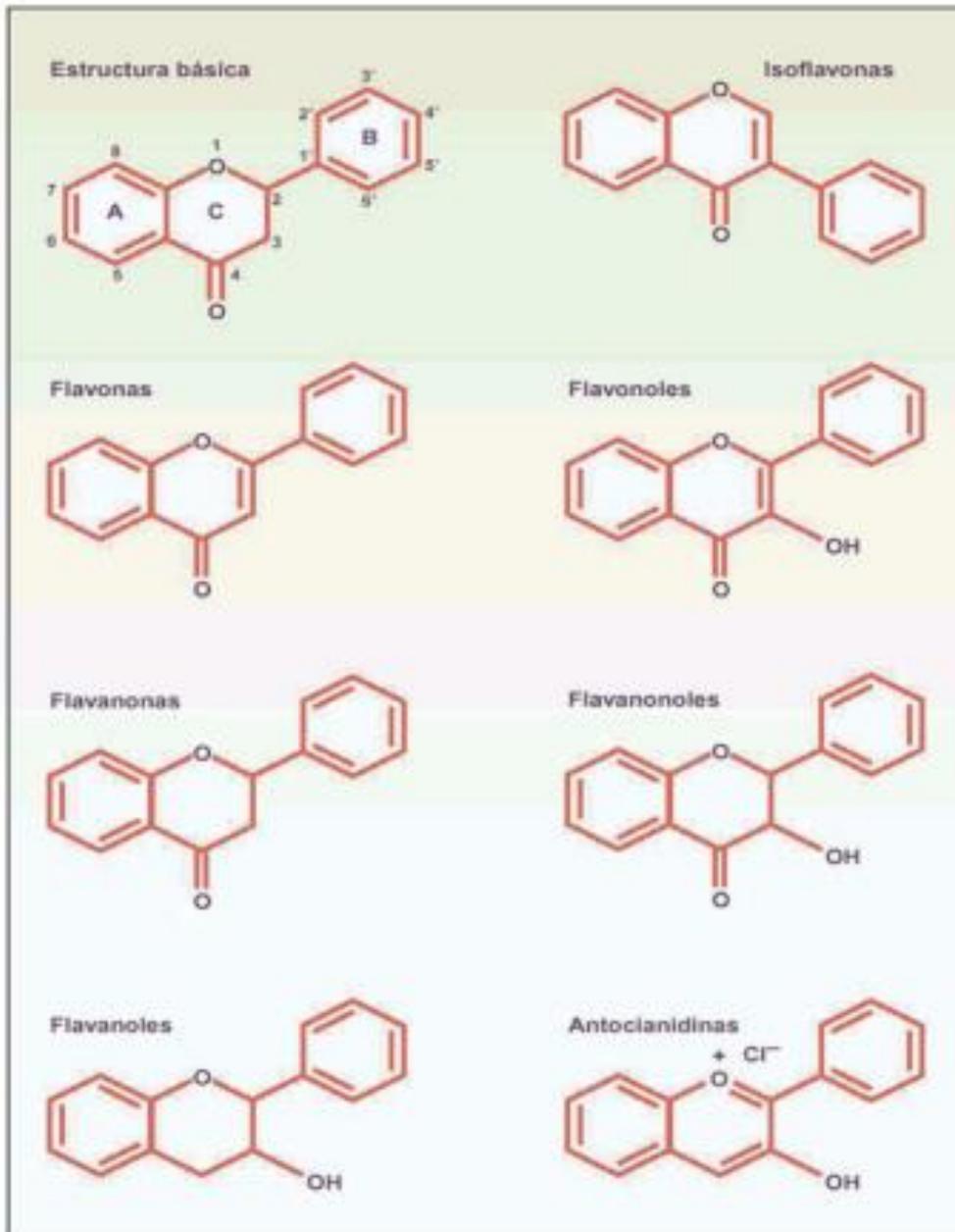


Fig 3. Estructura química de los flavonoides
Igant y col (2011)

fitatos con efectos fisiológicos en humanos (Guzmán-Maldonado y Paredes-López 1998).

b) Antioxidante

La capacidad antioxidante del amaranto es tan buena como la de otros cereales, comparable a la de la soya y el arroz. El principal componente que provee actividad en el grano de amaranto son los polifenoles. Sin embargo, existen reportes en la literatura han evaluado la capacidad antioxidante de extractos de semillas y hojas concluyendo que ambos tejidos tienen capacidad antioxidante atribuible no solo a los compuestos fenólicos (Repo-Carrasco-Valencia 2011).

Repo-Carrasco-Valencia y Serna (2011) evaluaron dos variedades (Centenario y Oscar Blanco) de amaranto (*Amaranthus caudatus*) por sus contenidos de algunos compuestos bioactivos y su capacidad antioxidante. Este último parámetro se evaluó por el método de DPPH y ABTS. Para la evaluación por DPPH reportaron valores de 41,000 y 39,800 μmol equivalentes de Trolox/100 g muestra, para Centenario y Oscar Blanco, respectivamente. Mientras que, la capacidad antioxidante cuantificada por ABTS se encontraron valores de 82,760 y 67,00 μmol equivalentes de Trolox / 100 g muestra, para Centenario y Oscar Blanco, respectivamente.

Paško y col. (2009) evaluaron el efecto del consumo de grano de amaranto sobre el estrés oxidativo en plasma y tejidos (corazón, riñón y páncreas) de ratones. A los animales de experimentación se les suministró fructosa para inducir estrés oxidativo. Éste se manifestó a través del incremento en Malondialdehído y disminución en la actividad de enzimas (Superóxido dismutasa, Catalasa, Glutatiòn oxidasa) con capacidad antioxidante en plasma y tejidos. El consumo de granos de amaranto (310 y 155 g/kg en dieta) restauró la actividad de algunas enzimas e influyó en el estrés oxidativo a través de la disminución de Malondialdehído, e incrementos de la capacidad antioxidante (evaluada por FRAP) y de la actividad de enzimas con capacidad antioxidante (Superóxido dismutasa, Catalasa, Glutatiòn peroxidasa). Los resultados

muestran que, dependiendo de la dosis de grano de amaranto consumido, se puede tener un efecto protector contra los cambios generados por el estrés oxidativo manifestado en la reducción de peroxidación lipídica e incremento en la actividad de enzimas con capacidad antioxidante en plasma y tejidos. En el **Cuadro 8** se puede observar la AAox del amaranto con respecto a otros granos.

c) Antihipertensivo

La actividad inhibitoria de la ECA es la principal actividad biológica estudiada en amaranto. Algunos investigadores reportan que la proteína de la semilla de amaranto hidrolizada tiene actividad antihipertensiva *in vitro* e *in vivo* mediante la inhibición de la enzima Convertidora de Angiotensina (ECA). De la Rosa y col (2010) y Fritz y col (2011) reportaron que la digestión de las glutelinas de amaranto puede inducir la producción de óxido nítrico endotelial y así inhibir a la ECA. El óxido nítrico endotelial está envuelto en la regulación del tono vascular por la inhibición de la contracción del músculo liso y la agregación plaquetaria (De la Rosa y col 2010). Otros autores han reportado que la fracción 7S de la globulina tiene actividad inhibitoria de la ECA, similar a la fracción 11S de la globulina. Encontraron que los hidrolizados producidos usando enzimas tales como pepsina, pancreatina y alcalasa, producen péptidos con actividad inhibitoria de la ECA (Caselato-Sousa y Amaya-Farfán 2012).

Guerrero y col (2012) evaluaron 17 flavonoides pertenecientes a 5 subtipos estructurales por su habilidad de inhibir la Enzima Convertidora de Angiotensina (ECA) mediante dos concentraciones 100 y 500 μM . El rango de inhibición fue de 17 a 95% para la concentración de 500 μM y de 0 a 57% para 100 μM . En ambos casos, la mayor inhibición de la ECA fue obtenida por Luteolina. Los valores de IC_{50} para luteolina, quercetina, rutina, kaempferol, riofilina y apigenina k fueron, 23,43,64,178,183 y 196 μM , respectivamente. Estos resultados sugieren que los flavonoides son una excelente fuente de productos funcionales antihipertensivos. Además la relación actividad-estructura mostró que la combinación de subestructuras de los flavonoides que incrementan la

Cuadro 8. Actividad Antioxidante en grano de amaranto y otros granos

Componente	Maíz	Frijol	Amaranto	Chía
CFT ¹	126-167	110-667	27	94
Flavonoides Totales ²	32	200-250	26	93-94
Actividad Antioxidante (ABTS) ³	19,482	5,214	5,397	51,730

¹Compuestos fenólicos totales = g EAG/100 g; ²mg ECA/100 g; ³µmol ET/100 g.

(González y col 2007; Perales-Sánchez y col 2014).

actividad de la ECA contienen los siguientes elementos: (a) un grupo catecol en el anillo B, (b) la doble ligadura entre el C2 y C3 en el anillo C y (c) un grupo cetona en el C4 del anillo C.

E CHÍA (*Salvia hispánica* L)

1 Historia / Origen

La chía (*Salvia hispánica* L.) es una planta anual, de verano, que pertenece a la familia de las Lamiaceae; la palabra " chía " es una adaptación española de Chian o chien en su forma plural, que significa " grasa ", que proviene del náhuatl, la lengua de los Aztecas (Muñoz y col 2013). Es originaria de áreas montañosas de México y si bien resulta una verdadera novedad en nuestro mercado, se sabe que hace ya 3500 años a.C. era conocida como un importante alimento/medicina (Da Silva Marineli y col 2014).

En la época precolombina era, para las culturas Maya y Azteca, uno de los cuatro cultivos básicos destinados a su alimentación, junto al maíz, el frijol y el amaranto. Con el paso del tiempo su uso cayó en el olvido y fue a finales del siglo pasado que el interés por la chía resurgió, ya que se la puede considerar una buena fuente de fibra dietaria, proteína y antioxidantes.

Los Mayas y Aztecas usaban la chía en distintos preparados nutricionales y medicinales, como así también en la elaboración de ungüentos cosméticos. Era fuente de energía para travesías prolongadas y alimento para los guerreros, combinada con maíz. La harina de chía tostada se utilizaba en la preparación de una popular bebida refrescante y nutritiva, costumbre que, con variantes, hoy persiste en Centroamérica y se denomina "chía fresca" (agua, limón y chía). Los ceramistas y pintores utilizaban el aceite de chía para la preparación de barnices y pinturas, que se destacaban por su brillo y resistencia al envejecimiento dado su alto poder antioxidante (Di Sapio y col 2008). El aceite se usaba en pinturas o como emoliente y el mucilago como una pasta (ungüento extendido en lienzo) aplicado en heridas o para remover la suciedad del ojo (De Montellano 1978). Tenochtitlán, la capital del Imperio Azteca, recibía entre 5,000 y 15,000 ton de chía anualmente como tributo de los pueblos

conquistados (Codex de Mendoza 1925). Con respecto a los Mayas, no existe evidencia que la chía fuera cultivada en el apogeo de su civilización (800 a.C. a 900 d. C.), aunque la existencia de un intenso comercio entre los centros Teotihuacanos y Mayas durante varios siglos hacen suponer que también era conocida por este pueblo precolombino, el cual ocupó una gran parte de México, Guatemala, Honduras y El Salvador (Ayerza y Coates 2005).

2 Taxonomía

La chía es una planta herbácea cuya clasificación taxonómica se muestra en el **Cuadro 9**. Las plantas pueden ser herbáceas o leñosas y sus flores muy atractivas de varios colores. *Salvia hispánica* L., conocida como “salvia española”, “artemisa española”, “chía mexicana”, “chía negra” o simplemente “chía”, es una planta herbácea anual originaria de las áreas montañosas del oeste y centro de México, de 1 a 1.5 m de altura, con tallos ramificados de sección cuadrangular, con pubescencias cortas y blancas. Las hojas miden 8-10 cm de longitud y 4-6 cm de ancho, se encuentran opuestas con bordes aserrados y de color verde intenso. Las flores son hermafroditas de un tono entre violeta y celeste o blancas, pedunculadas y reunidas en grupos de seis o más, en verticilios sobre el raquis de inflorescencia. El fruto, al igual que las otras especies de la familia *Lamiaceae*, es típicamente un esquizocarpo consistente en lóculos indehiscentes que se separan para formar cuatro mericarpios parciales denominados núculas, comúnmente conocidos como “semillas”, los cuales son monospermos, ovales, suaves y brillantes, de color pardo grisáceo con manchas irregulares marrones en su mayoría y algunos blancos y miden entre 1.5 a 2.0 mm de longitud (Di Sapio y col 2012).

La semilla de chía pertenece al grupo de los frutos secos indehiscentes, las semillas poseen dimensiones de 1 a 1,2 mm y de 2 a 2,2 mm de ancho y largo, respectivamente. Las semillas son ovaladas, lisas y brillantes; presentan colores marrón, gris, roja oscuro y blanco, usualmente combinados entre ellos (**Fig 4**) (Di Sapio y col 2012).

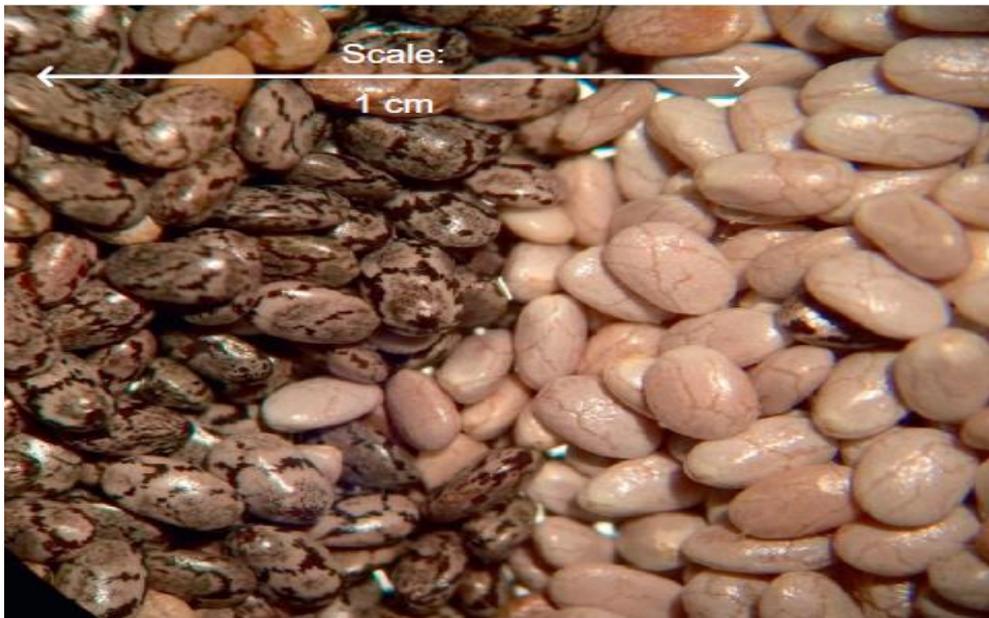
Cuadro 9. Clasificación taxonómica de la chía

Reino	<i>Plantae</i>
División	Angiosperma
Clase	Dicotiledonea
Orden	Lamiales
Familia	<i>Lamiaceae</i>
Género	<i>Salvia</i>
Especie	<i>Hispanica</i>
Nombre científico	<i>Salvia hispanica</i> L

(Di Sapiro y col 2012).



Capitani y col (2013)



Guiotto y col (2011)

Fig 4. Planta y semillas de Chía

3 Producción

La superficie productiva destinada al cultivo de la chía en el mundo en 2013 se estimó en 250,000 ha, de las cuales casi el 50% son de la Argentina. El precio de la semilla presenta una tendencia alcista en los últimos años debido a la demanda de la industria y los distintos usos en los cuales se ha empezado a usar esta semilla. En el 2011, la tonelada alcanzaba aproximadamente los 2,500 dólares americanos; en la actualidad el precio subió a los 7,000 dólares americanos por ton (Sosa y col 2015). La mayor demanda proviene de Estados Unidos de América, Japón y Europa, con precios promedio que oscilan entre 3 y 4 dólares el kilo. Aunque prácticamente no existen estadísticas oficiales, la demanda actual estimada por algunos referentes se ubica en torno a las 30 a 40 mil ton anuales. De acuerdo a referentes de las principales firmas que operan en el comercio internacional de chía, esa demanda está en expansión. El aumento de precios registrado en los últimos años indica que por el momento, la oferta es insuficiente. Los principales productores de chía son México, Bolivia, Argentina, Paraguay, Australia, Nicaragua y Perú (Sosa y col 2015).

En México se reportan un total de 13,164 ha de superficie sembrada con una producción nacional de aproximadamente 6,960 ton (**Cuadro 10**); Jalisco es el principal productor de este grano, aportando 6,164 ton, seguido por el estado de Puebla con 307 ton, Sinaloa 234 ton, Hidalgo con 58 ton y en menor cantidad Michoacán, Nayarit, Tlaxcala, Aguascalientes (SIAP-SAGARPA 2017).

4 Estructura del grano

La semilla es horizontal, albuminosa, solo una por clusa y ocupa todo el volumen del fruto, tiene una superficie opaca, reticulada, de color amarillo-ocráceo y dimensiones de 1.3-1.8 mm de longitud y 1-1.2 mm de latitud. Consta de episperma, endosperma y embrión (Criollo-Navas y Nacipucha-Mayancela 2015). (**Fig 5**).

Cuadro 10. Producción de chía en México.

Edo	Sup sem- brada (ha)	Sup cose- chada (ha)	Pro duc- ción (ton)	Rend (ton/ha)	PMR (\$/ton)	Valor prod (Miles Pesos)
AGS	27	27	12	0.44	25,500	306
HGO	71	71	59	0.83	75,619	4,454
JAL	11,904	11,854	6,146	0.52	49,184	303,170
MICH	91	91	42	0.47	24,918	1,057
NAY	146	63	24	0.37	34,471	809
PUE	387	387	307	0.79	22,868	7,025
SIN	404	402	234	0.58	18,089	4,241
TLAX	10	10	13	1.30	27,000	351
ZAC	125	125	106	0.84	30,000	3,165
TOTAL	13,165	13,030	6,961	0.53	46,628	324,577

(SIAP-SAGARPA 2017).

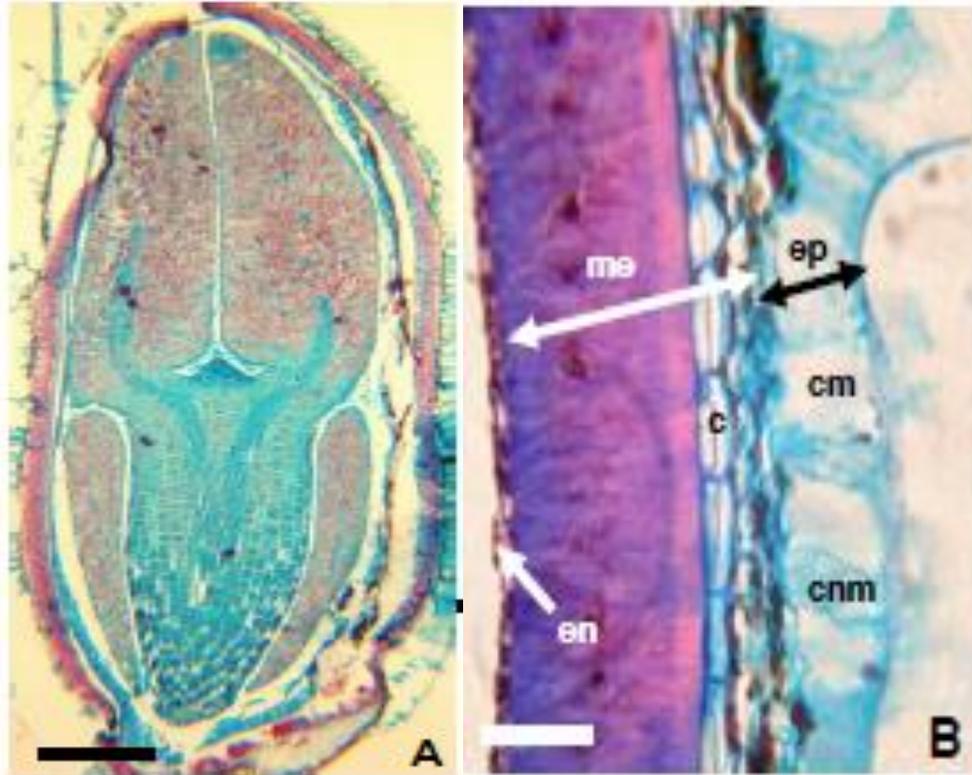


Fig 5. Estructura del grano de chía

A: Sección longitudinal de la clusa (incluida la semilla); **B:** sección transversal del pericarpio [**c:** Cristales de oxalato de calcio, **cm:** Células mucilaginosas, **cnm:** células no mucilaginosas, **en:** endocarpio, **ep:** epicarpio, **me:** mesocarpio.

(Di Sapiro y col 2012).

a Episperma

De 10-35 μ de espesor recubre la semilla y se halla constituido por dos estratos de células alargadas con paredes rectas y el eje mayor paralelo a la superficie. Un tegumento es externo, delgado, fuertemente reticulado, formando pequeñas crestas, y el otro es interno, liso, de células aplanadas, densas, de paredes muy delgadas, que a veces son un poco diferenciadas (Criollo-Navas y Nacipucha-Mayancela 2015)

b Embrión

Es axial, linear, regular, con las caras de los cotiledones paralelas a las caras seminales en el extremo cotiledonal y subdividido en cinco regiones en el extremo radicular. Un haz vascular colateral abierto lo recorre en toda su extensión. Tiene una longitud promedio de 1.86 mm desde el polo radicular hasta el extremo de los cotiledones y ocupa el 97% de toda la superficie de la semilla. Los cotiledones poseen una simetría dorsiventral; la epidermis es uniestratificada y no se observan estomas (Criollo-Navas y Nacipucha-Mayancela 2015).

c Endosperma

Contienen endosperma celular muy abundante, incluido en células grandes, alargadas, de contorno poligonal, paredes delgadas y con abundantes cuerpos proteicos lenticulares, de origen vacuolar y cuerpos (Criollo-Navas y Nacipucha-Mayancela 2015).

5 Composición química

La semilla de chía está constituida, en base seca (bs), de proteínas (15-25%), lípidos (30-33%), carbohidratos (26-41%), fibra dietaria total (18-30%), minerales (4-5%) y vitaminas. También contiene una cantidad alta de antioxidantes. Estudios realizados demostraron que la semilla de chía contiene niveles seguros de metales pesados y que a su vez es libre de micotoxinas.

Otra característica clave de la semilla de chía es que no contiene gluten, esencial para el consumo de los celíacos (Di Sapio y col 2008).

a) Proteínas

La chía posee un alto nivel de contenido de proteínas (20%) aún más alto que los cereales tradicionales como el trigo, maíz, avena, arroz y cebada, diferenciándose de ellas por no poseer gluten. Posee un aporte de lisina relativamente alto, por otro lado la cisteína y metionina se pueden comparar con otras semillas oleaginosas. Los aminoácidos presentes en la chía no tienen factores limitantes en una dieta para adultos, es decir, que puede ser incorporada a la alimentación y mezclada con otros granos, con el fin de obtener una dieta equilibrada (Coates 2006).

b) Carbohidratos

La chía es una oleaginosa con altos contenidos de carbohidratos totales con alrededor del 42.12% (Valdivia-López y Tecante 2015).

1 Fibra dietaría

La fibra dietaría puede clasificarse en soluble e insoluble de acuerdo a su comportamiento en medio acuoso. La semilla de chía posee un 1.6; 2.3; 2.6; y 9.8 veces mayor contenido de fibra que la cebada, trigo avena y arroz, respectivamente. La fibra de la harina de chía después de la extracción de aceite es de aproximadamente el 40%, siendo un 5% el mucílago o también conocido como fibra soluble (Criollo Navas y Nacipucha Mayancela 2015). Comparada con otras fuentes de fibra como la soya y el maíz el contenido es menor. Algunos autores reportan que el contenido de fibra insoluble tanto en la soya como en el maíz es superior al contenido de fibra soluble y de acuerdo al tipo de fibra presente poseen diferencias en la capacidad de fermentación y por lo tanto también en los efectos fisiológicos que desarrollan, sin embargo se puede destacar que la semilla de chía tiene un equilibrado contenido de fibra soluble e insoluble (De la Paz Salgado y col 2006).

c) Lípidos

El contenido graso ha sido reportado fluctuando entre los 27.9 g/100g y para ácido Linolénico entre un rango 64-60% estos contenidos dependen del sistema de extracción utilizado. Los ácidos grasos principalmente encontrados, por su orden de concentración, son: α -Linolénico > Linoléico > Palmítico ~ Oleico > Esteárico (Cevallos y col 2015). El aumento en el HDL se debe al metabolismo del ácido Oleico, Linoléico y α Linolénico, los cuales son elongados y desaturados por el sistema enzimático microsomal, que los transforma en derivados de mayor tamaño de cadena (hasta 24 carbonos en omegas 3 y 6) y con un mayor grado de insaturación como en el caso del omega 3, produciendo así el efecto terapéutico que causa una baja en el colesterol total (Criollo-Navas y Nacipucha-Mayancela 2015).

1 Ácidos grasos insaturados

La semilla de chía contiene grandes cantidades de aceite entre 250-390 g/kg de materia fresca (Peiretti y Gai 2009) de la cual los componentes principales son ácidos grasos poliinsaturados particularmente Linolénico, Linoléico con 50-57 % y 17-26 %, respectivamente (Ayerza y Coates 2005).

d) Vitaminas y minerales

La semilla de chía es una buena fuente de vitaminas del complejo B. La comparación del contenido de vitaminas de la chía con respecto al de otros cultivos tradicionales muestra que el nivel de Niacina (vitamina B₃) es mayor que el presente en maíz, soya, arroz y cártamo, mientras que su contenido de vitamina A es inferior al de maíz. Las concentraciones de Tiamina (vitamina B₁) y de Riboflavina (vitamina B₂) son similares a las del arroz y el maíz, aunque menores que las de soya y cártamo (Coates 2013).

Con respecto al contenido de minerales, las semillas de chía son una excelente fuente de Calcio, Fósforo, Magnesio, Potasio, Hierro, Zinc y Cobre.

Cuadro 11. Composición química del grano de Chía y otros cereales

Composición Química (%)						
	Arroz	Cebada	Avena	Trigo	Maíz	Chía
Energía Kcal/100g	358	354	389	339	365	550
Proteínas	6.5	12.5	16.9	13.7	9.4	19-23
Lípidos	0.5	2.3	6.9	2.5	4.7	30-35
CHO	79.1	73.5	66.3	71.1	74.3	9-41
Fibra	2.8	17.3	10.6	12.2	3.3	18-30
Minerales	0.5	2.3	1-7	1.8	1.2	4-6

(Ayerza y Coates 2005; Guiotto y col 2011; Rochín-Medina y col 2015).

Además, contienen entre 13-354, 2-12 y 1.6-9 veces más calcio, fósforo y potasio, respectivamente, que el trigo, arroz, cebada, avena y maíz. Asimismo, en comparación con la leche, las semillas de chía presentan un contenido 6 veces mayor de Calcio, el doble de Fósforo y 4.6 veces más de Potasio (Coates 2013).

6 Valor nutrimental del grano de chía

Las semillas de chía poseen una cantidad considerable de compuestos con actividad antioxidante como los antioxidantes primarios naturales, ácido Cafeíco, Miricetina y Quercetina. Una de sus propiedades principales es que es una fuente natural de omega 3, la cual representa aproximadamente el 75% del contenido en el aceite de la chía. Además, las semillas presentan un alto contenido de fibra, vitaminas y minerales y son una excelente fuente de proteínas, una propiedad muy interesante es que no contienen gluten (Cefla y Klever 2015).

a Perfil de aminoácidos esenciales

Se ha reportado un buen balance de aminoácidos esenciales en las semillas y harina de chía especialmente de metionina y cisteína (Sandoval-Oliveros y Paredes-López 2012) (**Cuadro 12**). Las proteínas de la semilla de la chía contienen todos los aminoácidos esenciales y el contenido de ácido glutámico, arginina y ácido aspártico es muy alto (Timilsena y col 2016). Se ha reportado cantidades elevadas de otros aminoácidos esenciales en particular leucina, lisina, valina e isoleucina (4.15, 2.99, 2.85 y 2.42 g/100 g de proteínas respectivamente (Costantini y col 2014).

b Digestibilidad proteínica

El valor nutricional de la proteína depende de la cantidad, la digestibilidad y la disponibilidad de aminoácidos esenciales. La digestibilidad es considerada **Cuadro 12**. Contenido de aminoácidos esenciales en chía y otros granos como el determinante más importante de calidad de proteína en adultos, según

Cuadro 12. Contenido de aminoácidos esenciales en chía y otros granos

AAE (g/kg, bs)	Maíz	Frijol	Amaranto	Chía	FAO (mayores de 3 años y adultos)
His	1.95	2.41	2.4	2.4	1.6
Ile	2.0	3.09	3.2	2.9	3.0
Leu	9.0	7.21	5.4	5.7	6.1
Lys	2.25	6.52	6.0	3.7	4.8
Met+Cys	2.85	2.08	6.1	2.8	2.3
Phe+Tyr	5.70	8.55	6.4	7.8	4.1
Thr	2.7	3.52	3.3	2.2	2.5
Trp	0.45	1.35	1.1	1.6	0.66
Val	3.0	3.53	3.8	3.5	4.0

(Bressani 2006; Repo-Carrasco-Valencia y Serna 2011; Nitrayová y col 2014).

FAO/OMS. Algunas tecnologías para el procesamiento de granos influyen en la digestibilidad proteínica debido a la desnaturalización de proteínas, la cual expone los puntos activos a las enzimas digestivas e inactiva los factores antinutricionales que afectan la digestión; sobre todo inhibidores de tripsina, hemaglutininas, taninos y fitatos, los cuales reducen la digestibilidad de la proteína (Sandoval-Oliveros y Paredes-López 2012).

c Valor biológico de la proteína

El porcentaje de aminoácidos esenciales (AAE) del total de los aminoácidos se considera como un indicador de calidad de la proteína y por lo tanto de su valor biológico (VB). El VB de la semilla de chía se ha reportado en contraste con el de la semilla de lino; estas semillas contienen una cantidad elevada de AAE, alrededor de 68.6 y 64 g/kg de peso seco de la semilla, respectivamente. Esto indica la proteína de la semilla de chía es de VB alto debido a su elevado contenido de AAE (Nitrayová y col 2014), en particular Leucina, Lisina, Valina e Isoleucina, con contenidos de 4.15, 2.99, 2.85 y 2.42 g AAE/100 g de proteínas, respectivamente (Costantini y col 2014).

7 Fitoquímicos en el grano de chía

a Compuestos fenólicos

La actividad antioxidante en la semilla de chía se atribuye, principalmente, al contenido de compuestos fenólicos como flavonoides, antocianinas y taninos. También contiene antioxidantes solubles en agua y aceites capaces de inhibir la acción de los radicales libres en ambas fases. Estos compuestos naturales son capaces de actuar juntos y reducir la actividad de las especies reactivas de oxígeno más efectivamente que los antioxidantes dietarios simples. Los extractos de semilla de chía (*Salvia hispanica* L), ricos en compuestos fenólicos, poseen una mayor capacidad antioxidante que otras especies de *Salvia*: *S. caespitosa*, 41.3%, *S. hypargeia*, 34.6%, *S. eufratica* subespecie *Eufratica*, 20.7%, *S. sclarea*, 23.4% y *S. candidissima* subespecie *Candidissima* 49.7%. La diferencia en la actividad antioxidante puede deberse a la composición

química de las semillas o a pequeñas diferencias en las rutas bioquímicas (Martínez-Cruz y Paredes-López 2014).

b Flavonoides

Las semillas de chía contienen una muy buena cantidad de compuestos con potente actividad antioxidante principalmente flavonoides, eliminando la necesidad de utilizar antioxidantes artificiales como las vitaminas. Se ha reportado que contiene flavonoides tales como Miricetina, Quercetina y Kaempferol. Estos compuestos antioxidantes son tanto primarios como sinérgicos, y contribuyen a la fuerte actividad antioxidante de la chía (Martínez-Cruz y Paredes-López 2014).

c Taninos

Los taninos son compuestos que no solo poseen un elevado peso molecular, sino además presentan suficientes grupos hidroxilo unidos a estructuras fenólicas que les confieren la característica de formar complejos con proteínas, minerales y otras macromoléculas. Los taninos hidrolizables, como los galotaninos o elagitaninos, provienen de la esterificación de compuestos polifenólicos no flavonoides, como el ácido Gálico o Elágico, respectivamente. Por su parte, los taninos condensados o proantocianidinas, provienen de la esterificación de compuestos polifenólicos flavonoides, como las catequinas o flavan-3-oles. Se ha reportado que la actividad antioxidante de taninos condensados *in vitro* e *in vivo*, demuestra que son secuestradores efectivos de radicales libres, que inhiben la oxidación de tejidos mejor que la vitamina C, vitamina E y β -caroteno. Se ha demostrado que los taninos condensados tienen una preferencia por neutralizar el radical libre hidroxilo (\bullet OH). Asimismo, se demostró que tienen la capacidad de actuar como inhibidores no competitivos de la enzima Xantina oxidasa, una de las mayores generadoras de radicales libres en el metabolismo celular (Vázquez-Flores y col 2012).

8 La chía como alimento funcional

a Propiedades nutracéuticas del grano de chía

Las semillas de chía aportan los siguientes efectos: antioxidante, antihipertensivo, antidiabético, antiagregante plaquetario, antiinflamatorio, antimutagénico, anticarcinogénico, antiviral, laxante, antihipertensivo, hipocolesterolemizante, hipoglucemiante e inmuno estimulante. La semilla de chía tiene propiedades nutracéuticas excepcionales no solo por el alto contenido de proteína presente en el grano, sino por la capacidad de aprovechamiento de la misma. Se ha descrito la presencia en semillas de chía de compuestos antioxidantes, principalmente compuestos fenólicos, flavonoides y taninos, los cuales les confieren al grano la habilidad de captación de radicales libres. Además, su contenido alto de ácidos grasos poliinsaturados como el Linolénico (Omega 3) y Linoleico (Omega 6) le brindan al grano la capacidad de ser un potente regulador del colesterol sanguíneo. Es una buena fuente de aminoácidos esenciales como la Lisina, AAE limitante en cereales; los cereales poseen un contenido bajo de este AAE. La semilla de chía no contiene gluten, lo que la hace una excelente opción para incluir en la dieta de las personas celíacas (Di Sapio y col 2008).

b Antioxidante

Las semillas de chía contienen una muy buena cantidad de compuestos con potente actividad antioxidante (principalmente flavonoides), eliminando la necesidad de utilizar antioxidantes artificiales como las vitaminas. Se ha demostrado que las vitaminas antioxidantes anulan los efectos protectores de las drogas cardiovasculares. El problema de ingerir insuficientes antioxidantes desaparece con una mayor cantidad de ácido α -Linolénico de origen vegetal, lo que genera otra ventaja sobre los ácidos grasos Omega-3 provenientes de productos de origen marino. Los antioxidantes, además de resultar un saludable aporte dietario y terapéutico, sirven a la buena conservación del aceite. Esto explica como los Mayas, sin grandes técnicas de conservación, podían almacenar la harina de chía durante largos períodos sin que se pusiese rancia,

Cuadro 13. Actividad antioxidante en chía y otros granos

Componente	Maíz	Frijol	Amaranto	Chía
Compuestos fenólicos totales¹	126-167	110-667	27	94
Flavonoides totales²	32	200-250	26	93-94
Actividad antioxidante (ABTS)³	19,482	5,214	5,397	12,255

¹mg EAG/100 g; ²mg ECA/100 g; ³µmol ET/100 g.

(González y col 2007; Perales-Sánchez y col 2014; Gómez-Favela y col 2017).

algo poco habitual en semillas oleaginosas. Los antioxidantes protegen de tumores, afecciones cardiovasculares, inflamaciones, virus y radicales libres (Di Sapia y col 2008).

c Antihipertensivo

La calidad de un aceite es determinada, principalmente, por su composición de ácidos grasos. Los ácidos grasos son los principales componentes básicos de los lípidos y son la principal fuente de calorías de alimentos en el mundo occidental (en Asia y países desarrollados los carbohidratos son los más importantes). La calidad nutricional alta es indicada por la cantidad relativamente alta de ácidos grasos insaturados tales como Oleico, Linoleico, α -Linolénico y γ -Linolénico (Toscano y col 2014). En comparación con los ácidos grasos más saturados estos no sirven como fuentes de energía, pero como materia prima para estructuras celulares y como precursores para la biosíntesis de muchos de los productos bioquímicos de regulación del cuerpo. Estos “ácidos grasos esenciales” están disponibles en otros aceites diferentes al de chía, particularmente en aceite de pescado y linaza los cuales, sin embargo, tienden a presentar un sabor relativamente desagradable. De los cuatro ácidos grasos mencionados anteriormente, el Linoleico y α -Linolénico son los dos únicos que deben ser ingeridos y son considerados absolutamente esenciales para la salud humana (el organismo humano puede producir ácido Oleico y γ -Linolénico, los cuales por lo tanto no se consideran como esenciales, pero no obstante se requiere un consumo frecuente para una nutrición adecuada) (Toscano y col 2014). Los ácidos grasos ω -3 parecen reducir inflamación, prevenir arritmias del corazón, dilatar los vasos sanguíneos y contrarrestar la coagulación. Se cree que aumentan el HDL (lipoproteínas de alta densidad o colesterol “bueno”), mientras tiende a remover el LDL (lipoproteínas de baja densidad o colesterol “malo”) el cual se pega al interior de las arterias incrementando la presión arterial y la probabilidad de ataques cardíacos y accidentes cerebrovasculares. En contraste, los ácidos grasos ω -6 promueven una respuesta inflamatoria y estimulan la coagulación. Cuando se proporciona

insuficiente ω -3 (relativo a ω -6), parece que hay una mayor incidencia de enfermedades comunes, incluyendo enfermedades del corazón, enfermedad de Crohn, asma, Alzheimer y algunas enfermedades renales (Toscano y col 2014).

F TECNOLOGIAS PARA EL PROCESAMIENTO DE GRANOS

1 Generalidades

Cuando la humanidad empezó a consumir los cereales se dio cuenta de que el interior del grano era más suave y placentero que la cubierta exterior. A partir de entonces, se han desarrollado tecnologías para el procesamiento de éstos. Si bien cada tipo de semilla requiere de un tratamiento específico, hay algunos principios de carácter general que pueden ser aplicados. Así las semillas pasan por distintas etapas en una gran, y a veces compleja, cadena. Estas tecnologías se pueden clasificar en convencionales y no convencionales. Entre las convencionales se encuentran las tecnologías de molienda, extrusión, tostado, horneado, germinación, secado, etc, siendo las más antiguas y que tuvieron lugar por la necesidad para la conservación de alimentos y poder tener acceso a ellos no solo en una época específica del año, sino poder consumirlos no en su forma original más bien de manera procesada. En cuanto a las tecnologías no convencionales, se han desarrollado debido a las necesidades de los consumidores de obtener productos de calidad alta, valor nutricional y de seguridad alimentaria. Entre estas se encuentran el plasma frío, diferentes tecnologías que involucran presiones, campos eléctricos, etc (Rosado y col 1999).

2 Tecnologías no convencionales

El desarrollo de tecnologías emergentes o no convencionales en el procesamiento de alimentos se ha debido específicamente a necesidades específicas de los consumidores en cuanto a seguridad alimentaria, salud y desarrollo de productos mínimamente procesados. Estos procesos innovadores también conducen a las técnicas de fabricación de alimentos ecológicos y sostenibles con bajo consumo de energía y el uso reducido de agua que

superan algunas limitaciones dadas por las actuales prácticas de elaboración de alimentos. Aprovechando las potencialidades y oportunidades específicas de estos nuevos procesos, incluyendo la relación, comprensión y el control del proceso de estructura/ función ofrece la posibilidad de un desarrollo basado en la ciencia de los alimentos hechos a la medida. Algunas son: presión hidrostática alta (APH), los campos eléctricos pulsados (PEF), el ultrasonido (US) y plasma frío (CP) (Knorr y col 2011).

3 Tecnologías convencionales

Las tecnologías convencionales son las que se han utilizado desde la antigüedad, para la conservación de los diversos granos, la disminución en el contenido de algunos compuestos antinutricionales, el aumento de la digestibilidad de las proteínas de los granos y la disminución en las posibilidades de irritación intestinal y en los requerimientos de masticación, así como el incremento en la vida de anaquel. Hoy en día, en el caso de los productos industrializados, los granos se procesan para lograr productos que tengan características que demanda el consumidor, entre estos procesos se encuentran las tecnologías convencionales, entre las que se encuentran: Molienda, tostado, horneado, germinación, extrusión entre otras (Doria 2010).

G EXTRUSIÓN

1 Generalidades

La extrusión es un proceso que produce una variedad de productos alimenticios a partir de ingredientes fundamentales. Este proceso utiliza un extrusor para producir productos tales como: cereales listos para el consumo, pastas, dulces, harinas y alimentos para animales. Se emplean varios tipos de extrusores para la producción de alimentos, incluyendo el de tornillo simple y el de doble tornillo. Sin embargo, por lo general ambos sirven el mismo objetivo: producir diversos productos alimenticios a partir de ciertas materias primas bajo condiciones de extrusión específicas. La extrusión a menudo es usada para cocinar, texturizar, expandir, y formar el alimento deseado.

Durante la extrusión, los ingredientes crudos son introducidos en el extrusor, habitualmente por un alimentador. El tornillo principal dentro del extrusor es operado por el suministro de energía y mezcla la sustancia mientras está siendo calentado. Mientras esto sucede el producto se mueve hacia el dado de salida, donde sale del extrusor. Al dejar el equipo, el producto suele aumentar su tamaño debido a la liberación de vapor (Gearhart y Rosentrater 2014).

La extrusión a temperaturas altas (100-200°C) y presión por corto tiempo (30-120 seg), es uno de los procesos tecnológicos de mayor versatilidad para la elaboración de productos alimenticios a partir de granos de cereales y leguminosas. Su productividad alta, costos de operación bajos, eficiencia energética, obtención de productos de valor biológico alto y digestibilidad elevada de las proteínas lo convierten en un proceso tecnológico atractivo.

En la extrusión, los parámetros importantes que influyen en la calidad del producto terminado son: el contenido de humedad del material y el tiempo de residencia, el cual es influenciado por la velocidad de alimentación, velocidad y configuración del tornillo, geometría del dado, temperatura y presión. Particularmente, los atributos sensoriales de los extrudidos dependen en gran medida de las variables relacionadas con el equipo y con la composición química de la materia prima (Gearhart y Rosentrater 2014).

2 Proceso de extrusión

El primer conocimiento registrado sobre el uso del extrusor fue en 1979 cuando Joseph Bramah usó un artefacto con un pistón para elaborar tubos de plomo sin costura. A mediados de los años 1930's los extrusores se utilizaron para mezclar harina y agua y formar productos de pasta. Años más tarde la tecnología de extrusión se utilizó para elaborar el primer cereal para desayuno de harina de avena precocida (Rodríguez-Castellanos y col 2013).

El procesamiento por extrusión es una tecnología de temperaturas altas – tiempos cortos (HTST, por sus siglas en inglés) que ofrece numerosas ventajas incluyendo versatilidad, productividad alta, costos de operación bajos, eficiencia en el empleo de energía y obtención de productos de calidad alta, con una

mejora en digestibilidad y valor biológico de las proteínas. Las suspensiones de harinas pre-cocidas por extrusión son capaces de aumentar su viscosidad rápidamente, tienen una tendencia baja a formar grumos, puesto que los gránulos de almidón son modificados mostrando capacidad alta de hinchamiento bajo ambas condiciones tanto de frío como de calor, lo que hace a las harinas extrudidas altamente recomendadas para la preparación de productos instantáneos como bebidas (Asp 1989; Mercier 1993).

3 Componentes de un extrusor

Los componentes principales de un extrusor se muestran en la **Fig 6**. El producto a extrudir puede llegar a ser afectado por diversas variables como la característica de la materia prima, velocidad de tornillo, configuración, velocidad de alimentación, temperatura de barril. La extrusión se ha convertido en una importante herramienta para procesar alimentos y mejorar su digestibilidad y otros aspectos nutricionales (Singh y col 2007).

4 Clasificación de los extrusores

La extrusión-cocción es un proceso que involucra varias operaciones unitarias que incluyen el mezclado, cocimiento, corte y moldeado. Un extrusor consta básicamente de una tolva alimentadora, que permite proporcionar un flujo uniforme y constante a la entrada del equipo. El tornillo o rotor es la parte central del extrusor que ejecuta las operaciones de mezclado, amasado, corte, cocimiento y transporte del material que se lleva a cabo dentro del cañón o cilindro y por último la boquilla que le da forma al producto final. Los extrusores de alimentos se pueden visualizar como equipos que pueden transformar una diversidad de ingredientes crudos en productos intermedios y finalizados. Todos los extrusores consisten de uno o dos tornillos que transportan los ingredientes premezclados a través del cilindro. De forma sencilla, los extrusores pueden ser clasificados como: húmedos o secos, y a su vez de acuerdo al tipo de construcción: extrusores de tornillo simple y de doble hélice (tornillos gemelos) (Montoya-Rodríguez y col 2014).

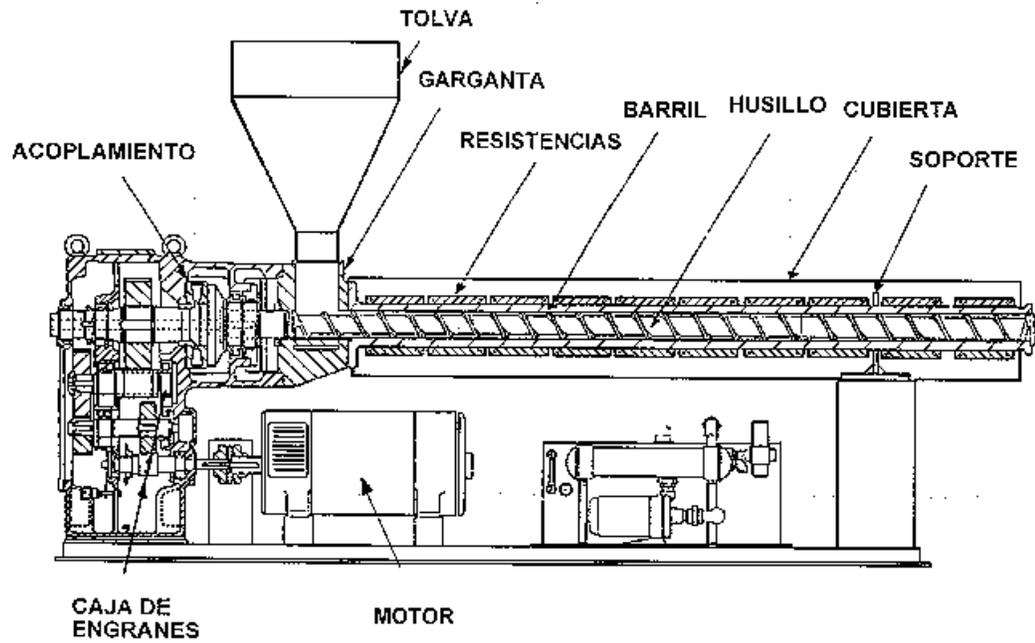


Fig 6. Componentes de un extrusor
(Delgado-Nieblas y col 2012)

a Extrusor de tornillo simple

En este tipo de extrusor el canal del tornillo no se encuentra dividido, sino que es continuo a lo largo del tamaño del tornillo. En lugar de ser empujado por las aletas del tornillo, el producto es arrastrado por el canal del tornillo por el movimiento relativo del tornillo y la superficie de barril-presión y flujo son generados por el corte. El resultante “flujo de arrastre” es más o menos la mitad de la capacidad volumétrica del tornillo, la mitad del producto es dejado atrás. Las aletas del tornillo redirigen la mayoría del flujo tangencial de arrastre a una dirección hacia abajo. La porción restante del flujo de arrastre se mueve a lo largo de la dirección del canal, originando una circulación del producto en el canal, importante para la transferencia de calor y mezcla. Cuando se genera presión en el tornillo, otro flujo se combina con el flujo de arrastre; debido a que el canal es continuo a lo largo del tornillo, la presión en la descarga hace que el producto quiera fluir hacia atrás, substrayéndolo del flujo de arrastre. Por lo tanto, la capacidad actual de un extrusor de tornillo único oscila de la mitad de la capacidad volumétrica a presiones altas. La eficiencia de bombeo está afectada por la geometría del tornillo y por la viscosidad del material (Dziezak 1989).

b Extrusor de doble tornillo

Está compuesto de dos tornillos que tienen rotación dentro de un cilindro simple. De este modo, es posible tener cuatro configuraciones para la dirección de la rotación y la posición de los tornillos. La configuración entrelazada es más eficiente ya que la función de los dos tornillos es la de una bomba de desplazamiento positivo, incrementa el flujo y reduce los depósitos de material en el extrusor. Estos extrusores pueden estar contruidos en varios diseños, el diámetro puede ser igual o desigual y cónico. El ancho del canal, el espesor del alabe también puede ser variable. En algunos diseños de extrusores se utilizan elementos calefactores a bases de resistencias eléctricas, en otros se emplea vapor de agua para calentar directamente el cilindro. El calor se genera en el

material por fricción, causada por la acción del tornillo y las barras interiores del cilindro (Fellows 2009).

5 Efecto de la extrusión sobre la composición química de los granos

La extrusión convierte a las proteínas en una matriz homogénea. Químicamente el proceso recombina las proteínas de reserva en las fibras estructuradas. Además, estos procesos producen alteraciones nutrimentales en las proteínas (Stanley 1989). La extrusión térmica expone a las proteínas a temperaturas y presiones elevadas y esfuerzos mecánicos intensos, los que se combinan para convertir a los materiales proteínicos en una masa plástica continua. A medida que esta masa viaja a través del extrusor las características del flujo hacen que las cadenas de proteínas se alineen en capas paralelas tornillo. Formando una matriz tridimensional de polipéptidos parcialmente asociados, ente la cual se encuentra atrapada el agua. Cuando la presión se libera a la salida del dado, se busca una vaporización de la humedad, lo que resulta en la formación de partículas fibrosas y porosas de proteínas. Esta estructura conserva la capacidad de retener agua debido a la disposición de los grupos reactivos en el espacio (Stanley 1989).

Las condiciones de procesamiento por extrusión (temperatura alta y contenido de humedad bajo) favorecen la reacción de Maillard de grupos amino con azúcares reductores que resultan en pérdidas de aminoácidos (disminución de Lisina disponible) y formación de compuestos coloreados. Los cambios químicos durante el cocimiento por extrusión se deben en mayor parte a la forma e intensidad del tratamiento térmico (Ilo y Berghofer 2003).

El almidón es el componente químico de mayor proporción en las leguminosas y los cereales son los carbohidratos. Estos están constituidos por mono y oligosacáridos, almidón y otros polisacáridos. El almidón es el carbohidrato predominante en estos productos vegetales, éste se encuentra en los cereales en forma de gránulos pequeños de diferentes formas esféricos, ovalados, lentillas, irregulares en función de su origen. En dicho proceso los cambios producidos en el almidón afectan la expansión y textura final del

extrudido. Las modificaciones en la estructura del polímero, tales como fusión, gelatinización, fragmentación y dextrinización, están determinados por factores como la relación agua/almidón, temperatura, morfología, tamaño de partícula, relación amilosa/amilopectina, uso de aditivos, entre otros (Pérez-Navarrete y col 2007). Dichas modificaciones generalmente incrementan la biodisponibilidad del almidón, aunque éstos pueden contener fracciones retrogradadas resistentes al ataque enzimático, las cuales se comportan fisiológicamente como fibra dietaria (Pérez-Navarrete y col 2007).

Los aceites que contienen los cereales y leguminosas al ser el producto extrudido sufren un proceso de emulsión debido a la fuerte presión a que son sometidas las finas gotas de grasa que son recubiertas por los almidones y proteínas, quedando la grasa encapsulada. La grasa al ser emulsionada es más susceptible a la acción de los jugos digestivos, aumentando por tanto el valor energético del producto. Generalmente las lipasas y peroxidasas son inactivadas durante el proceso de extrusión en condiciones normales, mejorando la estabilidad posterior del producto. Las vitaminas liposolubles A, D y en general, son estables durante la extrusión. El nivel de humedad del producto durante la extrusión tiene el mayor efecto sobre la retención de vitaminas. Como norma general, nivel de humedad alto en el proceso da más vitaminas retenidas. Las vitaminas hidrosolubles, como la vitamina C o del grupo B, pueden perder estabilidad durante la extrusión. La extrusión húmeda produce una pérdida de vitamina C y Tiamina (desde el 5% hasta el 100%) (Contreras-Jiménez y col 2014).

6 Efecto de la extrusión sobre el valor nutricional de los granos

Estudios diversos han reportado que por medio de la extrusión se logra la destrucción de factores antinutricionales y también de toxinas (Serna-Saldivar y col 2013).

En cuanto al contenido de proteínas de los granos se puede decir que la extrusión mejora la digestibilidad de las mismas debido a la desnaturalización, lo que facilita la acción de enzimas proteolíticas (Milán-Carrillo y col 2012).

Se ha reportado que la Tiamina es la vitamina más vulnerable a la destrucción durante el proceso; sin embargo, las condiciones de velocidad de tornillo y el contenido de agua pueden conducir a una reducción significativa del contenido de Riboflavina. En el caso de vitaminas liposolubles, al incrementar la velocidad de tornillo se observa una retención incrementada de β -caroteno; la vitamina E es muy susceptible a condiciones severas de extrusión observándose pérdidas de hasta el 69% (Brennan y col 2011).

El contenido de minerales se ve afectado por la humedad y a la vez, se reduce la biodisponibilidad de los mismos para formar complejos orgánicos. Sin embargo, se ha reportado que la retención de fitato en trigo es alta en productos extrudidos, probablemente debido a que la fitasa de los cereales es destruida más fácilmente a temperaturas de extrusión altas (Montoya-Rodríguez 2011).

Sumargo y col (2016) extrudieron arroz a una TE=120 °C y VT=150 rpm los cuales reportan un incremento en la digestibilidad proteica de los extrudidos respecto a los crudos. Atribuyen este incremento a la fuerza de corte y a las altas temperaturas durante la extrusión ya que desnaturaliza las proteínas.

Ilo y col (2003) extrudieron maíz, reportando que la lisina fue el aminoácido más inestable en el procesamiento de extrusión de sémola de maíz con un rango de retención de 51 a 89%. Otros resultados en la literatura mostraron retenciones de lisina entre 60 y 100% dependiendo de las condiciones de extrusión (Noguchi y col 1982; Björck y col 1983; 1984). Los rangos de retención de los otros aminoácidos inestables en cocción por extrusión de granos de maíz fueron: arginina de 84 a 93%, cistina de 75 a 92%, metionina de 86 a 103% y triptófano de 86 a 101%.. (Ilo y col 2003).

7 Efecto de la extrusión sobre niveles de fitoquímicos, actividad antioxidante y propiedades nutracéuticas del grano

Dentro de las variables más significativas en el proceso de extrusión se encuentran: temperatura, velocidad y configuración del tornillo, presión, diámetro y forma del dado, esfuerzo del corte, tamaño de partícula y contenido de humedad de la muestra (Milán-carrillo y col 2005). Los diferentes factores

que intervienen en la extrusión hace que este proceso tenga una singular versatilidad que le permita utilizarse en la elaboración de diferentes alimentos, así como en el desarrollo de nuevos productos, debido a que las operaciones de cocción, formado-amasado, expansión, formación de textura y enriquecimiento pueden ser logrados continuamente. Algunas de las ventajas que ofrece el proceso de extrusión son: costos de operación bajos, productividad alta, versatilidad, eficiencia energética, generación de nuevos productos de valor biológico alto y ausencia de efluentes (Milán-Carrillo y col 2000; Zhao y col 2011).

González y col (2002) evaluaron algunas propiedades de hidratación del amaranto utilizando el proceso de extrusión, reportando niveles altos de solubilidad en agua en las muestras extrudidas, es posible obtener harinas de amaranto extrudidas con un amplio rango de solubilidad, lo cual las hace muy versátiles para utilizarlas en una gran variedad en la elaboración de bebidas. La extrusión mejora la calidad nutricional del amaranto debido al ligero incremento en los niveles de proteína y fibra dietaria, produce una disminución en el contenido de lípidos y algunos factores nutricionales (Chávez- Jáuregui y col 2000; Capriles y col 2008).

Anton y col (2009) y Repo-Carrasco-Valencia y col (2009) reportaron que el proceso de extrusión provocó pérdidas de compuestos fenólicos, tocoferoles, carotenoides, antocininas, flavonoides, taninos, los cuales se consideran como antioxidantes naturales presentes en cereales y leguminosas. Esta disminución se le atribuye a las temperaturas altas aplicadas, provocando la polimerización de estos compuestos, haciendo los difíciles de extraer. En contraste, algunos otros estudios han reportado el mantenimiento o incremento de algunos fitoquímicos durante extrusión en trigo, cebada, centeno y avena; este incremento en la capacidad antioxidante se le atribuye a la liberación de ácidos fenólicos asociados a la pared celular de los materiales, así como, a la formación de algunos compuestos producto de la reacción de Maillard (Zielinky y Trosznska 2000; Camire y col 2005; Shih y col 2009).

Repo-Carrasco-Valencia y col (2009) estudiaron el efecto de la extrusión a bajo costo sobre el contenido de fibra dietaria, algunos compuestos bioactivos y capacidad antioxidante de dos variedades (Centenario y Oscar Blanco) de amaranto (*Amaranthus caudatus*). El contenido de fibra dietaria total en Centenario y Oscar Blanco fue de 16.4 y 13.8%, respectivamente. En ambas variedades el contenido de fibra dietaria total e insoluble disminuyó por efecto del proceso de extrusión; sin embargo, en la variedad Centenario se observó un incremento (de 2.5 a 3.1%) en el contenido de fibra dietaria soluble durante el proceso de extrusión. El contenido de ácido fítico en grano crudo de ambas variedades fue de 0.3%. El contenido de compuestos fenólicos totales en grano crudo fue de 98.7 y 11329 mg GAE / 100 g muestra para Centenario y Oscar Blanco, respectivamente. La capacidad antioxidante, determinada por DPPH, para los granos crudos fue de 39,800 y 41,000 mmol equivalentes de Trolox / 100 g muestra para Centenario y Oscar Blanco, respectivamente; cuando este parámetro se determinó por ABTS se observaron valores de 82,760 y 67,100 mmol equivalentes de Trolox / 100 g muestra para Centenario y Oscar Blanco, respectivamente. El contenido de ácido fítico, compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante decrecieron en ambas variedades durante el proceso de extrusión. Las digestibilidades *in vitro*, de proteínas y almidón, en ambas variedades, mejoraron después del proceso de extrusión, demostrando el potencial de esta tecnología para aplicaciones nutricionales.

Milán-Carrillo y col (2012a) utilizaron un extrusor de tornillo simple (temperatura de extrusión = 127°C / velocidad de tornillo = 130 rpm) para la obtención de harina de amaranto (*A hypochondriacus*). Las condiciones de extrusión se optimizaron previamente para obtener harina de amaranto extrudido con capacidad antioxidante alta (Milán-Carrillo y col 2012b). La capacidad antioxidante de los granos de amaranto crudos y de la harina de amaranto extrudido se cuantificó aplicando el método de capacidad de absorbancia de radicales oxígeno (ORAC, por sus siglas en inglés). La harina de amaranto extrudido presentó una capacidad antioxidante mayor que la del grano crudo (5,046 vs 4,403 ORAC, ORAC μ mol equivalentes de Trolox / 100 g

muestra, bs). También observaron que el valor ORAC atribuible a compuestos fenólicos libres se incrementó mientras que el relacionado con compuestos fenólicos ligados disminuyó. Este comportamiento podría ser atribuido a (i) rompimiento de fitoquímicos ligados y liberación de fitoquímicos libres, (ii) inhibición de reacciones enzimáticas de oxidación y (iii) oscurecimiento de la harina de amaranto extrudido indicando la formación de productos de la reacción de Maillard con propiedades antioxidantes.

Montoya-Rodríguez y col (2015b) realizaron investigaciones para caracterizar los péptidos que se encuentran en hidrolizados, con pepsina y pancreatina, de amaranto no procesado (HANP) y extrudido (HAE) para determinar el efecto del tiempo de hidrólisis sobre el perfil de los péptidos producidos. El tiempo de hidrólisis afectó el perfil de péptidos en ambos hidrolizados. El proceso de extrusión tuvo un mayor impacto en el perfil de péptidos; produciendo más péptidos con un peso molecular menor y con actividad biológica. La digestión *in vitro*, con pepsina y pancreatina, produjo péptidos con actividad biológica; estos experimentos, con digestión simulada, demostraron que los péptidos pueden ser formados durante el proceso de digestión verdadera. El proceso de extrusión representa una excelente alternativa para el procesamiento de grano de amaranto, y probablemente de otros granos, debido a que ocasiona la ruptura de las cadenas proteínicas haciéndolas más susceptibles a la acción enzimática. Las harinas de amaranto, no procesado y extrudido, son fuente de péptidos con potencial actividad biológica [Inhibidores de la enzima convertidora de Angiotensina (ECA) y de Dipeptidil Peptidasa (DPP-IV)] relacionados con la prevención de enfermedades crónico degenerativas. Las harinas de amaranto, sin procesar y extrudido, así como los péptidos encontrados en ambas harinas, podrían ser utilizados como ingredientes o suplementos alimenticios en una dieta saludable para reducir el riesgo de desarrollar enfermedades crónico degenerativas.

H GERMINACIÓN

1 Generalidades

La germinación consiste en la reanudación de la actividad metabólica y el crecimiento activo de los tejidos del embrión, lo que resulta en la ruptura de la cubierta de la semilla y la emergencia de una plántula. En orden secuencial, la germinación involucra la rehidratación, la utilización de las reservas y la formación de las estructuras de síntesis que permitirán a la plántula asumir un modo autótrofo de existencia (Robbins y col 1974).

En términos bioquímicos la germinación es el resultado de procesos catabólicos y anabólicos contrastantes. Los primeros ocurren en los órganos de almacenamiento (endospermo en plantas monocotiledóneas y cotiledones en dicotiledóneas) y consisten en la degradación y movilización de las macromoléculas de reserva. Los segundos se efectúan en los ejes embrionarios e incluyen la síntesis de macromoléculas, componentes estructurales como membranas y paredes celulares, para generar nuevas células y tejidos durante el crecimiento (Bradford 1990).

2 Proceso de germinación

Para que la semilla dé origen a una planta el primer paso es la germinación. La germinación es la capacidad de las semillas para crecer en el momento en que se den las condiciones adecuadas de agua y temperatura entre otras, o la reanudación del crecimiento activo del embrión que rompe la cubierta de la semilla y da lugar a una nueva planta. Son varios los eventos que ocurren durante este tratamiento, el inicio se da con la captación de agua por la semilla (imbibición) (Robbins y col 1974; Bradford 1990).

3 Principales factores que afectan el proceso de germinación

a) Tiempo y condiciones de remojo

Se han sugerido diferentes métodos para estudiar los cambios durante la germinación. Estos métodos recomiendan un remojo antes del tratamiento, en una relación aproximada de 1:3 (semilla/agua p/v), hasta que la semilla no

absorba más agua. El tiempo de remojo depende del peso de la semilla y en menor grado del tamaño de la misma, así como de la permeabilidad de la capa externa y de la temperatura de remojo (Perales-Sánchez y col 2014; Gómez-Favela y col 2017).

b) Temperatura de germinación

La temperatura a la cual se germina es otro parámetro importante, se considera una temperatura adecuada aquella que da mejores rendimientos en corto tiempo, siendo ésta dependiente del tipo de semilla. Se reportan temperaturas que van desde 21°C hasta 33°C (Perales-Sánchez y col 2014, Gómez-Favela y col 2017).

c) Luz

La germinación de semillas *in vitro* es normalmente considerada la etapa más sensible en el ciclo de vida y de mayor importancia económica de algunas especies. Normalmente se acorta el tiempo necesario para el establecimiento de decisiones vegetativas mediante la simplificación de los procedimientos para obtener regenerantes sin pasar por callogénesis y retener la integridad de las semillas. Bajo condiciones normales de crecimiento las plantas producen especies reactivas de oxígeno, como superóxido, peróxido, hidroxil y oxígeno singulete como producto de los metabolitos. Sin embargo las condiciones de estrés producidas por las especies reactivas de oxígeno inducen a la planta a desencadenar su sistema de antioxidantes ya sea por vía enzimática o no enzimática, mediante reacciones de óxido-reducción para minimizar el daño oxidativo. Las enzimas antioxidantes como la óxido dismutasa (SOD), catalasa (CAT), ascorbato peroxidasa (APX) y peroxidasa (POD) son de importancia significativa durante la germinación, desarrollo y crecimiento de la planta. Estas enzimas antioxidantes regulan varios procesos incluidos la germinación, el crecimiento de la semilla y el proceso de senescencia actuando en contra del estrés. La luz es un importante factor que influye en el crecimiento de la planta y el desarrollo en la regulación y síntesis de valiosos fitoquímicos. Actuando

como un inductor del estrés y teniendo efectos simultáneos en la biosíntesis de metabolitos secundarios (Khan y col 2013).

d) Elicitores

Las plantas y los animales poseen receptores de reconocimiento de patrones (RRP) disponibles para percibir señales moleculares que identifican toda clase de microorganismos (m.o.) capaces de percibir las firmas moleculares que identifican clases enteras de m.o. (tales como quitina para los hongos o peptidoglicano para las bacterias), pero están ausentes en el anfitrión, lo que permite no reconocerse a sí mismo. Aunque los patrones moleculares convencionalmente llamados PAMP's son reconocidos por los receptores de reconocimiento de patrones son típicamente asociados con la clase de m.o. independientes de patogenicidad. De hecho los patrones podrían estar ausentes o encubiertos de los miembros de la clase patógena. Otros autores han reportado que la definición más adecuada sería patrones moleculares asociados a microbios (MAMP's por sus siglas en inglés). Señales similares podrían surgir de la propia planta debido al daño causado por microbios, en forma de lo que originalmente se han llamado elicitores endógenos, que son descritos como el daño asociado a patrones moleculares por inmunólogos. La percepción de los patrones moleculares asociados al daño por microbios por los receptores de reconocimiento de patrones inicia activando una respuesta de defensa, llamada inmunidad basal en plantas e inmunidad innata en animales, lo que se piensa puede contener patógenos no adaptados sin causar daño. Los microorganismos patógenos bien adaptados encuentran maneras de atravesar la primera línea de defensa. Las plantas desarrollan una línea de defensa secundaria adquirida o adaptada de la inmunidad basal en caso de presentar resistencia en los genes basales R de las plantas (Boller y Félix 2009).

Otros autores han definido a los Elicitores como una sustancia para los factores de estrés que, cuando se aplica en pequeñas cantidades a un sistema vivo, induce o mejora la biosíntesis del compuesto específico que tiene un papel importante en las adaptaciones de las plantas a condiciones estresantes

(Poornanda y col 2016). La elicitación es la biosíntesis inducida o potenciada de los metabolitos debido a la adición de pequeñas cantidades de elicitores. Varias estrategias biotecnológicas han sido formuladas y aplicadas para la mejora de la productividad, y la elicitación se reconoce como la estrategia más factible para aumentar la producción de compuestos secundarios deseables a partir de células, órganos y sistemas vegetales (Poulev y col 2003)

Sobre la base de la naturaleza, los elicitores se pueden clasificar en dos tipos abióticos y bióticos. Los elicitores abióticos forman parte de sustancias que no son de origen biológico y están agrupadas en factores físicos, químicos y hormonales; estos tienen un amplio rango de efectos en las plantas y en la producción de metabolitos secundarios. Se tienen reportes que se ha utilizado el ácido giberelico como elicitor en *Echinacea purpurea* para incrementar compuestos en la planta como el ácido cafeico y sus derivados (Abbasi y col 2012).

Los elicitores bióticos son las sustancias de origen biológico que incluyen polisacáridos originados en las paredes celulares de las plantas (por ejemplo, quitina, pectina y celulosa) y microorganismos (Poornanda y col 2016).

4 Efecto de la germinación sobre la composición química del grano

Gómez-Favela 2017 y col (2017) germinaron chíá con condiciones óptimas de TG= 21 ° C y tG= 157 h, reportando cambios en la composición química de los germinados con respecto a la harina sin procesar. Algunos cambios se pudieron observar en el incremento en el contenido de proteína (20.89%), el cual se atribuye a la pérdida de peso seco, mayormente en lípidos y carbohidratos durante la respiración debido a la producción de agua y dióxido de carbono. El contenido de grasa disminuyó alrededor del 55.31%, lo que pudiera deberse a que estos se utilizan como fuente de energía para que la planta lleve a cabo las actividades metabólicas, tales como la síntesis de ADN, ARN, enzimas, proteínas estructurales entre otros cambios.

Perales-Sánchez y col (2014) germinaron granos de amaranto estableciendo condiciones óptimas TG=30 °C y tG= 72 h, reportando un

incremento del 40% en el contenido de proteínas, el cual se le atribuye a la pérdida de material químico a través del proceso de la germinación. Otro cambio importante que reportó fue un decremento en el contenido de lípidos del 30%, el cuál se le atribuyó al uso de lípidos como fuente de energía durante la germinación. En cuanto al contenido de fibra dietaría soluble, insoluble y total reportó un incremento del 655, 99 y 124% respectivamente, después del bioproceso de germinación, atribuyendo que el proceso de germinación tiende a modificar la estructura de la pared celular de las semillas, posiblemente esto afecte el tejido histológico y la interacción carbohidrato proteína, lo cual envuelve una extensiva biosíntesis de pared celular y la producción de nueva fibra dietaría.

Chaparro-Rojas y col (2010) realizaron un estudio acerca del contenido de proteína cruda en amaranto antes y después de la germinación; los contenidos de proteína cruda, bs, de grano de amaranto sin germinar y germinado (3 días) fueron de 12.52 y 14.25 g, respectivamente. Aphalo y col (2009) estudiaron la modificación estructural de las proteínas de amaranto (*A hypochondriacus*) durante la germinación dando como resultado la modificación de las albúminas y globulinas (Globulina 7S, Globulina 11S y Globulina-p) se modificaron primeramente y las glutelinas, la fracción con mayor agregación, más tarde. La movilización de globulinas inició con la proteólisis de polipéptidos de Globulina 7S y polipéptidos ácidos (A) y propolipéptidos de la Globulina 11S y Globulina-p.

Gamel y col (2005) estudiaron el efecto de la germinación de dos especies de amaranto (*A caudatus*, *A cruentus*) sobre el contenido de almidón del grano. Los granos se remojaron en agua durante 5 h y posteriormente se germinaron a 32°C durante 48 h. Los germinados se secaron a temperaturas entre 30, 60 y 90°C. En general, a todas las combinaciones germinación / temperatura de secado se observaron disminuciones en el contenido de almidón de ambas especies. Esto se atribuyó a un incremento de la actividad de amilasas hidrolizando almidón a mono y oligosacáridos. Además, no se observaron

diferencias significativas en el contenido de amilosa entre los granos de amaranto crudo y los germinados.

Charoenthaikij y col (2009) evaluaron el efecto del proceso de germinación sobre el contenido de almidón en dos variedades de arroz. Los granos se remojaron en agua potable a temperatura ambiente durante 15 min, posteriormente se germinaron (35°C/24-72 h) y secaron a 55°C. Reportaron, para las dos variedades, incrementos en el contenido de almidón resistente de 20.8% y 4.6% a las 48 h y 72 h de germinación, respectivamente. A las 72 h de germinación se observó disminución en el contenido de almidón total.

Gamel y col. (2005) estudiaron el efecto de diversos tratamientos (cocción, expandido, germinación) y clasificación por aire de harina de amaranto integral sobre la composición de lípidos de dos semillas de amaranto (*A caudatus*, *A cruentus*). Las semillas crudas de *A caudatus* y *A cruentus* tuvieron contenidos de aceite de 7.1 y 8.5%, respectivamente, consistente de 80.3 – 82.3% de triacilgliceroles, 9.1-10.2% de fosfolípidos y 4.8-4.9% de escualeno. Después de la germinación la fracción lipídica disminuyó mientras que el contenido de fosfolípidos se incrementó. Los contenidos de los principales ácidos grasos (Palmítico, Oleíco, Linoléico) y de Escualeno no fueron afectados por el proceso de germinación.

5 Efecto de la germinación sobre valor nutricional de los granos

Gómez-Favela y col (2017) reportó el contenido de Aminoácidos Esenciales en granos de chía germinados bajo condiciones óptimas. Reportó que el contenido de aminoácidos esenciales en la harina de chía sin procesar era mayor que el patrón de requerimientos para niños, adolescentes y adultos. Sin embargo después de efectuarse el bioprocesamiento se obtuvo un incremento significativo en el contenido de AAE, solo reportó a la lisina como aminoácido limitante y obtuvo una puntuación de 96. También menciona que el bioproceso de germinación incrementó la digestibilidad proteínica *in vitro* (DPIV) y la eficiencia calculada de proteína (C-PER) de las semillas de chía incrementando el valor nutricional de los granos sin procesar.

6 Efecto de la germinación sobre niveles de fitoquímicos, actividad antioxidante y propiedades nutraceuticas de los granos

El bioproceso de germinación tiene un efecto significativo sobre los niveles de fitoquímicos, capacidad antioxidante y propiedades nutraceuticas de los granos; estos cambios están estrechamente relacionados con el tipo de grano y condiciones de germinación (tiempo de remojo, temperatura y tiempo de germinación) (Perales-Sánchez y col 2014).

Paucar-Menacho y col (2017) optimizaron condiciones de germinación (temperatura / tiempo) de grano de amaranto (*Amaranthus caudatus*) utilizando la metodología de superficie de respuesta para maximizar la concentración de ácido γ aminobutírico (GABA, por su siglas en inglés), compuestos fenólicos totales (CFT) y actividad antioxidante (AoxA). La combinación óptima obtenida fue: Temperatura germinación (TG)=26°C/ tiempo de germinación (tG)=63 h. La germinación de semillas de amaranto en las condiciones óptimas incrementó concentraciones de GABA y CFT, y AAox en 29.1, 4.0 y 6.4 veces, respectivamente. La composición fenólica individual de los germinados de amaranto obtenidos en las condiciones óptimas fue analizada por HPLC-DAD-ESI/MS. La germinación de granos de amaranto en condiciones optimizadas incrementó, principalmente, las concentraciones de los ácidos 4-o-Caffeoilquínico y 4-o-Feruloilquínico y de la isoflavona Quercetina-3-o-Rutinósido. La germinación de semillas de amaranto en condiciones optimizadas (26°C/63 h) representa una oportunidad práctica para mejorar la calidad nutraceutica de los granos respaldando la utilización de germinados sobre granos crudos para mejorar de la salud y reducir la incidencia de enfermedades crónico degenerativas asociadas al estilo de vida.

Gómez-Favela y col. (2017) aplicó condiciones de optimización para producir harina de chíá germinada (HCG) reportando un incremento del 77.20%, 22.05% y 47.40% para fitoquímicos libres, ligados y totales, respectivamente. Los que se atribuyeron la liberación y biosíntesis de compuestos fenólicos. Los compuestos fenólicos tales como hidroxicinamatos

están ligados a polisacáridos no amiláceos en las paredes de las células del grano a través de asociaciones tales como enlaces éster y éter. La acción de la degradación de la pared celular por enzimas (principalmente esterasas) en estos enlaces contribuye a la liberación de compuestos fenólicos unidos.

Tyszka-Czochara y col (2016) demostraron que los extractos de y germinados de *A. cruentus* tenían efecto antiinflamatorio sobre macrófagos RAW 264.7 previniendo la translocación inducida TNF- α del NF κ B al núcleo, lo cual fue seguido por una disminución en la liberación de IL-6 de células LPS activadas. Los efectos biológicos de los extractos de semillas y germinados correlacionaron con concentraciones de betacianinas en plantas y capacidad de los germinados para acumular Se. Ninguna de las especies de amaranto probada inhibió proliferación de células de cáncer de mama. Aunque se requieren estudios adicionales para conocer los mecanismos, se puede concluir que los suplementos de amaranto germinado podrían ser considerados como un alimento funcional de gran potencial, el cual puede contribuir a reducir el riesgo de inflamación asociada a enfermedades crónicas debido a la influencia beneficiosa sobre la vía de señalización NF κ B.

Perales-Sánchez y col (2014) aplicaron la metodología de superficie de respuesta (MSR) para optimizar las condiciones de germinación de semillas de amaranto con el objetivo de producir harina de amaranto germinada optimizada con los máximos valores posibles de actividad antioxidante (AAox), contenido de compuestos fenólicos totales (CFT) y flavonoides totales (FT). Aplicaron la MSR sobre tres variables (AAox, CFT, FT) y utilizaron un diseño central rotatable con dos factores [Temperatura de germinación TG=20-45°C, tiempo de germinación tG=14-120 h] en cinco niveles; generaron 13 tratamientos. Antes de la germinación las semillas se desinfectaron (hipoclorito de sodio) y remojaron en agua destilada (25°C/6h); los germinados provenientes de cada uno de los 13 tratamientos se secaron (50°C/8h), molturaron, enfriaron y almacenaron (4°C) en recipientes herméticos hasta su utilización. Se reconocieron como harinas de amaranto germinado (HAG). La mejor combinación de variables de proceso para obtener harina de amaranto

germinada optimizada (HAGO) con los valores mayores de AAox [21,560 mmol equivalentes de Trolox /100 g, bs], CFT [248 mg equivalentes de ácido Gálico / 100 g, bs] y FT [82 mg equivalentes de Catequina / 100 g, bs] fue: TG=30°C/ tG=78 h. El bioproceso de germinación incrementó AAox, CFT y FT en 470%, 829% y 213%, respectivamente, comparado con grano crudo. El bioproceso de germinación es una estrategia eficaz para incrementar CFT y FT y mejorar la funcionalidad a través del mejoramiento de la AAox.

Alvarez-Jubete y col (2010) examinaron la presencia de compuestos fenólicos y propiedades antioxidantes de extractos metanólicos de amaranto, quinoa, trigo sarraceno y trigo y evaluaron como estas propiedades son afectadas por dos tipos de procesamiento: germinación y horneado. La capacidad antioxidante, cuantificada mediante DPPH (radical 2,2-difenil-1-picilhidracil scavenging capacity) y FRAP (ferric ion reducing antioxidant power: capacidad antioxidante para reducción de ión férrico), fue mayor para los extractos de trigo sarraceno. En general, el contenido de compuestos fenólicos totales y la capacidad antioxidante se incrementaron con la germinación y disminuyeron con el horneado.

IV JUSTIFICACIÓN

Los granos de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* L) contienen 12.5-20% proteínas, buen perfil de aminoácidos esenciales, 60% de almidón y 8% de lípidos. Por su contenido de compuestos bioactivos se recomienda, para su consumo, para personas hipertensas e hipercolesterolémicas y, por ser libres de gluten, para personas celíacas. Las semillas de chía (*Salvia hispánica* L) contienen, bs, 15-25 % proteínas, 30-33 % lípidos (60% ácido Linolénico, 25% ácido Linoleico), 26-41% carbohidratos y 18-30% fibra dietaría; además, contienen compuestos bioactivos que protegen a los consumidores contra enfermedades cardiovasculares y ciertos tipos de cáncer.

Al ingerir la mezcla amaranto + chía se obtiene una mejora sustancial en calidad proteínica / potencial nutracéutico mejor que si se consumen por separado. Condiciones optimizadas de extrusión y germinación incrementan valor biológico y digestibilidad proteínica, compuestos fenólicos y potenciales antioxidante y antihipertensivo de semillas de amaranto y chía.

Existe un creciente interés, en la industria alimentaria y farmacéutica, por generar alimentos, bebidas e ingredientes funcionales que podrían ser incluidos en diversos sistemas alimenticios y/o medicamentos para lograr un efecto terapéutico en el organismo del consumidor.

V HIPÓTESIS

Condiciones óptimas de proceso (extrusión, germinación) incrementan el valor nutricional / nutracéutico de granos integrales (amaranto, chía). Al ingerir la mezcla amaranto + chía, procesada (extrusión, germinación, combinación) en condiciones óptimas se obtiene una mejora sustancial en calidad proteínica y potencial nutracéutico. Es posible desarrollar nuevos productos alimenticios (bebidas, alimentos) dirigidos a diversos nichos poblacionales (niños, adultos, embarazadas, tercera edad) para reducir la incidencia de enfermedades crónico degenerativas.

VI OBJETIVOS

A OBJETIVO GENERAL

Desarrollar dos bebidas funcionales con valor nutricional y potencial antioxidante / antihipertensivo alto a partir de mezclas de harinas de amaranto y chía producidas por procesos optimizados de germinación y extrusión.

B OBJETIVOS ESPECÍFICOS

(1) Aplicar condiciones de optimización obtenidas en estudios previos para producir harina de amaranto germinada optimizada (**HAGO**), harina de amaranto extrudida optimizada (**HAEO**) y harina de chía germinada optimizada (**HCGO**)

(2) Preparar Bebidas Funcionales con Mezclas de harinas de amaranto y chía como ingrediente principal: **Mezcla 1: 70% HAGO + HCGO, Mezcla 2: 70% HAEO + 30% HCGO**

(3) Evaluar composición química (proteínas, lípidos, carbohidratos, fibra dietaria) de las **Bebidas 1 y 2**

(4) Conocer el contenido de fitoquímicos (compuestos fenólicos totales) de las **Bebidas 1 y 2**

(5) Conocer el valor nutricional de las **Bebidas 1 y 2** [aminoácidos esenciales, digestibilidad proteínica *in vitro* (DPIV), relación de eficiencia proteínica calculada (C-PER)]

(6) Evaluar la actividad antioxidante (ORAC, ABTS) de las **Bebidas 1 y 2**

(7) Evaluar el potencial antihipertensivo de las **Bebidas 1 y 2**

(8) Evaluar sensorialmente las **Bebidas funcionales 1 y 2**

VII MATERIALES Y MÉTODOS

A MATERIALES

Como material de estudio se utilizaron semillas integrales de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* L) y chía (*Salvia hispánica* L) obtenidos en el mercado “Rafael Buelna” de la Ciudad de Culiacán, Sinaloa, México.

B MÉTODOS

1 Características físicas

a Dimensiones

El tamaño de la semilla se determinó, utilizando un microscopio estereoscópico, realizando la medición, por triplicado, de sus dimensiones características (largo, ancho, espesor) a 25 semillas seleccionadas al azar.

b Peso de 1,000 semillas

Para determinar el peso de 1,000 semillas, éstas se seleccionaron al azar de un lote de semillas limpias y se pesaron en una balanza analítica (Sartorius Weighing Technology GmbH, Germany). La prueba se realizó por triplicado. Esta característica está dada en función del tamaño y la densidad de la semilla.

c Peso hectolítrico

Se utilizó el procedimiento 55-10 de la AACC (1995) utilizando una micro escala. Un recipiente de volumen conocido (100 mL) se llenó de semillas y se pesó en una balanza analítica. El peso hectolítrico se obtuvo al dividir el peso de las semillas entre el volumen del recipiente y relacionándolo a un volumen de 100 L (kg/hL). Se realizaron 10 repeticiones al azar.

2 Obtención de harinas de amaranto y chía

a Preparación de harina de amaranto germinado optimizada (HAGO)

Para la obtención de harina de amaranto germinado optimizada (**HAGO**) se utilizó la metodología reportada por Perales-Sánchez y col (2014). Lotes de 200 g de semillas de amaranto se remojaron en 1,000 mL de solución de hipoclorito

de sodio al 0,1% durante 10 min. Posteriormente, estas semillas se lavaron con agua destilada hasta alcanzar un pH neutro. Después, las semillas se remojaron con 1,000 mL de agua destilada a 25°C durante 6 h. Las semillas hidratadas se colocaron en charolas de germinación sobre una camada de algodón humectado homogéneamente. Las charolas se introdujeron en la “Cámara de Germinación” (Centro de Instrumentos, Universidad Autónoma de Sinaloa). El bioproceso de germinación se llevó a cabo aplicando las condiciones óptimas (Temperatura de germinación= (**TG**) = **30°C** / tiempo de germinación (**tG**) = 78 h) encontradas en estudios previos (Perales-Sánchez y col., 2014). Las semillas se germinaron bajo luz /oscuridad en períodos de 50/50% del tiempo de germinación diaria. Los germinados obtenidos del bioproceso se secaron (50°C/8 h), enfriaron (25°C) y molturaron (80-malla US = 0,180 mm) para obtener harina de amaranto germinado optimizada (**HAGO**). Además, las semillas integrales de amaranto crudo se molturaron (80-malla US = 0,180 mm) para obtener harina de amaranto sin procesar (**HAC**) que se utilizó como control. Las harinas de amaranto (**HAGO**, **HAC**) se envasaron y se mantuvieron a 4°C en recipientes herméticos hasta su utilización. Ver **Fig 6**.

b Preparación de harina de amaranto extruido optimizada (HAEO)

La harina de amaranto extruido optimizada (HAEO) se obtuvo de acuerdo con el procedimiento recomendado por Milán-Carrillo y col. (2012). Lotes de 1 kg de amaranto integral molturado se mezclaron con cal [0.21 g Ca(OH)₂ /100 g de amaranto] y acondicionaron con agua purificada hasta alcanzar un contenido de humedad de 28%. Cada lote se envasó en una bolsa de polietileno y se almacenó a 4°C durante 8 h.

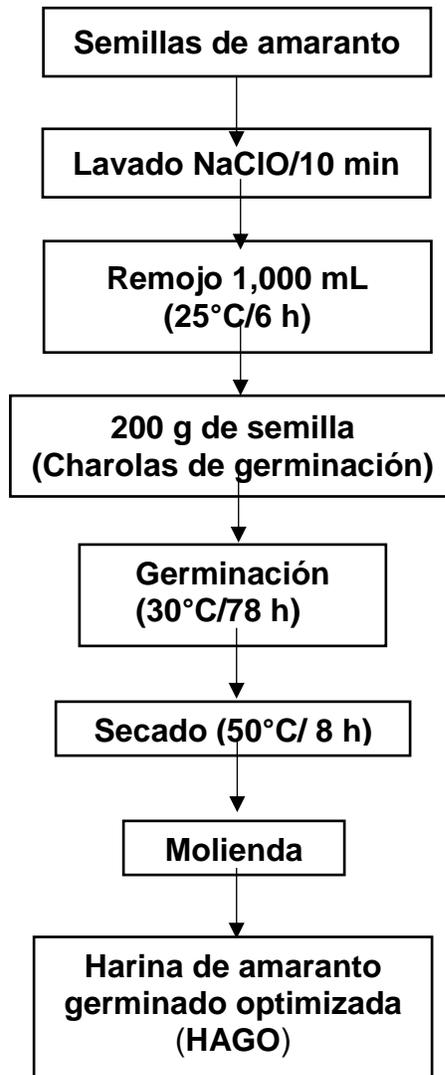


Fig. 7. Procedimiento para obtener harina de amaranto germinado optimizada (HAGO)

Perales-Sánchez y col (2014)

Antes de la extrusión, la harina de amaranto crudo humectada se atemperó a 25°C durante 4 h. Para la extrusión se utilizó un extrusor de un solo tornillo de Laboratorio Mod 20 DN (CW Brabender Instruments, Inc., NJ, EUA) con un tornillo de diámetro 19 mm, relación L/D (longitud / diámetro) de 20:1, relación de compresión nominal 2:1 y apertura de matriz de 3 mm. El barril interior se acanaló para asegurar cero deslizamientos en la pared. La temperatura en el barril fue la misma para las tres zonas y la zona de anotación se enfrió por aire. Una tercera zona, en el barril de troquel, se calentó eléctricamente pero no se refrigeró por aire. La tasa de alimentación fue de 30 rpm. La temperatura de extrusión (TE) se definió como la temperatura al extremo de la matriz del cañón. Como condiciones de extrusión se emplearon las obtenidas por Milán-Carrillo y col. (2012) al optimizar el proceso de extrusión de amaranto por actividad antioxidante: TE: 125°C/ Velocidad del tornillo (VT) = 130 rpm. Después de la extrusión los extrudidos se enfriaron y equilibraron al medio ambiente (25°C, HR=65%). Los extrudidos se molturaron utilizando un molino (Perten Laboratory Mill 3100), hasta pasar a través de malla US 80 (0,180 mm), envasaron en bolsas de plástico y almacenaron a 4°C. Se le reconoce como harina de amaranto extrudido optimizada (**HAEO**). Ver **Fig 7**

c Preparación de harina de chía germinada optimizada (HCGO)

Para la obtención de harina de chía germinada optimizada (**HCGO**) se utilizó el proceso descrito por Gómez-Favela y col (2017). Lotes de 15 g de semillas de chia, se distribuyeron homogéneamente sobre charolas de germinación previamente esterilizadas con NaClO a 1,000 ppm, a las cuales posterior al secado se les colocó papel absorbente y un pedazo de tela (tussor).

Posteriormente se llevaron a las cámaras germinadoras con las condiciones óptimas previamente establecidas de temperatura de germinación (**TG**) = 21°C / tiempo de germinación (**tG**)=157 h.

Durante el bioprocesamiento las semillas se germinaron bajo luz /oscuridad en períodos de 50/50% del tiempo de germinación diaria.

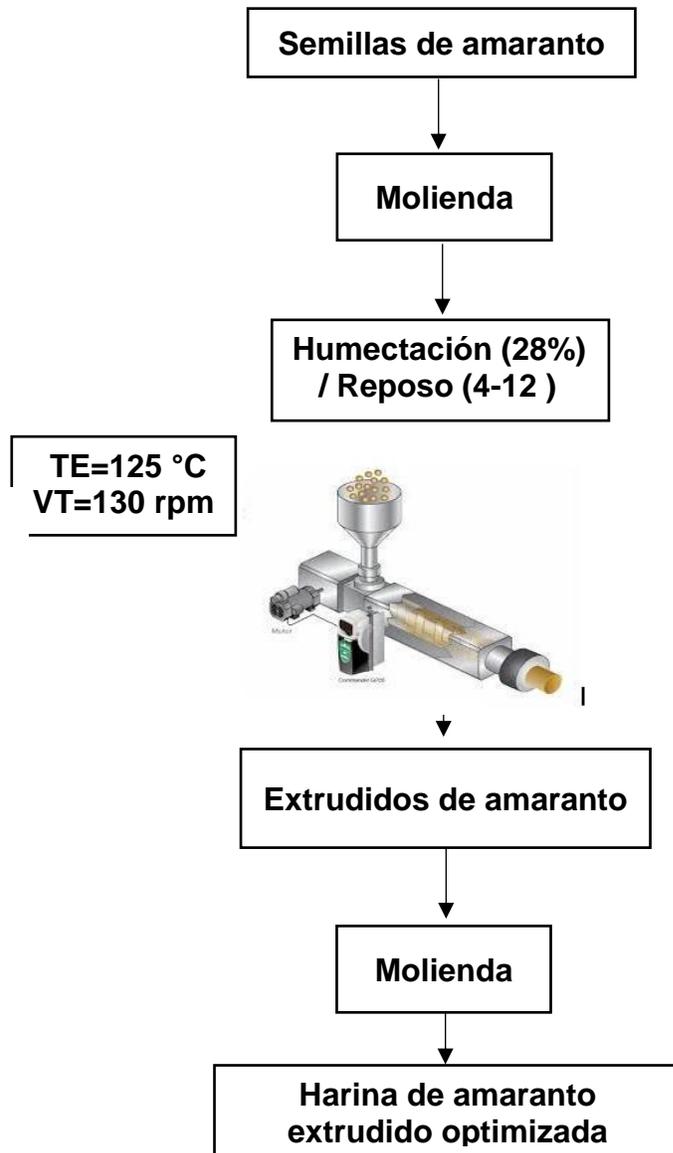


Fig. 8. Procedimiento para obtener harina de amaranto extrudido optimizada (HAEO)

Milán-Carrillo y col (2012)

Los germinados obtenidos del bioproceso se secaron (50°C/8 h), enfriaron (25 °C) y molturaron hasta pasar a través de malla US 80 (0,180 mm); se reconoce como harina de chia germinada optimizada (**HCGO**). Además, las semillas de chia integrales crudas se molturaron (80-malla US = 0,180 mm) para obtener harinas de chia sin procesar (**HCC**), que se utilizaron como control. **HCGO** y **HCC** se envasaron y se mantuvieron a 4°C en recipientes herméticos hasta su utilización. Ver **Fig 9**.

3 Obtención de mezclas de harinas procesadas para la elaboración de bebidas funcionales

a Mezcla 1 [Harina de amaranto germinado optimizada (HAGO) + Harina de chíá germinada optimizada (HCGO)].

Para la obtención de la **Mezcla 1** las harinas (**HAGO**, **HCGO**) se mezclaron en una proporción 70/30; se pesaron 16.1 g **HAGO** y 6.9 g de **HCGO**, se mezclaron y homogenizaron. La **Mezcla 1** se almacenó a 4°C, en recipiente hermético, hasta su utilización.

b Mezcla 2 [Harina de amaranto extrudida optimizada (HAEO) + Harina de chíá germinada optimizada (HCGO)]

Para la obtención de la **Mezcla 2** la harinas (**HAEO**, **HCGO**) se mezclaron en una proporción 70/30; se pesaron 16.1 g de **HAEO** y 6.9 g de **HCGO**, se mezclaron y homogenizaron: La **Mezcla 2** se almacenó a 4°C, en recipiente hermético, hasta su utilización.

4 Composición química

a Humedad

Se determinó humedad en las muestras aplicando el método 925.10 de la AOAC (1999). Se calculó la pérdida de peso de 2 g de muestra, después de calentar a 80°C por 24 h y posteriormente a 130°C durante 3 h en una estufa con circulación de aire forzado. La prueba se realizó por triplicado.

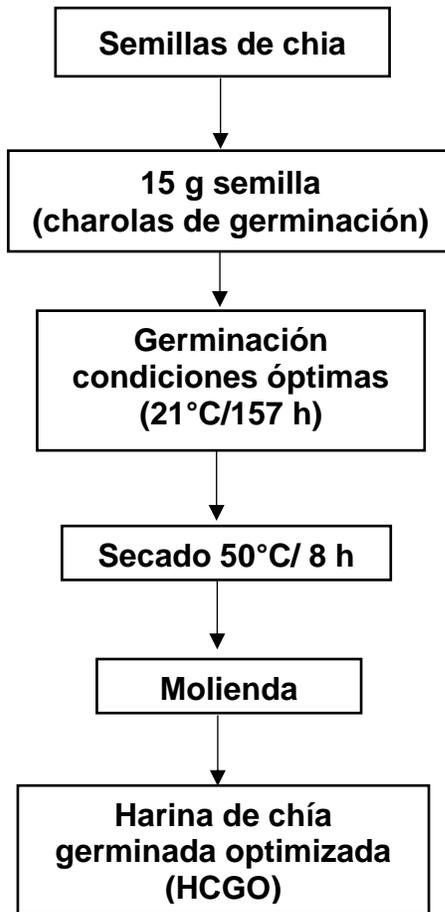


Fig. 9. Procedimiento para obtener harina de chíá germinada optimizada (HCGO)

Gómez-Favela y col (2017)

b Proteínas

Se utilizó el método 960.52, microKjeldahl de la AOAC (1999). Para la cuantificación de nitrógeno se empleó un sistema Kjeltex (Mod 1009 y 1002, Tecator, Suecia). Este método se basa en la transformación del nitrógeno orgánico en ion amonio (NH_4^+) mediante una digestión de la muestra con ácido sulfúrico concentrado. El ion NH_4^+ se neutraliza y el NH_3 liberado se destila y cuantifica mediante una titulación. El N cuantificado se convierte a contenido de proteínas por medio del factor de conversión (5.85) para harinas de amaranto y un factor de conversión de (6.25) para harinas de chia. 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 (Destilador JP Selecta Pro-Nitro I), previamente diluída con 10 mL de agua destilada, 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 multiplicando el contenido de nitrógeno total por 6.25 y 5.85 para las harinas de chí y amaranto, respectivamente. La prueba se realizó por triplicado.

c Lípidos

Se determinó de acuerdo al método 920.39 de la AOAC (1999). Las extracciones se realizaron en muestras de 3-4 g de harina pasada a través de malla 80 (0.180 mm). Se utilizó un equipo Soxhlet (Mod 1043, Tecator, Suecia) durante 4 h a 70°C con éter de petróleo como disolvente. La prueba se realizó por triplicado.

d Minerales

La determinación de cenizas se basó en el método 934.01 de la AOAC (1999). Se llevó a cabo la combustión de la materia orgánica en una mufla (Furnace 4800 BI Barnstead Thermolyne) a 550 °C por 24 h, hasta obtener una ceniza gris luminosa. El contenido de cenizas se pesó, después de ser enfriadas en un desecador y alcanzar la temperatura ambiente. La prueba se realizó por triplicado.

e Fibra dietaría

Se determinó de acuerdo al método oficial 985.29 (AOAC, 1999). Se empleó un kit de análisis de fibra dietaría total (TDF-100, Sigma). 1 g de muestra seca se gelatinizó en presencia de α -amilasa termoestable, posteriormente se llevó a cabo la digestión enzimática con proteasa y amiloglucosidasa para degradar las proteínas y almidón presentes en la muestra. Se precipitó la fibra adicionando 3 volúmenes (20 mL) de etanol al 78%, 2 volúmenes (10 mL) de etanol al 96% y 2 volúmenes (10 mL) de acetona. El residuo total se filtró y lavó con etanol al 78%, etanol al 96% y acetona. Posteriormente el residuo se secó (105 °C / 12 h), se registró el peso, se determinó el contenido de proteína y cenizas del residuo. El contenido de fibra total (**FDT**) se calculó empleando la siguiente fórmula:

$$\text{FDT} = \frac{[(\text{PR}) - \text{P} - \text{A}]}{(\text{PM})} \times 100$$

Dónde: **PR** = Peso del residuo.- Es el promedio de los pesos (mg) de los residuos de las muestras; **P** y **A** son los pesos de proteína y cenizas de los residuos respectivamente; **PM** = Peso de la muestra.- Es el peso promedio del peso de las muestras.

f Carbohidratos (CHO)

Se calculó por diferencia mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ CHO} = 100 - (\% \text{ de proteína} + \% \text{ Lípidos} + \% \text{ Minerales} + \% \text{ FDT})$$

5 Propiedades fisicoquímicas

a Color

1) Diferencia total de color (ΔE)

Se utilizó la metodología reportada por Reyes-Moreno y col (2003). El color de las muestras se determinó con un colorímetro Minolta Chroma-meter mod CR-210 (Minolta LTD, Japón). Sobre la base de la teoría en color, el valor Hunter L, a, b, es un espacio tridimensional rectangular, donde L (brillantez) indica tanto la luminosidad como la oscuridad del color y varía de 0 para negro a 100 para blanco. Las dimensiones de cromaticidad son dadas por los

parámetros a y b. Siendo el eje rojo-verde con valores positivos (rojos) y negativos (verdes), y b el eje amarillo-azul con valores positivos (amarillos) y negativos (azules).

Para la evaluación del color se utilizaron aproximadamente 100 g de muestra, la cual se colocó en una tapa de caja Petri de vidrio Kimax de 15 cm de diámetro y se midieron los parámetros L, a y b. Se utilizó un mosaico blanco como referencia (estándar) de valores L, a y b conocidos (L=97.63, a=-0.78 y b= 2.85). La diferencia total de color (ΔE) de las muestras se calculó con la ecuación:

$$\Delta E = [(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2]^{1/2}$$

Donde:

ΔE = Diferencia total de color entre el estándar y la muestra

ΔL , Δa y Δb = Diferencias absolutas de los valores **L**, **a** y **b** del estándar y los valores de la muestra.

Las evaluaciones se realizaron por triplicado.

b Actividad acuosa (a_w)

Se utilizó un equipo marca Aqualab mod CX2 (Decagon Devices Inc, Pullman, WA, EUA). Se colocó una muestra de 2 g en una celda porta muestras del equipo hasta alcanzar el equilibrio (40-60 min). El instrumento fue calibrado con una disolución saturada de cloruro de potasio ($a_w = 0.876$). Las mediciones se realizaron por triplicado a 25 ± 1 °C (Milán-Carrillo y col 2000).

c pH

Se determinó de acuerdo a la AOAC (1999). 10 g de muestra se agregaron a 100 mL de agua desionizada hervida y enfriada. La suspensión se agitó en agitador orbital por 10 min a 240 rpm, después se midió el pH de la suspensión (Potenciómetro EC40 pH/ISE Meter Mod 50 printer). Las mediciones se realizaron por triplicado.

d Dispersabilidad

Se cuantificó acorde a Mora-Escobedo y col (1994). Una muestra de 1 g de harina se suspendió con 10 mL de agua destilada en un tubo cónico graduado.

Las muestras se homogenizaron en un Ultra Turrax (10,000 rpm x 5 min). (mod T18BS1, IKA, Alemania). La separación de las fases se midió después de 30 min de reposo. Las mediciones se realizaron por triplicado.

e Índice de absorción de agua (IAA)

Se realizó de acuerdo a la metodología 54-21 descrita por la AACC (2010), con algunas modificaciones. Una muestra de 0.25 g se suspendió en 12 mL de agua a 25°C en un tubo tarado para centrífuga de 15 mL, el cual se agitó a velocidad moderada en un homogenizador (Vari-Mix Aliquot Mixer, Modelo M48725, Dubuque, Iowa, EUA) por 30 min. Posteriormente la suspensión se centrifugó en un equipo (Eppendorf, 5804R, Hamburgo, Alemania) a 4500 xg por 20 min, a una temperatura de 25°C. El líquido sobrenadante se decantó cuidadosamente en un recipiente tarado de vidrio para la determinación del contenido de sólidos. El gel formado se pesó y el índice de absorción de agua se calculó mediante la relación g de agua absorbida/g de sólidos secos. Las determinaciones para cada uno de los tratamientos se realizaron por triplicado.

f Índice de solubilidad en agua (ISA)

Se obtuvo de la cantidad de sólidos secos recuperados por la evaporación del sobrenadante, obtenido de la determinación del índice de absorción de agua. El índice de solubilidad en agua se expresó como el porcentaje de sólidos secos recuperados en 0.25 g de muestra. La evaluación se realizó por triplicado (AACC 2010).

g Índice de absorción de aceite

La absorción de aceite de las harinas se determinó aplicando la metodología reportada por Ordorica-Falomir (1988). Muestras de 0.5 g de harina más 3 mL de aceite vegetal se colocaron en un tubo graduado para centrífuga, se agitaron durante 1 min en un vortex, se dejaron reposar durante 30 min y, finalmente, se centrifugaron a 1,600xg por 25 min. Se midió el volumen de aceite libre. La cantidad de aceite absorbido se calculó restando el

volumen de aceite libre al volumen de aceite inicial y se expresó como mL de aceite absorbido/g de harina. La prueba se realizó por triplicado.

h Capacidad de formación de espuma / estabilidad de espuma

Estos parámetros se evaluaron aplicando las metodologías de Canella (1978), Huffman y col (1975) y Kabirullah y Wills (1983). En una probeta de 100 mL se agregaron 0.5 g de muestra más 50 mL de solución reguladora 0.1 M (Citrato: pH 2 y 4; fosfato: pH 6 y 8; carbonato: pH 10). Esta mezcla se agitó en un Ultra Turrax durante 1 min a 1,200 rpm. Posteriormente se midió el volumen de espuma formado. La capacidad de formación de espuma se reportó como porcentaje (% CFE) y se calculó con la siguiente ecuación:

$$\% \text{CFE} = \frac{(\text{Vol después agitar}) - (\text{Vol antes agitar})}{(\text{Vol antes agitar})} \times 100$$

El material anterior se dejó reposar durante 30 min y al final se midió el volumen de espuma residual y la estabilidad de la espuma se expresó como porcentaje de estabilidad de espuma (% EE) mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{EE} = \frac{(\text{Vol después de reposo})}{(\text{Vol total de espuma})} \times 100$$

i Actividad / Estabilidad de emulsión (% AE, % EEm)

Se utilizó la metodología reportada Huffman y col. (1975) con ligeras modificaciones. Se colocaron, en un tubo para centrifuga de 50 mL, 0.7 g de muestra y se disolvieron con 10 mL de solución regulador de fosfatos, se adicionaron 10 mL de aceite vegetal, se agitaron en un homogenizador Ultraturax a 12,000 rpm durante 1 min, y se centrifugó (1,300xg/25°C/5min). El volumen de emulsión formada se determinó relacionando la capa emulsificada y el volumen total, se reportó como porcentaje de actividad de emulsión (% AE).

La estabilidad de emulsión se determinó empleando en los mismo tubos utilizados en la determinación de %AE. Los tubos se trataron térmicamente en un baño María (80°C / 30 min), se enfriaron y centrifugaron (1300xg/25°C/5min). Se midió el volumen de emulsión y el porcentaje de estabilidad de emulsión (% EEm) se expresó como porcentaje de emulsión

retenida después del tratamiento térmico. Las pruebas se realizaron por triplicado.

6 Actividad antioxidante de harinas de amaranto, chía y mezclas

a) Obtención de extractos fitoquímicos libres y ligados

La extracción de fitoquímicos libres se realizó de acuerdo al método descrito por Dewanto y col (2002). Los fitoquímicos libres se extrajeron de 0.5 g de muestra con 10 mL de etanol al 80% (v/v), se agitaron en un rotator (OVAN noria R, EUA 2010) a velocidad de 25 rpm por 10 min. Después se centrifugó a 5,000xg / 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 se almacenó a -20°C hasta su posterior utilización en la determinación de capacidad antioxidante y fenólicos correspondientes a fitoquímicos libres. El precipitado se guardó para la obtención de los extractos fitoquímicos ligados.

La extracción de fitoquímicos ligados se realizó según el procedimiento descrito por Adom y Liu (2002), con ligeras modificaciones de Mora-Rochín y col (2010). Al precipitado se le realizó una extracción hexano (10 mL) para remover lípidos, se agitó durante 30 seg en un vortex y se colocó durante 10 min en rotator, posteriormente se centrifugó a 5,000xg/10 °C/10 min y por decantación se retiró el hexano. La muestra se digirió con 10 mL de NaOH 2 M, posteriormente la muestra se sometió a tratamiento térmico, en baño María a 95 °C/30 min, después se agitó durante 1 h a temperatura ambiente (25 °C). La mezcla se neutralizó con 2 mL de HCl concentrado, se agitó por 30 segundos en un vortex y se procedió a realizar las extracciones de los fitoquímicos ligados con acetato de etilo, el cual se colectó en tubos cónicos; esta extracción se realizó 4 veces. Las fracciones de acetato de etilo se concentraron a 45 °C a presión baja (Apud Vac Concentrator, Thermo Elector Corporation). Posteriormente se sometieron a sequedad a 45 °C. Los compuestos extraídos se reconstituyeron con metanol y almacenaron a -20°C hasta su posterior utilización. Ver **Fig 9**.

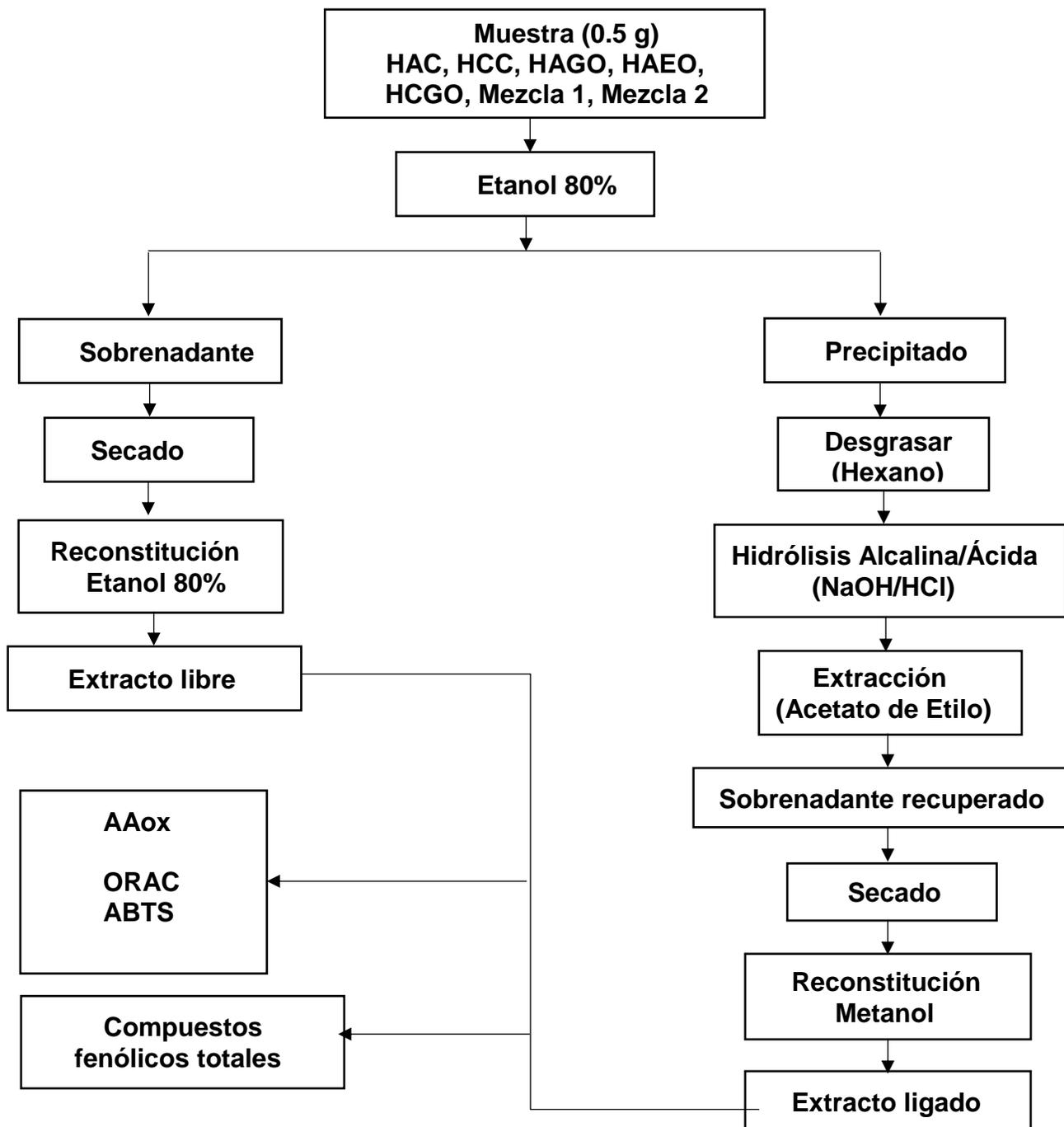


Fig 10. Diagrama de flujo para la obtención de extractos de fitoquímicos libres y ligados

Adaptado de: Adom y Liu (2002), Mora-Rochín y col (2010)

b) Determinación de la actividad antioxidante (AAox)

Las actividades antioxidantes hidrofílicas libres y ligadas de las diferentes muestras se determinaron a través de los métodos de ORAC, ABTS y DPPH.

1) ORAC

El método de capacidad de absorbanza de radicales oxígeno (Oxigen Radical Absorbance Capacity, ORAC) desarrollada para compuestos hidrofílicos etanólicos y metanólicos (Ou y col., 2002), se basa en la degradación del compuesto 2-2'-Azobi amidinopropano (AAPH) que produce radicales peroxilo (ROO^\cdot), los cuales oxidan al compuesto fluorescente, diclorofluoresceína (DCFH) al compuesto no fluorescente, diclorofluorescina (DFC). El grado de inhibición de los antioxidantes (fitoquímicos) de atrapar a los radicales libres se utilizó como base para calcular la actividad antioxidante (AAox). La solución AAPH se preparó pesando 0.207 g del reactivo y se aforó en un matraz volumétrico de 5 mL con un amortiguador de fosfato (pH 7.4). La fluoresceína se preparó a una concentración de 0.1mM con amortiguador de fosfato (pH 7.4). Para la medición, fueron diluidos los extractos de fitoquímicos libres y ligados usando un amortiguador de fosfatos (pH 7.4), se adicionaron 25 μL de AAPH por medio del auto dispensador del equipo (SinergyHT™ Multi-Detección, BioTek, Inc., Winooski, VT, EUA) previamente programado. Las muestras y el control se analizaron por cuadruplicado. La reacción se llevó a 37 °C y la fluorescencia se midió a 485 nm de excitación y 538 nm de emisión, por un lapso de 40 min, la reacción de los radicales peróxilos generó la pérdida de la fluorescencia con el tiempo.

El efecto antioxidante se determinó por la integración del área neta bajo la curva sobre la pérdida de la fluorescencia (AUC) [$\text{AUC}_{\text{AOX}} - \text{AUC}_{\text{no AOX}}$]. Los valores ORAC se reportaron como equivalentes de Trolox. Se generó una curva estándar de cinco puntos de concentración de (12.5 a 100 μM), y 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 Trólox (Y) (μM) y el área neta bajo la curva de la disminución

de la fluoresceína (X) ($ABC_{muestra} - ABC_{blanco}$). La regresión lineal se realizó en un rango de 100-12.5 μM de Trólox. Los datos se presentaron como equivalentes de Trolox en μmol (ET) g^{-1} muestra (bs) (Ou y col 2002; Prior y col 2003).

2) ABTS

Se estimó la actividad captadora de radicales libres mediante el ensayo de decoloración del catión radical ABTS propuesto por Re y col (1999), el cual se basa en la reducción del radical ABTS** por los antioxidantes presentes en los extractos evaluados. Se preparó una solución de ABTS mezclada con persulfato de potasio ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$) 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 destilada (45 mL de agua destilada + 500 μL de la solución de ABTS) hasta alcanzar una absorbancia de 0.716 a 735 nm. Se tomaran 20 μl del blanco (agua) y se mezclaran con 1980 μl de la solución de ABTS*, se homogenizaron suavemente y se leyó su absorbancia en un espectro (UV-vis Genesys 10 UV Thermo Electron Corporation, Madison, WI, EUA). Una vez que el radical quedó ajustado a .716, se colocaron 20 μl de cada muestra por cuadruplicado y se le añadieron 1980 μl del radical, teniendo un tiempo de 30 segundos entre una muestra y otra. La lectura de las muestras comenzó a los 6 minutos de haber colocado el radical en la primera muestra. La actividad antioxidante de las muestras se expresó en μmol equivalentes de Trolox (ET)/100g de muestra, base seca (bs).

7 Compuestos fenólicos totales

Para determinar la concentración de compuestos fenólicos totales (libres + ligados) se empleó el método colorimétrico de Folin-Ciocalteu, descrito por Singleton y col (1999). En viales de 2 mL, se agregaron 20 μL de una solución estándar de ácido gálico para construir una curva de calibración y 20 μL de

muestra (por cuadruplicado), y se utilizó agua destilada y posteriormente se les agregó 100 µL de Folin-Ciocalteu, se anexaron 300 µL de NaCO₃ al 7% y se dejó reposar durante 8 min. Una vez transcurridos los 8 min, se agregaron 380 µL de agua destilada hasta a completar 2 mL. Obtenidos los 2 mL se dejó reposar 90 min en oscuridad. Transcurridos los 90 min se procedió a realizar la lectura en un espectrofotómetro (UV-vis Genesys 10 UV Thermo Electron Corporation, Madison, WI, EUA) a 765 nm. Los resultados se expresaron como mg equivalentes de ácido gálico (GAE) / 100 g de muestra, bs. El contenido de los compuestos fenólicos totales se calculó al sumar los compuestos fenólicos presentes en los extractos de fitoquímicos libres y ligados.

8 Potencial antihipertensivo (IC₅₀) de compuestos fenólicos de harinas de amaranto, chía y mezclas

La inhibición de la enzima Convertidora de Angiotensina (ECA), considerada para evaluar el potencial antihipertensivo, se determinó mediante el kit ACE Kit-WST (A50210), que se basa en la detección colorimétrica de ácido 3-hidroxi-butílico (3HB) generado a partir del 3-hidroxi-butiril-Gly-Gly-Gly (3HB-GGG). En la solución de reacción enzimática (SER) la ECA hidroliza Gly-Gly, generando 3-hidroxi-butiril-Gly; posteriormente, por acción de una aminoacilasa, se obtiene ácido 3-hidroxi-butílico, el cual 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 1 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. 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:

$$\% \text{ Inhibición} = (\text{Abs}_{\text{blanco1}} - \text{Abs}_{\text{muestra}}) / (\text{Abs}_{\text{blanco1}} - \text{Abs}_{\text{blanco2}})$$

Donde: $Abs_{sample} = Abs \text{ SRE} + \text{Indicador conteniendo el inhibidor-ECA}$;
 $Abs_{control} = Abs \text{ SRE} + \text{Indicador sin contener el inhibidor-ECA}$

Se trazaron diferentes concentraciones de extractos fenólicos frente a los valores correspondientes de actividad inhibidora de la ECA (%), y las curvas dosis-respuesta se obtuvieron mediante regresión sigmoidea no lineal con Prism v5 (GraphPad Prism). El valor de IC_{50} se calculó como la concentración de extractos fenólicos que causaron el 50% de la inhibición de la actividad de la ECA.

9 Preparación de *Bebidas funcionales* (*Bebida 1: Mezcla 1: 70 % HAGO + 30 % HCGO*, *Bebida 2: Mezcla 2: 70 % HAEO + 30 % HCGO*) elaboradas a base de harinas de amaranto y chía

Las *Bebidas funcionales 1* y *2* se desarrollaron a partir de las *Mezclas 1* (70% *HAGO* + 30% *HCGO*) y *2* (70% *HAEO* + 30% *HCGO*), respectivamente. La formulación utilizada fue: 25 g *Mezcla* + 2.5 g edulcorante no calórico + 1 g vainilla en polvo + 170 mL de agua purificada. Esta suspensión se agitó utilizando una licuadora doméstica (media velocidad), se refrigeró (8-10°C) y se evaluó sensorialmente. La evaluación sensorial se llevó a cabo por 80 panelistas no entrenados utilizando una escala LAM (Labeled Affective Magnitude) [Aceptabilidad (**A**) con valores de -100 a 100]. Posteriormente, estos valores de *A* se transformaron a una escala de 0-100 (Cardello y Schultz, 2004).

a) Evaluación sensorial

La evaluación sensorial se de las *Bebidas funcionales* se llevó a cabo acorde a la metodología recomendada por Ramírez-Navas y Castro (2014). Participaron 80 panelistas no-entrenados, los cuales evaluaron color, olor, sabor, consistencia y aceptabilidad global de las bebidas empleando una escala hedónica. La escala hedónica es una escala con una descripción verbal con rangos que van desde -4 (me disgusta extremadamente) hasta +4 (me gusta

extremadamente) en donde cero (ni me gusta, ni me disgusta) es el punto central. Posteriormente estos valores se transformaron a una escala de 0 a 9.

10 Análisis estadístico

Los datos se analizaron con un diseño experimental unifactorial, usando el paquete estadístico Statgraphics Plus 6.0. Se aplicó la prueba de rangos múltiples de Duncan para analizar diferencia significativa entre medias de los diferentes tratamientos ($p \leq 0.05$).

VIII RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A Características físicas de las semillas de amaranto y chía

En el **Cuadro 14** se muestran las características físicas de las semillas de Amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* L.) y chía (*Salvia hispánica* L.). Las semillas de amaranto en promedio presentaron dimensiones de 1.21 mm de largo, 1.19 mm de ancho y 0.07 mm de grosor. Estos valores concuerdan con lo reportado por otros investigadores (Irving y col 1981; Wood y col 1981; Vázquez y col 2013). Mientras que las semillas de chía presentaron dimensiones de 1.99 mm de largo, 1.23 mm de ancho y 0.79 mm de grosor. Lo cual concuerda con lo reportado por (Porras-Loaiza y col 2014; González y col 2016). Las dimensiones físicas de las semillas son indicadores importantes de calidad, manejo y almacenamiento de las mismas.

El peso de 1,000 granos es un indicador del tamaño, y el peso hectolítrico es una medida indirecta de la densidad del grano. El grano de amaranto tuvo un peso de 1,000 granos de 0.732 g; este valor es similar a lo reportado por Ramírez-Vázquez y col (2011). Por otro lado, las semillas de chía presentaron un peso de 1,000 granos de 1.295 g. El peso hectolítrico del grano de amaranto fue de 140.02 kg/hL; Castañeda y col (2003) reportaron, para este parámetro, valores de 84.00 kg/hL. Estas diferencias pueden deberse a diferencias entre variedades. Las semillas de chía presentaron un peso hectolítrico de 69.69 kg/hL; Porras-Loaiza y col (2014) reportaron valores similares de este indicador de calidad para diversas variedades de chía. Las semillas utilizadas para llevar a cabo la presente investigación, acorde a sus características físicas, pueden ser catalogadas como de buena calidad.

B Composición química de las harinas de amaranto y chía

El **Cuadro 15** muestra la composición química de harinas de amaranto y chía: Harina de amaranto integral crudo (sin procesar) (**HAC**), harina de amaranto germinado optimizada (**HAGO**) [obtenida al aplicar condiciones optimizadas del proceso de germinación (TG=30°C/tG=78 h) (Perales-Sánchez y col. (2014))], harina de amaranto extrudido optimizada (**HAEO**) [obtenida al

Cuadro 14. Características físicas de las semillas de amaranto (*Amaranthus hypocondriacus* L.) y chía (*Salvia hispánica* L.)

Características físicas	Amaranto	Chía
Dimensiones (mm)		
Largo	1.20±0.15	1.99±0.14
Ancho	1.19±0.10	1.23±0.10
Grosor	0.07±0.07	0.79±0.07
Peso de 1,000 granos (g)	0.732±0.01	1.295±0.01
Peso hectolítrico (kg/hL)	140.02±0.81	69.69±0.33

Los resultados se expresan como promedio ± desviación estándar.

aplicar condiciones optimizadas del proceso de extrusión (TE=125°C/VT=130 rpm) (Milán-Carrillo y col (2012)], harina de chía integral cruda (sin procesar) (**HCC**) y harina de chía germinada optimizada (**HCGO**) [obtenida al aplicar condiciones optimizadas de germinación (TG=21°C/tG=157 h) (Gómez-Favela y col 2017)].

Los contenidos de proteína cruda de las harinas **HAC**, **HAGO** y **HAEO** fue de 13.57%, 19.13% y 13.77%, respectivamente (**Cuadro 15**). El bioproceso de germinación propició un incremento ($p<0.05$) en el contenido de proteína (de 13.57% a 19.13%). Por otro lado las **HCC** y **HCGO** presentaron niveles de proteína cruda de 17.88 % y 20.75%, respectivamente (**Cuadro 15**).

Otros investigadores (Reyes-Moreno y col 2013; Montoya-Rodríguez y col 2014) al someter al proceso de extrusión granos como amaranto y maíz de calidad proteínica no observaron diferencias ($p\geq 0.05$) en el contenido de proteínas entre los granos crudos y los extrudidos. El aumento de los niveles de proteína cruda ocasionados por la germinación del grano ha sido reportado (Perales-Sánchez y col 2014; Gómez-Favela y col 2017; Paucar-Menacho y col 2017) con anterioridad. El incremento en el contenido de proteína, durante la germinación, puede ser atribuido a la pérdida de nutrimentos, particularmente carbohidratos, a través del proceso de respiración. Esta disminución en el contenido de carbohidratos puede presentarse principalmente como pérdida de azúcares durante la respiración,

Las harinas de amaranto **HAC**, **HAGO** y **HAEO** tuvieron contenidos de lípidos de 7.50%, 6.24% y 5.36%, respectivamente (**Cuadro 15**). Los niveles de lípidos en harinas de chía, **HCC** y **HCGO**, fueron de 33.81% y 16.87%, respectivamente (**Cuadro 15**).

Las semillas de amaranto y chía, principalmente de chía, poseen cantidades importantes de ácidos grasos omega 3 (α -Linolénico) y 6 (Linoleico) los cuales han sido asociados con la reducción en la incidencia de enfermedades cardiovasculares. La reducción en el contenido de lípidos es, probablemente, debido al uso de éstos como fuente de energía durante el proceso de la germinación de la semilla; se hace uso de las reservas de

Cuadro 15. Composición proximal de harinas de amaranto y chía.

Composición química (%<i>bs</i>)	HAC¹	HAGO¹	HAEO¹	HCC¹	HCGO¹
Proteína	13.57±0.37 ^b	19.13±0.75 ^a	13.77±0.39 ^b	17.88±1.10 ^B	20.75±0.45 ^A
Lípidos	7.50±0.10 ^a	6.24±0.33 ^b	5.36±0.34 ^c	33.81±0.54 ^A	18.67±1.23 ^B
Minerales	2.58±0.10 ^c	3.45±0.01 ^a	2.83±0.01 ^b	3.92±0.02 ^B	4.91±0.06 ^A
Carbohidratos	69.93±0.64 ^b	67.69±0.13 ^c	70.74±0.25 ^a	37.08±2.52 ^B	53.06±2.38 ^A
Fibra Dietaría					
Soluble	10.20±0.42 ^c	20.31±0.79 ^a	11.95±0.14 ^b	38.52±0.47 ^B	40.51±0.11 ^A
Insoluble	0.47±0.01 ^c	3.55±0.04 ^a	2.65±0.77 ^b	3.98±0.04 ^A	3.44±0.005 ^B
Total	10.67±0.45 ^c	23.86±0.74 ^a	14.60±0.91 ^b	42.51±0.43 ^B	43.96±0.12 ^A

Medias con letra diferente en el mismo renglón indican diferencia significativa (Duncan $p \leq 0.05$);

¹ HAC= Harina de amaranto cruda, HAGO= Harina de amaranto germinado optimizada, HAEO= Harina de amaranto extrudido optimizada, HCC= Harina de chía cruda, HCGO= Harina de chía germinada optimizada

nutrientes (principalmente almidón y lípidos) para el crecimiento y elongación del embrión.

Domínguez-Arispuro y col (2017) reportaron que durante la germinación de semillas de garbanzo pigmentado (negro) desi (33.7°C/171 h) el contenido de lípidos mostró un decremento al compararse con las semillas crudas.

El contenido de minerales en las harinas de amaranto fue de 2.58%, 3.45% y 2.83% para **HAC**, **HAGO** y **HAEO**, respectivamente (**Cuadro 15**). Los niveles de minerales en harinas de chía, **HCC** y **HCGO**, fueron de 3.92% y 4.91%, respectivamente (**Cuadro 15**).

El incremento del contenido de minerales puede atribuirse a que durante la germinación, por actuación de la enzima fitasa, el ácido fítico se hidroliza y pierde su poder quelante (atrapa metales); de esta manera se incrementa la biodisponibilidad de iones divalentes como Ca, Mg.

Las harinas de amaranto **HAC**, **HAGO** y **HAEO** tuvieron contenidos de fibra dietaria total de 10.67%, 23.86% y 14.60%, respectivamente (**Cuadro 15**). Los niveles de fibra dietaria total en harinas de chía, **HCC** y **HCGO**, fueron de 42.51% y 43.96%, respectivamente (**Cuadro 15**). La fibra dietaria total en granos de amaranto y chía se incrementó ($p < 0.05$) hasta un 65% durante la germinación por la biosíntesis de componentes de la pared celular (celulosa, hemicelulosa, polisacáridos pécticos) (El-Adawy 2002; Caselato-Sousa y Amaya-Farfan 2012; Gómez-Favela y col 2017). Estos resultados coinciden con los reportados por otros investigadores quienes observaron un comportamiento similar durante la germinación de pseudocereales (Perales-Sánchez y col 2014) y leguminosas (Domínguez-Arispuro y col 2017; Salas-López y col 2017).

Megat y col. (2016) estudiaron la influencia de la germinación en la fibra dietaria en leguminosas (frijoles, frijol mungo, soya, cacahuate). Encontraron que en todas las semillas germinadas, la fibra dietaria total (soluble e insoluble) aumentó significativamente ($p < 0.05$) en comparación con las semillas no germinadas.

La fibra dietaria está asociada con la prevención de diferentes enfermedades y es fundamental para el mantenimiento de la salud intestinal

(Liu 2007). Así, la germinación podría ser utilizada como una herramienta para aumentar el contenido de fibra en las semillas, mejorando sus beneficios para la salud. El proceso de extrusión causó ligeros cambios en la composición química del amaranto durante la producción de harina de amaranto extrudido optimizada (**HAEO**).

C Propiedades fisicoquímicas de las harinas de amaranto y chía

El **Cuadro 16** muestra las propiedades fisicoquímicas de las harinas de amaranto y chía: **HAC**=Harina de amaranto integral crudo (sin procesar), **HAGO**=Harina de amaranto germinado optimizada, **HAEO**=Harina de amaranto extrudido optimizada, **HCC**=Harina de chía integral cruda (sin procesar) y **HCGO**= Harina de chía germinada optimizada.

Los valores Hunter “L” para harinas de amaranto **HAC**, **HAGO**, **HAEO** fueron de 74.1, 70.2 y 71.8, respectivamente (**Cuadro 15**); mientras que las ΔE de estos materiales fueron de 25.97, 31.53 y 28.8, respectivamente (**Cuadro 15**). El proceso de extrusión de semillas de amaranto provocó una disminución ($p \geq 0.05$) en el valor Hunter “L” (74.15% a 71.89%) e incrementó la diferencia total de color (25.97% a 28.82%) de la **HAC**.

La disminución en el valor “L” y incremento en ΔE indican una disminución en la luminosidad y un oscurecimiento en la materia prima, fenómenos que están asociados a diferentes reacciones, y al mismo proceso de extrusión.

La **HAGO** presentó mayor ($p \leq 0.05$) ΔE y menor ($p \leq 0.05$) Valor Hunter “L”, que la **HAC**; esto puede deberse a que durante la germinación se forman hidrolizados de proteínas y almidón, los cuales durante el secado favorecen las reacciones de Maillard (Perales-Sánchez y col 2014).

Las harinas de chía **HCC** y **HCGO** presentaron valores Hunter “L” de 42.63 y 40.1, respectivamente (**Cuadro 16**); los valores de ΔE observados en **HCC** y **HCGO** fueron de 53.9 y 57.06 (**Cuadro 16**). Disminuciones en valor Hunter “L” e incrementos en ΔE significan una disminución en la luminosidad y oscurecimiento de la materia prima. En esta investigación las primeras 12 h de germinación ocurrieron sin presencia de luz.

Cuadro 16. Propiedades fisicoquímicas de harinas de amaranto y chíá

Propiedades Fisicoquímicas	HAC	HAGO	HAEO	HCC	HCGO
Color					
Valor Hunter L	74.1±1.94 ^b	70.25±2.53 ^c	71.8±1.58 ^a	42.63±0.46 ^A	40.1±1.50 ^A
ΔE	25.97±1.69 ^c	31.53±2.26 ^a	28.82±2.15 ^b	57.06±0.79 ^A	53.91±1.33 ^B
Actividad acuosa (a _w)	0.60±0.009 ^a	0.40±0.07 ^c	0.52±0.02 ^b	0.56±0.008 ^A	0.3 ±0.006 ^B
pH	6.40±0.02 ^b	5.71±0.01 ^c	7.12±0.02 ^a	6.22 ±0.09 ^A	5.56 ±0.01 ^B
Densidad aparente	21.18±1.43 ^b	19.87±0.18 ^c	25.07±1.12 ^a	17.96±0.52 ^B	33.98±1.16 ^A
IAA ¹	2.83±0.09 ^c	8.35±0.39 ^a	4.80±0.14 ^b	42.33±3.08 ^B	15.84±1.20 ^B
ISA ²	7.53±0.58 ^c	26.42±0.01 ^b	54.61±0.81 ^a	8.55±0.34 ^B	25.82±1.75 ^A
IAaceite ³	0.20±0.003 ^c	2.0±0.0 ^a	1.0 ±0.0 ^b	0.1±0.0 ^B	1±0.0 ^A
ISP	1.319±0.06 ^c	1.863±0.03 ^b	2.030±0.06 ^a	1.734±0.008 ^B	2.096±0.034 ^A
Dispersabilidad (%)	38.33±2.88 ^b	100±0.00 ^a	40±0.0 ^b	100±0.00 ^A	100±0.00 ^A
Formación espuma (%)	7.45±0.08 ^a	5.66±0.00 ^b	5.86±0.03 ^c	5.76±0.00 ^B	99.78±0.37 ^A
Estabilidad espuma (%)	50.87±0.04 ^c	80.3±0.00 ^b	67.06±0.02 ^a	66.7± 0.00 ^A	97.2±0.003 ^B
Actividad emulsión (%)	59.82±6.27 ^{a,b}	59.12±3.95 ^b	62.5±4.31 ^a	59.16±2.88 ^A	62.5 ± 0.00 ^B
Estabilidad emulsión (%)	81.41 ±2.57 ^a	100±3.13 ^a	36.96±20.54 ^c	83.05±1.44 ^A	100± 0.00 ^B

Los resultados se expresan como promedio ± desviación estándar; ^{a,b c},^{A,B}

Medias con letra diferente en el mismo renglón indican diferencia significativa (Duncan p≤0.05)

¹ Índice de absorción de agua = g gel/g muestra

² Índice de solubilidad en agua = sólidos/100g muestra

³ Índice de absorción de aceite = mL de aceite absorbido / g de muestra

Otros estudios han demostrado que los brotes son más largos sin presencia de luz, por lo tanto se cree que en condiciones de oscuridad se causa un desequilibrio hormonal en la plántula estimulando así la etiolación de las semillas de *S. hispanica* la cual es causada por un incremento en la síntesis de giberelina que en consecuencia promueve el incremento excesivo del tronco en busca de luz. Una vez que los fotoperíodos de luz/oscuridad se vuelven constantes se da el desarrollo de la fotosíntesis, es posible que el régimen alterno de luz/oscuridad haya provocado un incremento en la saturación de luz en las plántulas causando suficiente equilibrio metabólico para estimular mayor acumulación de biomasa saturada de luz, lo cual se refleja como un incremento en la luminosidad de la semilla germinada y un aclaramiento en la materia prima (Paiva y col 2016).

Las harinas de amaranto **HCC**, **HAGO** y **HAEO** presentaron valores de actividad acuosa de 0.60, 0.40 y 0.56, respectivamente; las harinas de chía **HCC** y **HCGO** tuvieron actividades acuosas de 0.56 y 0.37, respectivamente (**Cuadro 16**). Estos valores ($a_w=0.37-0.60$) se encuentran en un rango en donde el crecimiento de microorganismos, así como las reacciones químicas y enzimáticas ocurren lentamente, lo que se traduce en una larga vida de anaquel.

El índice de absorción de agua (**IAA**) está estrechamente relacionado con las propiedades de los biopolímeros que constituyen este tipo de granos (almidón y proteína). Las harinas de amaranto **HAC**, **HAGO**, **HAEO** registraron valores de **IAA** de 2.83, 8.35 y 4.80 g gel/g muestra, mientras que las harinas de chía **HCC** y **HCGO** tuvieron **IAA** de 42.33 y 15.84 g gel / g muestra, respectivamente (**Cuadro 16**). Los valores de **IAA** de **HAGO** y **HAEO** son similares a los reportados por Perales-Sánchez y col (2014) y Milán-Carrillo y col (2012), respectivamente, para muestras de amaranto con procesamiento similar. Las semillas de chía pueden absorber 12 veces su peso en agua, propiedad que las hace muy útiles en la industria alimentaria (Suri y col 2016). Los valores de **IAA** altos (15.84-42.33 g gel / g muestra) de las harinas de chía podrían estar relacionados con el tamaño (área de contacto), la composición

celular (cantidad de celulosa, hemicelulosa y pectina), en relación a la cantidad de grupos hidroxilos libres capaces de interactuar con el agua externa y la cantidad de fibra dietaria insoluble (Fuentes-Aguilar 2012).

Los índices de absorción de aceite (IA_{aceite}) de las harinas de amaranto y chía, **HAC, HAGO, HAEO, HCC, HCGO** fueron 0.20, 2.0, 1.0, 0.1 y 1.0 mL de aceite absorbido / g de muestra, respectivamente (**Cuadro 16**). Los IA_{aceite} menores correspondieron a las harinas de grano crudo (**HAC, HCC**); ambos procesos (extrusión, germinación) favorecieron el incremento en el IA_{aceite} de ambos materiales; el mayor incremento se observó al aplicar condiciones optimizadas de germinación a los granos (amaranto: de 0.2 a 2 mL aceite absorbido / g muestra; chía: 0.1 a 1.0 mL aceite absorbido / g muestra) (**Cuadro 16**).

En estudios realizados por Capitani y col (2013) y Vázquez-Ovando y col (2013) se reportaron IA_{aceite} de 2.02-2.06 g aceite / g fibra. Céspedes (2017) reportó que a mayores cantidades de fibra dietaria insoluble la capacidad de absorber aceite aumenta. Vázquez-Ovando y col (2013) encontraron que la cantidad de fibra dietaria insoluble (FDI) en semilla de chía fue de 53.45%, pese al alto porcentaje de FDI no se obtuvo el comportamiento esperado; otros factores que pudieron influir son cantidad de lignina (componente de FDI), el tamaño, forma y área superficial de las partículas de fibra, además de su composición química.

Los índices de solubilidad de proteínas (ISP) de las harinas de amaranto (**HAC, HAGO, HAEO**) y chía (**HCC, HCGO**) registrados en este estudio fueron: 1.319, 1.863, 2.030, 1.734 y 2.096, respectivamente (**Cuadro 16**). Ambos procesos (germinación, extrusión) incrementaron el ISP en los dos materiales (amaranto, chía) bajo estudio; se observó un mayor incremento al aplicar el proceso de extrusión (**Cuadro 16**). La solubilidad es una propiedad de suma importancia que gobierna el comportamiento funcional de las proteínas y su potencial aplicación en alimentos procesados. Describe la capacidad de formar soluciones coloidales. La misma depende del estado fisicoquímico de las moléculas que puede ser alterado por el calentamiento, procesamiento, secado

y condiciones del almacenamiento. A su vez depende del pH, fuerza iónica, temperatura y presencia de solventes orgánicos (Pilosof y Bartholomai 2000). Generalmente, las proteínas solubles poseen mayores atributos funcionales para su aplicación en alimentos. Bigelow (1967) propuso dos características estructurales, la densidad de carga y la hidrofobicidad, como los factores de control más relevantes para la solubilidad de las proteínas. Una densidad de carga alta e hidrofobicidad baja genera una mayor solubilidad. La importancia de este índice radica en la incidencia que tiene en la palatabilidad de los alimentos (Hevia y col 2002).

La solubilidad afecta la funcionalidad de las proteínas y depende si están en su estado nativo o desnaturalizadas. También influye fuertemente el pH y la fuerza iónica, ya que estos dos parámetros afectan directamente la carga neta y la repulsión electrostática de las moléculas de las proteínas (Timilsena y col 2016).

Los cambios observados en el ISP en germinados pudieran ser explicados en términos de la hidrólisis en enlaces peptídicos por el incremento de la actividad proteolítica durante la germinación. Además, los cambios de solubilidad durante la germinación también pudieran ser el resultado de la reducción de puentes disulfuro en las proteínas. Los resultados obtenidos en la presente investigación concuerdan con lo reportado por Zilic y col (2016) quienes evaluaron el efecto de la actividad enzimática durante el remojo y germinación en la solubilidad y composición de proteínas de trigo, de la cuál reportan diferencia significativa en las harinas de trigo sin procesar con las harinas de trigo germinadas.

Las dispersabilidades de las harinas de amaranto (**HAC, HAGO, HAEO**) y chía (**HCC, HCGO**) registrados en este estudio fueron: 38.33, 100.00, 40.00, 100.00 y 100.00%, respectivamente (**Cuadro 16**). El proceso de germinación incrementó la dispersabilidad de **HCC** al comprarse con **HAGO** (38.33 vs 100.00%); en el grano de chía la germinación no causó ningún efecto (**Cuadro 16**). El valor de dispersabilidad se ha correlacionado, de manera indirecta, al grado de desnaturalización de las proteínas de un alimento procesado; un valor

de dispersabilidad alto indica una menor desnaturalización de las proteínas (Visser y Thomas 1987). Los resultados obtenidos en el presente trabajo indican que el proceso de germinación no provocó la desnaturalización de las proteínas el cual es un parámetro funcional utilizado en la formulación de varios productos alimenticios. Sin embargo, no se apreciaron diferencias significativas entre **HAC** y **HAEO** (38.33 vs 40.00 %).

Las espumas se pueden considerar como dispersiones de burbujas de gas en una fase continua que puede ser líquida o semisólida; la función de las proteínas, al igual que en las emulsiones, es reducir la tensión interfacial orientando sus grupos hidrofílicos hacia el exterior de la burbuja en contacto con el agua, y los hidrofóbicos hacia el interior, con el aire (Murray y Ettalaie 2004; Castel 2010). La capacidad de formación de espuma (%) de las harinas de amaranto (**HAC**, **HAGO**, **HAEO**) y chía (**HCC**, **HCGO**) registrados en este estudio fueron: 7.45, 5.66, 5.86, 5.76 y 99.78, respectivamente (**Cuadro 16**). En el grano de amaranto ambos procesos causaron un decremento (germinación: de 7.45 a 5.66 %; extrusión: de 7.45 a 5.86%) en la capacidad de formación de espuma; por otro lado la germinación del grano de chía ocasionó un incremento significativo (de 5.76 a 99.78%) en esta propiedad funcional (**Cuadro 16**). Esto puede deberse a que las proteínas son de los principales agentes espumantes en muchos productos alimentarios, debido a que son fuertemente adsorbidas en la interfase agua-gas; sin embargo, sus propiedades de formación y estabilidad pueden ser modificadas por diversos factores (concentración y solubilidad proteínica, pH, tipo de sales y carbohidratos) además de los intrínsecos de la proteína (hidrofobicidad total y superficial, carga neta y superficial, conformación molecular y susceptibilidad al trabajo mecánico durante el espumado). Cuando se formula una espuma el interés primordial es el aumento de volumen respecto al volumen inicial y la estabilidad de la espuma a lo largo del tiempo (Cheftel y col 1989). El tamaño de las burbujas también es de gran importancia para las propiedades de las espumas, ya que influyen en la textura, palatabilidad y estabilidad de los productos aireados (Balerin y col 2007).

Así como el incremento en la formación de espuma en la **HCGO** pudiera atribuirse al tipo de proteínas de los germinados y a la solubilidad de éstas, a mayor solubilidad mayor capacidad de formación de espuma, pero se ve afectada por propiedades moleculares tales como la flexibilidad de la cadena, la densidad y distribución de la carga y la hidrofobicidad. La capacidad de la proteína para disminuir la tensión interfacial depende de su capacidad para desplegar rápidamente, reordenar y exponer sus grupos hidrófobos en la interfase. De acuerdo con su perfil de aminoácidos, las proteínas de la semilla de chía poseen una buena cantidad de aminoácidos hidrófobos, sin embargo, estos cambian durante la germinación. La espuma y la estabilidad de la espuma están influenciadas por dos conjuntos diferentes de propiedades moleculares que a menudo son antagónicas. Mientras que la primera se ve afectada por la tasa de adsorción en la interfaz aire-agua, la flexibilidad y la hidrofobicidad, ésta depende básicamente de las propiedades reológicas de la proteína, tanto en la interfase como en la masa. Estas propiedades mecánicas a su vez dependen del grado de hidratación, del espesor de la película interfacial, de la concentración de proteínas y de las interacciones intermoleculares favorables (Olivos-Lugo y col 2010).

D Propiedades nutrimentales de las harinas de amaranto y chía

El **Cuadro 17** muestra las propiedades nutrimentales [Aminoácidos esenciales (**AAE**), calificación química (**CQ**), digestibilidad proteínica *in vitro* (**DPIV**), relación de eficiencia proteínica calculada (**C-PER**)] de las harinas de amaranto y chía [**HAC** = Harina de amaranto integral crudo (sin procesar), **HAGO** = Harina de amaranto germinado optimizada, **HAEO**=Harina de amaranto extrudido optimizada, **HCC** = Harina de chía integral cruda (sin procesar) y **HCGO** = Harina de chía germinada optimizada].

En general, el contenido de aminoácidos esenciales (**AAE**) de las harinas de amaranto y chía crudos (**HAC**, **HCC**) fue mayor que el contenido recomendado por FAO (2013) para cubrir los requerimientos de **AAE** de niños (3 años y mayores), adolescentes y adultos; en **HAC** el **AAE** limitante fue Trp,

mientras que en **HCC** el **AAE** limitante fue Lys (también se observaron limitaciones en Leu, Thr, Val) (**Cuadro 17**). Otros investigadores han reportado contenidos similares de **AAE** en semillas crudas de amaranto (Amare y col 2015) y chía (Sandoval-Oliveros y Paredes-López 2013). El contenido de **AAE** de semillas de amaranto y chía se incrementó ($p < 0.05$) (6.7–57.9%) después del bioproceso de germinación; las harinas de amaranto y chía germinados optimizadas (**HAGO**, **HCGO**) no tuvieron **AAE** limitante (**Cuadro 17**). Por otro lado, el proceso de extrusión causó un ligero decremento ($p < 0.05$) en el contenido de **AAE** de semillas de amaranto; el Trp fue el **AAE** limitante en la harina de amaranto extrudido optimizada (**HAEO**).

El bioproceso de germinación incrementó la digestibilidad proteínica *in vitro* (**DPIV**) y la relación de eficiencia proteínica calculada (**C-PER**) en 4.8-11.7% y 49-57%, respectivamente, en ambas semillas (amaranto, chía) (**Cuadro 17**). El mejoramiento de la **DPIV** durante el proceso de germinación puede ser atribuido a la remoción/reducción de factores antinutricionales (ácido fítico, taninos, inhibidores enzimáticos).

Durante la germinación se presenta hidrólisis de compuestos (fitatos) que contienen fosfatos orgánicos y liberan fosfatos inorgánicos, los cuales son utilizados para el crecimiento de la planta; el rompimiento de fitatos durante la germinación se atribuye al incremento significativo de la actividad de la enzima endógena fitasa. La reducción del contenido de taninos en los germinados, al compararse con materiales crudos, ha sido bien documentado, puede atribuirse a la lixiviación de los mismos dentro del agua de remojo durante el proceso de germinación.

También durante la germinación hay una reducción de la actividad de los inhibidores enzimáticos, lo cual ocasiona un incremento en la acción de enzimas proteolíticas (tripsina, quimotripsina) (Pisarikova y col 2005; Gamel y col 2006; Shimelis y Rakshit 2007; Elizalde y col 2009). En el caso del proceso de extrusión, la **DPIV** de la semilla de amaranto (**HAC**) se incrementó debido a la destrucción de factores antinutricionales (taninos, saponinas, inhibidores de

Cuadro 17. Propiedades nutricionales de harinas de amaranto y chía

Propiedad	HAC ¹	HAGO ¹	HAEO ¹	HCC ¹	HCGO ¹	FAO ²
AAE (g/100 g proteína) ³						
His	1.96±0.04 ^D	2.62±0.05 ^B	1.85±0.05 ^E	2.06±0.02 ^C	4.07±0.04 ^A	1.6
Ile	3.81±0.05 ^{BC}	4.40±0.05 ^B	3.52±0.06 ^C	3.31±0.03 ^C	6.39±0.05 ^A	3
Leu	6.96±0.04 ^B	6.98±0.06 ^B	6.75±0.05 ^C	5.42±0.04 ^D	7.61±0.05 ^A	6.1
Lys	7.39±0.06 ^A	7.47±0.03 ^A	6.56±0.04 ^B	3.80±0.03 ^D	4.81±0.06 ^C	4.8
Met+Cys	5.28±0.02 ^C	6.54±0.04 ^A	5.08±0.03 ^D	2.95±0.04 ^E	5.73±0.04 ^B	2.3
Phe+Tyr	9.94±0.06 ^A	9.03±0.05 ^B	7.44±0.05 ^C	4.51±0.04 ^E	7.22±0.06 ^D	4.1
Thr	4.55±0.03 ^B	4.91±0.03 ^A	4.37±0.04 ^C	2.39±0.03 ^E	3.12±0.04 ^D	2.5
Trp	0.59±0.02 ^D	1.13±0.03 ^C	0.58±0.03 ^D	1.77±0.01 ^B	1.96±0.03 ^A	0.66
Val	5.49±0.04 ^C	5.95±0.05 ^B	5.22±0.04 ^D	3.83±0.02 ^E	6.51±0.06 ^A	4
Total	45.97	49.03	41.37	30.04	47.42	29.06
Calificación química	89	100	88	79	100	
AAE Limitante ³	Trp	--	Trp	Lys	--	
DPIV ⁴	76.7±1.7 ^C	85.7±1.6 ^A	81.8±0.20 ^B	79.1±1.5 ^C	82.9±1.2 ^B	
C-PER ⁵	1.72	2.7	1.83	1.54	2.3	

Medias con letra diferente en el mismo renglón indican diferencia significativa (Duncan p≤0.05);

¹ HAC= Harina de amaranto cruda, HAGO= Harina de amaranto germinado optimizada, HAEO= Harina de amaranto extrudido optimizada, HCC= Harina de chía cruda, HCGO= Harina de chía germinada optimizada;

² FAO (2013) Requerimientos de aminoácidos esenciales para niños, adolescentes y adultos (mayores de 3 años)

³ Aminoácidos esenciales

⁴ Digestibilidad proteínica *in vitro*

⁵ Relación de eficiencia proteínica calculada

tripsina y quimotripsina) y desnaturalización de las proteínas, como resultado de las condiciones aplicadas (fuerzas de corte, temperatura, humedad) durante el procesamiento (Gamel y col 2006; Elizalde y col 2009; Montoya-Rodríguez y col 2015a).

E Compuestos fenólicos y actividad antioxidante de las harinas de amaranto y chía

El **Cuadro 18** muestra el contenido de compuestos fenólicos, las actividad antioxidante y potencial antihipertensivo de las harinas de amaranto y chía: **HAC, HAGO, HAEO, HCC y HCGO**.

La germinación de semillas de amaranto y chía, en condiciones optimizadas, incrementó ($p < 0.05$) los contenidos de compuestos fenólicos libres, ligados y totales en 35-112%, 14-530% y 25-782%, respectivamente (**Cuadro 18**). Estos resultados son similares a los reportados por otros investigadores (Perales-Sánchez y col 2014; Salas-López y col 2017) quienes observaron que la germinación de semillas de amaranto (pseudo-cereal) y frijol tepari (leguminosa) incrementa contenido de compuestos fenólicos y actividad antioxidante con respecto a granos sin procesar, lo cual mejora su funcionalidad y potencial terapéutico. Estos incrementos podrían deberse a la liberación y biosíntesis de compuestos fenólicos. Durante la germinación, enzimas que degradan la pared celular (principalmente esterasas) se activan y modifican la estructura de la pared celular de la semilla, liberando compuestos fenólicos como hidroxicinamatos (p.ej. ácidos ferúlico y p-coumárico) que se ligan, por enlaces ester y éter, a los polisacáridos de la pared celular de las semillas. Adicionalmente, durante la germinación de las semillas, la biosíntesis de compuestos fenólicos es favorecida por la activación de la fenilalanina amonía liasa (enzima clave en biosíntesis de fenólicos) (Duodu 2014).

El contenido de compuestos fenólicos totales (**CFT**) se incrementó significativamente (147%) durante la producción de harina de amaranto extrudido optimizada (**HAEO**) por extrusión; los compuestos fenólicos ligados fueron la principal fracción responsable de esta mejora en **CFT** (**Cuadro 18**).

Cuadro 18. Compuestos fenólicos, actividad antioxidante y potencial antihipertensivo de harinas de amaranto y chía

Propiedad	HAC¹	HAGO¹	HAEO¹	HCC¹	HCGO¹
CFT³					
Libres	11.94±0.5 ^D	146.0±5.3 ^C	7.8±1.3 ^D	290.8±10.3 ^B	392±11.7 ^A
Ligados	16.11±0.4 ^E	101.6±6.2 ^C	61.5±1.5 ^D	254.4±12.2 ^B	291±10.6 ^A
Total	28.05±0.9 ^E	247.6±4.9 ^C	69.3±3.3 ^D	545.2±9.3 ^B	683±14.3 ^A
AAox					
ORAC					
Libres	2,134±96 ^D	11,089±187 ^B	1,675±73 ^D	10,045±545 ^C	24,767±804 ^A
Ligados	2,768±111 ^E	10,132±21 ^C	3,765±125 ^D	17,561±734 ^B	21,938±766 ^A
Total	4,902±10 ^D	21,221±69 ^C	5,440±159 ^D	27,606±811 ^B	46,704±920 ^A
ABTS²					
Libres	431±2 ^D	2,643±39 ^B	250±2 ^E	2,581±95 ^C	6,235±39 ^A
Ligados	1,755±26 ^E	2,154±15 ^C	1,843±38 ^D	4,192±32 ^B	5,455±37 ^A
Total	2,186±25 ^D	4,797±48 ^C	2,093±38 ^E	6,773±84 ^B	11,690 ±74 ^A
PAH	ND	0.49	0.42	0.45	0.33
(IC₅₀)⁴					

Los resultados se expresan como promedio ± desviación estándar; ^{A,B,C,D,E}
Medias con letra diferente en el mismo renglón indican diferencia significativa
(Duncan p≤0.05);

¹ HAC= Harina de amaranto crudo; HAGO= Harina de amaranto germinado optimizado,
HAEO= Harina de amaranto extrudida optimizada, HCC= Harina de chía cruda;
HCGO= Harina de chía germinada optimizada

² μmol equivalentes de Trolox (ET)/100 g; bs

³ mg equivalentes de ácido gálico (EAG)/100 g; bs.

Este incremento en **CFT** puede ser responsable por el incremento en **AAox** de **HAEO**. El proceso de extrusión incrementa el contenido de compuestos fenólicos debido a la ruptura de la pared celular y la liberación de compuestos fenólicos, y a la formación de productos de la reacción de Maillard que son cuantificados como compuestos fenólicos (Espinoza-Moreno y col 2016).

La aplicación de los procesos de extrusión y germinación para la producción de **HAEO**, **HAGO** y **HCGO** incrementó la **AAox** en 11, 332 y 70%, respectivamente, al compararse con semillas sin procesar (**Cuadro 18**). La **AAox** de compuestos fenólicos libres y ligados, en ambas semillas (amaranto, chía) se incrementó ($P < 0.05$) en 419-146% y 266–24.92%, respectivamente, después del proceso de germinación.

La **AAox** de **HAEO**, evaluada en compuestos fenólicos ligados y totales aplicando la metodología ORAC, se incrementó en 36 y 10.9%, respectivamente, en comparación con semillas de amaranto crudo (**HAC**). Este incremento en **AAox** podría ser resultado de la liberación de compuestos fenólicos con actividad antioxidante durante el proceso de extrusión, prevención de la oxidación de compuestos fenólicos en el producto extrudido por inactivación enzimática durante el procesamiento y a la presencia de productos de la reacción de Maillard con actividad antioxidante generados durante la extrusión de material crudo que contenía aminoácidos y azúcares reductores como el amaranto (Milán-Carrillo y col 2012; Espinoza-Moreno y col 2016).

F Potencial antihipertensivo de las harinas de amaranto y chía

El **Cuadro 18** muestra el potencial antihipertensivo de las harinas de amaranto y chía: **HAC**, **HAGO**, **HAEO**, **HCC** y **HCGO**.

El potencial antihipertensivo (**PAH**) se define como **IC₅₀** [concentración requerida (mg extracto/mL) para producir una inhibición del 50% de la actividad de la enzima Convertidora de Angiotensina (ECA)] (Reyes-Moreno y col 2014). Los compuestos fenólicos de los extractos provenientes de las semillas (amaranto, chía) procesadas (extrusión, germinación) (**HAEO**, **HAGO**, **HCGO**) tienen mejor **PAH** (valor menor de **IC₅₀**) que los extractos de compuestos

fenólicos provenientes de semillas crudas (**HAC, HCC**) (0.33 – 0.49 vs 0.45 – ND mg de extracto/mL, respectivamente) (**Cuadro 18**). Los resultados obtenidos en esta investigación están en concordancia con resultados reportados en frijol de soya (0.143 – 0.160 mg/mL) y semillas de uva (0.1 – 3.5 mg/mL). La mejora en el valor de **IC₅₀** durante la germinación y extrusión de semillas de amaranto y chía pueden deberse a la formación y/o de compuestos bioactivos (compuestos fenólicos y reacciones de Maillard) con potencial antihipertensivo. En la presente investigación se observó, en ambas semillas, un incremento en el contenido de compuestos fenólicos totales como consecuencia de la aplicación de ambos procesos (extrusión, germinación) (**Cuadro 18**). Algunos investigadores (Kwon y col 2006; Randhir y col 2008; Massarretto y col 2011) han reportado, como fuentes naturales de inhibidores de la ECA, a germinados y plántulas obtenidas de maíz, trigo, arroz y verduras. Según Massarretto y col (2011) y Al Sukor y col (2013) compuestos fenólicos como ácidos fenólicos, flavonoides, taninos y estilbenos inhiben la actividad *in vitro* de la enzima Convertidora de Angiotensina (ECA), pudiendo catalogarse como compuestos antihipertensivos. El grado de inhibición de la actividad de la ECA, depende de la absorción y metabolismo de estos compuestos, y su modo de acción están estrechamente relacionados con la clase (subclase) y la estructura de compuestos fenólicos empleados.

Los compuestos fenólicos presentes en los extractos de harinas de amaranto y chía extrudido y germinados (**HAEO, HAGO, HCGO**) podrían ser utilizados como ingredientes en bebidas o alimentos funcionales, suplementos o medicamentos naturales para reducir la incidencia de hipertensión.

G Formulación, composición nutricional, contenido energético y propiedades nutricionales de las bebidas funcionales

Las **Bebidas Funcionales 1** y **2** se desarrollaron a partir de dos Mezclas de harinas: **Mezcla 1**: 70% **HAEO** + 30% **HCGO** y **Mezcla 2**: 70% **HAGO** + 30% **HCGO**, respectivamente. El desarrollo de las **Bebidas Funcionales** se basó en la forma en que se preparan las bebidas tradicionales consumidas en México

que son hechas a partir de granos (p. ej. maíz, arroz, cebada). Se llevaron a cabo evaluaciones sensoriales para definir la cantidad de los ingredientes. La Norma estándar Mexicana NMX-F-439-1983 para alimentos y bebidas no-alcohólicas define una bebida como nutricional si contiene, al menos, 1.5% proteínas, o hidrolizado proteínico, con una calidad equivalente a la de la caseína; las bebidas deben contener entre el 10 y 25% del ingrediente principal. Estas podrían contener alrededor de 2% de etanol, edulcorantes, agentes saborizantes, dióxido de carbono, jugos, pulpa de fruta, vegetales o leguminosas u otros aditivos autorizados por la Secretaría de Salud, México. En ambos casos, **Bebidas Funcionales 1 y 2**, la formulación desarrollada originó bebidas que contienen 12.5% del ingrediente principal (**Mezcla 1** o **Mezcla 2**) y, en ambos casos, un contenido proteínico > 1.5% y con calidad proteínica similar a la caseína. Para endulzar las Bebidas 1 y 2, se utilizó edulcorante vegetal no-calórico (Stevia™) para cumplir con la recomendación de la Secretaría de Salud (México): “Una porción de 200 mL de la bebida (alimento) no debe contener más de 140 kcal”.

Una porción de 200 mL de **Bebida Funcional (Bebidas 1-2)** preparada con 25 g de **Mezcla 1** o **Mezcla 2**, contiene: 3.90-4.53 g de proteínas de buena calidad, 1.76-1.90 g lípidos, 5.04-6.81 g fibra dietaria total, y contenido energético de 95-96 kcal (**Cuadro 19**). La presencia de fibra dietaria en los alimentos tiene repercusiones significativas en la salud de los consumidores debido a que es considerada un ingrediente funcional en el combate contra la obesidad y la reducción de la incidencia de cáncer de colon (Prado-Silva y col 2014).

El contenido de aminoácidos esenciales (**AAE**) en las **Bebidas Funcionales** fue mayor que el patrón sugerido de **AAE** para cubrir los requerimientos de niños de tres años y mayores, adolescentes y adultos (FAO 2013). Una porción de 200 mL de **Bebida Funcional** cubre entre 34.8-30.0% y 20.5-23.8% de los requerimientos de proteínas para niños de 1-3 y 4-8 años, respectivamente. Su calificación química fue 100 y no presentan **AAE** limitante.

Cuadro 19. Propiedades nutrimentales, nutricionales, nutracéuticas y sensoriales de las **Bebidas Funcionales**

Composición Química	Bebida Funcional 1¹	Bebida Funcional 2²	AAE (≥ 3 años)
Proteínas	4.53 ± 0.10 ^A	3.90 ± 0.11 ^B	
Lípidos	1.76 ± 0.06 ^B	1.90 ± 0.05 ^A	
Minerales	0.91 ± 0.06 ^A	0.84 ± 0.10 ^A	
Carbohidratos	15.27 ± 0.22 ^B	15.86 ± 0.27 ^A	
Fibra Dietaria			
Soluble	0.80 ± 0.02 ^A	0.74 ± 0.02 ^B	
Insoluble	6.01 ± 0.04 ^A	4.29 ± 0.02 ^B	
Total	6.81 ± 0.03 ^A	5.04 ± 0.03 ^B	
Energía (Kcal) ³	75	76	
Nutricional			
AAE (g/100 g proteína) ⁴			
His	3.06 ± 0.05 ^A	2.52 ± 0.05 ^B	1.6
Ile	4.76 ± 0.04 ^A	4.38 ± 0.06 ^B	3
Leu	7.17 ± 0.06 ^A	7.01 ± 0.05 ^B	6.1
Lys	6.67 ± 0.04 ^A	6.04 ± 0.05 ^B	4.8
Met + Cys	6.30 ± 0.04 ^A	5.28 ± 0.03 ^B	2.3
Phe+ Tyr	8.49 ± 0.05 ^A	7.37 ± 0.05 ^B	4.1
Thr	4.37 ± 0.03 ^A	4.00 ± 0.04 ^B	2.5
Trp	1.38 ± 0.03 ^A	0.99 ± 0.03 ^B	0.66
Val	6.12 ± 0.05 ^A	5.61 ± 0.05 ^B	4
Total	48.31	43.2	29.06
Calificación química	100	100	
AAE Limitante	Ninguno	Ninguno	
DPIV (%) ⁵	83.9 ^A	80.9 ^B	
C-PER ⁶	2.69	2.52	
Nutracéuticas			
Actividad Antioxidante ⁷	6,495 ± 73.0 ^A	4,009 ± 87.0 ^B	
P Antihipertensivo ⁸ (PAH) (IC ₅₀)	0.47	0.43	
Sensorial			
Aceptabilidad Sensorial ⁹	83	85	

Los resultados se expresan como promedio ± desviación estándar ^{A-B}

Medias con letra diferente en el mismo renglón indican diferencia significativa (Duncan p≤0.05)

¹ *Bebida Funcional 1*=70% de Harina de amaranto germinado optimizada (HAGO) + 30% de harina de chíá germinada optimizada (HCGO); ² *Bebida Funcional 2*=70% de Harina de amaranto extrudido optimizada (HAEO) + 30% de harina de chíá germinada optimizada (HCGO); ³ Kcal: Kilocalorías; ⁴ AAE = Aminoácidos esenciales; ⁵ DPIV= Digestibilidad proteínica *in vitro*; ⁶ C-PER = Relación de eficiencia proteínica calculada ⁷ μmol equivalente Trolox (ET); ⁸ mg extracto / mL; ⁹ Valores entre “Me gusta mucho” y “Me gusta Extremadamente”.

Las **Bebidas Funcionales** tienen digestibilidad proteínica *in vitro* (DPIV) de 80.9-83.9 % y relación de eficiencia proteínica calculada (C-PER) de 2.52-2.69 (Cuadro 19). Las excelentes propiedades nutricionales de las **Bebidas Funcionales 1 y 2** se deben, esencialmente, al mejoramiento en la calidad de la proteína de las semillas de amaranto y chía durante el procesamiento (Cuadro 19) y al hecho de que el principal ingrediente con el cual se prepararon corresponde a mezclas de harinas de granos procesados (**Mezcla 1=70% HAEO + 30% HCGO, Mezcla 2=70% HAGO + 30% HAGO**) en lugar de harinas producidas a partir de un solo grano (**HAEO, HAGO, HCGO**).

Hay muy pocas opciones de bebidas en el mercado que ofrecen un contenido alto tanto de proteína de buena calidad como de fibra dietaria, con un contenido energético menor a 100 kcal por porción (200 mL).

H Actividad antioxidante, potencial antihipertensivo y propiedades sensoriales de las bebidas funcionales

Una porción de 200 mL de **Bebida Funcional 1 - 2** tiene una actividad antioxidante de 6,495 Y 4,009 $\mu\text{mol ET}$, respectivamente, la cual contribuye con 80-217% de las recomendaciones diarias de consumo de antioxidantes (3,000 a 5,000 $\mu\text{mol TE}$) (USDA 2010). Las **Bebidas Funcionales** también poseen potencial antihipertensivo (PAH), expresado como IC_{50} , de 0.43-0.47 mg extracto/mL (Cuadro 19). Este PAH (IC_{50}) de las **Bebidas Funcionales** se refiere básicamente a la actividad biológica [inhibición de enzima Convertidora de Angiotensina (ECA)] de los extractos de compuestos fenólicos de las **Mezclas 1 y 2**. No hay reportes en la literatura sobre la actividad inhibitoria de ACE (IC_{50}) de otras harinas funcionales preparadas a partir de mezclas de granos procesadas por extrusión y germinación.

Los panelistas evaluaron con un valor promedio de aceptabilidad (**A**) de 83-85 a las **Bebidas Funcionales** (correspondiente a un nivel de satisfacción entre “me gusta mucho” y “me gusta extremadamente”). Es muy probable que esta alta aceptabilidad otorgada a las **Bebidas Funcionales** pueda permitir un

adecuado consumo de ellas, y puedan así, proporcionar beneficios a la salud de los consumidores.

IX. CONCLUSIONES

1. Los procesos de extrusión y germinación son excelentes estrategias tecnológicas para incrementar el valor nutricional, la AAox, el contenido de CFT y el potencial antihipertensivo en semillas de chía y amaranto.

2. Las **Bebidas Funcionales** preparadas con mezclas de harinas de amaranto y chía procesadas por extrusión y germinación presentan un contenido alto tanto de proteínas de buena calidad como de fibra dietaria, con un contenido calórico inferior a 100 kcal y una aceptabilidad sensorial alta.

3. Las **Bebidas Funcionales** presentaron una actividad antioxidante (**Bebida funcional 1: 6,495 y Bebida funcional 2: 4,009 $\mu\text{mol ET}/100\text{ g de muestra}$**) un potencial antihipertensivo altos (**Bebida funcional 1: 0.47 y Bebida funcional 2: 0.43 mg extracto/mL**) comparados con las harinas por separado.

4. Las **Bebidas Funcionales**, con valor nutricional y potencial nutracéutico altos pueden ser utilizadas para la promoción de la salud y como una alternativa a bebidas con valor nutricional bajo y contenido calórico alto que son las que predominan en un mercado de consumidores con significativas incidencias o tendencias al sobrepeso/obesidad y enfermedades crónico degenerativas como la hipertensión.

X. BIBLIOGRAFÍA

- Abbasi BH, Stiles AR, Saxena PK, Liu CZ. 2012.** Gibberellic acid increases secondary metabolite production in *Echinacea purpurea* hairy roots. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 2012;168(7):2057–2066.
- Adom K.K, Liu R.H. 2002.** Antioxidant activity of grains. *Journal of agricultural and food chemistry* 50 (21):6182-6187.
- Aguayo-Rojas J, Mora-Rochín S, Cuevas-Rodríguez E.O, Serna-Saldivar S.O, Gutierrez-Uribe J.A, Reyes-Moreno C, Milán-Carrillo J. 2012.** Phytochemicals and antioxidant capacity of tortillas obtained after lime-cooking extrusion process of whole pigmented mexican maize. *Plant foods for human nutrition* 67 (2):178-185.
- Alonso R, Rubio L, Muzquiz M, Marzo F. 2001.** The effect of extrusion cooking on mineral bioavailability in pea and kidney bean seed meals. *Animal Feed Science and Technology* 94 (1):1-13.
- Alvarez-Jubete L, Winjngaard H, Arendt EK, Gallagher E. 2010.** Polyphenol composition and *in vitro* antioxidant activity of amaranth, quinoa and buckwheat as affected by sprouting and bread baking. *Food Chemistry* 119:770-778
- Ames B.N, Shigenaga M.K, Hagen T.M. 1993.** Oxidants, antioxidants, and the degenerative diseases of aging. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 90 (17):7915-7922.
- Añón M.C, Puppo M.C, Pedroza-Islas R, Oliete B, Villagómez-Zavala D. 2009.** Valor nutricional y saludable de materias primas para la elaboración de productos de panificación. Aspectos nutricionales y saludables de los productos de panificación 71.
- Aphalo P, Martínez E.N, Añón M.C. 2009.** Structural modifications of amaranth proteins during germination. *The protein journal* 28 (3-4):131-138.
- Arai S. 1996.** Studies on functional foods in Japan state of the art. *Bioscience, biotechnology, and biochemistry* 60 (1):9-15.
- Arenas-Carvajal R, Pachón-Gómez E, Méndez-Callejas G, Guzmán-Avendaño A. 2009.** Estudio del efecto inhibitorio de extractos de *salvia scutellarioides* sobre

la actividad de la enzima convertidora de angiotensina. *Universitas SCIENTIARUM* 14 (2-3), 141-150.

Argüelles-López D. 2012. “Bebida nutracéutica con potencial antioxidante y alto contenido de fenólicos a base de harinas de maíz (*Zea mays* L) MCP y garbanzo (*Cicer arietinum* L) tostados” [Maestría]. Culiacán, Sinaloa Universidad Autónoma de Sinaloa 217.

Arts M.J, Dallinga J.S, Voss H.P, Haenen G.R, Bast A. 2004. A new approach to assess the total antioxidant capacity using the TEAC assay. *Food Chemistry* 88 (4):567-570.

Ayerza R, Coates W. 2001. Chia Seeds: New source of omega-3 fatty acids, natural antioxidants, and dietetic fiber. southwest center for natural products research and commercialization, *Office of Arid Lands Studies*, Tucson, AZ, USA.

Balerin C, Aymard P, Ducept F, Vaslin S, Cuvelier G. 2007. Effect of formulation and processing factors on the properties of liquid food foams. *Journal of Food Engineering* 78 (3):802-809.

Barrera-Cruz A, Rodríguez-González A, Molina-Ayalab MA. 2013. Escenario actual de la obesidad en México. *Revista Médica del Instituto Mexicano del Seguro Social* 51, 292-299.

Barzilai A, Yamamoto KI. 2004. DNA damage responses to oxidative stress. *DNA repair* 3 (8):1109-1115.

Becerra R. 2000. El amaranto: Nuevas tecnologías para un antiguo cultivo. *Biodiversitas* 30 1-6.

Belton P.S, Taylor J.R. 2002. Pseudocereals and less common cereals: grain properties and utilization potential, *Springer Science & Business Media*

Bigelow C.C. 1967. On the average hydrophobicity of proteins and the relation between it and protein structure. *Journal of Theoretical Biology* 16 (2):187-211.

Błaszczak W, Misharina T.A, Fessas D, Signorelli M, Górecki A.R. 2013. Retention of aroma compounds by corn, sorghum and amaranth starches. *Food research international* 54 (1):338-344.

Bochicchio R, Philips TD, Lovelli S, Labella R, Galgano F, Di-Marisco A, Perniola M, Amato M. 2015. Innovative crop productions for healthy food: the

case of chia (*Salvia hispanica* L.). In: *The Sustainability of Agro-Food and Natural Resource Systems in the Mediterranean Basin*, (A. Vastola eds). Springer, Rome, Italy.

- Boller T, Felix G. 2009.** A renaissance of elicitors: perception of microbe-associated molecular patterns and danger signals by pattern-recognition receptors. *Annual review of plant biology* 60 379-406.
- Box HC, Freund HG, Budzinski EE, Wallace JC, MacCubbin AE. 1995.** Free radical-induced double base lesions. *Radiation research* 141 (1):91-94.
- Bradford K.J. 1990.** A water relations analysis of seed germination rates. *Plant Physiology* 94 (2):840-849.
- Brand-Williams W, Cuvelier M.E, Berset C. 1995.** Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food science and Technology* 28 (1):25-30.
- Bressani R. 1994.** Composition and nutritional properties of amaranth. *Amaranth: biology, chemistry and technology*. CRC Press, Boca Raton 185-205.
- Bressani R. 1995.** Amarantho: composición química y valor nutritivo del grano. In: *AGROINDUSTRIA RURAL, Recursos Técnicos y Alimentación*, (F. Boucher and J. Muchnik, Eds.), Pp. 83-114. IICA, Costa Rica.
- Bressani R. 2006.** Estudios sobre la industrialización del grano de amaranto: caracterización química y nutricional de productos intermedios y finales del procesamiento. *Proyecto FODECYT (23-2002)*:
- Buenrostro Rodríguez R, Jiménez Vera V, Martínez-Manrique E. 2016.** Efecto de la germinación de semillas de chía (*Salvia Hispánica* L.) sobre su calidad nutrimental. Vol. 1 (2):7-12.
- Cai Y.Z, Corke H, Wu HX. 2004.** AMARANTH. In: *Encyclopedia of grain science*, (C. Wrigley, H. Corke and C.E. Walker). Pp. 2-10. *Elsevier, Amsterdam*, The Netherlands.
- Calderon E, Gonzalez J, Bressani R. 2006.** Características agronómicas, físicas, químicas y nutricias de quince variedades de amaranto. Turrialba (IICA).
- Campos-Nonato I, Hernández-Barrera L, Rojas-Martínez R, Pedroza A, Medina-García C, Barquera-Cervera S. 2013.** Hipertensión arterial: prevalencia,

diagnóstico oportuno, control y tendencias en adultos mexicanos. *Salud Pública de México* 55:S144-S150.

Canella M. 1978. Whipping properties of sunflower protein dispersions. *LWT-Food science and Technology* 11 259-263.

Capitani M.I, Ixtaina V.Y, Nolasco S.M, Tomás M.C. 2013. Microstructure, chemical composition and mucilage exudation of chia (*Salvia hispanica* L.) nutlets from Argentina. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 93 (15):3856-3862.

Caselato-Sousa V.M, Amaya-Farfán J. 2012. State of knowledge on amaranth grain: a comprehensive review. *Journal of food science* 77 (4):R93-R104.

Castañeda J.G, Torres I.A, Borodanenko A, Monsivais A.C. 2003. Efecto de la Época de Cosecha en las Características Físicas, Químicas y Funcionales del Amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*).

Castel M.V. 2010. “Estudio de las propiedades funcionales, tecnológicas y fisiológicas de las proteínas de amaranto”. *Journal of food science* 77 (5):R88-R104.

Cefla M, Klever O. 2015. Diseño de una planta para la extracción de aceite vegetal comestible de las semillas de chía (*Salvia Hispanical*) mediante prensado Quito, 2015.

Cencic A, Chingwaru W. 2010. The role of functional foods, nutraceuticals, and food supplements in intestinal health. *Nutrients* 2 (6):611-625.

Céspedes A.L. 2017. Efectos del tiempo y concentración de peróxido de hidrogeno alcalino (H_2O_2) en las propiedades funcionales de la cáscara de uva Italia (*Vitis vinífera* L) proveniente de la elaboración de vino blanco. *CIENCIA & DESARROLLO* (16): 123-126

Cevallos M, Nancy M. 2015. Efecto de la adición de semillas de chía (*Salvia hispanica* L.) en las características físicas, químicas y sensoriales del yogur natural. *CIENCIA & DESARROLLO* (17): 113-120

Chaparro-Rojas D, Pismag-Portilla R, Elizalde-Correa A, Vivas-Quila N, Erazo-Caicedo C. 2010. Efecto de la germinación sobre el contenido y digestibilidad de proteína en semillas de amaranto, quinua, soya y guandul. *Bioteología en el sector agropecuario y agroindustrial* 8 (1):35-42.

- Coates A.W. 2006.** Chía, redescubriendo un olvidado alimento de los aztecas. En: Buenos Aires. Argentina: *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 102.
- Coates W. 2013.** CHIA: El increíble supernutriente. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 118.
- Contra H.S, Estrada L.R, Chávez A.G, Hernández H. 2008.** El sistema renina-angiotensina-aldosterona y su papel funcional más allá del control de la presión arterial. *Revista Mexicana de Cardiología* 19 (1):21-29.
- Contreras-Jiménez B, Morales-Sanchez E, Reyes-Vega M y Gaytán-Martínez M. 2014.** Propiedades funcionales de harinas de maíz nixtamalizado obtenidas por extrusión a baja temperatura. *CyTA-Journal of Food* 12 (3):263-270.
- Cook N, Samman S. 1996.** Flavonoids—chemistry, metabolism, cardioprotective effects, and dietary sources. *The Journal of nutritional biochemistry* 7 (2):66-76.
- Charoenthaikij P, Jangchud K, Jangchud A, Piyachomkwan K, Tungtrakul P, Prinyawiwatkul W. 2009.** Germination conditions affect physicochemical properties of germinated brown rice flour. *Journal of food science* 74 (9):
- Chauhan A, Saxena D, Singh S. 2015.** Total dietary fibre and antioxidant activity of gluten free cookies made from raw and germinated amaranth (*Amaranthus* spp.) flour. *LWT-Food science and Technology* 63 (2):939-945.
- Cheftel J-C, Lorient D, Cuq J.L. 1989.** Proteínas alimentarias: bioquímica-propiedades funcionales-valor nutricional-modificaciones químicas, *LWT-Food science and Technology* 23 (2):139-145.
- Corbo MR, Bevilacqua A, Petruzzi L, Casanova FP, Sinigaglia M. 2014.** Functional beverages: The emerging side of functional foods. *Comprehensive Reviews in food science and food safety* 13 (6):1192-1206.
- Costantini L, Lukšič L, Molinari R, Kreft I, Bonafaccia G, Manzi L, Merendino N. 2014.** Development of gluten-free bread using tartary buckwheat and chia flour rich in flavonoids and omega-3 fatty acids as ingredients. *Food Chemistry* 165 232-240.

- Criollo-Navas L.M, Nacipucha-Mayancela D.N. 2015.** Efecto normolipemiante de los omegas presentes en la semilla de chía (salvia hispánica) en ratas wistar [Maestría].Universidad de Guayaquil. Facultad Ciencias Químicas.
- Czaplicki S, Ogrodowska D, Zadernowski R, Derewiaka D. 2012.** Characteristics of biologically-active substances of amaranth oil obtained by various techniques. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences* 62 (4):235-239.
- Da Silva Marineli R, Moraes É.A, Lenquiste S.A, Godoy A.T, Eberlin M.N , Maróstica Jr M.R. 2014.** Chemical characterization and antioxidant potential of Chilean chia seeds and oil (Salvia hispanica L.). *LWT-Food science and Technology* 59 (2):1304-1310.
- Dalle-Donne I, Giustarini D, Colombo R, Rossi R, Milzani A. 2003.** Protein carbonylation in human diseases. *Trends in molecular medicine* (4):169-176.
- De la Paz-Salgado M, Orozco MC, Cedillo D.C. 2006.** Estudio comparativo en el contenido de fibra dietética de la semilla de chia y otras fuentes de fibra convencionales *LWT-Food science and Technology* 31 (2):1304-1310.
- De la Rosa A.B, Fomsgaard I.S, Laursen B, Mortensen A.G, Olvera-Martínez L, Silva-Sánchez C, Mendoza-Herrera A, González-Castañeda J, De León-Rodríguez 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 (1):117-121.
- De la Rosa A.B, Montoya A.B, Martínez-Cuevas P, Hernández-Ledesma B, León-Galván M, De León-Rodríguez A y González C. 2010.** Tryptic amaranth glutelin digests induce endothelial nitric oxide production through inhibition of ACE: antihypertensive role of amaranth peptides. *Nitric oxide* 23 (2):106-111.
- De Ruiz C, Bressani R. 1990.** Effect of germination on the chemical composition and nutritive value of amaranth grain. *Cereal Chemistry* 67 (6):519-522.
- Delgado-Nieblas C, Aguilar-Palazuelos E, Gallegos-Infante A, Rocha-Guzmán N, Zazueta-Morales J, Caro-Corrales J. 2012.** Characterization and optimization of extrusion cooking for the manufacture of third-generation snacks with winter squash (*Cucurbita moschata* D.) flour. *Cereal Chemistry* 89 (1):65-72.

- Delgado-Olivares L, Betanzos-Cabrera G, Sumaya-Martínez T. 2010.** Importancia de los antioxidantes dietarios en la disminución del estrés oxidativo. *Investigación y ciencia* 18 (50):
- Dewanto V, Wu X, Ruh L. 2002.** Processed sweet corn has higher antioxidant activity before and after cooking in sweet and bitter chenopodium quinoa seeds. *Journal of agricultural and food chemistry* 50 4959-4964.
- Di Sapio O, Bueno M, Busilacchi H, Quiroga M, Severin C. 2012.** Caracterización morfoanatómica de hoja, tallo, fruto y semilla de *Salvia hispanica* L. (Lamiaceae). *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas* 11 (3):16-120
- Di Sapio O, Bueno M, Busilacchi H, Severin C. 2008.** Chía: importante antioxidante vegetal. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas* 11 (3): 116-120
- Dizdaroglu M. 1991.** Chemical determination of free radical-induced damage to DNA. *Free Radical Biology and Medicine* 10 (3):225-242.
- Donoghue M, Hsieh F, Baronas E, Godbout K, Gosselin M, Stagliano N, Donovan M, Woolf B, Robison K, Jeyaseelan R. 2000.** A novel angiotensin-converting enzyme-related carboxypeptidase (ACE2) converts angiotensin I to angiotensin 1-9. *Circulation research* 87 (5):e1-e9.
- Doria J. 2010.** Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. *Cultivos Tropicales* 31 (1):00-00.
- Dziedzic J. 1989.** Single-screw and twin-screw extruders in food-processing. *Food Technology* 43 (4):164-174.
- El Sohaimy S. 2012.** Functional foods and nutraceuticals-modern approach to food science. *World Applied Sciences Journal* 20 (5):691-708.
- Elizalde A.D, Porrilla Y.P, Chaparro D.C. 2009.** Factores antinutricionales en semillas. *Bioteconología en el sector agropecuario y agroindustrial* 7 (1): 114-116
- Elmalik M, Klopfenstein C, Hosney R, Bates L. 1986.** Effects of germination of the nutritional quality of sorghum grain with contrasting kernel characteristics. *Nutrition reports international* 34 (6):941-950.

- Elwyn R.I, Schoofs L, Williams A.T, Veelaert D, Sajid M, Corvol P, Coates D. 1998.** A novel peptide-processing activity of insect peptidyl-dipeptidase A (angiotensin I-converting enzyme): the hydrolysis of lysyl-arginine and arginyl-arginine from the C-terminus of an insect prohormone peptide. *Biochemical Journal* 330 (1):61-65.
- Epe B, Pflaum M, Boiteux S. 1993.** DNA damage induced by photosensitizers in cellular and cell-free systems. *Mutation Research/Genetic Toxicology* 299 (3):135-145.
- Erdős E. 1990.** Angiotensin I converting enzyme and the changes in our concepts through the years. Lewis K. Dahl memorial lecture. *Hypertension* 16 (4):363-370.
- Espinoza-Moreno RJ, Reyes-Moreno C, Milán-Carrillo J, López-Valenzuela JA, Paredes-López O, Gutiérrez-Dorado R. 2016.** Healthy ready-to-eat expanded snack with high nutritional and antioxidant value produced from whole amarantin transgenic maize and black common bean. *Plant Foods for Human Nutrition* 71,218–224.
- FAO. 2005.** The State of Food Insecurity in the World 2004. Rome: FAO.
- FAO. 2013.** Findings and Recommendations of the 2011 FAO Expert Consultation on Protein Quality Evaluation in Human Nutrition. En: "Dietary Protein Quality Evaluation in Human Nutrition: Report of a FAO Expert Consultation." FAO Food and Nutrition Paper 92. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, chapter 4, pp. 29.
- Fellows P.J. 2009.** Food processing technology: principles and practice, *Elsevier* pp. 21.
- Fidantsi A, Doxastakis G. 2001.** Emulsifying and foaming properties of amaranth seed protein isolates. *Colloids and surfaces B: Biointerfaces* 21 (1):119-124.
- Fritz M, Vecchi B, Rinaldi G, Añón M.C. 2011.** Amaranth seed protein hydrolysates have in vivo and in vitro antihypertensive activity. *Food Chemistry* 126 (3):878-884.
- Fu X, Mueller DM, Heinecke JW. 2002.** Generation of intramolecular and intermolecular sulfenamides, sulfinamides, and sulfonamides by hypochlorous

acid: a potential pathway for oxidative cross-linking of low-density lipoprotein by myeloperoxidase. *Biochemistry* 41 (4):1293-1301.

Fuentes-Aguilar G. 2012. Propiedades funcionales de la harina de semillas de Chia (*Salvia hispanica* L) y su efecto sobre las propiedades fisicoquímicas y microscópicas en un batido cárnico. [Tesis de Maestría]. Iztapalapa: Universidad Autónoma Metropolitana. 76.

Gamel T.H, Linssen J.P, Mesallem A.S, Damir A.A, Shekib L.A. 2005. Effect of seed treatments on the chemical composition and properties of two amaranth species: starch and protein. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 85 (2):319-327.

Gamel T.H, Linssen J.P, Mesallam A.S, Damir A.A, Shekib L.A. 2006. Effect of seed treatments on the chemical composition of two amaranth species: oil, sugars, fibres, minerals and vitamins. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 86 (1):82-89.

Gámez-Valdez C. 2017. Efecto del Extrusión sobre Actividad Antioxidante y Compuestos Fenólicos de Semillas de Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). Optimización del Porceso. [[Tesis de Maestría]]. Sinaloa, México Universidad Autónoma de Sinaloa 132 p.

Gani A, Wani S, Masoodi F, Hameed G. 2012. Whole-grain cereal bioactive compounds and their health benefits: a review. *J Food Process Technol* 3 (3):146-56.

Goldstein J.L. 1995. Familial hypercholesterolaemia. *The metabolic and molecular bases of inherited disease* 1981-2030.

Gómez-Favela M.A, Gutiérrez-Dorado R, Cuevas-Rodríguez E.O, Canizalez-Román V.A, León-Sicairos C, Milán-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* 1-8.

Gómez L, Jacoby E, Ibarra L, Lucumí D, Hernandez A, Parra D, Florindo A, Hallal P. 2010. Patrocinio de programas de actividad física por parte de la

industria de bebidas azucaradas: ¿salud pública o relaciones públicas?. *SciELO* 10: 15, 24-28.

González A, Martínez M.L, Paredes A.J, León A.E, Ribotta P.D. 2016. Study of the preparation process and variation of wall components in chia (*Salvia hispanica* L.) oil microencapsulation. *Powder Technology* 301 868-875.

González R, Carrara C, Tosi E, Añón M, Pilosof A. 2007. Amaranth starch-rich fraction properties modified by extrusion and fluidized bed heating. *LWT-Food science and Technology* 40 (1):136-143.

González R.G, Hernández A.D, Portillo J.A. 2015. Visión panorámica de las enfermedades crónico-degenerativas. *Revista Internacional de Acupuntura* 9 (2):57-69.

Gropper S, Smith J 2012. Advanced nutrition and human metabolism, Cengage Learning (2):89-99.

Grune T, Davies K. 1997. Breakdown of oxidized proteins as a part of secondary antioxidant defenses in mammalian cells. *Biofactors* 6 (2):165-172.

Guerrero L, Castillo J, Quiñones M, Garcia-Valverde S, Arola L, Pujadas G, Muguerza B. 2012. Inhibition of Angiotensin-Converting Enzyme Activity by Flavonoids: Structure-Activity relationship studies PLoS ONE 7(11): e49493. doi:10.1371/journal.pone.0049493.

Guiotto E, Ixtaina V, Tomás M, Nolasco S. 2011. Moisture-dependent physical properties of chia (*Salvia hispanica* L.) seeds. *Transactions of the ASABE* 54 (2):527-533.

Guzmán-Maldonado S, Paredes-Lopez O. 1998. Functional products of plants indigenous to Latin America: amaranth, quinoa, common beans, and botanicals. *Functional foods. Biochemical and processing aspects* 293-328.

Halliwell B. 1995. Antioxidant characterization: methodology and mechanism. *Biochemical pharmacology* 49 (10):1341-1348.

Han H, Baik B.K. 2008. Antioxidant activity and phenolic content of lentils (*Lens culinaris*), chickpeas (*Cicer arietinum* L.), peas (*Pisum sativum* L.) and soybeans (*Glycine max*), and their quantitative changes during processing. *International journal of food science & technology* 43 (11):1971-1978.

- He H-P, Cai Y, Sun M, Corke H. 2002.** Extraction and purification of squalene from Amaranthus grain. *Journal of agricultural and food chemistry* 50 (2):368-372.
- Heckman M, Sherry K, Mejia D, Gonzalez E. 2010.** Energy drinks: an assessment of their market size, consumer demographics, ingredient profile, functionality, and regulations in the United States. *Comprehensive Reviews in food science and food safety* 9 (3):303-317.
- Hejazi SN, Orsat V, Azadi B, Kubow S. 2016.** Improvement of the in vitro protein digestibility of amaranth grain through optimization of the malting process. *Journal of Cereal Science* 68 59-65.
- Herchi W, Bahashwan S, Sebei K, Saleh HB, Kallel H, Boukhchina S. 2015.** Effects of germination on chemical composition and antioxidant activity of flaxseed (*Linum usitatissimum* L) oil. *Grasas y Aceites* 66 (1):057.
- Hernández-Acosta E, García-Gallegos E, Ramírez-Téllez J. 2014.** Caracterización de suelos cultivados con amaranto y algunos aspectos agronómicos de la planta. *Revista mexicana de ciencias agrícolas* 5 (3):421-431.
- Hernández G, Herrerías G. 1998.** Amaranto: Historia y promesa. Horizonte del tiempo. Patrimonio Histórico de Tehuacán AC México 529.
- Hevia F, Berti M, Wilckens R. 2002.** Contenido de proteína y algunas características del almidón en semillas de Amaranto (*Amaranthus* spp.) cultivado en Chillan, Chile. *Agro sur* 30 (1):24-31.
- Hidalgo M, Güemes M. 2011.** Nutrición del preescolar, escolar y adolescente. *Pediatría integral* 15 (4):351-368.
- Huerta-Ocampo J, Barba de la Rosa A. 2011.** Amaranth: a pseudo-cereal with nutraceutical properties. *Current Nutrition & Food Science* 7 (1):1-9.
- Huffman V, Lee C, Burns E. 1975.** Selected functional properties of sunflower meal (*Helianthus annuus*). *Journal of food science* 40 70-74.
- Ignat I, Volf I, Popa V.I. 2011.** A critical review of methods for characterisation of polyphenolic compounds in fruits and vegetables. *Food Chemistry* 126 (4):1821-1835.
- Ilo S, Berghofer E. 2003.** Kinetics of lysine and other amino acids loss during extrusion cooking of maize grits. *Journal of food science* 68 (2):496-502.

- INSP. 2013.** Encuesta nacional de salud y nutrición 2012. Cuernavaca, México: Instituto Nacional de Salud Pública. Available in: encuestas.insp.mx
- Irving D, Betschart, A, Saunders, R. 1981.** Morphological studies on *Amaranthus cruentus*. *Journal of food science* 46 (4):1170-1174.
- Isaza M, Hipólito J. 2007.** Taninos o polifenoles vegetales. *Scientia y technica* 13 (33):
- Jiménez-Corona A, Aguilar-Salinas CA, Rojas-Martínez R, Hernández-Ávila M. 2013.** Diabetes mellitus tipo 2 y frecuencia de acciones para su prevención y control. *Salud pública de México* 55 S137-S143.
- Jiménez C.I, Martínez E.Y, Fonseca J.G. 2009.** Flavonoides y sus acciones antioxidantes. *Rev Fac Med UNAM* 52 (2):73-75.
- Kabirullah M, Wills R. 1983.** Characterization of sunflower protein. *Journal of agricultural and food chemistry* 31 16-19.
- Keservani R.K, Sharma A.K, Ahmad F, Baig M.E. 2014.** Nutraceutical and functional food regulations in India. *Food Sci Technol* 327-342.
- Khan M.A, Abbasi B.H, Ahmed N, Ali H. 2013.** Effects of light regimes on in vitro seed germination and silymarin content in *Silybum marianum*. *Industrial Crops and Products* 46 105-110.
- Khang D.T, Dung T.N, Elzaawely A.A, Xuan T.D. 2016.** Phenolic profiles and antioxidant activity of germinated legumes. *Food science and technology* 5 (2):27.
- Khattak A.B, Zeb A, Bibi N, Khalil S.A, Khattak MS. 2007.** Influence of germination techniques on phytic acid and polyphenols content of chickpea (*Cicer arietinum* L.) sprouts. *Food Chemistry* 104 (3):1074-1079.
- Klimczak I, Malecka M, Pacholek B. 2002.** Antioxidant activity of ethanolic extracts of amaranth seeds. *Nahrung/Food* 46 (3):184.
- Knorr D, Froehling A, Jaeger H, Reineke K, Schlueter O, Schoessler K. 2011.** Emerging technologies in food processing. *Annual review of food science and technology* 2 203-235.
- Lamothe .M, Srichuwong S, Reuhs B.L, Hamaker B.R. 2015.** Quinoa (*Chenopodium quinoa* W.) and amaranth (*Amaranthus caudatus* L.) provide

dietary fibres high in pectic substances and xyloglucans. *Food Chemistry* 167 490-496.

Lintschinger J, Fuchs N, Moser H, Jäger R, Hlebeina T, Markolin G y Gössler W.

1997. Uptake of various trace elements during germination of wheat, buckwheat and quinoa. *Plant Foods for Human Nutrition (Formerly Qualitas Plantarum) Food Chemistry* 50 (3):223-237.

Liu RH. 2007. Whole grain phytochemicals and health. *Journal of Cereal Science* 46 (3):207-219.

Mamilla RK, Mishra VK. 2017. Effect of germination on antioxidant and ACE inhibitory activities of legumes. *LWT – Food Science and Technology* 75, 51-58.

Manach C, Scalbert A, Morand C, Rémésy C, Jiménez L. 2004. Polyphenols: food sources and bioavailability. *The American journal of clinical nutrition* 79 (5):727-747.

Martínez-Cruz O, Paredes-López O. 2014. Phytochemical profile and nutraceutical potential of chia seeds (*Salvia hispanica* L.) by ultra high performance liquid chromatography. *Journal of Chromatography A* 1346 43-48.

Martínez-Valverde I, Periago M.J, Ros G. 2000. [Nutritional importance of phenolic compounds in the diet]. *Archivos latinoamericanos de nutrición* 50 (1):5-18.

Martirosyan DM, Miroshnichenko LD, Kulakova SN, Pogojeva AV. Zoloedov VI. 2007. Amaranth oil application for coronary heart disease and hypertension. *Lipids in Health and Disease* 6, 1-12.

Matsudo V, Matsudo S, Andrade D, Araujo T, Andrade E, De Oliveira L.C, Braggion G. 2002. Promotion of physical activity in a developing country: the Agita Sao Paulo experience. *Public health nutrition* 5 (1a):253-261.

Mendonça S, Saldiva, PH, Cruz RJ, Arêas JAG. 2009. Amaranth protein presents cholesterol-lowering effect. *Food Chemistry* 116, 738-742.

Mendoza C. 1925. Codex de Mendoza. Editon of Francisco del Paso y Troncoso. Mexico DF, Mexico: *Museo Nacional de Arqueología, Historia y Etnografía* 1542 1825.

Mercier C. 1993. Nutritional appraisal of extruded flours. *International Journal of Food and Sciences and Nutrition* 44 545-553.

- Middlewood PG, Carson J.K. 2012.** Extraction of amaranth starch from an aqueous medium using microfiltration: Membrane fouling and cleaning. *Journal of Membrane Science* 411 22-29.
- Midorikawa K, Murata M, Oikawa S, Hiraku Y, Kawanishi S. 2001.** Protective effect of phytic acid on oxidative DNA damage with reference to cancer chemoprevention. *Biochemical and biophysical research communications* 288 (3):552-557.
- Milán-Carrillo J, Reyes-Moreno C, Armenta-Rodelo E, Carábez-Trejo A y Mora-Escobedo R. 2000.** Physicochemical and nutritional characteristics of extruded flours. *International Journal of Food Science and Technology* 40 1-11.
- Milán-Carrillo J, Montoya-Rodríguez A, Reyes-Moreno C. 2012.** High-antioxidant capacity beverages based on extruded and roasted amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*) flour. *Hispanic foods: chemistry and bioactive compounds* 1109 199-216.
- Milán-Carrillo, J, Montoya-Rodríguez, A, Gutiérrez-Dorado, R, Perales-Sánchez, J.X.K, 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.
- Mlakar, S.G, Turinck, M, Jakop, M, Bavec, M, Bavec, F. 2010.** Grain amaranth as an alternative and perspective crop in temperate climate. *Journal of Geography* 5, 135-145.
- Monroy-Torres R, Mancilla-Escobar M.L, Gallaga-Solórzano J.C, Medina-Godoy S, Santiago-García E.J. 2008.** Protein digestibility of chia seed *Salvia hispanica* L. *Salus* 9 (1): 124-131.
- Montoya-Rodríguez A. 2011.** Nuevos productos alimenticios a partir de Amaranto (*Amaranthus hypocondriacus* L) integral. Efecto del proceso de extrusión/cocción sobre la capacidad antioxidante y niveles de fitoquímicos [Tesis de Maestría]. Culiacán: Universidad Autonoma de Sinaloa 155.
- 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.

- Montoya-Rodríguez A, Milán-Carrillo J, Reyes-Moreno C, González de Mejía E. 2015a.** Characterization of peptides found in unprocessed and extruded amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*) pepsin/pancreatin hydrolysates. *International Journal of Molecular Sciences* 16, 8536-8554.
- Montoya-Rodríguez A, Gómez-Favela MA, Reyes-Moreno C, Milán-Carrillo J González de Mejía E. 2015b.** 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.
- Mora-Escobedo R, Paredes-Lopez O, Dominguez J. 1991.** Optimization of a germination procedure by response surface methodology. *Lebensmittel-Wissenschaft Technologie* 24 (6):518-522.
- Mora-Escobedo R, Paredes-López O. 1994.** Effect of germination on the rheological and functional properties of amaranth seeds. *LWT-Food science and Technology* 24 241:244.
- Mora-Rochin S, Gutiérrez-Uribe J.A, Serna-Saldivar S.O, Sánchez-Peña P, Reyes-Moreno C, Milán-Carrillo J. 2010.** Phenolic content and antioxidant activity of tortillas produced from pigmented maize processed by conventional nixtamalization or extrusion cooking. *Journal of Cereal Science* 52 (3):502-508.
- Muñoz L.A, Cobos A, Diaz O, Aguilera J.M. 2013.** Chia seed (*Salvia hispanica*): an ancient grain and a new functional food. *Food reviews international* 29 (4):394-408.
- Murray B.S, Ettelaie R. 2004.** Foam stability: proteins and nanoparticles. *Current Opinion in Colloid & Interface Science* 9 (5):314-320.
- Musa A, Oladiran JA, Ezenwa MI, Akanya HO, Ogbadoyi EO. 2011.** Effect of heading on some micronutrients, anti-nutrients and toxic substances in *Amaranthus cruentus* grown in Minna, Niger State, Nigeria. *American Journal of Food and Nutrition* 1 (4):147-154.

- Nitrayová S, Brestenský M, Heger J, Patráš P, Rafay J, Sirotkin A. 2014.** Amino acids and fatty acids profile of chia (*Salvia hispanica* L.) and flax (*Linum usitatissimum* L.) seed. *Potravinarstvo* 8 (1):72-76.
- Ogrodowska D, Czaplicki S, Zadernowski R, Mattila P, Hellström J, Naczka M. 2012.** Phenolic acids in seeds and products obtained from *Amaranthus cruentus*. *Journal of Food and Nutrition Research* (Slovak Republic) 64 (3):153-165.
- Ogrodowska D, Zadernowski R, Czaplicki S, Derewiaka D, Wronowska B. 2014.** Amaranth seeds and products—the source of bioactive compounds. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences* 64 (3):165-170.
- Olivos-Lugo B, Valdivia-López M, Tecante A. 2010.** Thermal and physicochemical properties and nutritional value of the protein fraction of Mexican chia seed (*Salvia hispanica* L.). *Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos* 16 (1):89-96.
- Oparil S, Weber M.A, Hernández L.G, Aznar P.L, Roig F.G, Abraham K. 2002.** Hipertensión: el riñón, de Brenner y Rector, *McGraw-Hill Interamericana*, pp. 224.
- Orona-Tamayo D, Valverde ME, Nieto-Rendón B, Paredes-López O. 2015.** Inhibitory activity of chia (*Salvia hispanica* L.) protein fractions against angiotensin I-converting enzyme and antioxidant capacity. *LWT - Food Science and Technology* doi: 10.1016/j.lwt.2015.05.033
- Orona-Tamayo D, Paredes-López O. 2017.** Amaranth-Sustainable crop for the 21st century: food properties, and nutraceuticals for improving human health. In: *Sustainable Protein Sources* (Sudarshan Nadathur, Eds.), Pp 239-256. Elsevier.
- Ou B, Huang D, Hampsch-Woodill M, Flanagan J.A, Deemer E.K. 2002.** Analysis of antioxidant activities of common vegetables employing oxygen radical absorbance capacity (ORAC) and ferric reducing antioxidant power (FRAP) assays: a comparative study. *Journal of agricultural and food chemistry* 50 (11):3122-3128.

- Ozturk I, Sagdic O, Hayta M, Yetim H. 2012.** Alteration in α -tocopherol, some minerals, and fatty acid contents of wheat through sprouting. *Chemistry of Natural Compounds* 47 (6):876-879.
- Paiva E.P, Torres S.B, Sá F.S, Nogueira N.W, Freitas R.M, Leite M.S. 2016.** Light regime and temperature on seed germination in *Salvia hispanica* L. *Acta Scientiarum. Agronomy* 38 (4):513-519.
- Pandal N. 2017.** Nutraceuticals: global markets, *Market Research Reports*, bcc Research
- Pavlik V. 2011.** The revival of amaranth as a third millennium food. *Neuroendocrinology Letters* 3, 3-4.
- Pandey KB, Rizvi SI. 2009.** Plant polyphenols as dietary antioxidants in human health and disease. *Oxidative medicine and cellular longevity* 2 (5):270-278.
- Paredes-López O, Mora-Escobedo R. 1989.** Germination of amaranth seeds: effects on nutrient composition and color. *Journal of food science* 54 (3):761-762.
- Paśko P, Bartoń H, Zagrodzki P, Gorinstein S, Fołta M, Zachwieja Z. 2009.** Anthocyanins, total polyphenols and antioxidant activity in amaranth and quinoa seeds and sprouts during their growth. *Food Chemistry* 115 (3):994-998.
- Pasko P, Gdula-Argasinska J, Podporska-Carroll J, Quilty B, Wietecha-Posluszny R, Tyszka-Czochara M, Zagrodzki P. 2015.** Influence of selenium supplementation on fatty acids profile and biological activity of four edible amaranth sprouts as new kind of functional food. *Journal of food science and technology* 52 (8):4724-4736.
- Paucar-Menacho LM, Berhow MA, Mandarino JM, Chang YK, De Mejia EG. 2010.** Effect of time and temperature on bioactive compounds in germinated Brazilian soybean cultivar BRS 258. *Food research international* 43 (7):1856-1865.
- Peiretti P, Gai F. 2009.** Fatty acid and nutritive quality of chia (*Salvia hispanica* L.) seeds and plant during growth. *Animal Feed Science and Technology* 148 (2):267-275.
- Perales-Sánchez JXK, Reyes-Moreno C, Gómez-Favela MA, Milán-Carrillo J, Cuevas-Rodríguez EO, Valdez-Ortiz A, Gutiérrez-Dorado R. 2014.** Increasing

- the antioxidant activity, and total phenolic and flavonoid contents by optimizing the germination conditions of amaranth seeds. *Plant Foods for Human Nutrition* 69, 196-202.
- Pérez-Navarrete C, Betancur-Ancona D, Casotto M, Carmona A, Tovar J. 2007.** Efecto de la extrusión sobre la biodisponibilidad de proteína y almidón en mezclas de harinas de maíz y frijol lima. *Archivos latinoamericanos de nutrición* 57 (3):278.
- Pilosof AM, Bartholomai GB. 2000.** Caracterización funcional y estructural de proteínas. CYTE–Eudeba, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina
- Plate AYA, Arêas JAG, 2002.** Cholesterol-lowering effect of extruded amaranth (*Amaranthus caudatus* L.) in hypercholesterolemic rabbits. *Food Chemistry* 76 (1):1-6.
- Platel K, Srinivasan K. 2016.** Bioavailability of micronutrients from plant foods: an update. *Critical reviews in food science and nutrition* 56 (10):1608-1619.
- Poornanda M. Naik y Jameel M. Al–Khayri. 2016.** Abiotic and Biotic Elicitors–Role in Secondary Metabolites Production through In Vitro Culture of Medicinal Plants. *Agricultural and Biological Science. Recent Advances and Future Perspectives*, libro editado por Arun K. Shanker y Chitra Shanker, ISBN 978-953-51-2250-0, Publicado: Febrero 17, 2016. Con licencia CC BY 3.0.
- Popkin B.M, Armstrong L.E, Bray G.M, Caballero B, Frei B, Willett WC. 2006.** A new proposed guidance system for beverage consumption in the United States. *The American journal of clinical nutrition* 83 (3):529-542.
- Porras-Loaiza P, Jiménez-Munguía MT, Sosa-Morales ME, Palou E, López-Malo A. 2014.** Physical properties, chemical characterization and fatty acid composition of Mexican chia (*Salvia hispanica* L.) seeds. *International journal of food science & technology* 49 (2):571-577.
- Poulev A, O’Neal JM, Logendra S, Pouleva RB, Timeva V, Garvey AS, Gleba D, Jenkins IS, Halpern BT, Kneer R, Cragg GM, Raskin I. 2003.** Elicitation, a new window into plant chemodiversity and phytochemical drug discovery. *Journal of Medicinal Chemistry*.46: 2542–2547.

- Prior R.L, 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 (11):3273-3279.
- Ramírez-Navas J, Castro V. 2014.** Analysis of acceptance and preference of manjar blanco del valle. *Bioteconología en el sector agropecuario y agroindustrial* 12 (1):20-27.
- Ramírez-Vazquez M, Espitia-Rangel E, Carballo-Carballo A, Zepeda-Bautista R, Vaquera-Huerta H, Córdova-Téllez L. 2011.** Fertilización y densidad de plantas en variedades de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* L.). *Revista mexicana de ciencias agrícolas* 2 (6):855-866.
- Ramos Diaz J.M, Sundarajan L, Kariluoto S, Lampi A.M, Tenitz S, Jouppila K. 2016.** Effect of Extrusion Cooking on Physical Properties and Chemical Composition of Corn-Based Snacks Containing Amaranth and Quinoa: Application of Partial Least Squares Regression. *Journal of Food Process Engineering*
- Randhir R, Kwon Y-I, Shetty K. 2008.** Effect of thermal processing on phenolics, antioxidant activity and health-relevant functionality of select grain sprouts and seedlings. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 9 (3):355-364.
- Rangan U, Bulkley G. 1993.** Prospects for treatment of free radical-mediated tissue injury. *British medical bulletin* 49 (3):700-718.
- Rastogi A, Shukla S. 2013.** Amaranth: A new millennium crop of nutraceutical values. *Critical reviews in food science and nutrition* 53 (2):109-125.
- 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 (9):1231-1237.
- Reilly P, Bulkley G. 1990.** Tissue injury by free radicals and other toxic oxygen metabolites. *British journal of surgery* 77 (12):1323-1324.

- Repo-Carrasco-Valencia R, Peña J, Kallio H, Salminen S. 2009.** Dietary fiber and other functional components in two varieties of crude and extruded kiwicha (*Amaranthus caudatus*). *Journal of Cereal Science* 49, 219-224.
- Repo-Carrasco-Valencia RM, Serna LA. 2011.** Quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd.) as a source of dietary fiber and other functional components. *Food Science and Technology (Campinas)* 31 (1):225-230.
- Reyes-Moreno, C, Argüelles-López, O.D, Rochín-Medina, J.J, Milán-Carrillo, J, Rivera-López, J, Valdez-Ortiz, A, López-Valenzuela, J.A, 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 Mexican formulation. *Plant Foods for Human Nutrition*, 67: 450-456.
- Reyes-Moreno C, Ayala-Rodríguez AE, Milán-Carrillo J, Mora-Rochín S, López-Valenzuela JA, Valdez-Ortiz A, Paredes-López O, Gutiérrez-Dorado R. 2013.** Production of nixtamalized flour and tortillas from amaranth transgenic maize lime-cooked in a thermoplastic extruder. *Journal of Cereal Science* 58 (3):465-471.
- Reyes-Moreno C, Milán-Carrillo J, Valdez-Ortiz A, Delgado-Vargas F, Sánchez-Magaña LM, Gutiérrez-Dorado R. 2014.** Bebida con potencial nutracéutico elaborada con maíz QPM extrudido y frijol fermentado. *Revista Iberoamericana de Ciencias de Ciencias*
- Richter C, Park JW, Ames BN. 1988.** Normal oxidative damage to mitochondrial and nuclear DNA is extensive. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 85 (17):6465-6467.
- Rochín-Medina J. 2011.** Bebidas con Potencial Nutracéutico a partir de Mezclas de Harinas Precocidas [Tesis de Maestría]. Culiacán, Sinaloa: Universidad Autónoma de Sinaloa 138.
- Rochín-Medina J. 2014.** Bebidas y alimentos funcionales de valor nutricional/nutracéutico alto a partir del bioprocesamiento de granos integrales. Optimización por actividad antioxidante. Sinaloa, México Universidad Autónoma de Sinaloa 258 p. .

- Rochín-Medina J.J, Milán-Carrillo J, Gutiérrez-Dorado R, Cuevas-Rodríguez EO, Mora-Rochín S, Valdez-Ortiz Á, Delgado-Vargas F, Reyes-Moreno C. 2015.** Bebida funcional de valor nutricional/nutracéutico alto elaborada a partir de una mezcla de granos integrales (maíz+ garbanzo) extrudidos. *Journal of Cereal Science*
- Rodas B, Bressani R. 2009.** Contenido de aceite, ácidos grasos y escualeno en variedades crudas y procesadas de grano de amaranto. *Archivos latinoamericanos de nutrición* 59 (1):82.
- Rodríguez-Castellanos W, Martínez-Bustos F, Jiménez-Arévalo O, González-Núñez R, Galicia-García T. 2013.** Functional properties of extruded and tubular films of sorghum starch-based glycerol and Yucca Schidigera extract. *Industrial Crops and Products* 44 405-412.
- Rosado JL, Camacho-Solís R, Bourges H. 1999.** Adición de vitaminas y minerales a harinas de maíz y de trigo en México. *Salud pública de México* 41 (2):130-137.
- Saavedra OM, Vázquez ENJ, Vargas MG, Reyes GC, Bolaina EM. 2010.** Radicales libres y su papel en las enfermedades crónico-degenerativas. *Rev. Médica Univ. Veracruzana* 10 (2):32-39.
- Salas-López F, Gutiérrez-Dorado R, Milán-Carrillo J, Cuevas-Rodríguez EO, Canizalez-Román VA, León-Sicairos CR, Reyes-Moreno C. 2017.** Nutritional and antioxidant potential of a desert underutilized legume – tepary bean (*Phaseolus acutifolius*). Optimization of germination bioprocess. *Food Science and Technology (Campinas)*.
- Salawu SO, Bester MJ, Duodu KG. 2014.** Phenolic composition and bioactive properties of cell wall preparations and whole grains of selected cereals and legumes. *Journal of Food Biochemistry* 38 (1):62-72.
- Sandoval-Oliveros MR, Paredes-López O. 2012.** Isolation and characterization of proteins from chia seeds (*Salvia hispanica* L.). *Journal of agricultural and food chemistry* 61 (1):193-201.
- Sauer JD. 1967.** The grain amaranths and their relatives: a revised taxonomic and geographic survey. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 54 (2):103-137.

- Schoenlechner R, Siebenhandl S, Berghofer E. 2008.** Pseudocereals. Gluten-free cereal products and beverages. *Food Chemistry* 149-190.
- Segura ME, Rosell CM. 2011.** Chemical composition and starch digestibility of different gluten-free breads. *Plant foods for human nutrition* 66 (3):224.
- Servín-Hernández A, Trejo-Garnica Á, Sacramento-Marín C, Rosas-Flores G, Contreras-Rodríguez I.M. 2010.** Guatemala mercado potencial del amaranto natural. *Journal of agricultural and food chemistry* 51 (21):6347-6353.
- Shanlin F, Stocker R, Davies M.J. 1997.** Biochemistry and pathology of radical-mediated protein oxidation. *Biochemical Journal* 324 (1):1-18.
- Shin D, Heo H, Lee Y, Kim H. 2004.** Amaranth squalene reduces serum and liver lipid levels in rats fed a cholesterol diet. *British journal of biomedical science* 61 (1):11.
- Singh J, Kaur L, McCarthy O. 2007.** Factors influencing the physico-chemical, morphological, thermal and rheological properties of some chemically modified starches for food applications. *A review. Food Hydrocolloids* 21 (1):1-22.
- Slavin J. 2004.** Whole grains and human health. *Nutrition research reviews* 17 (01):99-110.
- Sosa A, Ruiz G, Rana J, Gordillo G, West H, Sharma M, Liu X. 2015.** La Chia Mexicana (*Salvia hispánica* L.): su historia e importancia como cultivo en el mundo. *Food Chemistry* 81-86.
- Sripriya G, Antony U, Chandra T. 1997.** Changes in carbohydrate, free amino acids, organic acids, phytate and HCl extractability of minerals during germination and fermentation of finger millet (*Eleusine coracana*). *Food Chemistry* 58 (4):345-350.
- Stanley D. 1989.** Protein reactions during extrusion processing. *Extrusion cooking* 321-341.
- Suárez PA, Martínez JG, Hernández JR. 2013.** Amaranto: Efectos En La Nutricion Y La Salud. *Tlatemoani* (12):112-118.
- Sujak A, Dziwulska-Hunek A, Kornarzyński K. 2009.** Compositional and nutritional values of amaranth seeds after pre-sowing He-Ne laser light and alternating magnetic field treatment. *Int. Agrophysics* 23 81-86.

- Terán WIC, Vilcacundo R, Carpio C. 2015.** Compuestos Bioactivos Derivados de Amaranto y Quinoa. *Actualización en Nutrición*. 16 (1):18-22.
- Timilsena YP, Adhikari R, Barrow CJ, Adhikari B. 2016.** Physicochemical and functional properties of protein isolate produced from Australian chia seeds. *Food Chemistry* 212 648-656.
- Tironi VA, Añón M.C. 2010.** Amaranth proteins as a source of antioxidant peptides: Effect of proteolysis. *Food research international* 43 (1):315-322.
- Toscano LT, Da Silva CSO, Toscano LT, de Almeida AEM, da Cruz Santos A, Silva AS. 2014.** Chia flour supplementation reduces blood pressure in hypertensive subjects. *Plant foods for human nutrition* 69 (4):392-398.
- Tovar-Pérez E, Guerrero-Legarreta I, Farrés-González A, Soriano-Santos J. 2009.** Angiotensin I-converting enzyme-inhibitory peptide fractions from albumin 1 and globulin as obtained of amaranth grain. *Food Chemistry* 116 (2):437-444.
- Tsao R, Yang R, Young J.C, Zhu H. 2003.** Polyphenolic profiles in eight apple cultivars using high-performance liquid chromatography (HPLC). *Journal of agricultural and food chemistry* 51 (21):6347-6353.
- Ullah R, Nadeem M, Khaliq A, Imran M, Mehmood S, Javid A, Hussain, J. 2015.** Nutritional and therapeutic perspectives of Chia (*Salvia hispanica* L.): a review. *Journal of Food Science and Technology* 53(4), 1750–1758.
- Valdivia-López MA, Tecante A. 2015.** Chapter Two-Chia (*Salvia hispanica*): A Review of Native Mexican Seed and its Nutritional and Functional Properties. *Advances in food and nutrition research* 75 53-75.
- Vázquez-Flores A, Álvarez-Parrilla E, López-Díaz J, Wall-Medrano A, De la Rosa L. 2012.** Taninos hidrolizables y condensados: naturaleza química, ventajas y desventajas de su consumo. *Tecnociencia Chihuahua* 6 (2):84-93.
- Vázquez-Ovando A, Betancur-Ancona D, Chel-Guerrero L. 2013.** Physicochemical and functional properties of a protein-rich fraction produced by dry fractionation of chia seeds (*Salvia hispanica* L.). *CyTA-Journal of Food* 11 (1):75-80.
- Vazquez MLR, Rangel EE, Carballo AC, Zepeda R. 2013.** Fertilización y densidad de la población I. Calidad física y fisiológica en semillas de amaranto. (*A. hypochondriacus*). *Artículos in extenso* 82.

- Vecchi B, Añón M. 2009.** ACE inhibitory tetrapeptides from *Amaranthus hypochondriacus* 11S globulin. *Phytochemistry* 70 (7):864-870.
- Venskutonis PR, Kraujalis P. 2013.** Nutritional components of amaranth seeds and vegetables: a review on composition, properties, and uses. *Comprehensive Reviews in food science and food safety* 12 (4):381-412.
- Vicedo-Tomey A, Vicedo-Ortega Y. 2000.** Relaciones del estrés oxidativo con el catabolismo de proteínas. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas* 19 (3):206-212.
- Vinson JA, Hao Y, Su X, Zubik L. 1998.** Phenol antioxidant quantity and quality in foods: vegetables. *Journal of agricultural and food chemistry* 46 (9):3630-3634.
- Visser A, Thomas A. 1987.** Review: Soya protein products-their processing, functionality, and application aspects. *Food reviews international* 3 (1-2):1-32.
- Weintraub MR, Kelley EA, Bozdech M, Yen IH. 2016.** Cardiovascular disease and access to nutritious food for safety net patients. *Obesity Medicine* 2 8-12.
- Wongsiri S., Ohshima T, Duangmal K. 2015.** Chemical composition, amino acid profile and antioxidant activities of germinated mung beans (*Vigna radiata*). *Journal of Food Processing and Preservation* 39, 1956-1964.
- Yamada H, Fabris B, Allen A, Jackson B, Johnston C, Mendelsohn A. 1991.** Localization of angiotensin converting enzyme in rat heart. *Circulation research* 68 (1):141-149.
- Zapotoczny P, Markowski M, Majewska K, Ratajski A, Konopko H. 2006.** Effect of temperature on the physical, functional, and mechanical characteristics of hot-air-puffed amaranth seeds. *Journal of Food Engineering* 76 (4):469-476.
- Žilić S, Janković M, Barać M, Pešić M, Konić-Ristić A, Šukalović VH-T. 2016.** Effects of enzyme activities during steeping and sprouting on the solubility and composition of proteins, their bioactivity and relationship with the bread making quality of wheat flour. *Food & function* 7 (10):4323-4331.

Abreviaturas

Abrev	Significado
a	Parámetro Hunter-Lab
AOAC	Association of Official Analytical Chemists
a _w	Actividad acuosa
b	Parámetro Hunter-Lab
bs	Base seca
Ca	Calcio
cal	Caloría
cm	Centímetro
col	Colaboradores
°C	Grados centígrados
Cys	Cisteína
ed	Editores
ej	Ejemplo
ΔE	Diferencia total de color
EUA	Estados Unidos de América
FAO	Food and Agriculture Organization (Organización para los Alimentos y la Agricultura)
Fe	Hierro
Fig	Figura
g	Gramo(s)
h	Hora(s)
HAC	Harina de amaranto crudo
HAEO	Harina de amaranto extrudido optimizada
HAGO	Harina de amaranto germinado optimizada
HCC	Harina de chía cruda
HCGO	Harina de chía germinada optimizada
HCl	Ácido clorhídrico
His	Histina
H ₂ SO ₄	Ácido sulfúrico
Ile	Isoleucina
K	Potasio
kcal	Kilocaloría
kg	Kilogramo(s)
kg/hL	Kilogramo / hectolitro
L	Litro(s)
L	Parámetro Hunter-Lab
Leu	Leucina
Lys	Lisina
m	Metro(s)
M	Molar
Met	Metionina
mg	Miligramo(s)

Mg	Magnesio
mL	Mililitro(s)
min	Minuto(s)
mm	Milímetro(s)
μL	Microlitro(s)
μM	Micrómetro(s)
μM	Micromolar
No.	Número
Na	Sodio
p	Nivel de significancia
P	Fósforo
Pág	Página
Phe	Fenilalanina
p/p	Peso/peso
p/v	Peso/volumen
pp	Páginas publicadas
pH	Potencial hidrógeno
rpm	Revoluciones por minuto
s	Segundo(s)
TE	Temperatura de extrusión (°C)
tG	Tiempo de germinación
TG	Temperatura de germinación (°C)
Thr	Treonina
Trp	Triptófano
Tyr	Tirosina
UI	Unidades internacionales
Val	Valina
WHO	World Health Organization (Organización Mundial de la Salud)