



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

**Procesamiento Secuencial (Germinación-
Extrusión) para Obtener Harina Funcional
de Chía (*Salvia hispanica* L.) con Valor
Nutricional / Nutracéutico Alto**

T E S I S

Que presenta

LN YAZMIN ALEJANDRA CASTRO MONTOYA

para obtener el grado de

MAESTRA EN CIENCIA

Y

TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Director

DR CUAUHTÉMOC REYES MORENO

DRA JANITZIO XIOMARA K PERALES SÁNCHEZ

Culiacán, Sinaloa, México

Febrero de 2019

Presentación

La presente investigación, titulada “**Procesamiento Secuencial (Germinación-Extrusión) para Obtener Harina Funcional de Chía (*Salvia hispanica* L.) con Valor Nutricional / Nutracéutico Alto**”, se desarrolló en el Laboratorio de Bioprocesos y Alimentos Funcionales (LBAF) y en el Laboratorio de Investigación y Diagnóstico Microbiológico (LIDiM), Facultad de Ciencias Químico Biológicas (FCQB), Universidad Autónoma de Sinaloa (UAS). Los C. Dra. Janitzio Xiomara Korina Perales Sánchez, Dr. Cuauhtémoc Reyes Moreno, Dr. Roberto Gutiérrez Dorado y Dra. Maribel Jiménez Edeza participaron como Asesores Académicos. Los primeros dos fungieron como Directores de Tesis. La tesista Yazmín Alejandra Castro Montoya recibió Beca Nacional para la realización de estudios de Posgrado” (Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos) del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT).

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA

CARTA CESION DE DERECHOS

En la Ciudad de Culiacán Sinaloa el día **29** del mes **enero** del año **2019**, el (la) que suscribe **LN. Yazmín Alejandra Castro Montoya** alumno (a) del Programa de **Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos** con número de cuenta **1667451-0**, 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, Dra. Janitzio Xiomara Korina Perales Sánchez** y cede los derechos del trabajo titulado **“PROCESAMIENTO SECUENCIAL (GERMINACIÓN-EXTRUSIÓN) PARA OBTENER HARINA FUNCIONAL DE CHÍA (*Salvia hispanica* L.) CON VALOR NUTRICIONAL/NUTRACÉUTICO ALTO”**, 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.

Yazmín A. Castro M.

LN. Yazmín Alejandra Castro Montoya

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a **Dios** por haberme acompañado y guiado a lo largo de todo este tiempo.

De una manera muy especial, le doy gracias a mis papitos, **Gris y Pascual**, por ser esos padres tan perfectos y maravillosos para mí, por su apoyo incondicional, por siempre tener lo mejor para mí, por creer siempre en mí, por los valores que me han inculcado, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad, por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo llena de felicidad.

A mis hermanos, **Claudia y Gonzalo** por ser mis cómplices, por nunca dejarme sola y siempre estar dispuestos a ayudarme. A mi cuñado **Carlos**, gracias por ser un hermano más, a mis sobrinitos y ahijados **Carlos Manuel y José Eduardo** por llenar mi vida de alegrías y amor, teniendo siempre una sonrisa para mí.

A mi novio, **Martín** por ser una parte muy importante y especial en mi vida, por escucharme en todo momento, apoyarme sin importar la situación, por ser mi compañero de aventuras durante esta travesía del posgrado, por estar dispuesto a hacer lo que sea por sacarme una sonrisa, pero sobre todo muchísimas gracias por darme todo tu amor, cariño y paciencia.

A mis directores de tesis, **Dra Xiomara Perales Sánchez y Dr Cuauhtémoc Reyes Moreno**, gracias por dirigir esta investigación, por sus enseñanzas y por siempre tener tiempo disponible para atenderme. **Dra Xiomara**: “Muchísimas gracias por su infinita paciencia, por siempre escuchar cada una de mis dudas y por ayudarme a encontrar una solución para todo”.

Al **Dr Roberto Gutiérrez Dorado**, por darme la oportunidad de integrarme a su equipo de trabajo, por todas las enseñanzas, muchas gracias por toda su ayuda y paciencia.

A la **Dra. Maribel**, gracias por abrirme las puertas de su laboratorio, compartir sus conocimientos y por siempre tener la mejor disposición.

A todos y cada uno de los maestros de la **Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos (Programa de Posgrado en Ciencia y Tecnología de Alimentos)**, gracias infinitas por darme la oportunidad de ingresar al posgrado, por sus

conocimientos compartidos, por su paciencia, disponibilidad y por contribuir en mi desarrollo académico y profesional.

A mis compañeros de generación, por haber hecho esta etapa un trayecto de vivencias que nunca olvidaré, especialmente a **Chiquis** por haber sido una excelente compañera de laboratorio, por haberme tenido la paciencia necesaria y por motivarme a seguir adelante en los momentos de desesperación cuando alguna técnica no salía bien y sobre todo muchas gracias por convertirte en mi gran amiga. A mi compañera y amiga **Aliette**, por siempre ayudarme, explicarme una y mil veces y sobre todo por siempre rescatarme de mis momentos estresantes por la falta de un reactivo.

A mis compañeros de laboratorio **Mariano, Daniel, Jenny, Demis, Denisse, Kathya** y **Celeste**, muchas gracias por hacer más divertida mi estancia en el laboratorio y por su apoyo siempre en lo que necesitara. Y muy especialmente gracias a **Fernando “Chalach”** por tu ayuda incondicional, por contestar mis millones de preguntas y llamadas telefónicas diarias y resolverme siempre mis dudas.

A mi amiga y comadrita del alma, **Aide**, muchas gracias por siempre estar al pendiente de mí, por siempre darme ánimos, por ser mi confidente y consejera oficial.

Muchas gracias, a todas y cada una de las personas que de una u otra forma me apoyaron y creyeron en mí.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE CUADROS	x
I RESUMEN	1
ABSTRACT	3
II INTRODUCCIÓN	5
III REVISIÓN DE LA LITERATURA	9
A CHIA (<i>Salvia hispanica</i> L)	9
1 Antecedentes generales	9
2 Características de la chía	11
3 Descripción del fruto de chía	14
4 Descripción de la semilla de chía	17
5 Aspectos agronómicos	20
6 Estadísticas de producción	20
7 Mercado	21
8 Perspectivas de la semilla de chía	24
9 Composición química y aspectos nutricionales de la semilla de chía (<i>Salvia hispanica</i> L)	24
a Proteínas	26
b Lípidos	26
c Carbohidratos	29
d Fibra dietaria	32
e Vitaminas y minerales	33
f Fitoquímicos en semilla de chía	33
10 Aspectos legislativos y usos actuales	36
11 Propiedades nutraceuticas de las semillas de chía	39
12 Procesamiento tecnológico de las semillas de chía	41
B GERMINACIÓN	41
1 Proceso de germinación	42
a Imbibición	42
b Iniciación del metabolismo activo del embrión	42
2 Factores que influyen en la germinación	43
a Humedad	43
b Temperatura	43
c Oxígeno	43
d Iluminación	44
e Inhibidores microbianos	44
f Elicitores	44
3 Métodos de germinación	44
a Nivel domestico	44
b Nivel comercial	45
4 Efecto de la germinación sobre composición química, valor nutricional, niveles y perfiles de fitoquímicos,	45

	actividad antioxidante y propiedades nutraceuticas	
	a Composición química	46
	1) Proteínas	46
	2) Lípidos	51
	3) Carbohidratos	52
	4) Fibra dietaria	53
	5) Vitaminas y minerales	54
	b Valor nutricional	57
	c Contenido de fitoquímicos, actividad antioxidante y propiedades nutraceuticas	60
	C EXTRUSIÓN	66
	1 Generalidades	66
	2 Clasificación de los extrusores	68
	3 Factores que afectan el proceso de extrusión	71
	4 Efecto de la extrusión sobre composición química, valor nutricional, niveles y perfiles de fitoquímicos, actividad antioxidante, propiedades nutraceuticas y estabilidad microbiológica	71
	a Composición química	72
	1) Proteínas	72
	2) Lípidos	73
	3) Carbohidratos	74
	3) Fibra dietaria	75
	5) Vitaminas y minerales	75
	b Valor nutricional	77
	c Contenido de fitoquímicos, actividad antioxidante y propiedades nutraceuticas	79
	d Estabilidad microbiológica	84
	IV JUSTIFICACIÓN	87
	V HIPÓTESIS	88
	VI OBJETIVOS	89
	A OBJETIVO GENERAL	89
	B OBJETIVOS ESPECÍFICOS	89
	VII MATERIALES Y MÉTODOS	90
	A MATERIALES	90
	B MÉTODOS	90
	1 Características físicas de la semilla de chía	90
	a Dimensiones físicas	90
	b Peso de 1,000 semillas	90
	c Peso hectolítrico	90
	2 Composición química de la semilla de chía	90
	a Humedad	90
	b Proteínas	91
	c Lípidos	91
	d Cenizas	91

	e Fibra dietaria	91
	f Carbohidratos	92
	3 Propiedades fisicoquímicas de la semilla de chía	93
	a Actividad acuosa (a_w)	93
	b Diferencia total de color (ΔE)	93
	4 Obtención de harina de chía germinada optimizada (HCGO)	93
	5 Obtención de harina de chía germinada desgrasada – extrudida (HCGDE)	95
	6 Evaluación del contenido de compuestos fenólicos totales (CFT), actividad antioxidante (AAox) y digestibilidad proteínica <i>in vitro</i> (DPIV) de harinas de chía germinada extrudida	97
	a Extracción de fitoquímicos libres	97
	b Extracción de fitoquímicos ligados	97
	c Compuestos fenólicos totales (CFT)	99
	d Actividad antioxidante (AAox)	99
	e Digestibilidad proteínica <i>in vitro</i> (DPIV)	100
	7 Optimización del proceso de extrusión para conocer la mejor condición de procesamiento para elaborar harina de chía germinada desgrasada extrudida con contenido de fenólicos totales, actividad antioxidante y digestibilidad proteínica <i>in vitro</i> altos	100
	a Diseño experimental y análisis estadístico	100
	b Optimización del proceso de extrusión	103
	8 Composición química y propiedades fisicoquímicas de la harina de chía germinada desgrasada extrudida optimizada (HCGDEO)	103
	a Composición química	103
	b Propiedades fisicoquímicas	103
	1) Actividad acuosa	103
	2) Diferencia total de color (ΔE) / Valor Hunter L	103
	3) pH	103
	4) Densidad aparente	104
	5) Índice de absorción y de solubilidad en agua (IAA, ISA)	104
	6) Dispersabilidad	104
	7) Índice de absorción de aceite	104
	8) Capacidad de formación (CFE) y estabilidad de espuma (CEE)	105
	9) Capacidad emulsificante (CE) y estabilidad de emulsión (EE)	105
	9 Niveles de compuestos fenólicos totales, actividad antioxidante y valor nutricional de HCGDEO	106
	a Compuestos fenólicos totales (CFT)	106

	b Actividad antioxidante (AAox)	106
	1) ABTS	106
	2) DPPH	107
	c Valor nutricional	107
	1) Digestibilidad proteínica <i>in vitro</i> (DPIV)	107
	10 Estabilidad microbiológica de HCGDEO	107
	a Preparación de la muestra	107
	b Conteo de microorganismos coliformes totales	108
	c Conteo de microorganismos mesófilos aerobios	108
	d Conteo de mohos	109
	10 Análisis estadístico	110
VIII	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	111
	A CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA SEMILLA DE CHÍA	111
	B MEJORES CONDICIONES PARA LA PRODUCCIÓN DE HARINA DE CHÍA GERMINADA DESGRASADA EXTRUDIDA CON CONTENIDO DE COMPUESTO FENOLICOS, ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE Y DIGESTIBILIDAD PROTEINICA <i>IN VITRO</i> ALTOS	113
	1 Modelos de predicción	113
	a Compuestos fenólicos totales (CFT)	115
	b Actividad antioxidante (AAox)	115
	c Digestibilidad proteínica <i>in vitro</i> (DPIV)	117
	2 Optimización del proceso de extrusión	120
	C COMPOSICIÓN QUÍMICA, PROPIEDADES FISCOQUÍMICAS, FUNCIONALES Y NUTRICIONALES DE LAS HARINAS DE CHÍA CRUDA (HCC), GERMINADA OPTIMIZADA (HCGO), GERMINADA OPTIMIZADA DESGRASADA (HCGO-D) Y GERMINADA DESGRASADA EXTRUDIDA OPTIMIZADA (HCGDEO)	122
	D NIVELES DE FITOQUÍMICOS Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE (AAox) DE LAS HARINAS DE CHÍA CRUDA (HCC), GERMINADA OPTIMIZADA (HCGO), GERMINADA OPTIMIZADA DESGRASADA (HCGO-D) Y GERMINADA DESGRASADA EXTRUDIDA OPTIMIZADA (HCGDEO)	134
	E ESTABILIDAD MICROBIOLÓGICA DE LAS HARINAS DE CHÍA CRUDA (HCC), GERMINADA OPTIMIZADA (HCGO) Y GERMINADA DESGRASADA EXTRUDIDA OPTIMIZADA (HCGDEO)	139
IX	CONCLUSIONES	146
X	BIBLIOGRAFIA	147
	Abreviaturas	168

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.	Descripción	Pág.
1	Cultivo e inflorescencia de chía (<i>Salvia hispanica</i> L.)	12
2	Semillas de chía (<i>Salvia hispánica</i> L.)	13
3	Fotomicrografía de la semilla de chía (<i>Salvia hispanica</i> L). (A) Exomorfología del fruto, (B) Corte transversal del pericarpio	16
4	Fotomicrografía de la semilla de chía (<i>Salvia hispanica</i> L). (A) Corte longitudinal; (B) Corte transversal en zona radicular, (C) Corte transversal en zona cotiledonal	18
5	Exomorfología de la semilla de chía (<i>Salvia hispanica</i> L.)	19
6	Componentes principales de un extrusor	69
7	Diagrama de flujo para la obtención de harina de chía germinada optimizada (HCGO)	94
8	Diagrama de flujo del proceso de extrusión de harina de chía germinada optimizada – desgrasada (HCGO-D)	96
9	Diagrama de flujo para la obtención de fitoquímicos libres y ligados para la determinación de capacidad antioxidante y compuestos fenólicos totales	98
10	“Caja negra” del modelo matemático que muestra la relación entre variables de proceso y de respuesta del proceso de extrusión	102
11	Gráficas de contorno (A) y superficie de respuesta (B) mostrando el efecto de las variables de proceso [TE (°C), VT (rpm)] sobre el contenido de compuestos fenólicos totales de las harinas de chía germinada desgrasada extrudida (HCGDE).	116
12	Gráficas de contorno (A) y superficie de respuesta (B) mostrando el efecto de las variables de proceso [TE (°C), VT (rpm)] sobre la actividad antioxidante de las harinas de chía germinada desgrasa extrudida (HCGDE).	118
13	Gráficas de contorno (A) y superficie de respuesta (B) mostrando el efecto de las variables de proceso [TE (°C), VT (rpm)] sobre la digestibilidad proteínica <i>in vitro</i> de las harinas de chía germinada desgrasada extrudida (HCGDE)	119
14	Gráfica de superposición mostrando la región con la mejor combinación de las variables de proceso a la cual se obtiene una harina de chía germinada extrudida optimizada con altos valores de compuestos fenólicos totales (CFT), actividad antioxidante (AAox) y digestibilidad proteínica <i>in vitro</i> (DPIV)	121
15	Fotografías que muestran el crecimiento de coliformes totales, mesófilos aerobios y mohos, según el tipo de dilución que se contabilizo en harina de chía cruda (HCC)	141
16	Fotografías que muestran el crecimiento de coliformes totales, mesófilos aerobios y mohos, según el tipo de dilución que se contabilizo en harina de chía germinada optimizada (HCGO)	143

17	Fotografías que muestran el crecimiento de coliformes totales, mesófilos aerobios y mohos, según el tipo de dilución que se contabilizo en harina de chía germinada desgrasada extrudida optimizada (HCGDEO)	145
----	---	-----

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Descripción	Pág.
1	Características de la localización de los sitios de cultivo de la chía	15
2	Evolución de la producción de chía en México	22
3	Distribución de producción de chía en México durante el ciclo primavera-verano de 2015	23
4	Energía y composición centesimal correspondiente a diversos granos	25
5	Composición proximal correspondiente a diversos cultivos	27
6	Aminoácidos esenciales en hidrolizados de proteínas de semillas de chía (<i>Salvia hispánica</i> L.)	28
7	Composición de ácidos grasos de las semillas de chía (<i>Salvia hispánica</i> L.)	30
8	Proporción de ácidos grasos de las principales fuentes de Omega 3	31
9	Contenido de vitaminas y minerales en la semilla integral de chía y en harina residual desgrasada	34
10	Compuestos antioxidantes presentes en extractos de la semilla de chía	35
11	Contenido de ácidos fenólicos e isoflavonas en semillas de chía determinado por Ultra HPLC	37
12	Efecto de la germinación sobre el contenido de proteínas, lípidos y carbohidratos en diferentes granos/semillas	47
13	Efecto de la germinación sobre contenido de vitaminas y minerales en diferentes granos/semillas	55
14	Efecto de la germinación sobre contenido de fitoquímicos en diferentes granos/semillas	61
15	Efecto de la germinación sobre actividad antioxidante en diferentes granos/semillas	62
16	Efecto de las condiciones del proceso de extrusión sobre compuestos bioactivos y propiedades nutraceuticas de algunos granos/semillas y sus mezclas	80
17	Características físicas y fisicoquímicas de las semillas de chía (<i>Salvia hispánica</i> L.)	112
18	Diseño experimental usado para obtener diferentes combinaciones de temperatura de extrusión y velocidad de tornillo para producir harinas de chía germinada extrudidas y resultados experimentales de las variables de respuesta	114
19	Composición proximal, propiedades fisicoquímicas y nutricionales de harinas de chía cruda (HCC), germinada optimizada (HCGO) germinada optimizada desgrasada (HCGO-D) y germinada desgrasada extrudida optimizada (HCGDEO)	123

20	Compuestos fenólicos y actividad antioxidante de harinas de chía cruda (HCC), germinada optimizada (HCGO) germinada optimizada desgrasada (HCGO-D) y germinada desgrasada extrudida optimizada (HCGDEO)	135
21	Coliformes totales, mesófilos aerobios y mohos en harinas de chía cruda (HCC), germinada optimizada (HCGO) y germinada desgrasada extrudida optimizada (HCGDEO)	140

I RESUMEN

La chía (*Salvia hispanica* L) es originaria de Mesoamérica; 3,500 a. C. era utilizada por Mayas y Aztecas, como alimento / medicina. Sus semillas contienen, en base seca (bs), 15-25 % proteínas, 30-33 % lípidos [60% ác. α Linolénico (Omega 3), 25% ác. Linoleico (Omega 6)], 5-8% carbohidratos y 18-30% fibra dietaria. Además, poseen compuestos fenólicos [ác. Clorogénico y Cafeíco, y flavonoles (Quercetina, Kaempferol, Miricetina)] que protegen a consumidores contra enfermedades cardiovasculares y ciertos tipos de cáncer. Fracciones proteínicas de la semilla chía poseen potenciales antioxidante y antihipertensivo.

La germinación, aplicada en condiciones óptimas, mejora el valor nutricional / nutracéutico de las semillas (cereales, pseudocereales, leguminosas). La extrusión, aplicada en condiciones óptimas, tiene un efecto positivo sobre propiedades nutricionales y nutracéuticas de las semillas. Adicionalmente, puede mejorar la estabilidad microbiológica y propiedades fisicoquímicas y sensoriales de la materia prima.

El objetivo del presente trabajo fue estudiar el efecto de la aplicación secuencial de las tecnologías germinación-extrusión, en condiciones optimizadas, sobre el contenido nutrimental, propiedades nutricionales / fisicoquímicas / nutracéuticas, niveles de fitoquímicos y estabilidad microbiológica de semillas de chía.

Para obtener harina de chía germinada optimizada (**HCGO**) se aplicaron condiciones óptimas de temperatura y tiempo de germinación [**TG**=21°C/**tG**=157h] obtenidas en investigaciones previas en “Laboratorio de Bioprocesos y Alimentos Funcionales”, Facultad de Ciencias Químico Biológicas, Universidad Autónoma de Sinaloa (UAS). La **HCGO** se desgrasó parcialmente (**HCGDO**), utilizando prensa mecánica, materiales con contenidos de lípidos <10% favorecen el proceso de extrusión cocción cuando se utiliza extrusor de tornillo simple con las características empleadas en esta investigación. La **HCGDO** se humectó (Contenido de humedad=17%), se dejó en reposo (4-8°C/12h) y equilibró a temperatura ambiente (25°C) antes de su extrusión. Para optimizar el proceso de extrusión se utilizó la metodología de superficie de respuesta. Se aplicó un diseño experimental central compuesto rotatable con dos factores (variables de proceso) [Temperatura de

extrusión, **TE** (50-160°C) / Velocidad del tornillo, **VT** (50-240 rpm)] y cinco niveles (13 tratamientos). A las **HCGDO** extrudidas, provenientes de esos tratamientos, reconocidas como harinas de chía germinada-extrudida (**HCGE**) se les evaluaron compuestos fenólicos totales (**CFT**), actividad antioxidante (**AAox**) y digestibilidad proteínica *in vitro* (**DPIV**) (variables de respuesta). La mejor combinación de variables de proceso de extrusión para la producción de **HCGE** optimizada (**HCGEO**) con valores altos de **CFT** [704.4 mg equivalentes de ácido Gálico (EAG) /100 g], **AAox** [ABTS: 11,272 / DPPH: 12,563 μ mol equivalentes de Trolox (ET)/100 g, bs] y **DPIV** [78.99%] fue: **TE**=147°C/**VT**=170 rpm. La harina de chía germinada extrudida optimizada (**HCGEO**) tuvo mayor contenido de fibra dietaria total (**FDT**), proteínas y minerales que la harina de chía cruda (**HCC**). El procesamiento secuencial germinación-extrusión mejoró significativamente la estabilidad microbiológica; la **HCGEO** se encuentra dentro de las especificaciones sanitarias microbiológicas de la **NOM-147-SSA1-1994**. La **HCGEO** podría ser utilizada como una fuente natural de proteínas, minerales, fibra dietaria y antioxidantes en el desarrollo de nuevas bebidas y alimentos funcionales seguros para su consumo.

Palabras Clave: Chía, germinación, extrusión, optimización, compuestos fenólicos totales, actividad antioxidante, digestibilidad proteínica *in vitro*

ABSTRACT

Chia (*Salvia hispanica* L.) is native from Mesoamerica; in 3,500 BC was used by Mayas and Aztecs as food / medicine. The chia seeds contain, dry weight (dw), 15-25% proteins, 30-33% lipids [60% α Linolenic acid (Omega 3), 25% Linoleic acid (Omega 6)], 5-8% carbohydrates and 18-30% dietary fiber. In addition, they possess phenolic contents [Chlorogenic and Caffeic acids, and flavanols (Quercetin, Kaempferol, Miricetine)] that protect consumers against cardiovascular diseases and certain types of cancer; protein fractions of chia seeds have antioxidant and antihypertensive potentials.

Both technologies, germination and extrusion, applied under optimal conditions, improves the nutritional / nutraceutical properties of the seeds (cereals, pseudocereals and legumes). Additionally, extrusion process can improve the microbiological stability and physicochemical and sensory properties of the raw material.

The purpose of this study was to study the effect of the sequential application of germination-extrusion technologies, under optimized conditions, on chemical composition, physicochemical characteristics, nutritional / nutraceutical properties, phytochemical levels and microbiological stability of chia seeds.

Optimized germinated chia flour (**OGCF**) was produced applying optimal temperature and time germination [**TG**=21°C/**tG**=157h] conditions obtained in previous investigations in the "Bioprocesses and Functional Foods Laboratory", Chemical and Biological Sciences Faculty, Autonomous University of Sinaloa. The **OGCF** was defatted partially (**ODGCF**), using mechanical press; materials with lipid contents <10% favor the extrusion cooking process when using single screw extruder with the characteristics used in the present investigation. The **ODGCF** was moistened (Moisture content=17%), left to stand (4-8°C/12h) and equilibrated at room temperature (25°C) before extrusion. Extrusion cooking process of **ODGCF** was optimized applying, as optimization tool response surface methodology. A central composite rotatable (**CCR**) experimental design with two factors [Extrusion temperature (**ET**, 50-160°C), screw speed (**SS**, 50-240 rpm)] in five levels was used (13 treatments). The extrudates from each treatment was ground and the flours

recognized as extruded germinated chia flours (**EGCF**). **EGCF** were evaluated for total phenolic contents (**TPC**), antioxidant activity (**AoxA**) and *in vitro* protein digestibility (**IVPD**) (response variables). The best combination of extrusion process variables for the production of optimized **EGCF** (**OEGCF**) with highest values of **TPC** [704.4 mg Galic acid equivalents (GAE)/100 g, dw], **AoxA** [ABTS: 11,272/DPPH: 12,563 μ mol Trolox equivalents (TE)/100 g, dw] and **IVPD** [78.99%] was: **ET=147°C/SS=170 rpm**. The **OEGCF** had higher total dietary fiber (**TDF**), proteins and minerals content than raw chia flour (**RCF**). Sequential germination-extrusion processing significantly improved microbiological stability since **OEGCF** is within the microbiological sanitary specifications of **NOM-147-SSA1-1994**. The **OEGCF** could be used as a natural source of proteins, minerals, dietary fiber and antioxidants in the development of new functional beverages and foods for human consumption.

Keywords: chia, germination, extrusion, total phenolic compounds, antioxidant activity, *in vitro* protein digestibility

II INTRODUCCIÓN

La dieta y la nutrición son muy importantes para promover y mantener la buena salud a lo largo de toda la vida. Está bien establecida su función como factores determinantes de enfermedades no transmisibles crónicas, y eso los convierte en componentes fundamentales de las actividades de prevención (OMS 2012).

Se prevé que, para el año 2020, las enfermedades crónico degenerativas (ECD) (hipertensión, diabetes, enfermedades cardiovasculares, cáncer) representarán casi las tres cuartas partes del total de defunciones, no solo a nivel mundial sino en la región de las Américas donde se encuentra situado México. Las ECD tienen como origen, principalmente, un conjunto de factores de riesgo comunes como un régimen alimentario poco saludable, inactividad física y obesidad. Las ECD siguen causando tres de cada cuatro defunciones en el continente americano. Las enfermedades cardiovasculares provocan al año 1,9 millones de muertes; el cáncer 1,1 millones y la diabetes 260,000 (González-Rodríguez y Cardentey-García 2018). El número de personas con diabetes en el mundo se multiplicará por más de 2.5 y pasará de 84 millones en 1995 a 228 millones en 2025. A nivel mundial, el 60% de la carga de enfermedades crónicas corresponderá a los países en desarrollo. En cuanto al sobrepeso y la obesidad, no sólo la prevalencia actual ha alcanzado niveles sin precedentes, sino que la tasa de aumento anual es sustancial en la mayoría de las regiones en desarrollo (OMS 2012).

Las ECD son en gran medida enfermedades prevenibles. Si bien pueden ser necesarias más investigaciones básicas sobre algunos aspectos de los mecanismos que relacionan la dieta y la salud (FAO 2014).

Los estudios epidemiológicos han demostrado el efecto protector de las dietas basadas en frutas / hortalizas y semillas integrales sobre las ECD. Algunos compuestos bioactivos presentes en estas dietas poseen extraordinarias propiedades que resultan benéficas a la salud humana. Uno de los alimentos saludables con mayor auge actualmente es la semilla de *Salvia hispánica* L. conocida comúnmente como chía. La semilla de chía es una buena fuente de energía debido a la gran cantidad de lípidos (30-32%, bs) [constituidos en un 65% por ácido α -Linolénico y un 20% por ácido Linoléico, los cuales son ácidos grasos

esenciales para el organismo humano] y proteínas (18-20%, bs), las cuales presentan un contenido razonablemente bueno de aminoácidos esenciales (AAE). Se ha reportado que las proteínas de semillas de chía pueden incorporarse a la dieta humana junto a otros granos (cereales) a fin de producir un balance equilibrado de AAE. Además, las semillas de chía son una buena fuente de vitaminas del complejo B lo cual se ha relacionada con enfermedades cardiocoronarias y apoplejía cuando su nivel en sangre es bajo. En su contenido de minerales, las semillas de chía presentan de 2 a 354 veces más en el contenido de algunos minerales comparado con algunos cereales como trigo, cebada, avena, arroz y maíz. También presentan de 1 a 9 veces más contenido de fibra dietaria respecto a cereales como trigo, cebada, avena, arroz y maíz (Coates y Ayerza 1998; Ayerza y Coates 2005; Ixtaina, 2014).

Adicionalmente, las semillas de chía poseen en su composición otros componentes (compuestos bioactivos) de gran interés para la nutrición humana. Se ha reportado que estos compuestos bioactivos poseen diversa actividad antioxidante; esta actividad es aportada por algunos compuestos fenólicos [ácidos fenólicos (rosmarínico, caféico, clorogénico), flavonoles (quercetina, miricetina, kaempferol), isoflavonas (daidzina, genisteína)]. Se ha observado que estos compuestos poseen potencial contra la inhibición del proceso inflamatorio y prevención o disminución del riesgo de padecer cáncer de colon, al igual que otros compuestos bioactivos presentes en la semilla de chía como los ácidos grasos Omega-3 y la fibra dietaria (Calder 2013).

Algunas tecnologías de procesamiento en semillas (cereales, pseudocereales, leguminosas) ayudan a incrementar la biodisponibilidad de nutrientes, valor nutricional, palatabilidad, seguridad/estabilidad alimentaria. Entre estas tecnologías se encuentran la molienda, cocción, rostizado, horneado, secado, fermentación, germinación y extrusión (Bresanni y col 1984).

La germinación de cereales y pseudocereales es una estrategia ampliamente utilizada para mejorar propiedades fisicoquímicas, calidad nutricional, incrementar el contenido de compuestos nutraceuticos, y reducir el contenido de compuestos llamados antinutrientes (ácido fítico, taninos, inhibidores de tripsina). Durante la

germinación enzimas hidrolíticas potencializan, actuando sobre moléculas de reserva (carbohidratos, proteínas, lípidos) de las semillas, causando un reordenamiento en el contenido y tipo de estas moléculas y, en paralelo, desarrollando sabores, texturas y aromas; también, durante este bioproceso se activan rutas metabólicas responsables de la síntesis de fitoquímicos asociados con propiedades nutracéuticas, entre las cuales se encuentran la protección y reducción del riesgo de padecer algunas enfermedades crónico degenerativas como cáncer, diabetes, hipertensión, desórdenes neurológicos y enfermedades cardiovasculares. Los cambios que ocurren en composición química, propiedades nutricionales / nutracéuticas, compuestos bioactivos durante la germinación de cereales y pseudocereales están estrechamente ligados a las condiciones en las cuales el bioproceso se lleva a cabo; derivado de ello, importantes investigaciones se enfocan en conocer la combinación de variables de proceso y la optimización de las condiciones de germinación (tiempo de remojo, temperatura / tiempo de germinación, elicitors) con el propósito de potencializar el contenido de fitoquímicos de interés. Recientemente, la popularidad del proceso de germinación se ha incrementado, ofreciendo productos con probados beneficios sobre la salud, además de ventajas tales como costos bajos de operación (Chavarín-Martínez y col 2019).

La extrusión-cocción es un proceso continuo que utiliza la combinación de temperatura-alta, presión-alta y condiciones de fuerza de corte altas en un periodo de tiempo corto, lo cual resulta en transformaciones moleculares y reacciones químicas en los productos extrudidos. La extrusión-cocción trae consigo varios cambios bioquímicos como la desnaturalización parcial de proteínas, gelatinización parcial de almidones, modificaciones en lípidos, inactivación de microorganismos y enzimas, formación de componentes volátiles que mejoran el sabor, y un incremento en fibra dietaria soluble. Adicionalmente, la extrusión-cocción tiene el potencial para mejorar el valor nutricional de los productos al mejorar la digestibilidad de proteínas y almidones e incrementando la retención de compuestos bioactivos con propiedades antioxidantes. También, esta tecnología de eficiencia alta minimiza la contaminación de agua y el consumo de energía (Reyes-Moreno y col 2018).

El propósito de impactar sobre la reducción de la incidencia de enfermedades crónicas degenerativas justifica la necesidad de investigar el efecto del procesamiento secuencial germinación-extrusión de semilla de chía sobre propiedades fisicoquímicas, contenido de compuestos fenólicos, actividad antioxidante y valor nutricional / nutracéutico y estabilidad microbiológica. Adicionalmente, se pretende vislumbrar la posibilidad de elaborar nuevos productos, alimentos y bebidas, para consumo humano, sensorialmente aceptables, que contengan como ingrediente principal harina de chía germinada desgrasada extrudida optimizada (**HCGDEO**) y que sean ubicados en la categoría de alimentos funcionales.

III REVISIÓN DE LA LITERATURA

A CHÍA (*Salvia hispánica* L.)

1 Antecedentes generales

Salvia hispanica L. es comúnmente conocida como chía. Esta palabra es una adaptación española al término nahua chian o chien (plural), término que en náhuatl significa “semilla de la que se obtiene aceite” (Watson 1983).

La semilla de chía empezó a ser usada para la alimentación humana en la época precolombina, alrededor del año 3,500 a.C. y toma importancia por ser uno de los cultivos básicos en el centro de México y América central entre los años 1,500 y 900 a.C., *Salvia hispanica* L. es una especie originaria de Mesoamérica, específicamente indican que la misma es originaria de las áreas montañosas del oeste y centro de México y lo que actualmente es Guatemala. (Ayerza y Coates 2005).

Asimismo, fue uno de los principales componentes de la dieta de los Aztecas junto con frijol, maíz y amaranto. La importancia de estos cuatro cultivos en la dieta Azteca está bien fundamentada en el Codex Florentino escrito en tiempos de la conquista de América entre 1548 y 1585 por Fray Bernardino de Sahagún, titulado “Historia General de las Cosas de Nueva España”, en el cual se describen algunos aspectos relacionados con la producción, comercialización y usos de la chía (Rodríguez -Vallejo 1992).

Muchos cultivos que habían tenido la mayor preponderancia en las dietas precolombinas fueron prohibidos por los españoles debido a su estrecha asociación con los cultos religiosos y reemplazados por especies exóticas (trigo, cebada, arroz, entre otras) demandadas por los conquistadores (Soustelle 1955). Así, de los cuatro cultivos básicos de la dieta azteca, la chía y el amaranto perdieron sus lugares privilegiados y casi desaparecieron.

La chía era utilizada como materia prima para la elaboración de medicinas, alimentos y pinturas, así como en ofrendas a los dioses durante las ceremonias religiosas (Sahagún 1979). Tenochtitlán, la capital del Imperio Azteca, recibía entre 5,000 y 15,000 toneladas de chía anualmente como tributo de los pueblos conquistados (Mendoza 1842).

Con respecto al periodo postcolombino, existen algunas referencias tales como “Datos Censales de 1780”, así como la “Nueva Farmacopea de México” (1874) y las estadísticas del Departamento de Agricultura publicadas por la Secretaría Mexicana de Agricultura y Promoción desde 1932 a 1935 que citan a la chía entre los cultivos realizados en México (Cortez y Lárraz 1958). Durante muchos años las semillas de chía se comercializaron solamente en los mercados mexicanos y se utilizaban como materia prima para la elaboración de la bebida denominada “chía fresca”, la cual era consumida por razones étnicas o religiosas. En 1965 se tuvo disponibilidad de semillas de chía en “comercios dietéticos” del sudeste de California y Arizona, Estados Unidos de América (EUA) (Hicks 1966); hacia finales de la década de 1980’s se inició la comercialización, en EUA, de un alimento, a base de semillas de chía, para mascotas, incrementándose la demanda de las semillas y posibilitando la venta mayoritaria de su producción.

Paralelamente, los resultados de las investigaciones científicas acerca de los efectos negativos de las grasas saturadas, los ácidos grasos trans y el desbalance entre los ácidos grasos omega-6 y omega-3 en la dieta occidental, así como los beneficios del consumo de omega-3 para prevenir enfermedades cardiovasculares, depresión, cáncer y otras patologías, comenzó a ser cada vez de mayor interés. Adicionalmente, la información sobre las semillas de chía, describiéndola como una fuente natural de ácidos grasos omega 3 y 6, antioxidantes y fibra dietaria incrementó las expectativas en torno a su cultivo. En virtud de ello, su uso como alimento para consumo humano comenzó a expandirse fuera de México (Ayerza y Coates 2005).

La ciencia actual permite explicar porque las culturas Azteca y Maya consideraban a la chía un componente básico de su dieta. La composición química y el valor nutricional asociado, le confieren un gran potencial para incorporarla a los mercados alimenticios e industriales. A su vez, la información tecnológica ha dado una excelente oportunidad para desarrollar una industria agrícola capaz de ofrecer al mundo un “cultivo nuevo y antiguo a la vez” (Ayerza y Coates 2005)

2 Características de la chía

Las especies de *Salvia* pertenecen a la familia *Lamiaceae* (anteriormente *Labiatae*). El género llamado *Salvia* L. es derivado del Latin *salvare* que significa “curar o estar sano y salvo” refiriéndose a las propiedades medicinales de algunas especies (Capitani y col 2013). Este género ha sido usado por siglos, especialmente por los chinos para promover la longevidad y en ceremonias romanas como una hierba sagrada. Este nombre fue traducido a *sauge* (salvia) en francés y *sawge* en inglés antiguo. El género *Salvia* incluye unas 900 especies y se distribuye extensamente en varias regiones del mundo, tales como Sudáfrica, América Central, América del Norte, Sudamérica y Asia Sur-Oriental. Las plantas pueden ser herbáceas o leñosas, y sus flores muy atractivas y de varios colores. *S. hispánica* L es una planta herbácea anual de 1 a 1,5 m de altura, con tallos ramificados de sección cuadrangular con pubescencias cortas y blancas. Las hojas opuestas con bordes aserrados miden 8-10 cm de longitud y 4-6 cm de ancho (Codd, 1985; Galimuntasib y col 2000).

La descripción de la morfología floral de *S. hispánica* fue abordada por Martínez (1959). Las flores son hermafroditas, púrpuras o blancas, pedunculadas y se encuentran reunidas en grupos de seis o más, ramilletes terminales (**Fig. 1**). El fruto, al igual que otras especies de la familia *Lamiaceae*, es un esquizocarpo consistente en lóculos indehiscentes que se separan para formar cuatro mericarpios parciales denominados núculas, conocidos como “semillas” (Ayerza y Coates 2005). Las características morfológicas y fenológicas que diferencian a las variedades domesticadas de las silvestres de *S. hispánica* son: cálices cerrados, semillas de mayor tamaño, inflorescencias más compactas, flores más largas, presencia de dominancia apical y uniformidad en los periodos de floración y maduración (Cahill 2005). En la chía ha existido una ligera pérdida de variabilidad genética en el proceso de domesticación (**Fig. 2**). La chía se cultiva en Argentina, México, Bolivia, Guatemala, Ecuador y Australia; la planta de chía es sensible al fotoperiodo (longitud del día); la estación de crecimiento depende de la latitud a la cual se realice el cultivo. Un cultivar sembrado en La Unión (Valle del Cauca, Colombia) presenta un



Figura 1. Cultivo (izquierda) e inflorescencia (derecha) de chía (*Salvia hispanica* L.)
Di Sapio y col 2012



Figura 2. Semillas de chía (*Salvia hispanica* L.)

Di Sapio y col 2012

ciclo de cultivo de 90 días, mientras que la duración del ciclo del mismo cultivar sembrado en El Carril (Salta, Argentina) es de 150 días (**Cuadro 1**). A mayores latitudes, como Choele-Choel (39° 11´S, Argentina) y Tucson (32° 14´N, EUA) la chía no produce semillas ya que la planta muere por la ocurrencia de heladas antes del fin de la floración (Ayerza y Coates 2005).

Los suelos areno-limosos favorecen su crecimiento, aunque también puede desarrollarse en suelos arcillo-limosos con buen drenaje. Las observaciones de campo indican un buen crecimiento de este cultivo en suelos con un amplio nivel de variación de nutrientes (Ayerza y Coates 2005).

El rendimiento promedio de esta especie en plantaciones comerciales es de alrededor de 500-600 kg/ha, aunque se han logrado obtener hasta 1,260 kg/ha. En parcelas experimentales de la provincia de Salta, con la implementación de riego y fertilización nitrogenada se han registrado rendimientos de 2,500 kg/ha (Ayerza y Coates, 1997).

3 Descripción del fruto de chía

Es un carcérulo que produce uno a cuatro mericarpios indehiscentes llamados núculas o clusas (**Fig. 3**) situadas en el cáliz frecuentemente acrecenté. Las clusas son monoespermicas, obovoides, simétricas dorsiventralmente y alcanzan un tamaño de 1,5 a 2 mm de longitud y 1 a 1,2 mm en el diámetro medio (Ayerza y Coates, 2005). La cara ventral es subtrígona con una pequeña cresta iniciada en el hilio, la cara dorsal es convexa. Son de color pardo grisáceas, con abundantes manchas de contornos irregulares de color castaño oscuro, en menor proporción se observan de color blanquecino con la inserción basal y los límites de las areolas de color castaño claro. Ayerza y Coates (2010) mencionan la existencia de genotipos distintos de *Salvia hispanica* L. que difieren en el color de las clusas. La parte externa del pericarpio (epicarpio) es una superficie glabra, brillante, generalmente lisa o levemente tuberculada y dividida en áreas irregulares que originan areolas delimitadas por surcos muy suaves mediante un corte transversal del fruto se puede observar el pericarpio con tres zonas bien diferenciadas (**Fig. 3**) el epicarpio, unistrato, formado por células mucilaginosas y no mucilaginosas; mesocarpio, con

Cuadro 1. Características de la localización de los sitios de cultivo de la chía

País	Localidad	Latitud	Elevación (msnm)	T° anual / estación ² (°C)	Precipitaciones anuales / estación (mm)	Ciclo de cultivo (días)
Argentina	El Carril	25°05'S	1170	17.3/16.6	560/390	150
Bolivia	Santa Cruz	17°43'S	473	24.6/22.8	1141/566	150
Colombia ¹	La Unión	4°32'N	920	24/23.8	1118/341	90
México ¹	México	19°00'N	2259	15.5/16.3	579/470	150
México	Acatic	20°55'N	1680	18.5/-	700/553	150
Perú	Ica	14°05'S	396	21.1/20.4	3/1	150

¹ Discontinuo

² Promedio de la estación de cultivo de la chía
Ayerza y Coates 2005

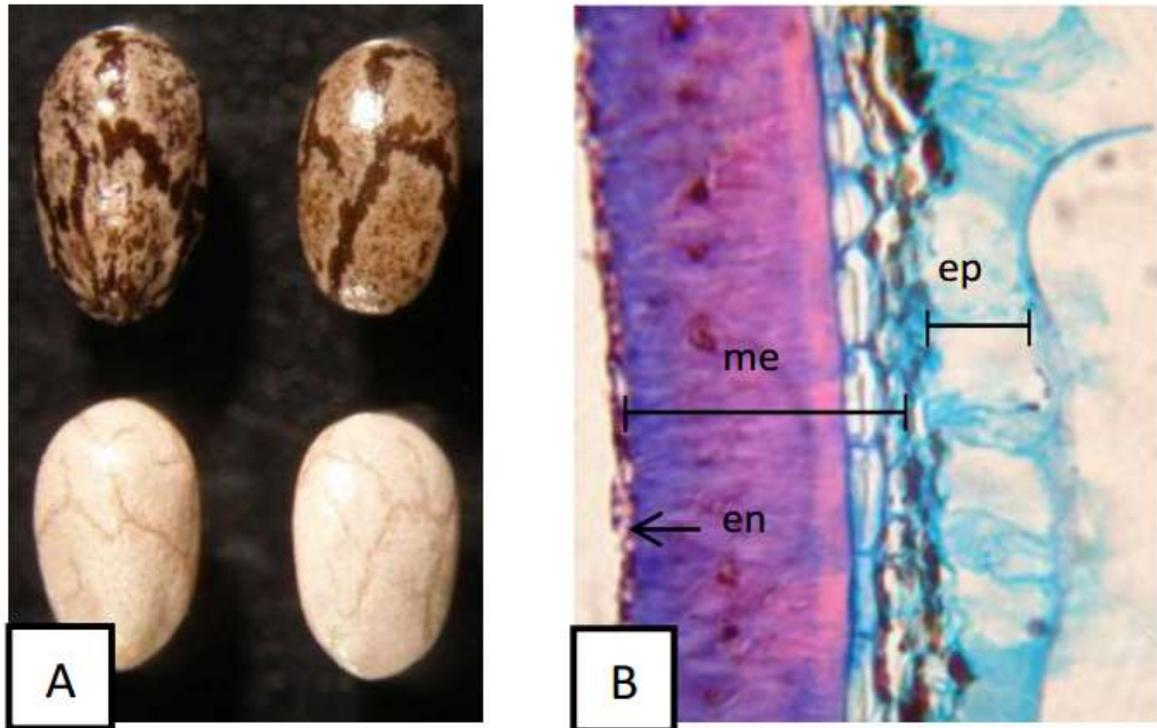


Figura 3. Fotomicrografía del fruto de *Salvia hispanica* L. **(A)** Exomorfología del fruto, **(B)** Corte transversal del pericarpio de *Salvia hispanica* L. **ep:** epicarpio, **me:** mesocarpio, **en:** endocarpio

Di Sapio y col 2012

tres regiones bien definidas, la capa más externa está construida por 3 a 6 estratos de células parenquimáticas, la zona media la construyen una hilera de idioblastos cristalíferos y la tercera región es un estrato mecánico formado por esclereidas; finalmente, el endocarpio es unistrato, inconspicuo constituido por células pequeñas que a veces presentan engrosamiento escaleriforme en cercanías del hilio (Di Sapiro y col 2012).

4 Descripción de la semilla de chía

Habitualmente se denomina semilla al fruto de chía, el que se clasifica dentro de los frutos secos indehiscentes. Se inserta una por clusa. Es horizontal, albuminosa, de contorno oblongo-elíptico, forma levemente navicular, el extremo radicular es angosto y cotiledonal ancho; la superficie es opaca, reticulada, de color amarillo-ocresus dimensiones son 1.3 a 1.8 mm de largo y 1.0 a 1.2 mm de ancho (**Fig. 4**). La cara dorsal es plana y convexa. La cara ventral es subtrígona, con una fina depresión en sentido longitudinal de color marrón claro. El hilo es subcircular, crateriforme y se encuentra en el extremo radicular de la depresión ventral (**Fig. 5**). Al igual que la mayoría de las semillas, posee episperma o cubierta seminal, endosperma y embrión (Di Sapiro y col 2012). Mediante un corte transversal se puede observar el episperma que recubre toda la semilla y está constituido por dos capas de células: la testa, estrato exterior delgado, fuertemente reticulado, formando pequeñas crestas; y el tegmen, estrato interno, liso, con células aplanadas y densas que a veces son poco diferenciables. El embrión es axial, lineal, regular y las caras de los cotiledones están paralelas en el lado cotiledonal, en la región radicular se subdivide en cinco partes (**Fig. 4**).

Un haz vascular colateral abierto recorre al embrión en toda su extensión. Los cotiledones poseen una simetría dorsiventral, epidermis unistrata y ausencia de estomas (**Fig. 4**). El endospermo celular es abundante (Di Sapiro y col 2012).

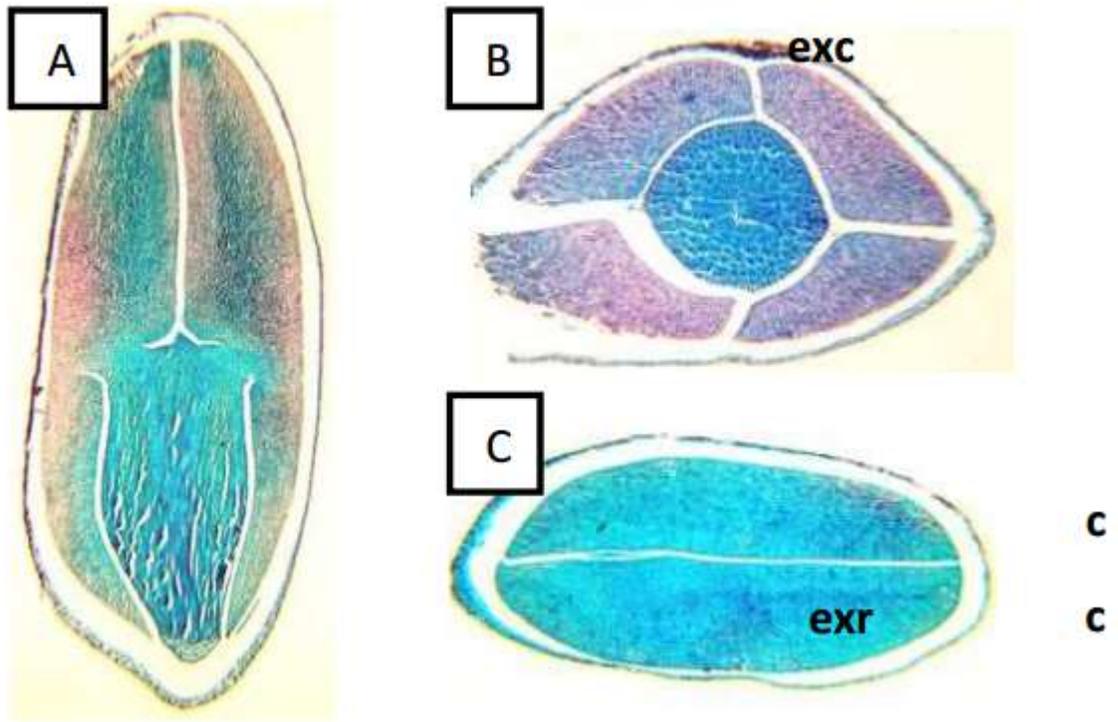


Figura 4. Fotomicrografía de la semilla de *Salvia hispanica* L. **(A)** Corte longitudinal, **(B)** Corte transversal en zona radicular, **(C)** Corte transversal en zona cotiledonal. **exc:** extremo cotiledonal, **exr:** extremo radicular, **c:** cotiledones

Di Sapio y col 2012

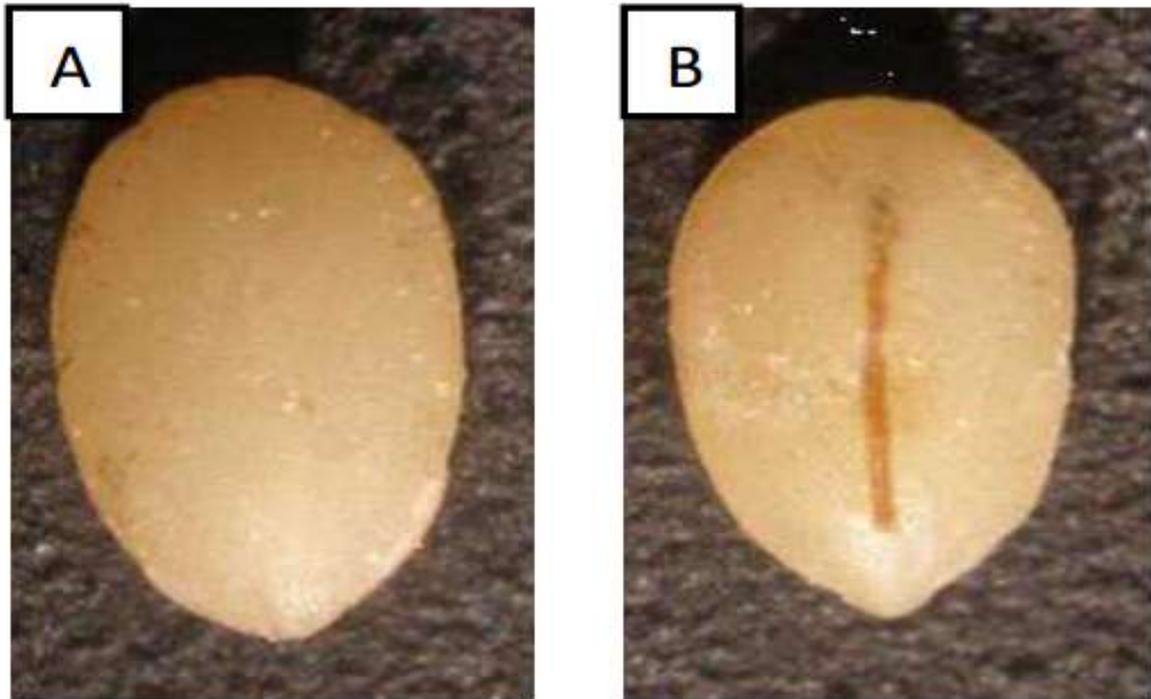


Figura 5. Exomorfología de la semilla de *Salvia hispanica* L. **(A)** Cara dorsal, **(B)** Cara ventral

Di Sapio y col 2012

5 Aspectos Agronómicos

La siembra de chía es de mayo a mediados de junio, para evitar las heladas. La profundidad de siembra es un factor limitante en el establecimiento del cultivo debido a la baja cantidad de reservas de semillas (Migliavacca y col 2014) y como la semilla es pequeña, requiere poca profundidad de siembra para emerger con éxito, sólo lo suficiente para cubrir la semilla y como máximo 10 mm (Rojas, 2013). La semilla requiere de humedad para germinar, pero ya germinada y establecida las plantas crecen bien con cantidades limitadas de agua por tratarse de una planta de bajo consumo de agua y adaptada a climas áridos y semiáridos (Ayerza y Coates 2005). Se desarrolla adecuadamente en suelos arenosos con textura media y buen drenaje; no toleran suelos anegados (Coates 2011).

Es una planta de día corto y sensible al fotoperiodo, presenta respuesta favorable a floración en días cortos (Jamboonsri y col 2012), el periodo de crecimiento se ve afectado por la latitud en la que se desarrolle, por lo cual el ciclo de cultivo varia de 90 a 150 días (Ayerza y Coates 2005). El pH adecuado para el cultivo es de 6.5 a 7.5, el sitio de cultivo afecta la composición de las semillas debido a los factores ambientales, como temperatura, luz, suelo y nutrientes disponibles (Ayerza y Coates, 2004). La siembra se realiza en surcos de 0.7 a 0.8 m de separación, con una densidad de siembra de 6 kg de semillas por hectárea (Busilacchi y col 2015). El método de siembra y la densidad influyen en el crecimiento y rendimiento de chía. Cuanto mayor sea la densidad habrá más biomasa y por lo tanto los rendimientos de semilla aumenta, la densidad más apropiada es la mayor a 40,000 plantas/ha (Yeboah y col 2014).

Las semillas presentan moderada tolerancia a estrés salino; sin embargo, al someterse a una salinidad alta disminuye el porcentaje de germinación, longitud de la raíz y el tamaño de planta, por lo cual se recomienda evitar el uso de fertilizantes clorados (Dal'maso y col 2013).

6 Estadísticas de producción

La chía comenzó a comercializarse a nivel internacional a partir de la década de 1990's. Se cultiva en Argentina, México, Bolivia, Paraguay y Australia. En 2011-

2012 Argentina tuvo una producción de 35%. Mientras Australia, México, Bolivia y Paraguay participaron con 15% y 3,000 ha c/u (Busilacchi y col 2015). Recientemente se incorporaron como productores Nicaragua y países del Sudeste de Asia (Jamboonsri y col 2012). La producción mundial ha crecido rápidamente, un ejemplo es Nicaragua, donde la producción de chía pasó de 5,000 quintales en 2013, a 180,000 quintales en 2014.

En el **Cuadro 2**, se muestra el comportamiento que ha tenido la chía, donde es claro el crecimiento en la superficie sembrada que ha tenido, así como el comportamiento del precio y del rendimiento por hectárea.

La producción en México se concentra en Jalisco y Puebla y se empieza a incursionar en nuevas zonas con potencial productivo, como se observa en el **Cuadro 3**. En Jalisco la producción se centra en los municipios de: Acatic, Cuquío, Ixtlahuacán del Río y Jamay, mientras en Puebla los municipios productores son: Atzitzihuatlán, Huaquechula, San Felipe Tepemaxalco y Tochimilco (SAGARPA-SIAP 2018).

7 Mercado

La demanda de chía es creciente y es liderado por EUA; es un cultivo que tiene un importante mercado potencial a nivel nacional e internacional. En EUA la elaboración de productos con chía va en aumento, en 2011 se introdujeron 21 nuevos productos a base de chía (jugos de fruta) y 2012 dicha cantidad aumentó a 100 productos (Busilacchi y col 2015). Los países de la Unión Europea se están incorporando recientemente al consumo de chía, producto de la autorización de su inclusión en alimentos elaborados, y, a futuro, se espera que países asiáticos se incorporen a esta demanda, lo que la duplicaría a 40,000 ton/año (Busilacchi y col 2015).

El mercado internacional requiere semilla de chía de color gris a negro, sabor característico de la semilla, olor característico de la semilla; con especificaciones físicoquímicas específicas (p.ej. porcentaje de humedad de 12% máximo), especificaciones microbianas (recuento total: máx. 100 000 ufc/g, hongos: máx. 1,000 ufc/g, levaduras: máx. 1,000 ufc/g, *Esclerichia coli*: <10 ufc/g, *Staphylococcus*

Cuadro 2. Evolución de la producción de chía en México

Año	Superficie sembrada (ha)	Superficie cosechada (ha)	Volumen de producción (ton)	Valor de producción (\$)	Rendimiento (ton/ha)	Precio medio rural (\$/ton)
2006	15	15	37.5	292,500	2.500	7,800
2007	37	22	45.8	343,500	2.082	7,500
2008	20	20	60	312,000	3.000	5,200
2009	45	34	33.6	177,800	0.988	5,291
2010	2,329	2,329	2,914	57'240,000	1.251	19,646
2011	2,750	2,750	3,449	55'477,500	1.254	16,086
2012	5,097	5,097	2,060	135'512,961	0.404	65,777
2013	18,155	17,915	8,432	478'425,545	0.471	56,740
2014	16,721	16,515	9,548	420'701,810	0.578	44,061

SAGARPA-SIAP 2018

Cuadro 3. Distribución de producción de chía en México durante el ciclo primavera-verano de 2015

Ubicación	Superficie sembrada (ha)	Superficie cosechada (ha)	Producción (ton)	Rendimiento (ton/ha)	Costo (\$/ton)	Valor de la producción (miles \$)
Jalisco	15,790	15,790	9,058	0.57	44,408	402, 285
Puebla	460	460	391	0.85	34,659	13,562
Nayarit	281	261	97	0.37	49,793	4,830
SLP	20	4	1	0.25	24,000	24
GTO	150	0	0	0	0.00	0.00
AGS	20	0	0	0	0.00	0.00
Total	16,721	16, 515	9, 548	0.58	44, 061	420, 701

SAGARPA-SIAP 2018

aereus: <10 ufc/g), índice de peróxido (<0.1meq/0.2 kg), Impurezas: (%) 1.07, ácido graso omega 3: 17.5% del total del aceite y empaque de bolsa de polipropileno de alta densidad 18*27*14*14 20 kg (Miranda 2012).

Los canales de distribución en Estados Unidos de América, se derivan de tres grupos de actores en las cadenas de comercialización, los importadores mayoristas, empresas que elaboran productos alimenticios y distribuidores minoristas, para finalmente llegar a los consumidores (Busilacchi y col 2015).

En Jalisco, se tienen registradas varias empresas, algunas en asociación con productores agrícolas, que procesan y exportan la semilla de chía y sus derivados, principalmente, hacia EUA, donde están logrando una demanda creciente (SAGARPA-SIAP 2018). El precio medio rural de la semilla de chía es de \$ 20,000/ton mientras que el costo de producción es de alrededor de \$10,200/ton; la utilidad es del orden de \$ 9,800/ha. Esta utilidad es muy superior a la que se obtiene con maíz o sorgo (Ramírez y Lozano 2015).

8 Perspectivas de las semillas de chía

México cuenta con las condiciones ecológicas óptimas para producción de chía en condiciones de temporal, encontrando estas condiciones óptimas principalmente, en tierras bajas y de altitud intermedia, lo que demuestra que las condiciones climáticas de las zonas entre 0 y 2,200 msnm cumplen con los requerimientos agroclimáticos de la especie (Jamboonsri y col 2012; Orozco y col 2014), con una excelente productividad en las regiones altas de los estados de Jalisco, Nayarit, Michoacán, Morelos, Puebla, México, Guerrero, Oaxaca y Chiapas. El tipo de suelo, la precipitación y la altitud son los factores determinantes de áreas óptimas para el cultivo (Ramírez y Lozano 2015).

9 Composición química y aspectos nutricionales de la semilla de chía (*Salvia hispanica* L.)

El **Cuadro 4** muestra la composición de las semillas de chía y la correspondiente a los cinco cereales de mayor importancia a nivel mundial (arroz, cebada, avena, trigo, maíz). En la misma puede observarse que el contenido de proteínas, lípidos,

Cuadro 4. Energía y composición centesimal correspondiente a diversos granos

Grano (%, bs)	Proteínas	Lípidos	CHO	Fibra	Cenizas	Energía kcal/100g
Arroz ¹	6.5	0.5	79.1	2.8	0.5	358
Cebada ¹	12.5	2.3	73.5	17.3	2.3	354
Avena ¹	16.9	6.9	66.3	10.6	1.7	389
Trigo ¹	13.7	2.5	71.1	12.2	1.8	339
Maíz ¹	9.4	4.7	74.3	3.3	1.2	365
Chía ^{2,3}	19-23	30-35	9-41	18-30	4-6	550

¹United States Department of Agriculture 2002; ²Ayerza y Coates 2005; ³Diario Oficial de la Unión Europea 2009

fibra y energía de la semilla de chía es mayor que los presentes en los demás cultivos. Además, si bien la chía es conocida principalmente como una importante fuente de ácidos grasos omega-3, también contiene otros compuestos de importancia a nivel nutricional. En el **Cuadro 5** se presenta la composición química de la semilla de chía comparada con cultivos que actualmente están siendo revalorizados. Puede observarse que la semilla de chía presenta un contenido de proteínas similar al de sésamo y un tenor de lípidos semejante al lino y cártamo (Elleuch y col 2007; Bozan y Timelli 2008; Ixtaina 2010). Por otra parte, cabe resaltar que la chía presenta un nivel de ambos componentes superior a los de quínoa y amaranto (Ruales y Nair 1992; Loubes y col 2012).

a Proteínas

Las semillas de chía contienen, en base seca (bs), 16-27% de proteínas, con un promedio de 23%, nivel que resulta más alto que el que contiene algunos cereales tradicionales como el trigo (13.7%), maíz (9.4%), arroz (6.5%), avena (16.9%) y cebada (12.5%) (Ayerza y Coates 2004). Las semillas de chía, además de tener contenido alto de proteínas, se han hecho interesantes comparada con otras semilla como trigo, avena, cebada y centeno por no contener gluten (Ayerza 2009).

Las semillas de chía poseen una cantidad balanceada de aminoácidos esenciales; el aporte de Lisina es relativamente alto y el contenido aminoácidos azufrados (Cys + Met) se puede comparar favorablemente con el de otras semillas oleaginosas (**Cuadro 6**). Los aminoácidos de la chía no tienen factores limitantes en una dieta para adultos, lo cual significa que ésta puede ser incorporada en la dieta humana y ser mezclada con otros granos, a fin de producir una fuente equilibrada en proteínas (Ayerza 2009).

b Lípidos

Las semillas de chía poseen, en base seca (bs), entre un 32 y 39% de lípidos; la proporción de ácidos grasos saturados (AGS), monoinsaturados (AGMI) y poliinsaturados (AGPI) es de 9.7%, 6.5% y 82.8%, respectivamente. Del total de AGPI, los ácidos α Linolénico (ALA = Omega 3) y Linoleico (Omega 6) se encuentra

Cuadro 5. Composición proximal correspondiente a diversos cultivos

Grano (%, bs)	Proteínas	Lípidos	CHO + Fibra	Cenizas
Quinoa ¹	14.1	9.7	72.5	3.4
Amaranto ²	16.2	7.9	71.5	3.3
Sésamo ³	25.8	52.2	22.7	4.7
Cártamo ⁴	12.6	27.5	51.9	1.9
Lino ⁴	17.9	33.6	38.1	3.9
Chía ⁵	29	32	34	5

¹Ruales y Nair 1992; ²Loubes y col 2012; ³Elleuch y col 2007; ⁴Bozan y Timelli 2008; ⁵Ixtaina 2010

Cuadro 6. Aminoácidos esenciales en hidrolizados de proteínas de semillas de chía (*Salvia hispanica* L.)

Aminoácido esencial (g / 100 g proteína)	Semillas de chía	Requerimientos Escolar y adolescente (3-18 años)*			Adulto ^a		
		g/100 g proteína	mg/g prot	mg/ g N	g/100 g proteína	mg/g prot	mg/g N
Arginina	8.90						
Histidina	2.57	1.6	16	100	1.5	15	93.7
Isoleucina	3.21	3.1	31	193.7	3.0	30	187.5
Leucina	5.89	6.1	61	381.2	5.9	59	368.7
Metionina+ Cisteína		2.4	24	150	2.2	22	137.5
Fenilalanina	4.73	4.1	41	256.2	3.8	38	237.5
Tirosina	2.74						
Lisina	4.44	4.8	48	300	4.5	45	281.2
Treonina		2.5	25	156.2	2.3	23	143.7
Triptófano		0.66	6.6	41.2	0.6	6	37.5
Prolina	4.40						
Valina		4.0	40	250	3.9	39	243.7

^aProtein and amino acid requirements in human nutrition- FAO/OMS/ONU, (2013)
Vázquez 2013

en 77.1% y 22.9%, respectivamente (Ayerza y Coates 2005). La semilla de chía se caracteriza por poseer la mayor concentración de ALA conocida hasta hoy. Este valor alcanza el 63.8% del total de aceite presente en la semilla. De esta manera supera a especies vegetales como la linaza (57.5%) y especies marinas como el pez Sábalo (29.3%) y algas (34.1%), reconocidos por su concentración alta de ácido Omega 3 (Ayerza y Coates 2011). Ver **Cuadro 7**.

Dentro de la fracción de lípidos, la semilla de chía posee, en promedio, los siguientes contenidos de ácidos grasos: α Linolénico = 63.8%, Linoleico = 19.96%, Oleico = 7.45%, Palmítico = 7.36%, Estéarico = 3.24% (Alvarado, 2011; Martínez y col 2012; Vicente y col 2012). Ver **Cuadro 8**.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda consumir cuatro gramos de ácido graso Omega 3 diariamente; al consumir 24 g de semillas de chía se cubre esa necesidad diaria (Miranda 2012). En relación a los beneficios que tiene el consumo de ácidos grasos poliinsaturados para la salud, actualmente existe una vasta evidencia científica que menciona a los ácidos grasos Omega 3 como un importante factor en la prevención de enfermedades cardiovasculares, inflamatorias, mentales, desordenes autoinmunes, y cáncer (Calder 2013).

c Carbohidratos

Las semillas de chía contienen alrededor de 40% de carbohidratos; de estos, 30% es fibra insoluble, 3% es fibra soluble y el resto son almidones esenciales. En un medio acuoso, la semilla queda envuelta en un copioso polisacárido mucilaginoso. Cuando una cucharada de chía es mezclada con agua y puesta a reposar durante algunos minutos, se formará un gel sólido; tal reacción se debe a la fibra soluble de la semilla. Algunos investigadores suponen que tal fenómeno sucede también en el estómago cuando se ingieren alimentos que contienen este tipo de gomas (Orona y col 2016).

El gel formado en el estómago se convierte en una barrera física para la digestión enzimática rápida de algunos carbohidratos, impidiendo su transformación en azúcares sencillos y modulando el metabolismo de estos compuestos en beneficio, por ejemplo, de los diabéticos. Por otro lado, la fibra dietética de la chía tiene un

Cuadro 7. Ácidos grasos en pez Sábalo, algas, linaza y semillas de chía

Fuente	Ácidos grasos saturados	Ácidos grasos monoinsaturados	Ácido Linoleico (Omega 6)	Ácido Linolénico (Omega 3)
Sábalo	26.9	24.9	2.2	29.3
Algas	19.5	33.1	2.9	34.1
Linaza	9.7	6.5	19.0	57.5
Chía	6.9	19.5	15.0	63.8

Ayerza 2009

Cuadro 8. Proporción de ácidos grasos en las semillas de chía

Ácido graso (%)	Semillas de Chía
Palmítico (16:0)	7.36
Esteárico (18:0)	3.24
Oleico (18:1) (Omega 9)	7.45
Linoleico (18:2) (Omega 6)	19.96
Linolénico (18:3) (Omega 3)	61.03

Zuñiga 2014

efecto favorable durante el transporte del bolo fecal, previniendo así la obesidad y diversas enfermedades del tracto digestivo. (Orona y col 2016).

Estas propiedades hidrofílicas de la fibra soluble de la semilla de chía, que posibilitan que la semilla absorba agua hasta doce veces su propio peso, permiten que, una vez consumida, el organismo prolongue su estado de hidratación, retenga humedad y se regulen más eficientemente los fluidos corporales, la absorción de nutrientes y, consecuentemente, el balance electrolítico (Orona y col 2016).

d Fibra dietaria

Otra parte importante de la composición química del grano de chía es la fibra dietaria, ya que se encuentra en un 27%, bs, detrás de lípidos y proteínas (Guiotto y col 2011). La chía es una excelente fuente de fibra, si se compara con especies como soya y maíz (Beltrán-Orozco 2005). Las características de la fibra dietaria de la semilla de chía son: baja capacidad de intercambio catiónico, característica relevante debido a que evitará la indisponibilidad de ciertos minerales que son requeridos por el cuerpo humano; y una gran capacidad de retención de agua (Beltrán-Orozco 2005). Solo el mucílago de la semilla de chía es capaz de absorber 27 veces su peso en agua; sin embargo, cuando se determina la absorción de agua por la semilla entera, se observa que la semilla entera de chía absorbe alrededor de 12 veces su peso en agua (Muñoz 2012).

Dentro de la fibra dietaría total, los granos poseen equilibradamente fibra soluble e insoluble, estas se encuentran en una proporción de 6.16 y 32.8 g cada 100 g de fibra, respectivamente (Beltrán-Orozco 2005). Esta relación de fibra dietaría soluble e insoluble tiene importantes efectos nutricionales y fisiológicos en los consumidores (Reyes-Caudillo 2008). La ingesta de fibra tiene reconocidos efectos en la salud de las personas, los suplementos con fibra son recomendados en el tratamiento del síndrome del colon irritable (Singh 2008). Además, los productos ricos en fibra colaboran a reducir el nivel plasmático de colesterol-LDL y glucosa, ambos factores asociados con la incidencia de enfermedades cardiovasculares (Aller 2004; Islam 2010).

e Vitaminas y minerales

La semilla de chía es una buena fuente de vitaminas del complejo B (**Cuadro 9**). El bajo nivel de vitaminas del complejo B en sangre está asociado al aumento del riesgo de sufrir una enfermedad cardiocoronaria fatal y apoplejía (Jeong y col 2010). El nivel de Niacina (vitamina B₃) en semillas de chía es mayor que el presente en maíz, soya, arroz y cártamo; sin embargo, 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 (Ayerza y Coates 2005).

Las semillas de chía son una excelente fuente de Ca, P, Mg, K, Fe, Zn, Cu (**Cuadro 9**). Además, contienen entre 13-354, 2-12 y 1.6-9 veces más Ca, P y K, respectivamente, que algunas semillas de cereales (trigo, arroz, cebada, avena, maíz). Asimismo, en comparación con la leche, las semillas de chía presentan un contenido 6 veces mayor de calcio, el doble de P y 4.6 veces más de K (USDA, 2002; Instituto Nacional de Alimentos, 2003). Los niveles de hierro en las semillas de chía y en la harina desgrasada son muy elevados, presentando valores poco frecuentes en semillas (Busilacchi y col 2013).

f Fitoquímicos en semilla de chía

Las semillas de chía contienen varios compuestos con potente actividad antioxidante, entre los más importantes se encuentran algunos ácidos fenólicos (clorogénico, cafeico) y flavonoides (quercetina, mirecetina, kaempferol). La concentración de compuestos antioxidantes de la chía (**Cuadro 10**) es comparable con otras frutas ricas en estos compuestos, como arándanos y granada (González y col 2010). La elevada actividad antioxidante de la semilla de chía es atribuible a la presencia de los compuestos polifenólicos (**Cuadro 10**), principalmente los ácidos caféico y clorogénico (Taga y col 1984) y la quercetina, la cual es uno de los compuestos más potentes y estables (Huang y col 2005). La importancia de estos compuestos es que actúan como conservante del aceite, por este motivo las antiguas civilizaciones podían guardar la harina de chía por largos periodos sin que esta se

Cuadro 9. Contenido de vitaminas y minerales en la semilla integral de chía y en harina residual desgrasada

Nutrimento (mg100g)	Semilla de chía	
	Entera ^a	Harina desgrasada ^b
Macroelementos		
Calcio	714	1,180
Potasio	700	1,100
Magnesio	390	500
Fósforo	1,067	1,170
Microelementos		
Aluminio	2	4.3
Boro	-	1.4
Cobre	0.2	2.6
Hierro	16.4	20.4
Manganeso	2.3	6.8
Molibdeno	0.2	-
Sodio	-	2.9
Zinc	3.7	8.5
Vitaminas		
Niacina	6.13	11.30
Tiamina	0.18	0.79
Riboflavina	0.04	0.46
Vitamina A	44 IU	-

^aInstituto Nacional de Alimentos; ^bBrown 2003

Cuadro 10. Compuestos antioxidantes presentes en extractos de la semilla de chía

Compuesto	(g/kg semilla)
<i>Extracto no hidrolizado</i>	
Flavonoles	Nd
Ácidos cinámicos	
Caféico	6.6×10^{-3}
Clorogénico	7.1×10^{-3}
<i>Extracto hidrolizado</i>	
Flavonoles	
Miricetina	3.1×10^{-3}
Quercetina	0.2×10^{-3}
Kaempferol	1.1×10^{-3}
Ácidos cinámicos	
Caféico	13.5×10^{-3}

Taga 1984

enranciará (Di Sapio y col 2012). Al poseer una mínima oxidación, la chía ofrece un gran potencial para ser usada en la industria alimentaria, debido a que las otras fuentes de omega 3 son inestables y sufren una descomposición rápida por la ausencia de compuestos antioxidantes (Ayerza 2009). En cuanto a los beneficios para la salud, estudios epidemiológicos indican que la ingesta de alimentos ricos en antioxidantes puede prevenir enfermedades cardiovasculares, cáncer y diversas patologías (La Vecchia y col 2013).

Martínez-Cruz y Paredes-López (2014) determinaron la presencia de algunos ácidos fenólicos e isoflavonas utilizando la metodología de Ultra HPLC, encontrando en mayor cantidad el ácido Rosmarínico, seguido por los ácidos caféico y gálico, mientras que de las isoflavonas encontradas se encuentran la daidzina y la genisteína como las presentes en mayor proporción (**Cuadro 11**).

10 Aspectos legislativos y usos actuales

a Usos culinarios

En la época prehispánica los usos de la planta de chía (*Salvia hispanica* L) fueron diversos; prácticamente todas las partes de la planta se utilizaron para fines diversos (Cahill 2005). Actualmente, la chía se utiliza como ingrediente en diversos productos para consumo humano; en Estados Unidos de América, Canadá, Australia y Latinoamérica las semillas de chía se utilizan para elaborar pan, galletas, barras de granola (Iglesias 2013) y bebidas (Kummer 2012). Debido a la gran cantidad de estudios que avalan las características nutricionales de la chía, la autoridad europea de seguridad alimentaria emitió un dictamen sobre la inocuidad de las semillas enteras y trituradas; además, autorizó su empleo en productos de panaderías con un contenido máximo de 5% (EFSA 2009).

A nivel nacional, la semilla de chía está distribuida en supermercados, de forma envasada, a granel y en diversos productos de panadería. También se comercializa como producto nutracéutico, principalmente en forma de cápsulas de aceite. Existen diversas formas de emplear las semillas de chía en el arte culinario; esta pequeña semilla es muy rica en mucílagos lo que provoca que actúe como un gelificante natural que ayuda a espesar fácilmente cualquier líquido.

Cuadro 11. Contenido de ácidos fenólicos e isoflavonas en semillas de chía determinado por Ultra HPLC

Compuesto	Contenido (mg/100g de semilla)
<i>Ácidos fenólicos</i>	
Gálico	1.15
Caféico	2.74
Clorogénico	ND
Ferúlico	T
Protocatecúico etil éster	74.71
Rosmarínico	92.67
<i>Flavonoides (Isoflavonas)</i>	
Daidzina	0.66
Glicitina	0.14
Genistina	0.34
Gliciteina	0.05
Genisteina	0.51

ND= No determinado, T= Traza

Martínez-Cruz y Paredes-López 2014

natural que ayuda a espesar fácilmente cualquier líquido. De esta manera, se pueden aprovechar sus propiedades añadiéndolas a un jugo de frutas o a una infusión y conseguir una consistencia espesa después de un reposo de una hora aproximadamente, obteniendo una gelatina de forma muy sencilla.

La incorporación de semillas de chía en panificación aumenta el valor nutritivo del producto debido a la proporción de ácidos grasos omega y fibra dietaria proporcionados por éstas, sin alterar la calidad del pan y cambiando solo el color de la miga, además que existe un cambio en la cinética de la amilopectina durante el almacenamiento, lo que se relaciona directamente con el aumento de vida en anaquel (Iglesias y Haros 2013). Con la adición, el contenido de n-3 alfa-linolénico aumenta, existiendo una mayor relación omega-6/omega-3; además, contribuye a una reducción en el volumen específico y ligereza del pan (Luna y col 2015). La cantidad de agua y harina o semillas sin afectar el horneado es del 2% de chía mezclada antes del amasado con 5 g de harina por g de agua; en estas cantidades se mantiene el volumen y la suavidad de la miga del pan de manera positiva (Zettel y col 2015). Las semillas de chía enteras que se utilizan en los productos alimenticios no son digeridas y utilizadas fácilmente por el cuerpo humano debido a una capa extremadamente dura. Pero si se agrega en forma de harina mejoran el valor nutricional, la textura, y aplicaciones de alimentos funcionales (Inglett y col 2014).

El aceite de chía es usado por artesanos de los estados de Chiapas, Guerrero, Michoacán y Ciudad de México, para preparar lacas conocidas como maque, con la finalidad de pintar jícaras y guajes. Este arte floreció en el antiguo México desde antes de la llegada de los españoles. El aceite se extrae tostando lentamente, y a fuego bajo, las semillas de chía para, posteriormente, molerse y agregándole agua caliente se amasa hasta que el aceite empieza a escurrir; posteriormente, el aceite se calienta a ebullición, y enfría, para su mejor conservación (Ayerza y Coates 2005).

También se pueden agregar las semillas sin necesidad de ser remojadas a una ensalada, como cereal de desayuno, añadido como complemento de un yogur o bien simplemente integrarlo en elaboraciones de panes caseros. León-López y col (2019) elaboraron tortillas de harina de maíz nixtamalizado comercial (MASECA^{MR})

adicionada con harina de chía desgrasada extrudida optimizada (**HCDEO**) utilizando una proporción de 75%-25% MASECA^{MR}-**HCDEO**. Estas tortillas maíz-chía tuvieron mayor contenido de compuestos fenólicos totales (**CFT**), actividad antioxidante (**AAox**), relación de eficiencia proteínica calculada (**C-PER**) y mejor potencial hipertensivo que las tortillas elaboradas solo con harina MASECA^{MR}. Las tortillas elaboradas con harina MASECA^{MR}+**HCDEO** tuvieron mayor **DPIV**, **C-PER**, **CFT**, **AAox** y mejor potencial antihipertensivo que elaboradas solo con harina MASECA^{MR}. La adición de **HCDEO** a la harina MASECA^{MR} incrementó el valor nutricional/nutracéutico de las tortillas.

En nuestro país, en algunas regiones del estado de Jalisco, se elabora el “agua de chía”, una especie de limonada que se elabora añadiendo, a un vaso de agua (200 mL) con jugo de limón adicionado y un endulzante (miel, mascabado), media o una cucharadita de semillas de chía y dejándola reposar, al menos, quince minutos, dando lugar a una bebida con dos texturas, una líquida y otra más gelatinosa correspondiente a las semillas hidratadas.

Las semillas de chía son libres de gluten por lo que constituye una buena alternativa para las dietas celíacas tanto como gelificante natural sin gluten, como en la elaboración de repostería.

Otra alternativa para consumirse es como germinado, al momento de preparar ensaladas, sándwiches o como acompañante en diferentes tipos de guarniciones (Albestraín 2014).

11 Propiedades nutracéuticas de las semillas de chía

Las semillas de chía, fundamentalmente por su contenido de aceite, se consideran “alimento funcional” porque además de contribuir a la nutrición humana, aumenta el índice de saciedad, previene enfermedades cardiovasculares, trastornos inflamatorios y nerviosos, así como la diabetes. Adicionalmente, la fibra dietaria soluble (mucílago) de las semillas de chía absorbe 27 veces su peso de agua ayudando a contrarrestar problemas de estreñimiento, divertículos y cáncer de colón (Alvarado 2011; Muñoz y col 2012). Derivado de esto, algunos Nutriólogos

recomiendan ingerir de 15 a 25 g de semillas remojadas en agua (al menos quince minutos), durante 20 días (Bernal y col 2015).

Una suplementación de 12 semanas con 35 g de harina de chía/día en la dieta de humanos se logró reducir significativamente de peso y circunferencia de cintura, gracias a su contenido de fibra dietética que actúa dando efecto de saciedad y disminuyendo la entrada calórica por la alta viscosidad del gel formado en el tracto gastrointestinal, así mismo por el contenido alto de Omega 3 que suprime el apetito, mejorando la oxidación de lípidos y el gasto de energía (Toscano y col 2014).

La ingesta continua de chía durante 12 semanas ayuda a diabéticos a controlar el nivel de glucosa después de ingesta de comida (glucemia postprandial), mejorando la presión y coagulación de la sangre (Vuksan y col 2010). El aceite de chía es usado como agente adyuvante hidratante para la piel pruriginosa, característica de personas con deficiencia renal y diabetes, mejorando la función de barrera epidérmica de permeabilidad e hidratación de la piel (Jeong y col 2010).

Sin embargo, las propiedades de la chía no son solo un complemento para una dieta saludable, ya que sirve de igual forma como un insumo de prevención y tratamiento contra la hipertensión, sin los efectos secundarios de los medicamentos clínicos. En entrevista para la Agencia Informativa CONACyT, el Doctor en Ciencias Biológicas Jesús Vázquez Rodríguez, Profesor-Investigador de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL) explica los resultados de sus estudios sobre los extractos de la chía contra la hipertensión: “Hemos obtenido resultados muy positivos en los extractos de polifenoles, con efectos muy similares a los que produce el Captopril, que es el medicamento que actúa contra la hipertensión” (CONACyT, 2018). Según otros Profesores-Investigadores de la misma UANL el efecto antihipertensivo se da gracias a la composición química de las semillas de chía: “los carbohidratos representan entre el 35 y 40% del peso final, pero en ellos no se encuentran azúcares, ni monosacáridos, ni disacáridos”.

Una de las ventajas de la chía, por sobre el Captopril, radica en los resultados sin deterioros posteriores en su consumo. El Dr Jesús Vázquez asegura que el Captopril es uno de los medicamentos más recomendados por los médicos, pero cuenta con ciertos efectos secundarios, como tos crónica, proceso de inflamación, dolor de

cabeza, mientras que en la chía no se encuentra eso”. Si bien los antioxidantes resultan fundamentales en el combate a la hipertensión, estos son solo uno de los aportes proporcionados por la *Salvia hispanica*, puesto que su composición integral la convierte en un alimento funcional. “La chía entera ayuda a un buen funcionamiento del cuerpo, mejorando la digestión y el sistema circulatorio, favoreciendo la movilidad de lípidos. Puede contribuir a disminuir el peso y la grasa corporal, porque contiene grasas monoinsaturadas y poliinsaturadas, lo que se conoce como ‘grasa buena’”, asegura. (CONACyT, 2018)

12 Procesamiento tecnológico de las semillas de chía

Para la obtención de productos con elevado contenido de un componente en particular, es necesario darles a las semillas un procesamiento previo a su consumo para esto existen diversos métodos al que se someten, que pueden afectar las propiedades de la misma. Por esa razón es que se han empleado desde varias épocas atrás, dichos métodos donde se involucran, temperatura, humedad u otros factores con el fin de dar una mejor aceptabilidad a la semilla como tal o incorporada en otros productos. Las semillas de chía son sometidas a diferentes procesamientos; dentro de ellos se encuentran tostado, remojo, cocción, extrusión, fermentación en estado sólido y germinación.

B GERMINACIÓN

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 (King 1991). 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 (King 1990).

Para que tenga lugar la germinación tiene que reunirse una serie de condiciones, tanto en la semilla como en el ambiente que la rodea. Son varios los eventos que ocurren durante este tratamiento, el inicio se da con la captación de agua por la semilla (imbibición) (Cuadra 2002).

1 Proceso de germinación

La recuperación de la actividad biológica por parte de los diferentes tejidos de la semilla constituye precisamente el proceso de germinación. Se considera que una semilla ha germinado en el momento que ha originado una plántula normal capaz de convertirse a su vez, bajo condiciones ambientales favorables, en una planta adulta productora de nuevas semillas (Pérez 2008).

a Imbibición

Es el período durante el cual la semilla absorbe (embebe) agua y se hincha. El agua que rodea a la semilla pasa a través de las envueltas seminales, penetra en su interior y al llegar al embrión, en cantidad suficiente, éste se activa y comienzan los procesos que terminarán en el desarrollo de la planta (Cuadra 2002).

b Iniciación del metabolismo activo del embrión

Durante esta fase tienen lugar en la semilla profundas transformaciones metabólicas que preparan el camino para la fase siguiente de crecimiento y son, por tanto, imprescindibles para el normal desarrollo de la plántula. En esta fase, se reduce considerablemente la absorción de agua por la semilla y se estabiliza el consumo de oxígeno. Lo primero que necesita el embrión para comenzar a desarrollarse es alimento. Por ello libera enzimas digestivas que disuelven parte del alimento que es absorbido desde el tejido almacenador hasta el embrión. Gracias a esta alimentación el embrión puede respirar más rápidamente y crecer (Cuadra 2002).

2 Factores que influyen sobre la germinación

a Humedad

Para que la semilla vuelva a un metabolismo activo es necesario que sus tejidos se re hidraten. Para ello, la semilla debe estar en contacto físico con agua en estado líquido. Aunque podría absorber una parte del vapor de agua de la atmosfera circundante, en la mayor parte de los casos, la cantidad de agua sería insuficiente para promover la germinación. En la mayor parte de las semillas, un exceso de agua es desfavorable para la germinación ya que dificulta la llegada de oxígeno hasta el embrión (Cuadra 2002).

b Temperatura

La temperatura es un factor decisivo en el proceso de germinación. Su efecto se debe a su capacidad para influir sobre las enzimas que regulan la velocidad de las reacciones bioquímicas que ocurren en la semilla tras su rehidratación. Así, del mismo modo que la actividad de cada enzima tiene lugar entre un máximo y un mínimo de temperatura, existiendo un óptimo intermedio, en el proceso de germinación pueden establecerse unos limitantes similares. La temperatura mínima sería aquella por debajo de la cual la germinación no se produce, y la máxima aquella por encima de la cual se anula, igualmente el proceso. La temperatura óptima, intermedia entre ambas, puede definirse como la más adecuada para conseguir el mayor porcentaje de germinación en el menor tiempo posible (Cuadra 2002).

c Oxígeno

La aireación es necesaria para que una semilla germine, pues el embrión necesita disponer del oxígeno suficiente para la obtención de la energía imprescindible para mantener sus actividades metabólicas. La mayor parte de las semillas germinan perfectamente en una atmosfera normal, con un 21 % de oxígeno (Cuadra 2002).

d Iluminación

En muchos casos las semillas germinan indiferentemente bajo la luz o en la oscuridad. Sin embargo, muchas semillas sólo germinarán en presencia de luz, mientras que la germinación de otras quedas fuertemente inhibidas por efecto de la misma (Cuadra 2002).

e Inhibidores microbianos

Para inhibir el crecimiento microbiano durante la germinación se utilizan diferentes agentes: hipoclorito de sodio (Lukow y Bushuk 1984), formaldehido (Elmalik y col 1986) mezcla de formaldehido-metanol (Gómez-Ortiz 1982), alcohol etílico al 70% y CaCl₂ al 3% (Colmenares de Ruiz y Bressanni 1990).

f Elicitores

En la naturaleza existe una diversidad de moléculas que participan en la resistencia a enfermedades que son promovidas con la aplicación exógena de elicitores como ácido salicílico, etileno, acibenzolar S-metil y oligosacáridos que se han empleado en diversos cultivos en campo e invernadero. En los últimos años se han desarrollado una serie de compuestos químicos cuya finalidad es promover o activar múltiples rutas de señalización de defensa intracelular que puedan proteger a los cultivos del ataque de patógenos. Estos compuestos inductores conocidos como elicitores desencadenan en las plantas una serie de mecanismos de defensa que dan como resultado una resistencia sistémica adquirida más allá del sitio de infección (Mejía-Teniente y col 2010).

3 Métodos de germinación

a Nivel domestico

Para germinar en casa no es necesario el uso de utensilios especiales, puede servir cualquier recipiente de uso común en la cocina. Como soporte se usan toallas de papel o tela y para mantener la humedad de las semillas se tapan también con toallas de papel húmedas (Ghorpade y Kadam 1989).

b Nivel comercial

Cuando se germina a nivel comercial, se utilizan diferentes instrumentos específicos para tal proceso, germinación en almacigo, directo en charolas germinadoras y en caja Petri, el tiempo de germinación varía dependiendo de la semilla y la planta. El más utilizado son las charolas, en este caso el número de cavidades es esencial para la producción, además de que gracias a las características de cada charola el crecimiento de las plántulas es homogéneo.

Una buena charola de germinación le dará un excelente inicio al cultivo, evitando el desperdicio de semillas al tener un mayor control en los espacios, proporcionando homogeneidad en las plantas y permitiéndote seleccionar las plántulas más aptas para el desarrollo.

4 Efecto de la germinación sobre composición química, valor nutricional, niveles y perfiles de fitoquímicos, actividad antioxidante y propiedades nutraceuticas

La germinación es uno de los procesos más antiguos utilizados en todo el mundo para la obtención de alimentos, tiene efectos importantes sobre la composición química, valor nutricional, propiedades nutraceuticas y características de aceptabilidad de las semillas (cereales, pseudocereales, leguminosas) germinadas. Durante la germinación de la semilla ocurre biosíntesis, degradación y transporte de compuestos (carbohidratos, grasas, proteínas) con la finalidad de nutrir a la plántula en desarrollo. La digestión de las reservas del embrión o endospermo da por resultado aminoácidos, nucleótidos, ácidos orgánicos y azúcares. El proceso de germinación genera cambios nutricionales y nutraceuticos comparados con la semilla sin germinar. La germinación mejora la calidad de las proteínas y distribución de aminoácidos, el contenido de ácidos grasos poliinsaturados, incrementa la biodisponibilidad de minerales y vitaminas, y disminución de factores antinutricionales (fitatos, inhibidores de tripsina) (Perales-Sánchez y col 2014; Domínguez-Arispuro y col 2017; Paucar-Menacho y col 2017; Gómez-Favela y col 2017; Salas-López y col 2018).

a Composición química

En el **Cuadro 12** se muestran los cambios que ocurren durante el bioproceso de germinación en la composición química, estos cambios dependen, principalmente, de la semilla y las condiciones de germinación utilizadas (Colmenares de Ruiz y Bressani 1990).

1) Proteínas

Nic Phiarais y col (2008), estudiaron los cambios en el contenido de proteína de trigo sarraceno durante la germinación. El trigo sarraceno se remojó durante 12 h, y se germinó por 108 h. Las muestras germinadas se liofilizaron y se molieron. El contenido de aminoácidos libres de trigo germinado se incrementó; los niveles del ácido Glutámico también se incrementaron (>109 %) al igual que la actividad proteolítica (48%).

Aphalo y col (2009) estudiaron los cambios estructurales de las proteínas de amaranto (*A. hypochondriacus*) durante la germinación. Las semillas de amaranto se sometieron a tratamiento antifúngico por remojo en solución de hipoclorito de sodio al 0.02% (g/mL) durante 20 min; posteriormente, se enjuagaron varias veces con agua destilada. Las semillas se colocaron sobre papel absorbente, humedecido con agua destilada, colocado en cajas de plástico con tapa. La germinación se llevó a cabo a 37°C. Las semillas se retiraron a diferentes tiempos (0, 6, 8, 12, 15, 24, 48 h) (horas después de la imbibición = hdi) y se secaron a 42°C durante una hora para detener la actividad enzimática. Las semillas se consideraron como “germinadas” cuando se observó a la radícula atravesar la testa. A las 0 y 6 h no se observó profusión de la radícula. Las semillas se retiraron a diferentes tiempos (0, 6, 8, 12, 15, 24, 48 h) (horas después de la imbibición = hdi) y se secaron a 42°C durante una hora para detener la actividad enzimática. Las semillas se consideraron como “germinadas” cuando se observó a la radícula atravesar la testa. A las 0 y 6 h no se observó profusión de la radícula. A las 15 hdi las semillas exhibieron una longitud de radícula < 0.5 cm, mientras que a las 24 hdi y 48 hdi la longitud de la radícula fue de 0.5 y más de 0.5 cm, respectivamente. Las semillas a diferente hdi se almacenaron a -80°C hasta su utilización. Para evitar posibles pérdidas de compartimentalización

Cuadro 12. Efecto de la germinación sobre el contenido de proteínas, lípidos y carbohidratos en diferentes granos/semillas

Material	Condiciones de germinación	Proteínas	Lípidos	Carbohidratos
Amaranto (a)	Remojo: 25°C/5h Germinación: 32°C/48 h Secado: 30, 60, 90°C		La fracción lipídica disminuyó y el contenido de fosfolípidos se incrementó. Los contenidos de ácidos grasos (Palmitico, Oleico, Linoleico) y de Escualeno no se afectaron por el proceso	A todas combinaciones germinación / temperatura de secado se observaron disminuciones en el contenido de almidón de ambas especies
Trigo serraceno (b)	Remojo: 12 h Germinación: 15 °C/108 h	El contenido de aminoácidos libres de trigo germinado mostró un incremento, el ácido glutámico aumentando más del 109%, y la actividad proteolítica aumentó 48% durante la germinación.		
Arroz (c)	Remojo: Agua potable (25°C) / 15 min Germinación: 35°C / 24 h Secado: 55°C	Incremento 5% en proteína cruda. El incremento se atribuye a pérdidas de peso en seco, principalmente CHO, debido al proceso de respiración		Incrementos en almidón resistente de 20.8% y 4.6% a las 48 h y 72 h de germinación, respectivamente. A 72 h de germinación se observó disminución en almidón total.
Canola (d)	Germinación: 25°C Riego con agua destilada c/3 d	Incremento 9% en proteína cruda. Señalan que después de cinco días de la germinación encontraron un descenso de nitrógeno proteico, pero un marcado incremento de aminoácidos libres y nitrógeno no proteico.	Disminución del 49.45 % en el contenido de lípidos.	
Arroz (e)	Remojo: Agua potable/12 h Germinación:	Incremento del 29% en proteína cruda por efecto del proceso de		Incrementos de 8%, 107% y 326% en fibra cruda,

	28-30°C/24 h Secado: 50°C	remojo – germinación- secado		azúcares solubles totales y almidón resistente, respectivamente, por efecto del proceso remojo – germinación – secado
Trigo serraceno (f)	Remojo: Agua potable Germinación: 25°C/168 h		Los germinados (siete días) liofilizados y secados al natural mostraron un decremento de 12.9 % y 16.6%, respectivamente, en el contenido de grasa cruda al comparase con granos crudos.	
Amaranto (g)	Remojo: Agua destilada/6 h Germinación: 30°C/72 h	Incremento del 40% en el contenido de proteína por efecto del proceso	Disminución del 30% del contenido de lípidos	Incremento de fibra soluble (655%), insoluble (99) y total (124%) por efecto del proceso
Garbanzo desi negro (h)	Germinación: 33.7°C/171 h	Incremento del 16.4% en el contenido de proteína por efecto del proceso	Disminución del 37% del contenido de lípidos	Incremento de fibra soluble (26%), insoluble (15%) y total (15%) por efecto del proceso
Chía (i)	Germinación: 21°C/157 h	Incremento del 20.89% en el contenido de proteína	Disminución del 55.31% en el contenido de lípidos	Incremento del 3.43 % de fibra dietaria total
Diferentes cereales (j)	Remojo: Agua potable Germinación: temperatura ambiente/192 h	Reportaron que los valores de proteína de los germinados en base seca, oscilaron entre 9,79% y 13,4%, indicando un incremento respecto a los granos secos que fluctuaron en un rango de 8% a 10,5%,		
Frijol tépari (k)	Germinación: 30°C/120 h	Incremento del 57.5% en el contenido de proteína	Disminución del 28% en el contenido de lípidos por efecto del proceso	Incremento del 246% en el contenido de fibra dietaria total por efecto del proceso

(a) Gamel y col 2007; (b) Nic Phiarais y col 2008; (c) Charoenthaikij y col 2009; (d) Barrón-Yañez y col 2009; (e) Moongngarm y Saetung 2010; (f) Lee y col 2013, (g) Perales-Sánchez y col 2014; (h) Domínguez-Arispuro y col 2017; (i) Gómez-Favela y col 2017; (j) Apráz y col 2017; (k) Salas-López y col 2018

celular y actividad de proteasas durante el tratamiento de 42°C, se realizó un experimento control en el cual las semillas seleccionadas a diferentes tiempos de imbibición se congelaron inmediatamente con N₂ líquido, se molturaron en mortero y se sujetaron a extracción de proteína. Las proteínas de almacenamiento empezaron a ser hidrolizadas inmediatamente después de finalizada la germinación. 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. Este patrón de movilización de Globulina 11S es considerado por el modelo estructural con polipéptidos A y propolipéptidos expuestos al exterior. Las moléculas de globulina mostraron cambios menores en sus tamaños a pesar de tener algunos de sus polipéptidos divididos (rotos). Aunque la Globulina-p posee mayor agregación que la Globulina 11S, mostró cambios conformacionales más grandes. Considerando la susceptibilidad mayor de los propolipéptidos a hidrólisis enzimática, el contenido mayor de este tipo de polipéptidos en las moléculas de Globulina-p podría explicar sus cambios estructurales mayores. De acuerdo a los resultados, el orden de movilización de las proteínas de almacenamiento depende de la combinación de dos características estructurales: el estado de agregación y la presencia en la superficie de polipéptidos susceptibles al rompimiento.

Charoenthaikij y col (2009) reportaron un pequeño incremento (5%) en el contenido de proteína cruda cuando el arroz se remojó durante 15 min, germinó (35°C / 24 h) y secó a 55 °C. El incremento del contenido de proteína de los diferentes granos se puede atribuir a las pérdidas de peso en seco, sobre todo en carbohidratos, a través de la respiración durante la germinación, así como a las temperaturas altas de germinación (Wu y Wall 1980).

Barrón-Yañez y col (2009) evaluaron el efecto de la germinación en la composición nutricional y contenido total de saponinas en germinados de canola (*Brassica napus* L.). Para llevar a cabo el proceso de germinación se colocaron 20 g de semillas en charolas de plástico (40 x 25 x 12 cm) perforadas acondicionadas con

una capa de yute y otra superior de tela de organza, previamente desinfectadas con hipoclorito de sodio (1 %). Se cubrieron las semillas con otra tela de yute, previamente tratada, para guardar humedad. Cada charola se dividió en tres partes iguales, una se utilizó para realizar el análisis sensorial, la segunda para el análisis proximal y la tercera para la cuantificación de saponinas. Las charolas con las semillas esterilizadas se mantuvieron en la oscuridad parcial para promover la germinación a temperatura ambiente (25°C). Se efectuó humectación con agua destilada cada tres días para favorecer que el yute conservara la humedad. El análisis estadístico mostró que el germinado de canola presentó un incremento de proteína, pues se obtuvo un valor de 34.4% en los germinados, comparado con un 31.56% correspondiente a las semillas crudas.

Moongngarm y Saetung (2010) reportaron un aumento del 29% de proteína cruda en arroz por efecto del proceso de germinación. El grano se remojó en agua potable a temperatura ambiente durante 12 h, posteriormente se germinó (28-30°C/24 h) y secó a 50°C.

López-Ortiz y col (2011) germinaron sorgo adaptado al suelo de Texas; no encontraron diferencias significativas entre el sorgo nativo y germinado y explicaron que este fenómeno podría deberse por un posible sistema de equilibrio para los procesos de degradación y síntesis de proteínas en el proceso de germinación, ya que la proteína es uno de los principales sustratos para el crecimiento y el desarrollo de la planta, además destacaron que aunque se modifique o no el contenido de proteína durante la germinación, este proceso mejora su disponibilidad y, por ende, su valor nutricional.

Lee y col (2013) estudiaron el contenido de proteína cruda en germinados de trigo, encontrando un incremento del 26% después de remojar la semilla y germinar a (25°C /168 h); los germinados se liofilizaron y secaron para su uso posterior.

Perales-Sánchez y col (2014) reportaron un aumento del 40% en contenido de proteína en amaranto después de someter las semillas a condiciones de germinación (30°C / 72 h) previamente optimizadas; estos incrementos en el contenido de proteína se lo atribuyeron a la disminución de otros componentes de la semilla, los cuales se consumieron para la obtención de energía para llevar a cabo el proceso de

germinación. Estos mismos cambios observaron Dominguez-Arispuro y col (2017), Gómez-Favela y col (2017) y Salas-López y col (2018) quienes germinaron, en condiciones de temperatura y tiempo de germinación previamente optimizados, garbanzo desi negro (33.7°C/171 h), chíá (21°C/157h) y frijol tépari (30°C/120 h), respectivamente.

Apréaz y col (2017) evaluaron el rendimiento e biomasa, la composición nutricional y el contenido de metabolitos secundarios en cereales en grano y germinados. Los tratamientos fueron: maíz amarillo, maíz blanco, maíz capio, cebada, trigo galeras, trigo sumatambo y avena, reportando que los valores de proteína de los germinados en base seca, oscilaron entre 9,79% y 13,4%, indicando un incremento respecto a los granos secos que fluctuaron en un rango de 8% a 10,5%, por lo que resulta promisorio el proceso también para mejorar su aprovechamiento en el tracto gastrointestinal.

2) Lípidos

Gamel y col (2007) 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*). La germinación de las semillas de amaranto se llevó a cabo de la siguiente manera: las semillas se lavaron y remojaron en una solución desinfectante (Etanol al 70% y CaCl₂ al 3%) (Relación 1:2, semillas /solución) a temperatura ambiente por 5 min. Las semillas se colocaron sobre material esponjoso humedecido con la solución desinfectante y se cubrieron con papel secante estéril, para mantener la humedad constante, y se colocaron en un germinador (32°C/48 h). Los germinados se secaron a tres temperaturas diferentes (30, 60 y 90°C) y, posteriormente, se molturaron. Se obtuvieron tres tipos de harina con diferente actividad enzimática (alta, media y baja). 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.

Barrón-Yañez y col (2009) compararon el contenido de lípidos en semillas germinadas y sin germinar de canola, reportando una disminución (49.45 %) significativa en los niveles de lípidos por efecto de la germinación; ellos atribuyeron esta disminución al resultado de varios procesos metabólicos de degradación por la demanda energética, reflejándose en un aumento en la tasa respiratoria.

Lee y col (2013) evaluaron el efecto de la germinación de trigo sarraceno (*Fagopyrum esculentum* Moench) sobre el contenido de grasa cruda. Los granos se remojaron en agua y se germinaron (25°C/07 días). Se tomaron muestras de los germinados a los 3 y 7 días. A los germinados se les aplicaron dos procedimientos de secado: liofilización y secado natural. Los germinados (siete días) liofilizados y secados al natural mostraron decrementos de 12.9 % y 16.6%, respectivamente, en el contenido de grasa cruda al compararse con granos crudos.

Gómez-Favela y col (2017) germinaron (21°C/157 h) semillas de chía y observaron que el contenido de lípidos disminuyó (55.31%) luego del bioproceso. Esta misma tendencia se ha reportado para otras semillas como amaranto (Perales-Sánchez y col (2014), garbanzo desi negro (Dominguez-Arispuro y col 2017) y frijol tépari (Salas-López y col 2018). La disminución del contenido de lípidos es atribuido a que son consumidos como fuente de energía junto con los carbohidratos durante el proceso de germinación.

3) Carbohidratos

Se ha observado que tanto el contenido de azúcares solubles totales (AST) y azúcares reductores (AR), se incrementan después de la germinación de cereales en la mayoría de los estudios reportados. Prakash y col (2007) germinaron granos de maíz a 37°C durante 48-96 h. Antes de la germinación los granos se remojaron en agua a 25°C. Después de la germinación los germinados se secaron (60°C/5-6 h); se observó un incremento (505%) en la actividad de la α -amilasa a las 72 h de germinación. Saman y col (2008) remojaron arroz en agua destilada durante 24 h y,

posteriormente, lo germinaron (30°C /72 h); ellos observaron un incremento del 1.196% en el contenido de azúcares reductores.

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 (55°C). En las dos variedades se observaron 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.

Moongngarm y Saetung (2010) reportaron incrementos de 107% y 326% en los contenidos azúcares solubles totales y almidón resistente, respectivamente, por efecto del proceso de germinación del grano de arroz. Los granos se remojaron (25°C/12 h), posteriormente se germinaron (28-30°C/24 h) y, finalmente, se secaron a 50°C.

4) Fibra dietaria

La germinación, por si sola o combinada con otros procesos de elaboración (remojo, cocinado, secado, etc.) ha demostrado ser uno de los sistemas de elaboración más efectivos para disminuir los factores antinutricionales, ya que moviliza metabolitos secundarios que actúan como sustancias de reserva (fitatos y alfa-galactósidos), además de incrementar la digestibilidad proteínica *in vitro* (Griffith y Korn 1997).

En un estudio realizado por Vidal-Valverde y col (2008), tras la germinación (20°C/06 días) de habas se observó una disminución (39%) en el contenido de fibra, principalmente hemicelulosa (se observó un incremento en celulosa y lignina); adicionalmente, el contenido de fitatos disminuyó (45%) mientras que el de alfa galactósidos tuvo un decremento (94%). Todos estos cambios están en relación directa con el tiempo de germinación: a mayor tiempo de germinación mayor disminución en el contenido de fibra, fitatos y alfa galactósidos.

La fibra soluble de semillas germinadas, aunque está en menor proporción que en las no germinadas, sufre modificaciones que hace que sea más eficiente en el

tratamiento de la hipercolesterolemia y como hipoglucemiante en dietas para diabéticos (Rojas-Hidalgo y col 2012).

Buenrostro y col (2016) evaluaron la calidad nutrimental de los germinados de chía. Se probaron cuatro tiempos de germinación (3, 4, 5 y 6 días). La germinación causó un decremento en el contenido de fibra al compararse germinados con control, sobretodo en los dos primeros días; se incrementa de manera significativo el quinto día. La disminución en el contenido de fibra, durante los dos primeros días, puede explicarse por la degradación de pared celular durante la germinación; el incremento en el quinto día puede atribuirse al mayor tamaño de la plántula y por ende a la mayor presencia de celulosa.

Perales-Sánchez y col (2014), reportaron incrementos del 655, 99 y 124% en el contenido de fibra insoluble, soluble y total, respectivamente, en la semilla de amaranto después de someterse al proceso de germinación. También existen reportes del incremento de estas fracciones de fibra dietaria en otras semillas como garbanzo negro desi (Domínguez-Arispuro y col 2017) y frijol tépari (Salas-López y col 2018). El proceso de germinación puede cambiar la estructura de los polisacáridos de la pared celular de las semillas y producir biosíntesis de pared celular, así como fibra dietaria nueva. La germinación produce un incremento de celulosa y hemicelulosa acompañado de un incremento de polisacáridos pépticos (Perales-Sánchez y col 2014; Domínguez-Arispuro y col 2017)

Gómez-Favela y col (2017) reportaron que la germinación (21°C / 157 h, con fotoperiodos luz-oscuridad de 12 h) de semillas de chía causó un incremento en el contenido de fibra dietaria con respecto a las semillas crudas.

5) Vitaminas y minerales

En el **Cuadro 13** se muestra el efecto de la germinación sobre el contenido de vitaminas y minerales en algunas semillas. Algunos investigadores (Malleshi y Klopfenstein 1998; Simontacchi y col 2003) han reportado que durante la germinación de semillas de sorgo se sintetizan vitamina C y tocoferoles. Gamel y col (2007) reportaron incrementos en el contenido vitamina C, Niacina y Riboflavina,

Cuadro 13. Efecto de la germinación sobre contenido de vitaminas y minerales en diferentes granos/semillas

Material	Condiciones de germinación	Vitaminas	Minerales
Trigo sarraceno (a)	Remojo: Agua potable Germinación: 25°C/168 h		Los germinados (siete días) secados al natural mostraron un incremento en minerales cuantificados: Ca (60 %), P (29 %), Mg (29.5%), K (24.9 %), Fe (61.5 %), Zn (35.7 %), Se (100 %), al compararse con grano crudo.
Amaranto (b)	Remojo: Soln desinf 25°C/5 min Germinación: 32°C / 48 h Secado: 30,60,90°C	-La germinación incrementó el ácido Ascórbico (AA) y vit complejo B (Niacina, Niacinamida, Piridoxina, Riboflavina). Sin embargo, el secado posterior provocó disminución en contenido de estas vitaminas. -Las harinas derivadas del proceso germinación-secado (30°C), tuvieron menor AA y Niacinamida y mayor Niacina, Piridoxina y Riboflavina que los granos crudos. -Las harinas derivadas del proceso de germinación-secado (90°C) tuvieron, para ambas especies, cantidades menores de AA y vit complejo B que los granos crudos.	P, K, Mg y Ca minerales dominantes en las semillas crudas de ambas especies. Los procesos de germinación + secado (30, 60,90°C) provocaron un incremento en los niveles de Ca y Zn para ambas especies
Arroz (c)	Remojo: Agua potable /12 h Germinación: 28-30°C / 24 h Secado: 50°C	Disminución en Tiamina, Niacina y Piridoxina por efecto del proceso de remojo – germinación – secado	
Maíz (d)	Germinación: 35-38°C / 144 h		Incremento en el contenido de algunos minerales [Na : de 13.27 a 15.98 y de 10.80 a 12 mg / 100 g; K : de 206.17 a 216.15 y de 125 a 134.53 mg/100 g; Mg : de 51.67 a 56.33 y de 43.33 a 44.30 mg / 100 g; Ca : de 74.5 a 75.4 y 69.67 a 67.6 mg/100g, P : de 92.33 a 94.96 y de 178.70 a 175 mg/100g, Fe : de 1.95 a 5.13 y de 4.57 a 6.34 mg/100g; Zn : de 1.25 a 2.0 y de 1.19 a 1.76 mg/100g, Mn : de 0.68 a 1.17 y de 0.64 a 0.86 mg/100g]
Chía (e)	Germinación: 25°C/144 h		Incremento (51.12%) por efecto de la germinación

(a) Lee y col 2004; (b) Gamel y col 2007, (c) Moongngarm y Saetung 2010; (d) Sokrab y col 2012; (e) Buenrostro y col 2016

durante la germinación de distintas especies de amaranto, desde 163 hasta 167%. Además, observaron una disminución en el contenido de minerales de 6-13 %.

Moongngarm y Saetung (2010) observaron una disminución en el contenido de las vitaminas Tiamina, Niacina y Piridoxina en arroz germinado por 24 h.

Lee y col (2004) evaluaron el efecto de la germinación de trigo sarraceno (*Fagopyrum esculentum* Moench) sobre el contenido de minerales. Los granos se remojaron en agua y se germinaron a 25°C por siete días. Se tomaron muestras de los germinados a los 3 y 7 días. Los germinados (siete días) secados al natural mostraron un incremento en minerales cuantificados: **Ca** (60 %), **P** (29 %), **Mg** (29.5%), **K** (24.9 %), **Fe** (61.5 %), **Zn** (35.7 %), **Se** (100 %), al compararse con grano crudo. Afify y col (2012) reportaron una disminución en el contenido de minerales de tres variedades de sorgo germinadas durante 72 h. Sokrab y col (2012) germinaron (32-38°C /144 h) dos variedades de maíz (de alto y bajo contenido de fitatos) y observaron un incremento en el contenido de algunos minerales [**Na**: de 13.27 a 15.98 y de 10.80 a 12 mg / 100 g; **K**: de 206.17 a 216.15 y de 125 a 134.53 mg/100 g; **Mg**: de 51.67 a 56.33 y de 43.33 a 44.30 mg / 100 g; **Ca**: de 74.5 a 75.4 y 69.67 a 67.6 mg/100g, **P**: de 92.33 a 94.96 y de 178.70 a 175 mg/100g, **Fe**: de 1.95 a 5.13 y de 4.57 a 6.34 mg/100g; **Zn**: de 1.25 a 2.0 y de 1.19 a 1.76 mg/100g, **Mn**: de 0.68 a 1.17 y de 0.64 a 0.86 mg/100g, **Cu**: de 0.12 a 0.55 y de 0.18 a 0.23 mg/100g; **Co**: de 0.7 a 1.61 y de 0.5 a 0.91 mg/100g].

Tiansawang y col (2016) observaron que durante el proceso de germinación de varios cereales entre ellos maíz, se observa un incremento inicial de la actividad del enzima fitasa, seguido de un leve decremento en su actividad; observándose como respuesta una disminución en el contenido de ácido fítico y un aumento en el contenido de fosforo.

Buenrostro y col (2016) estudiaron el efecto de la germinación en semillas de chíá, para germinarla se pesaron 5 g de semillas, se colocaron sobre tela impregnada en una solución de hipoclorito de sodio al 1% en cajas plásticas de 12x19x34.5 cm, las cuales se lavaron con sumo cuidado y se desinfectaron. Se asperjo agua para humedecerlas y se germinaron (25°C/3, 4, 5 y 6 días) en ausencia de luz. Estas semillas se hidrataron con agua destilada cada 24 h; se reportó un

incremento de minerales de 3.54 % en la semilla cruda a 5.35 % en la semilla germinada (incremento de 51.12%).

b Valor nutricional

La germinación es una técnica de procesado de bajo costo, útil para incrementar el valor nutricional de las semillas (cereales, pseudocereales, leguminosas); se consigue incrementar la digestibilidad de proteínas y carbohidratos, el contenido en algunas vitaminas (Riboflavina, Niacina, ácido Ascórbico); además, se reduce el contenido de componentes antinutricionales.

Con respecto a algunos antinutrientes se ha observado que la germinación disminuye el contenido de ácido fítico y taninos; Khetarpaul y Chauhan (1989) reportaron una reducción del 40% en el contenido de fitatos después de la germinación de mijo perla durante 24 h. Estos resultados fueron confirmados por Abdelrahman y col (2007) quienes observaron reducciones en los niveles de fitatos y taninos de cultivares de mijo perla sometidos al bioproceso de germinación.

Botero y col (2012) investigaron el efecto de la germinación sobre la actividad enzimática; ellos observaron que la actividad enzimática de lipasas se incrementa gradualmente durante la germinación causando hidrólisis de los lípidos, que son utilizados como fuente de energía para la síntesis de proteínas durante el desarrollo de la planta. Con la degradación de lípidos y carbohidratos se produce la energía necesaria para sintetizar proteínas durante la germinación. La digestibilidad proteínica y el contenido en aminoácidos libres se incrementa; esto se debe a la mayor actividad de proteasas y a la reducción de factores antinutricionales (ácido fítico, taninos condensados) que interaccionan con proteínas, formando complejos menos susceptibles al ataque proteolítico. La germinación de semillas y leguminosas aumenta su valor nutricional, su riqueza en aminoácidos los convierte en alimentos completos que contribuyen a corregir las carencias de la alimentación moderna (Cosatas, 2012).

Al germinar muchas semillas de cereales se convierten en un alimento fácilmente asimilable porque liberan todos los nutrientes encapsulados y mejoran el valor nutricional de la propia semilla, de la planta o del fruto a la que hubiera dado

lugar. Los germinados, especialmente de legumbres, proporcionan al organismo proteínas completas que se transforman en los ocho aminoácidos esenciales (AAE). La falta de uno sólo de estos AAE puede favorecer la aparición de alergias, debilidad, mala digestión, deficiencias en la inmunidad o envejecimiento prematuro de las células (Cosatas, 2012).

Durante la germinación de las semillas se presentan muchos cambios en su composición, debido a la utilización de sus reservas (carbohidratos, lípidos y proteínas), para el desarrollo de su eje embrionario. La germinación puede causar en semillas el mayor incremento de proteína y su mayor digestibilidad para lograr un mejor aprovechamiento al ser suministrados como fuente de proteína, en la alimentación humana.

Chaparro-Rojas y col (2010) evaluaron los cambios en la concentración y digestibilidad de proteína durante la germinación en semillas de amaranto (*Amaranthus sp*), quinua (*Chenopodium quinoa w.*), soya (*Glycine max*) y guandul (*Cajanus cajan*). La digestibilidad *in vitro* de la proteína de las semillas de las especies estudiadas, se vio afectada indistintamente con el proceso germinativo. La germinación generó un incremento significativo de la digestibilidad *in vitro* en la proteína de las semillas de quínoa, soya y guandul, pasando de 79.40% a 90.35% en quinua, de 80.23 % a 85.99% en soya y de 79.80 % a 90.25 % en guandul; registrándose el mayor incremento el día uno de la germinación en el caso de semillas de quinua y soya y el día dos de germinación en las semillas de guandul. Se pudo establecer que la cantidad de proteína realmente asimilable (proteína digestible), se encuentra entre el 70 % y el 90 % de lo ofrecido por las semillas en sus diferentes estados de germinación.

Esperón-Rojas y Monroy-Rivera (2011) llevaron a cabo un estudio sobre el efecto de la germinación sobre los niveles de Lys y Trp de tres variedades de maíz (VS-536, H-512 y H-530); observaron un incremento en las concentraciones de Lys de +200%, +45% y +48% para las variedades VS-536, H-512 y H-530, respectivamente. Los niveles de Trp también se incrementaron en todas las variedades: H-530 (118%), VS-536 (+43%) y H-512 (+32%). Estos cambios en los contenidos de Lys y Trp tienen un

efecto benéfico sobre la calidad proteínica del grano de maíz, mejorándola ostensiblemente.

Buenrostro-Rodríguez y col (2014) estudiaron el efecto de la germinación de semillas de chía sobre su calidad nutrimental, en donde estudiaron digestibilidad proteínica *in vitro*, obteniendo como resultados que la digestibilidad de la proteína del germinado es similar a la de la semilla y el contenido de triptófano decrece desde el tercer día de germinación. Por lo tanto, se puede decir que los germinados de chía tienen una buena calidad nutrimental.

Gómez-Favela y col (2017), reportaron algunos cambios con respecto al valor nutricional en semillas de chía germinada (21°C/157h), el bioproceso de germinación incrementó significativamente ($p < 0.05$) el contenido de aminoácidos esenciales (**AAE**) en la semilla de chía, sin embargo, el contenido de lisina (Lys) no alcanzó a cubrir el 100% del requerimiento establecido en el patrón de la FAO (2013) por lo que este **AAE** fue el aminoácido limitante en la proteína de la harina de chía germinada optimizada pero la calificación química incrementó a 96%. Además, ellos concluyeron que durante el bioproceso de germinación se incrementó ($p < 0.05$) la digestibilidad proteica *in vitro* (**DPIV**) de la semilla de chía pasando de un valor de 79.1% en la harina de chía cruda a 82.9% en la harina de chía germinada optimizada. La relación de eficiencia proteínica calculada (**C-PER**) se incrementó ($p < 0.05$) luego del bioproceso de germinación de la semilla de chía, pasando de un valor de 1.51 a 2.22. 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) (Shimelis y Rakshit 2007; Elizalde y col 2009).

Salas-López y col (2018) reportaron que el contenido de aminoácidos esenciales de la semilla de frijol tépari no se modificó significativamente ($p \leq 0.05$) después de someterlo al bioproceso de germinación bajo condiciones de 32°C/120 h. De igual manera, el valor de digestibilidad proteica *in vitro* (**DPIV**) y relación de eficiencia proteica calculada (**C-PER**) no se vio modificado significativamente ($p \leq 0.05$) por el proceso de germinación.

c Contenido de fitoquímicos, actividad antioxidante y propiedades nutraceuticas

El bioproceso de germinación tiene un efecto significativo sobre los niveles de fitoquímicos, actividad 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) (**Cuadros 14,15**).

Nwanguma y Eze (1996) germinaron (30°C/ 96 h) granos de cuatro variedades de sorgo; previo a la germinación los granos, éstos se sometieron a remojo en agua a 30°C durante 24 h. Reportaron incrementos (567-1,253%) en el contenido de compuestos fenólicos totales por efecto del bioproceso. Estos incrementos se atribuyeron tanto a la síntesis *in novo* como a la polimerización.

Por otra parte Yang y col (2009), estudiaron las condiciones de germinación de grano de trigo para determinar las condiciones óptimas que maximizaran la producción de antioxidantes; los granos de trigo se remojaron en agua por 48 h, seguido de incubación en la oscuridad al 98% de humedad relativa y 16.5 °C, los cambios en la concentración de vitaminas C y E, β-caroteno, ácido ferúlico y ácido vanílico fueron monitoreados durante el período de germinación y se observó que las vitaminas C y E y β-caroteno eran apenas detectables en los granos secos y crudos, sin embargo, tras la germinación de las concentraciones de estas vitaminas antioxidantes aumentaron constantemente con el incremento de tiempo de germinación, alcanzando sus picos a 550 µg de vitamina C, 10.92 mg/g de tocoferol y 3.1 g/g de β-caroteno. También se aumentaron las concentraciones de ácidos ferúlico y vanílico, alcanzando su máximo a 932.4 mg/g y 12.9 mg/g, respectivamente.

La magnitud de los cambios en el contenido de compuestos fitoquímicos que se lleva a cabo durante el bioproceso de germinación, depende principalmente de las condiciones de germinación (Moongngarm y Saetung 2010; Cáceres y col 2014; Singh y col 2015; Paucar-Menacho y col 2017).

Pasko y col (2008) evaluaron el efecto de la germinación sobre el contenido de flavonoides y ácidos fenólicos en semillas de dos variedades de amaranto

Cuadro 14. Efecto de la germinación sobre contenido de fitoquímicos en diferentes granos

Material	Condiciones de germinación	Fitoquímicos
Sorgo (a)	Remojo: Agua / 24 h Germinación: 30°C / 96 h	El contenido de compuestos fenólicos totales (CFT) se incrementó (567-1,253%) por efecto del bioproceso. Los incrementos se relacionaron con la síntesis <i>in novo</i> y con la polimerización. Se observaron incrementos (77-211%) en el contenido de CFT inmediatamente después de la fase inicial de remojo.
Amaranto y quínoa (b)	Remojo: agua Germinación: 20°C / 4,6, 7 d Luz/oscuridad (12/12h)	El principal ácido fenólico encontrado en ambos tipos de semillas, y en sus germinados, fue ácido Gálico. Los ácidos fenólicos <i>p</i> -Hydroxybenzoico, Vaníllico, <i>p</i> -Cumárico, Cafeíco y Cinámico se detectaron en ambas semillas; en los germinados se observó la presencia de los ácidos fenólicos <i>p</i> -Cumárico, Siringico y Ferúlico. Los principales flavonoides encontrados en las semillas fueron Orientina, Vitexina, Isovitexina, Morina y trazas de Hesperidina. El principal flavonoide detectado en los germinados fue Rutina; también se encontraron Vitexina, Isovitexina y Morina.
Garbanzo (c)	Remojo: Agua dest 5.5 h Germinación: Oscuridad / HR=99%, 2 y 3 d Secado: Liofilización	Los contenidos de vitaminas C y E, CFT y glutatión reducido se incrementaron como consecuencia de la germinación.
Soya (<i>Glycine max</i>) cultivar BRS 133 (d)	Remojo: Desinfección hipoclorito de sodio, Germinación: 25°C/42 h, 30°C/63 h, 25°C/42 h Secado: Liofilización	Se optimizaron procesos de germinación aplicando, como herramienta, metodología de superficie de respuesta. La germinación de soya a 25°C / 42 h resultó en un incremento de 62% en Lunasina y disminuciones de 59 y 70% en contenido de lectinas y actividad de lipoxigenasa, respectivamente. El mayor incremento en la concentración de isoflavonas se observó a 30°C / 63 h. Se obtuvo un incremento de 32% en la concentración de saponinas cuando se utilizó combinación de 25°C/ 42 h para germinación
Amaranto (e)	Germinación: 30°C/72 h, Luz/oscuridad (12/12)	Se evaluó el contenido de CFT y flavonoides totales aplicando condiciones óptimas de germinación encontrando un aumento de 825%, 213%, respectivamente.
Diversas leguminosas (f)	Germinación: 30°C/0-120 h	El CFT se incrementó el CFT conforme aumentaba conforme avanzaba el tiempo de germinación
Garbanzo desi negro (g)	Germinación: 33.7°C/171 h, Luz/oscuridad (12/12)	Evaluó el contenido de flavonoides totales aplicando condiciones óptimas de germinación, encontrando un incremento después del bioproceso de 111%. También se evaluó el perfil de compuestos fenólicos reportando cambios en la presencia de algunos compuestos por efecto de la actividad enzimática durante el proceso de germinación
Chía (h)	Germinación: 21°C/157 h, Luz/oscuridad /12/12)	Evaluaron el contenido de CFT aplicando condiciones óptimas encontrando un incremento del 47.39% tras aplicar el bioproceso de germinación.
Frijol tépari (i)	Germinación: 32°C/120 h, Luz/oscuridad (12/12)	Evaluaron el contenido de CFT y flavonoides totales aplicando condiciones óptimas encontrando un incremento del 232 y 114%, respectivamente.

(a) Nwanguma y Eze 1996; (b) Pasko y col 2008; (c) Fernández-Orozco y col 2009; (d) Paucar-Menacho y col 2010; (e) Perales-Sánchez y col 2014; (f) Khang y col 2016; (g) Domínguez-Arispuro y col 2017; (h) Gómez-Favela y col 2017; (i) Salas-López y col 2018

Cuadro 15. Efecto de la germinación sobre actividad antioxidante en diferentes granos/semillas

Material	Condiciones de germinación	Actividad antioxidante (AAox)
Amaranto, quinoa (a)	Germinación: 20°C / 4, 6,7 d Agua diariamente Luz día /oscuridad	La AAox (FRAP) de las semillas decreció en el siguiente orden: Quinoa, amaranto var Rawa, amaranto var Aztek; cuando la cuantificación se realizó mediante ABTS y DPPH la AAox decreció en el orden: Quinoa, amaranto var Aztek, amaranto var Rawa. La AAox de los germinados dependió del tiempo de germinación; en el caso de amaranto los valores más altos se alcanzaron al cuarto día mientras que en el caso de quinoa se observaron al sexto día de germinación. La AAox, determinada por los tres métodos, mostró correlación significativa con el contenido de compuestos fenólicos totales tanto en semillas como en germinados. Los germinados mostraron AAox mayor que las semillas; esto está relacionado con las diferencias en el contenido de antocianinas, compuestos fenólicos totales y otros compuestos (1)
Garbanzo (b)	Remojo: Agua dest 5.5 h Germinación: Oscuridad / HR=99%, 2 y 3 d Secado: Liofilización	La germinación incrementó AAox evaluada por SOD-LA (47–41%), PRTC (16–55%) y TEAC (12–23%); se observó una ligera inhibición en AAox cuantificada por LPI. Mediante el bioproceso de germinación se incrementa la AAox del garbanzo y se obtienen harinas de garbanzo germinado que pueden ser utilizadas como ingredientes para nuevas formulaciones de alimentos funcionales (2)
Amaranto (c)	Germinación: Luz/oscuridad, 30°C/72 h, Secado: 50°C/6 h	La germinación incrementó la capacidad antioxidante evaluada por ABTS y ORAC en un 470 y 300%, respectivamente. Este incremento es atribuido al incremento en el contenido de compuestos fenólicos con alta capacidad antioxidante después del bioproceso
Diversas leguminosas (d)	Germinación: 30°C/0-120 h	Evaluaron la capacidad antioxidante mediante las técnicas de DPPH y poder reductor de las diferentes semillas de leguminosas germinadas y se correlacionó con el contenido de compuestos fenólicos
Garbanzo desi negro (e)	Germinación: Luz/oscuridad, 33.7°C/171 h Secado: 50°C/6 h	La capacidad antioxidante incrementó un 145 y 178% al ser evaluada mediante las metodologías de ABTS y ORAC, respectivamente.
Chía (f)	Germinación: Luz/oscuridad, 21°C/157 h Secado: 50°C/6h	Tras la aplicación del bioproceso de germinación en condiciones óptimas, hubo un incremento de 73.50% para la AAox por el método de ORAC y 96.66% utilizando el método de ABTS.
Frijol tépari (g)	Germinación: Luz/oscuridad, 32°C/120 h Secado: 50°C/6 h	El proceso de germinación incrementó un 187 y 318% la actividad antioxidante del grano de frijol tépari evaluada por las metodologías de ABTS y ORAC, respectivamente. El incremento de la actividad antioxidante es atribuido al incremento de compuestos fenólicos

(a) Pasko y col 2008; (b) Fernández-Orozco y col 2009; (c) Perales-Sánchez y col 2014; (d) Khang y col 2016; (e) Dominguez-Arispuro y col 2017; (f) Gómez-Favela y col 2018; (g) Salas-López y col 2018

(*Amaranthus cruentus*) rojo y quínoa (*Chenopodium quinoa*). Las semillas de ambos pseudocereales se colocaron en recipientes de vidrio a una temperatura de 20°C para su germinación durante 4, 6 o 7 días; se les agregó agua diariamente. La mitad de las semillas en germinación se mantuvieron en condiciones naturales (luz del día) y la otra mitad se mantuvo en la oscuridad.

La germinación fue muy difícil de lograr y, especialmente para quínoa, la eficiencia fue baja. Extractos de las dos variedades de amaranto y de quínoa, y de sus germinados, crecidos en la luz y en la oscuridad se analizaron por cromatografía de líquidos de alta resolución (HPLC, por sus siglas en inglés). El principal ácido fenólico encontrado en ambos tipos de semillas, y en sus germinados, fue ácido Gálico. Los ácidos fenólicos *p*-Hydroxybenzoico, Vanílicico, *p*-Cumárico, Cafeíco y Cinámico se detectaron en ambas semillas; en los germinados se observó la presencia de los ácidos fenólicos *p*-Cumárico, Siríngico y Ferúlico. Los principales flavonoides encontrados en las semillas fueron Orientina, Vitexina, Isovitexina, Morina y trazas de Hesperidina. El principal flavonoide detectado en los germinados fue Rutina; también se encontraron Vitexina, Isovitexina y Morina. Las condiciones de germinación (luz del día u oscuridad) no tuvieron efecto sobre el contenido de ácido Gálico. La germinación bajo luz del día incrementó los niveles de Rutina y la germinación en la oscuridad resultó en un incremento en las cantidades de Isovitexina y Vitexina.

Fernández-Orozco y col (2009), evaluaron el efecto de la germinación sobre las propiedades antioxidantes de garbanzo (*Cicer arietinum* L cv Blanco Lechoso). Lotes de 200 g de semillas se remojaron en 1000 mL de solución de hipoclorito de sodio por 30 min. Después, las semillas se enjuagaron con agua destilada hasta alcanzar un pH neutro. Posteriormente, las semillas se remojaron 1000 mL de agua destilada por 5.5 h, con agitación cada 30 min. Las semillas hidratadas se colocaron en recipientes para germinación sobre papel secante humidificado y se cubrieron, estos recipientes se conectaron con el sistema de circulación de agua del germinador para que las semillas se hidrataran, por capilaridad, permanentemente. Los recipientes se introdujeron a la germinadora (Model G-120 ASL Snijder International SL, Holland). La germinación se llevó a cabo a 20°C, humedad relativa de 99%, en la oscuridad

por 2 y 3 días. El tiempo máximo de germinación se fijó en concordancia con 95% de semillas germinadas. Los germinados se colectaron, liofilizaron y molturaron para obtener harinas que pasaron a través de una malla de 0.5 mm. Se evaluaron los contenidos de vitaminas C y E, glutatión reducido (GSH, por sus siglas en inglés) y compuestos fenólicos totales. La capacidad antioxidante se cuantificó por SOD – LA (SOD – LA = Super oxide dismutase – like activity), PRTC (Peroxyl radical-trapping capacity = Capacidad de atrapamiento de radicales peroxilo), LPI (LPI = Lipid peroxidation inhibition = Inhibición de peroxidación lipídica) y TEAC (TEAC = Trolox equivalent antioxidant capacity = Capacidad antioxidante en equivalentes de Trolox). Los contenidos de vitaminas C y E, compuestos fenólicos totales y glutatión reducido se incrementaron como consecuencia de la germinación. La germinación incrementó la capacidad antioxidante evaluada por SOD-LA (47–41%), PRTC (16–55%) y TEAC (12–23%); se observó una ligera inhibición en capacidad antioxidante cuantificada por LPI. Mediante el biproceso de germinación se incrementa la capacidad antioxidante del garbanzo y se obtienen harinas de garbanzo germinado que pueden ser utilizadas como ingredientes para nuevas formulaciones de alimentos funcionales.

Álvarez-Jubete y col (2010) examinaron la presencia de compuestos fenólicos y propiedades antioxidantes de extractos metanólicos de amaranto, quínoa, 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.

Paucar-Menacho y col (2010), evaluaron el efecto de la temperatura y tiempo de germinación sobre la concentración de proteína soluble, Lunasina, inhibidor Bowman-Birk (BBI, por sus siglas en inglés), lectinas, saponinas e isoflavonas en semillas de soya cultivar BRS 133. Lunasina, BBI y lectinas se analizaron por ELISA y western blot. Los efectos de las diferentes combinaciones de temperatura y tiempo

de germinación sobre los compuestos bioactivos se evaluaron aplicando, como herramienta de optimización, la metodología de superficie de respuesta (RSM, por sus siglas en inglés), se utilizó un diseño central rotatable que originó 22 combinaciones temperatura (12 – 72 h) / tiempo de germinación (18 – 32°C). Antes de los diferentes tratamientos de germinación lotes de 500 g de semillas de soya se desinfectaron con hipoclorito de sodio (100 mg / kg) por 10 min, se enjuagaron tres veces con agua destiladas y se mantuvieron a la temperatura del cuarto (25°C) durante 8 h. La germinación se llevó a cabo en cámaras de germinación. Después de la germinación los germinados se congelaron (-30°C/4h), liofilizaron y molturaron para producir harinas de soya germinada. La combinación 25°C / 42 h resultó en un incremento del 61.7 % en Lunasina y disminuciones de 58.7% y 70.0% en contenido de lectinas y actividad de lipoxigenasa, respectivamente. La mayor concentración de isoflavonas (agliconas) se observó a la combinación 30°C/63 h. Un incremento significativo (32.2%) en la concentración de saponinas se obtuvo cuando se aplicó la combinación 25°C/42 h.

Perales-Sánchez y col (2014), evaluaron el contenido de compuestos fenólicos totales, flavonoides totales y capacidad antioxidante en germinados de amaranto y reportaron un incremento de en estos parámetros después del bioproceso de germinación. Estos incrementos también fueron reportados por Domínguez-Arispuro y col. (2017) y Salas-López y col. (2018) quienes germinaron semillas de garbanzo desi negro y frijol tépari, respectivamente. El incremento de la capacidad antioxidante se ha relacionado con el incremento del contenido de compuestos fenólicos, esto como resultado de la liberación de compuestos fenólicos que se encontraban unidos a la pared celular y a la nueva síntesis de compuestos por la activación de algunas enzimas involucradas en el proceso como la fenilalanina amonioliasa (PAL) (Perales-Sánchez y col 2014; Domínguez-Arispuro y col 2017; Salas-López y col 2018).

Khang y col (2016), estudiaron los compuestos fenólicos individuales de seis leguminosas durante la germinación y la capacidad antioxidante, reportando que el contenido fenólico aumentó significativamente ($p < 0.05$) después de 5 días de germinación en todas las leguminosas. En granos no germinados, el contenido de compuestos fenólicos totales varió de 5.80 (frijol mungo) a 18.21 (cacahuates) mg

GAE g muestra seca. Después de 5 días de germinación, el contenido de compuestos fenólicos totales en los frijoles, la soya y los cacahuates aumentaron 2 veces, mientras que los frijoles negros y los frijoles blancos mostraron un aumento de aproximadamente 50% y 25%, respectivamente. En particular, los cacahuates tenían la mayor concentración [37.59 mg equivalentes de ácido Gálico (GAE) / 100 g de muestra, bs] seguido de soya [28.27 mg GAE/100g bs], frijoles adzuki [16.96 mg GAE/100g bs], frijoles negros [16.47 mg GAE/100g bs], y frijol mungo [14.97 mg GAE/100g bs]. En este estudio, se detectaron 13 compuestos fenólicos en las leguminosas germinadas. Entre los ácidos fenólicos identificados, los ácidos Eláxico, Ferúlico y Cinámico mostraron correlaciones altas con actividades antioxidantes. Los hallazgos mostraron que las leguminosas germinadas son prometedoras fuente de compuestos fenólicos con efectos beneficiosos para la salud humana.

Gómez-Favela y col (2017), estudiaron los niveles de fitoquímicos, actividad antioxidante y potencial antihipertensivo de semillas de chía germinada (21°C/157h), reportando que el bioproceso de germinación incrementó significativamente ($p < 0.05$) el contenido de compuestos fenólicos libres, ligados y totales de la semilla de chía en un 77.2%, 22.06% y 47.4%, respectivamente, además el bioproceso de germinación incrementó significativamente ($p < 0.05$) la actividad antioxidante hidrofílica total en un 96.66% y 73.51%, evaluada por las metodologías de ABTS y ORAC, asimismo reportaron que el proceso de germinación mejoró la actividad antihipertensiva *in vitro* en la fracción de fenólicos libres de la semilla de chía, es decir, el valor de **IC₅₀** fue menor en la harina de chía germinada respecto a la harina de chía cruda; un valor de **IC₅₀** menor indica una mayor actividad antihipertensiva, esto debido a que se requiere una menor cantidad de extracto para inhibir el 50% de la actividad de la enzima convertidora de angiotensina (ECA) la cual es responsable del aumento en la presión sanguínea en el cuerpo humano.

C EXTRUSIÓN

1 Generalidades

La extrusión puede definirse como un proceso que involucra el transporte de un material, bajo ciertas condiciones controladas, forzándolo a pasar por una boquilla de

una dada geometría y con un caudal masivo pre-establecido, durante este transporte se produce la cocción parcial o total de los componentes de la mezcla (González y col 2002). El primer registro sobre su aplicación es de 1797 cuando Joseph Bramah usó un artefacto con un pistón para elaborar tubos de plomo sin costura. A mediados de 1930 los extrusores se utilizaron para mezclar harina y agua y formar productos de pasta; años después esta tecnología se utilizó para producir el primer “cereal instantáneo para el desayuno” (harina de avena precocida) (Bhattacharya y col 1987). La cocción por extrusión generalmente se refiere a la combinación del calentamiento de productos en el extrusor para crear un producto cocinado y con forma. Materiales crudos, como harinas, almidones, proteínas, sal, azúcar y otros ingredientes minoritarios son mezclados, cortados, cocinados para formar una masa semejante a un plástico.

El calor se aplica directamente por inyección de vapor o indirectamente a través de una chaqueta que se encuentra en el extrusor o por la conversión de la energía mecánica. La temperatura final del proceso puede ser hasta de 230°C; el tiempo de residencia es relativamente corto con tiempos de 10-60 s. La cocción por extrusión se reconoce como un proceso de temperatura alta - tiempo corto (HTST por sus siglas en inglés) (Mercier 1989).

La extrusión-cocción es un proceso continuo que utiliza la combinación de temperatura-alta, presión-alta y condiciones de fuerza de corte altas en un periodo de tiempo corto, lo cual resulta en transformaciones moleculares y reacciones químicas en los productos extrudidos. La extrusión-cocción trae consigo varios cambios bioquímicos como la desnaturalización parcial de proteínas, gelatinización parcial de almidones, modificaciones en lípidos, inactivación de microorganismos y enzimas, formación de componentes volátiles que mejoran el sabor, y un incremento en fibra dietaria soluble. Adicionalmente, la extrusión-cocción tiene el potencial para mejorar el valor nutricional de los productos al mejorar la digestibilidad de proteínas y almidones e incrementando la retención de compuestos bioactivos con propiedades antioxidantes. También, esta tecnología de eficiencia alta minimiza la contaminación de agua y el consumo de energía (Reyes-Moreno y col 2018).

La extrusión se ha utilizado para la fabricación de varios tipos de alimentos, como

botanas, cereales para desayuno, pastas, productos de confitería, harinas precocidas, bebidas y proteínas vegetales texturizadas. Con los años, la extrusión se ha convertido en el método de mayor procesamiento de alimentos y las industrias de alimentación, y está evolucionando rápidamente de un arte a una ciencia (Serna-Saldívar y col 1988; Milán-Carrillo y col 2000; 2005; Riaz y col 2009; Zhao y col 2011; Reyes-Moreno y col 2002, 2012). En la última década la extrusión ha sido estudiada ampliamente para producir una gran variedad de alimentos incluyendo productos de pasta y listos para comer, cereales para el desayuno, alimentos infantiles, botanas, proteínas vegetales texturizados, sopas secas y mezclas de bebidas. La extrusión mejora la digestibilidad y biodisponibilidad de los nutrimentos comparado con la cocción convencional. No produce efluentes en el proceso, con lo que disminuye la contaminación por aguas residuales. La extrusión tiene costos de procesamiento muy bajos y una productividad más alta que cualquier otro proceso de cocimiento y moldeado; sus requerimientos de espacio por unidad de producción son más pequeños (Harper 1988). El uso de harinas de granos extrudidos para la elaboración de algunos productos alimenticios tiene varias ventajas. El proceso de extrusión es acompañado por la gelatinización parcial de los gránulos de almidón, resultando en la pérdida del orden molecular y la degradación de polímeros con la formación de fragmentos altamente solubles. El uso de la extrusión en el procesamiento de alimentos ha aumentado su popularidad debido a su versatilidad, rentabilidad, respeto al medio ambiente y generación de productos extrudidos con una mejor digestibilidad y valor biológico de las proteínas que la materia prima (granos, mezclas de granos, etc.) sin procesar (cruda) (Guy 2001; Singh y col 2010; Garzón-Tiznado y col 2013).

2 Clasificación de los extrusores

Los extrusores (**Fig. 6**) se pueden clasificar en tres piezas principales: tornillo, resistencias eléctricas y cabezal. Los extrusores de tornillo se clasifican también de acuerdo al tipo de construcción en extrusores de tornillo simple y extrusor de tornillos gemelos. Los principios de operación son similares en los dos tipos (Dziezak 1989).

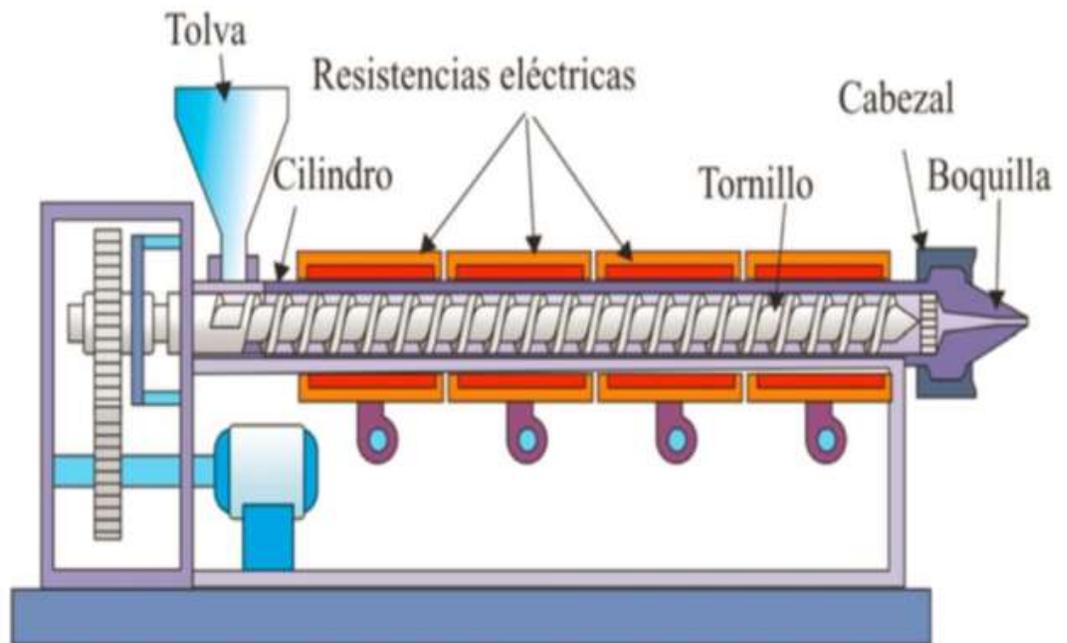


Figura 6. Componentes principales de un extrusor
Harper 1998

a Extrusor de tornillo simple

En éste, 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 mucho menos a presiones altas. La eficiencia de bombeo está afectada por la geometría del tornillo y por la viscosidad del material (Dziezack 1989)

b Extrusor de tornillos gemelos

Los extrusores de tornillos gemelos están compuestos 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 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 y el espesor del alabe también puede ser variable. En algunos diseños de extrusores se utilizan elementos calefactores a base de resistencias eléctricas, en otros se emplea vapor de agua para calentar directamente el cilindro. El calor también se genera en el material por fricción, causada por la acción del tornillo y las barras interiores del cilindro (Dziezack 1989).

3 Factores que afectan el proceso de extrusión

Fellows (2000) reporta que existen dos factores principales que influyen en las características de los productos extrudidos: (1) Las características de las materias primas y (2) Las condiciones operativas del extrusor. Como principales características de la materia prima pueden ser las siguientes: tipo de material, contenido de humedad, el estado físico, la composición química (cantidad y tipo de almidón, proteínas, grasas y azúcares) y el pH del material. Los parámetros de funcionamiento que pueden ser señalados como importantes son: temperatura, presión, diámetro del dado y fuerza de corte, con este último siendo influenciado por el diseño interno del extrusor y por su longitud, así como la geometría del tornillo y velocidad de rotación.

4 Efecto de la extrusión sobre composición química, valor nutricional, niveles y perfiles de fitoquímicos, actividad antioxidante, propiedades nutracéuticas y estabilidad microbiológica

Los materiales que se someten al proceso de extrusión sufren transformaciones sucesivas durante el proceso. Es importante destacar que la transformación del flujo sólido en flujo viscoso es necesaria para que se produzcan los cambios estructurales y consecuentemente la cocción del almidón. De lo contrario la operación se reduce al transporte del material y al pasaje a través de la boquilla, es decir, el extrusor actúa como una peleteadora a tornillo. Las condiciones de temperatura, presión y esfuerzos de corte a que se somete el material que se extrude pueden producir cambios en su composición química, llevando a una modificación estructural del almidón y de las proteínas (Mitchell y Areas 1992).

En el proceso de extrusión de alimentos, el almidón es el componente que juega el papel más importante, ya que los cambios que sufre el almidón afectan la expansión y textura final del producto extrudido (Lai y Kokini 1992). Las modificaciones en la estructura del almidón, tales como fusión, gelatinización, fragmentación y dextrinación, son afectados por diferentes factores como la relación agua/almidón, temperatura, gradientes de velocidad aplicados, tamaño de partícula,

la relación amilosa/amilopectina, presencia de otros ingredientes (azúcar, sal, proteínas y lípidos, entre otros) (Lai y Kokini 1992).

a Composición química

1) Proteínas

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).

El valor nutricional de las proteínas vegetales se incrementa por condiciones de extrusión suaves, esto pudiera ser el resultado de la desnaturalización de las proteínas y la inactivación de los inhibidores de enzimas presentes en los alimentos vegetales crudos, los cuales pueden generar nuevos sitios para el ataque enzimático. Las altas temperaturas de extrusión, tiempos de residencia cortos y una baja humedad son las variables claves para la destrucción de inhibidores de tripsina. La extrusión ha demostrado ser muy efectiva en la reducción o eliminación de la actividad de la lecitina en harinas de leguminosas. La cocción por extrusión es más efectiva en la reducción o inactivación de la actividad de la lecitina comparado con otros tratamientos de calor humedad (Huber 2001; Chen y col 1991).

De acuerdo con las condiciones de la extrusión, las pérdidas en Lisina, Cistina y Metionina en los derivados del arroz, del 50 – 90% (Fellows 1994).

Ilo y Berghofer (2003) estudiaron la estabilidad de Lisina en cocimiento por extrusión de fragmentos de maíz fortificados con Lisina. Los experimentos mostraron una reacción de primer orden para la pérdida de Lisina; la constante de primer orden fue dependiente, en mayor medida, de la temperatura del producto y contenido de humedad. La velocidad del tornillo no tuvo influencia. La energía de activación de pérdida de Lisina, Arginina y Cisteína fue de 127, 68 y 76 KJ/mol, respectivamente. La fuerza de corte afectó significativamente el grado de pérdida constante de aminoácidos en cocimiento por extrusión.

2) Lípidos

Cuando el material que se va a extrudir tiene mayores niveles de grasa se puede decir generalmente que hay un incremento en el gasto de energía de cortado y se requieren mayores temperaturas para mantener la integridad del producto deseado. Los aceites que contienen los cereales, así como los aceites de leguminosas, al ser el producto extruido sufren un proceso de emulsión debido a la fuerte presión a que son sometidas las finas gotas de grasa y son recubiertas por los almidones y proteínas, quedando encapsulada (Anderson y col 1981).

La grasa al ser emulsionada es más atacable por los jugos digestivos, aumentando por tanto la energía del producto. Las lipasas y peroxidasas son inactivada durante el proceso de extrusión en condiciones normales, mejorando la estabilidad posterior del producto. Generalmente, los alimentos que contienen menos del 10 % de lípidos son más fácilmente extrudidos debido a que cantidades más grandes de lípidos reducen el deslizamiento dentro del cilindro, haciendo más difícil la extrusión, particularmente en productos expandidos. La extrusión se puede utilizar para ayudar a la extracción de aceite puesto que el aceite es liberado durante las operaciones de cocción y cizallamiento.

A pesar del interés en la salud, de las ventajas de ácidos grasos omega-3, solamente se ha publicado un estudio sobre la estabilidad de estos lípidos altamente insaturados. Tanto el ácido docosahexanoico (DHA) como el eicosapentanoico (EPA) se retuvieron en cebo de músculo de salmón extrudido con el 10 % de harina de trigo. Otra cuestión nutritiva es la seguridad de la baja formación de ácidos grasos trans; Maga (1978; citado por Camire 2002) encontró en extrusión de mezclas de maíz y soya formación de solamente el 1.5 % de ácidos grasos trans.

La extrusión puede prevenir la liberación de ácidos grasos libres debido a la desnaturalización de las enzimas hidrolíticas. La oxidación lipídica tiene un impacto negativo en las cualidades sensoriales y nutrimentales en los alimentos, y estos probablemente no se lleven a cabo durante la extrusión debido al tiempo muy corto de residencia (Camire y col 2002)

3) Carbohidratos

Los carbohidratos se extienden desde los azúcares simples hasta moléculas más complejas, como el almidón y la fibra. Los azúcares, como fructosa, sacarosa y lactosa, son una gran fuente de energía rápida. Éstos proporcionan el dulzor y están implicados en numerosas reacciones químicas durante la extrusión. El control de azúcares durante la extrusión es crítico para la calidad nutricional y sensorial de los productos. Las condiciones de extrusión y de alimentación de materiales deben ser seleccionados con cuidado para producir los resultados deseados (Singh 2007).

Los materiales ricos en almidón más usados para obtener productos extrudidos son el maíz, trigo, arroz, avena y papa. Bajo las condiciones de extrusión (temperaturas altas, presiones y fuerza de corte altas), los gránulos de almidón se rompen y funden a bajos contenidos de humedad. El grado de degradación macromolecular es función de los parámetros de extrusión: temperatura, humedad del alimento, tipo de almidón y velocidad del tornillo dentro del extrusor; a su vez, el número de enlaces hidrolizados incrementa con el aumento de la temperatura de extrusión y la disminución de la humedad inicial en el alimento (Davison y col 1984). La conversión del almidón lleva a la pérdida de la estructura cristalina, para formar una masa amorfa fluida. Esto ayuda a retener los gases liberados durante el proceso de expansión en la matriz, permitiendo la formación de una estructura crujiente.

En este proceso, el almidón contribuye a la formación de gel y viscosidad en la cocción de la pasta, los humanos y otras especies monogástricas no pueden digerir fácilmente el almidón sin gelatinizar. La gelatinización puede llevarse a cabo en niveles de humedad de 12-22%, lo cual no puede lograrse con otros procesos empleados en la industria de los alimentos (Huber 2001).

La base física de la modificación molecular de amilosa y amilopectina está relacionada con el tiempo de exposición durante el canal del tornillo del extrusor, en donde se establecen efectos mecánicos de presión y fuerza de cizalla, los cuales prevalecen por encima de los efectos térmicos, para el fenómeno de depolimerización (Della-Valle y col 1989).

4) Fibra dietaria

La cocción por extrusión aumenta la fibra dietaria total, esta, es preferible a otras técnicas de procesamiento de alimentos en términos de un proceso continuo con alta productividad y una significativa retención de nutrientes, debido a las temperaturas altas y el tiempo corto requerido (Guy 2003).

Vasanthan y col (2002), estudiaron la cocción por extrusión en harinas de cebada, en donde reportan un incremento significativo en el contenido de fibra dietaria total en el producto final.

Cerón-Fernández y col (2016), estudiaron el efecto de la extrusión sobre dos variedades de harina de quínoa, encontrando como resultado una incremento significativa en el porcentaje de fibra dietaria total, donde ellos atribuían esta incremento posiblemente a la alta presión, la temperatura elevada y la cizalla que se presenta durante la extrusión por el fragmento de moléculas más grandes de carbohidratos complejos en moléculas más pequeñas que son solubles en agua, al igual los fragmentos de fibra se unen para formar complejos grandes con otros compuestos y participan en la reacción de Maillard.

Ley-Osuna y col (2018), estudiaron el efecto de la extrusión en condiciones optimizadas en harina de chía desgrasada, el contenido de fibra dietaria total fue mayor ($p < 0.05$) que el de la harina de semillas de chía integral sin procesar (36.1% vs 51.10%). Ellos reportaron que este aumento podría deberse a que el proceso de desgrasado de semillas de chía cruda generó un cambio en la composición química debido al cambio de proporciones por la eliminación parcial de la parte lipídica, manifestándose un efecto de “concentración” del resto de nutrientes.

5) Vitaminas y minerales

Las pérdidas de algunas vitaminas en los alimentos extruidos dependen del tipo de alimento, de su contenido en agua y del tiempo y la temperatura de tratamiento. Sin embargo, por lo general, en la extrusión en frío las pérdidas son mínimas. Las condiciones de la extrusión en caliente y el enfriamiento rápido del producto a la salida de la boquilla, hacen que las pérdidas en vitaminas y en aminoácidos

esenciales (AAE) sean relativamente pequeñas. Así, por ejemplo, en un proceso de extrusión de cereales a 154°C el 95% de la Tiamina se retiene y únicamente se producen pérdidas de poca importancia en la Riboflavina, Piridoxina, Niacina y ácido Fólico. Dependiendo del tiempo al que el alimento se mantiene a una temperatura elevada, las pérdidas en ácido Ascórbico y vitamina C pueden ser de hasta el 50%. Cada vitamina tiene sus propias características de estabilidad durante los procesos térmicos. Los efectos en la estabilidad en las vitaminas durante la extrusión son complicados debido a la acción de la humedad, fricción, temperaturas y presiones altas. Las vitaminas liposolubles (A, D, E) en general, son razonablemente 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, alto nivel de humedad en el proceso da más vitaminas retenidas.

Las vitaminas hidrosolubles (C, complejo B) pueden perder estabilidad durante la extrusión. La extrusión húmeda produce una pérdida de vitamina C y Tiamina (Fellows 1994).

Killeit y col (1994) estudiaron el efecto del proceso de extrusión en almidones de maíz, sobre la estabilidad de diferentes vitaminas y minerales; reportaron que la recuperación de Tiamina añadida fue de 46% mientras que la cantidad de Riboflavina recuperada fue de 92% bajo las mismas condiciones de proceso; con respecto a minerales, reportaron que la retención de fitato es alta en productos extrudidos, probablemente debido a que la fitasa de los cereales es destruida más fácilmente a las temperaturas altas durante la extrusión.

Alonso y col (2001) estudiaron el efecto del proceso de extrusión en semillas de chícharo y frijol; observaron que después del proceso de extrusión cocción a temperaturas hubo una alta disponibilidad de los minerales y concluyeron que la extrusión no afecta significativamente la composición de los minerales en semillas de chícharo y frijol.

Athar y col (2006) estudiaron el efecto de procesamiento de las condiciones de extrusión sobre la estabilidad de las vitaminas. Observaron que las piezas extrudidas obtenidas de extrusores de barril corto (90 mm) tenían una mayor tasa de retención

del grupo vitamina B (44-62%) en comparación con 20% para extrusores de barril largo.

Anuonye y col (2010) estudiaron la estabilidad de las vitaminas durante la extrusión de una mezcla de acha (*Digitaria exilis*) / frijol de soya; observaron una disminución de 6% de Riboflavina (B₂), una disminución de 86.36% de Piridoxina (B₆), y un cambio significativo en contenido de ácido ascórbico (Brennan y col, 2011).

b Valor nutricional

Catricheo y col (2009) desarrollaron un alimento infantil a base de una mezcla de 27.5% de harina de trigo, 20% de harina de lupino dulce y 20% de leche en polvo, agregado de vitaminas y minerales, sometiendo las harinas a un tratamiento de extrusión-cocción; el análisis de aminoácidos de harina de lupino, mostró un bajo contenido en aminoácidos azufrados, a la vez que la harina de trigo candeal evidenció su deficiencia en Lisina. La mezcla final, fue suficiente en todos los aminoácidos esenciales, excepto los azufrados.

En la investigación realizada por Vélchez Tupac y col (2012), estudiaron el proceso de extrusión de maca (*Lepidium meyenii*), el interés de esta materia prima radica en los beneficios que se obtiene al consumirla, posee en su proteína todos los aminoácidos esenciales para el ser humano, por lo que resulta ser un alimento natural incomparable; ellos obtuvieron como resultado que durante el proceso de extrusión la pérdida de aminoácidos esenciales se ve reducida respecto a una cocción convencional como tostado.

La digestibilidad de las proteínas es mayor en los productos extrudidos comparados con los productos sin extrudir. Esto pudiera deberse a la desnaturalización de las proteínas y la inactivación de los factores antinutricionales que impiden su digestión. En general, la cocción por extrusión es la destrucción de factores antinutricionales, especialmente inhibidores de tripsina, taninos y fitatos, los cuales pueden ser la causa de la inhibición de la digestibilidad de las proteínas. Adicionalmente, la extrusión mejora la digestibilidad de las proteínas debido a la desnaturalización, lo que facilita la acción de enzimas proteolíticas (Milán-Carrillo y col 2012).

Chávez-Jauregui y col (2000) evaluaron el perfil de aminoácidos en amaranto extrudido encontrando que el proceso de extrusión no disminuía los contenidos de ácido Aspártico, ácido Glutámico, Glicina y Lisina comparándolo con el crudo. Sin embargo, otros autores, como Bressani y col (1983), mencionan que el proceso de extrusión disminuye la biodisponibilidad de Lisina.

Pérez Navarrete y col (2007) estudiaron el efecto de la extrusión sobre la biodisponibilidad de proteína y almidón en mezclas de harinas de maíz y frijol lima, las mezclas de harinas 75% maíz+25% frijol (p/p) y 50% maíz+50% frijol (p/p) fueron procesadas en un extrusor Brabender a 160°C, 100 rpm, y 15,5% de humedad. La digestibilidad *in vitro* de la proteína fue mayor en los extrudidos (82%) que en las harinas crudas (77%). Los ensayos *in vitro* indican que la extrusión mejora la digestibilidad de la proteína y el almidón en las mezclas estudiadas.

Drago y col (2007) estudiaron el efecto del proceso de extrusión sobre la digestibilidad proteínica de una mezcla extrudida de maíz/frijol. En la cual tuvieron como resultado que la digestibilidad proteica *in vitro* de la muestra maíz/frijol extrudida fue del 70%, mostrando un incremento con la mezcla sin extrudir respectivamente (62%) tomando como referencia a la caseína (100%).

Reyes-Moreno y col (2002) estudiaron el efecto del proceso de extrusión, acompañado de un acondicionamiento previo denominado descascarillado / suavización [eliminación de testa / remojo previo del grano en disolución de sales monovalentes de sodio], proceso que denominaron descascarillado / suavización / extrusión (**DSE**), sobre el valor nutricional de granos de garbanzo (*Cicer arietinum* L), fresco (recién cosechado) y endurecido (almacenado en condiciones de temperatura y humedad relativa altas). Ellos observaron que el proceso **DSE** tuvo un efecto significativo ($p < 0.05$) sobre el valor nutricional de los granos. El proceso **DSE** mejoró digestibilidades proteínicas aparente (de 78.9-81.7% a 84.0- 87.1%) y verdadera (de 82.5-84.8% a 87.3-91.2%), relación de eficiencia proteínica (de 1.30-1.47 a 1.78-1.87) relación neta de proteína (de 2.63-2.82 a 2.97-2.99) de los granos de garbanzo. Ellos concluyeron que el proceso **DSE** podría ser aplicado para mejorar las características de calidad nutricional de granos de garbanzo fresco y endurecido. Este proceso, o una adaptación del mismo, podría ser aplicado a cereales /

pseudocereales que contengan factores antinutricionales en cubierta seminal (p. ej. saponinas en cascarilla de semilla de quínoa).

c Contenido de fitoquímicos, actividad antioxidante y propiedades nutraceuticas

Diversos autores han investigado el efecto de la extrusión sobre compuestos bioactivos y propiedades nutraceuticas de diferentes granos y semillas (**Cuadro 16**).

Repo-Carrasco-Valencia y col (2009) reportaron disminución >80.3% en los niveles de ácidos fenólicos después de la extrusión de amaranto; esta disminución puede deberse a la descarboxilación de ácidos fenólicos durante la extrusión. El incremento en los niveles de ciertos ácidos fenólicos en productos extrudidos generalmente es debido a su liberación de la pared celular.

Yagci y Gous (2010) observaron que el contenido de humedad y la temperatura causan una disminución significativa en el contenido de fenólicos totales. Los compuestos fenólicos durante la extrusión pueden ser sometidos a descarboxilación debido a temperaturas altas de extrusión y contenidos de humedad altos lo que provoca la polimerización de fenoles y taninos, esto reduce la extracción y la capacidad antioxidante.

Mora-Rochín y col (2010) compararon el contenido de fenólicos y actividad antioxidante de tortillas de maíces pigmentados producidas por nixtamalización convencional y por extrusión. En ambos procesos se observaron disminuciones en el contenido de compuestos fenólicos y actividad antioxidante; sin embargo, en el proceso de extrusión se encontraron mayores retenciones de estos compuestos. Asimismo, se observó una mayor retención en el contenido total de ácido Ferúlico, en tortillas obtenidas por el proceso de extrusión.

Milán-Carrillo y col (2012) estudiaron el efecto de la extrusión de grano integral de amaranto sobre la actividad antioxidante (**AAox**). La **AAox** se evaluó aplicando la metodología de capacidad de absorción de radicales oxígeno (ORAC, por sus siglas en inglés). Ellos reportaron un incremento en la **AAox** hidrofílica total [de 4,403 a 5,046 μmol equivalentes de Trolox (ET) / 100 g muestra, bs]. Sin embargo, al analizar la contribución de fitoquímicos libres y ligados a la **AAox** y el efecto de la aplicación

Cuadro 16. Efecto de las condiciones del proceso de extrusión sobre compuestos bioactivos y propiedades nutraceuticas de algunos granos/semillas y sus mezclas

Materia prima	Condiciones de extrusión	Observaciones / Referencia
Maíz de calidad proteínica / frijol com. (a)	Maíz de calidad proteínica: TE=98°C / VT=218 rpm Frijol común: TE= 105°C / VT= 83 rpm	Optimizó proceso de extrusión para obtener mezcla (60% harina de maíz extrudido +40% de frijol común extrudido) que se utilizó para preparar “bebida mexicana”. Incrementos en AAox , CFT de ambas harinas por efecto de extrusión
3cultivares garbanzo (b)	CH= 20% / TE=155°C VT= 240 rpm	Incrementos en CFT, AAox, Actividad antimutagénica en 5.3-9.2%, 9.9-12.2% y 17.5-21,9%, respectivamente
Maíz criollo azul (c)	CH=23.8-25.2% TE=120-126°C VT=80 rpm	Se elaboró “botana expandida” de tercera generación utilizando mezcla maíz azul y almidón. Contenido de antocianinas totales decreció (70-85%) , en relación a grano crudo, por efecto de las condiciones de extrusión
Amaranto (d)	CH=20% / TE=127°C VT=130 rpm	Se observó incremento en AAox y en potencial antiinflamatorio al comparar harina de amaranto extrudido vs harina de amaranto crudo
Amaranto (e)	CH=20% / TE=127°C VT=130 rpm	Se observó incremento en AAox y en potencial antiateroesclerótico al comparar harina de amaranto extrudido vs harina de amaranto crudo.
Maíz / garbanzo (f)	Maíz TE=109°C/VT=158 rpm Garbanzo TE=127°C/VT=151 rpm)	Se optimizó el proceso de extrusión para obtener mezcla (60% harina de maíz extrudido +40% harina de garbanzo extrudido) que se utilizó como ingrediente principal para “bebida mexicana”. Se observaron incrementos en AAox , CFT de ambas harinas por efecto de extrusión
Maíces Mexicanos pigmentados (g)	CH=28% p/p / TE=85°C VT=240 rpm	El proceso de extrusión provocó disminución en carotenoides totales y en AAox lipofílica total; las tortillas de harina de maíz extrudido retuvieron 68.8-79.5%, 60% y 60.3-75.5% de carotenoides totales , Luteína y AAox lipofílica total, respectivamente
70% MCP + 30% frijol común negro (h)	CH=15% / TE=157°C VT=238 rpm	Se elaboró “botana saludable” elaborada a partir de la mezcla 70% harina maíz calidad proteínica + 30% harina frijol común negro (AAox= 13,681 µmol ET/ 100 g botana, bs) Las condiciones de extrusión utilizadas causaron incremento en AAox (ORAC: +18 %, ABTS:+20 %) y CFT en relación a la mezcla de granos sin procesar
Maíces criollos (A.B) (i)	CH=28% p/p / TE=85°C VT=240 rpm	En comparación con la AAox celular encontrada en granos crudos, el porcentaje de retención para tortillas elaboradas con harina de maíces extrudidos fue de 72.8-77.5%
Chía desgrasada (j)	CH=28% TE=147°C VT=237 rpm	Se observó incremento en AAox y CFT al comparar harina de chía extrudida con respecto a la harina de chía sin procesar.

(a) Reyes-Moreno y col 2012; (b) Garzón-Tiznado y col 2013; (c) Camacho-Hernández y col 2014; (d) Montoya-Rodríguez y col 2014a; (e) Montoya-Rodríguez y col 2014b; (f) Rochín-Medina y col 2015; (g) Corrales-Bañuelos y col 2016; (h) Espinoza-Moreno y col 2016; (i) Gaxiola-Cuevas y col 2017; (j) Ley-Osuna y col 2018

del proceso de extrusión comunicaron que la **AAox** atribuida a compuestos fenólicos libres decreció ($p < 0.05$) [de 1,947 a 1,467 μmol equivalentes de Trolox (ET) / 100 g muestra, bs], mientras que la relacionada con compuestos fenólicos ligados se incrementó ($p < 0.05$) [de 2,456 a 3,579 μmol equivalentes de Trolox (ET) / 100 g muestra, bs]. Este comportamiento se atribuyó a **(1)** Rompimiento de fitoquímicos conjugados y liberación de los mismos como fitoquímicos libres (Dewanto y col. 2002), **(2)** Prevención de oxidación enzimática y **(3)** Oscurecimiento de las harinas de amaranto extrudido indica la formación de productos de la reacción de Maillard que poseen actividad antioxidante (Fares y Menga, 2012). Estos resultados muestran que, en harinas de amaranto y extrudido, los compuestos fenólicos ligados son los principales contribuyentes (56-71%) a la **AAox** hidrofílica. Los compuestos bioactivos existen en formas libre, soluble-conjugada y ligada; los fitoquímicos ligados, mayormente presente en materiales de pared celular, son difíciles de digerir en la parte alta del intestino y podrían ser digeridos por las bacterias del colon proporcionando beneficios a la salud y reduciendo el riesgo de cáncer de colon (Adom y Liu 2002; Liu 2007).

Aguayo-Rojas y col (2012) estudiaron los perfiles fitoquímicos (fenólicos totales y antocianinas) y actividad antioxidante (**AAox**) de cuatro tipos de maíz (blanco, amarillo, rojo y azul) procesados con cal mediante extrusión termoplástica en harinas integrales que luego fueron procesadas en tortillas. La extrusión generó harinas con un contenido mayor ($P < 0.05$) de fenólicos y **AAox** comparado con las materias primas. De 76.1 a 84.4 % de los fenólicos asociados a los granos y sus tortillas fueron de naturaleza ligada. Las tortillas preparadas con las harinas extrudidas retuvieron de 68.8 a 80.9 % de los fenólicos determinados en los granos enteros.

Garzón-Tiznado y col (2013) evaluaron el efecto del proceso de extrusión-cocción, aplicando condiciones optimizadas previamente, sobre propiedades antioxidantes y antimutagénicas de tres cultivares de garbanzo desi (café ICC3512, rojo ICC13124, negro ICC 3761) del Banco Mundial de Germoplasma del ICRISAT (International Crop Research Institute for the Semi-arid Tropics). La extrusión se realizó en un extrusor de tornillo simple; se aplicaron condiciones de operación del extrusor previamente optimizadas para obtener harina de garbanzo extrudido con

AAox máxima: Temperatura de extrusor (**TE**)=155°C / Velocidad del tornillo (**VT**)=240 rpm. El proceso de extrusión en condiciones optimizadas incrementó el contenido de compuestos fenólicos totales (**CFT**), **AAox** y la actividad antimutagénica (**AAM**) en 5.3-9.2%, 9.9-12.2% y 17.5-21.9%, respectivamente. El proceso de extrusión en condiciones óptimas es una tecnología susceptible de ser recomendada para incrementar actividades antioxidante y antimutagénica en garbanzo desi, el cual puede ser utilizado como “alimento funcional”.

Montoya-Rodríguez y col (2014a) investigaron el efecto del proceso de extrusión-cocción, aplicando condiciones optimizadas previamente, sobre el potencial antiinflamatorio de amaranto. La extrusión se realizó en un extrusor de tornillo simple; se aplicaron condiciones de operación del extrusor previamente optimizadas para obtener harina de amaranto extrudido con **AAox** máxima: Contenido de humedad de alimentación: 20%/Temperatura de extrusor (**TE**)=127°C/Velocidad del tornillo (**VT**)=130 rpm. El objetivo de la investigación fue comparar el potencial antiinflamatorio de hidrolizados proteínicos de harinas de amaranto crudo y extrudido; los hidrolizados proteínicos de ambas harinas inhibieron la inflamación inducida en células de macrófagos, humano y ratón, mediante la prevención de la activación de la señalización NF-kB. El proceso de extrusión cocción mejoró sustancialmente el efecto antiinflamatorio de los hidrolizados proteínicos de harina de amaranto en ambas células, fenómeno que puede atribuirse a la producción de péptidos bioactivos durante el procesamiento.

Montoya-Rodríguez y col (2014b), investigaron el efecto del proceso de extrusión-cocción, aplicando condiciones optimizadas previamente, sobre el potencial antiaterosclerótico de amaranto. La extrusión se realizó en un extrusor de tornillo simple; se aplicaron condiciones de operación del extrusor previamente optimizadas para obtener harina de amaranto extrudido con **AAox** máxima: Contenido de humedad de alimentación: 20% / Temperatura de extrusor (**TE**)=127°C/Velocidad del tornillo (**VT**)=130 rpm. El objetivo de la investigación fue comparar el potencial antiaterosclerótico de hidrolizados proteínicos de harinas de amaranto crudo y extrudido. El hidrolizado proteínico de harina de amaranto extrudido mostró potencial

antiateroesclerótico en células de macrófagos a través de reducción de la expresión de proteínas asociadas con la ruta de señalización de LOX-1.

Espinoza-Moreno y col (2016) optimizaron las condiciones del proceso de extrusión – cocción para, a partir de una mezcla (70% maíz mejorado con amarantina + 30% frijol común negro), preparar una “botana expandida optimizada”, reconocida como “botana saludable de tercer generación”, con actividad antioxidante (**AAox**) y contenido de compuestos fenólicos totales (**CFT**) altos; además de textura e índices de expansión que correspondieran a “botanas expandidas” presentes en el mercado. Encontraron las mejores condiciones de extrusión (CH=15% / TE=157°C / VT=238 rpm) para producir una botana saludable con **AAox** alta (AAox= 13,681 $\mu\text{mol ET/ 100 g}$ botana, bs). Las condiciones óptimas de extrusión causaron incremento en **AAox** (ORAC: +18 %, ABTS:+20 %) y **CFT** en relación a la mezcla de granos sin procesar.

Corrales-Bañuelos y col (2016) aplicaron el proceso de extrusión-cocción en presencia de hidróxido de calcio para la obtención de harina de maíz a partir de maíces amarillos criollos nativos de Sinaloa, México, para la elaboración de tortillas. Ellos reportaron que el proceso de extrusión-cocción disminuyó ($p<0.05$) el contenido total de carotenoides al compararse con granos sin procesar. Las tortillas elaboradas con harina de maíz extrudido retuvieron el 68.8-79.5% del contenido total de carotenoides presente en granos de maíz sin procesar; además estas tortillas mantuvieron una concentración del 60% de la Luteína asociada al grano crudo. Estos investigadores consideran que los maíces amarillos pueden ser considerados para la elaboración de productos alimenticios extrudidos con potencial nutracéutico.

Sopida Korkerd y col (2016) elaboraron refrigerios extrudidos fortificados a base de harina de soya desgrasada, harina de arroz germinada y fibra de cascara de mango, donde reportaron un incremento de 33.53 veces el contenido de compuestos fenólicos totales en el producto extrudido final comparado con la materia prima cruda.

Ley-Osuna y col (2018) estudiaron el efecto de la extrusión cocción en condiciones optimizadas sobre valor nutricional, contenido de fitoquímicos y actividad antioxidante de la semilla de chía desgrasada; ellos reportaron que la **AAox** de harinas de chía sin procesar, cruda-desgrasada y desgrasada extrudida optimizada (**HCSP**, **HCD**, **HCDEO**), evaluada por ABTS, fue de 23,759, 24,950 y 28,916 μmol

ET/100g muestra, bs, respectivamente. La **AAox** de **HCDEO** fue mayor que la de las otras dos harinas. En todas las harinas la mayor contribución a la **AAox** correspondió a los fitoquímicos ligados (86.50-94.29%); la contribución de los fitoquímicos libres fue mucho menor (5.79-13.49%). Al evaluar la **AAox** de las harinas de amaranto aplicando el método DPPH se observó una tendencia similar. El proceso de extrusión de chía, llevado a cabo bajo condiciones óptimas ($TE=147$ °C/ $VT=237$ rpm), causó un incremento en la **AAox** de semillas de chía desgrasada, al compararse con semillas de chía cruda, evaluada mediante el método ABTS. Esto podría ser un resultado de la combinación de diversos factores tales como: **(1)** Liberación de compuestos fenólicos con actividad antioxidante durante la extrusión, **(2)** Prevención de oxidación de compuestos fenólicos producto de la inactivación enzimática durante el tratamiento y **(3)** Presencia de productos de reacción Maillard con actividad antioxidante, generada durante la extrusión de las materias primas que contienen aminoácidos y azúcares reductores (Espinoza-Moreno y col 2016).

d Estabilidad microbiológica

La cocción por extrusión de alimentos es una de las técnicas de preservación más importantes, permitiendo una alta durabilidad y fácil transporte del alimento. Es un tratamiento de alta intensidad, que al contrario de la pasteurización, se realiza a temperaturas superiores a 100°C (Casp y Abril 1999). Una de sus principales ventajas es destruir los microorganismos patógenos y los que estropean el alimento, así como sus esporas aplicando un tratamiento térmico para alcanzar una esterilidad comercial. La aplicación de calor también provoca una pérdida significativa de nutrientes (Grela y col 1999). Por su parte el proceso de extrusión a pesar de manejar temperaturas elevadas se caracteriza por tener productos de valor nutricional alto, con propiedades fisicoquímicas específicas, ya que, causa un aumento en la biodisponibilidad de minerales, incrementa el contenido de fibra dietaria soluble, mejora los aspectos sensoriales y la digestibilidad proteínica *in vitro* (Serna-Saldívar y col 1988; Milán-Carrillo y col 2000; Zhao y col 2011; Reyes-Moreno y col 2002, 2012, 2018).

Al emplear temperaturas más altas y tiempos más cortos (extrusión) los productos conservan una mejor calidad en cuanto a su valor nutricional, consistencia, aroma y color (García y col 2008). Así, la reducción decimal (tiempo necesario de tratamiento a cierta temperatura para reducir una característica en un instante determinado a una décima parte de la que había inicialmente) de las cualidades organolépticas a 60°C es 2 veces menor que el de la destrucción bacteriana, mientras que es 36 veces mayor a 90°C. El tratamiento térmico aplicado en el proceso de extrusión, tiene como efecto acelerar la velocidad de las reacciones químicas.

Cazzaniga y col (2001) evaluaron los efectos del proceso de cocción por extrusión sobre la inactivación de micotoxinas en harinas de maíz, las muestras estaban infectadas experimentalmente con atoxina B1 (AFB1) y deoxinivalenol (DON), estas muestras se sometieron al proceso de extrusión. Los efectos de las tres variables del proceso de extrusión (humedad, temperatura de extrusión y adición de metabisulfito de sodio) se analizaron de acuerdo con un diseño factorial de dos niveles. Ellos reportaron que la cocción por extrusión es efectiva para la inactivación de la toxina DON. La cocción por el proceso de extrusión es por lo tanto, un tratamiento apropiado para el maíz contaminado con micotoxinas en países donde, debido a las condiciones prevalecientes, estas son algunas de las toxinas presentes.

Peñas y col (2008) estudiaron el efecto de temperaturas (130°C) y presiones altas sobre la reducción de colonias en muestras de frijol y alfalfa germinadas, reportando como resultado una reducción mejorada de bacterias mesófilas aerobias, coliformes totales y fecales y levaduras.

Aguirre-Tafur y Calderón-Mera (2015) estudiaron el análisis microbiológico de una mezcla extrudida a base de harina de quínoa (*Chinopodium quinoa*), arroz (*Oriza sativa*) y frijol gandul (*Canajus cajan*); las condiciones del proceso de extrusión fueron 80°C y 230 rpm; ellos reportaron que durante el almacenamiento por 60 días de dicha mezcla, la presencia de microorganismos fue de: numeración de bacterias aerobias viables totales, <10 UFC/g, numeración de hongos <10 UFC /g, determinación de coliformes ausencia UFC/25g y determinación de Salmonella ausencia UFC/25g, concluyendo que estos valores están dentro de los límites

permisibles según Norma Técnica Sanitaria 071 del Ministerio de Salud y Dirección General de Salud Ambiental de Perú.

Suri-Fernández y García-Padilla (2017) desarrollaron un cereal extruido a base de cañihua, con el fin de incentivar el consumo y la producción de este grano andino, se destaca por su alto valor proteínico y su capacidad de prosperar en condiciones climáticas adversas, aplicando el proceso de extrusión (16,34 % de humedad/165 °C), se logró que los resultados microbiológicos y nutricionales afirmaran que el extruido es inocuo y nutritivo para un desayuno escolar.

IV JUSTIFICACIÓN

La semilla de chía (*Salvia hispanica* L.) es una planta nativa de México. Aunque su uso y cultivo fue suspendido por la llegada de distintos cereales a partir de la conquista española, resurgió con gran fuerza en la última década debido a sus grandes propiedades nutrimentales, pues, en base seca, está constituida por 32-39% de ácidos grasos omega 3, 27% de fibra dietaria y 19-23% de proteína de buena calidad y digestibilidad. Además, es rica en calcio, hierro, potasio, y vitamina C.

Otro aspecto importante es el contenido de compuestos con potente actividad antioxidante que esta semilla posee: Miricetina, Quercetina, Kaempferol, y ácido Cafeico. Estos compuestos son antioxidantes primarios y sinérgicos y contribuyen a la fuerte actividad antioxidante biológica de la chía (reducción en la incidencia de enfermedades crónico-degenerativas (hipertensión, diabetes, enfermedades cardiovasculares, cáncer).

No existen reportes en la literatura del efecto del procesamiento secuencial: germinación-extrusión sobre la composición química, propiedades fisicoquímicas, funcionales, nutricionales, nutracéuticas y estabilidad microbiológica de la semilla de chía (*Salvia hispanica* L).

V HIPOTESIS

La aplicación secuencial de las tecnologías germinación y extrusión, ambas en condiciones óptimas, causan una mejora en propiedades nutricionales, nutracéuticas, fisicoquímicas, sensoriales y en estabilidad microbiológica en semillas de chía (*Salvia hispánica* L).

VI OBJETIVOS

A OBJETIVO GENERAL

Estudiar el efecto de la aplicación secuencial de las tecnologías germinación-extrusión, ambos en condiciones optimizadas, sobre contenido nutrimental, propiedades fisicoquímicas, nutricionales, nutracéuticas, niveles de fitoquímicos y estabilidad microbiológica de semillas de chía (*Salvia hispanica* L.) para la obtención de una harina funcional.

B OBJETIVOS ESPECIFICOS

- 1 Optimizar el proceso de extrusión [Temperatura de extrusión (**TE**) 50-160°C / Velocidad de tornillo (**VT**) 50-240 rpm] utilizando como materia prima harina de chía germinada optimizada desgrasada (**HCGO-D**) para obtener una harina de chía germinada extrudida optimizada (**HCGDEO**) con contenido de compuestos fenólicos totales (**CFT**), actividad antioxidante (**AAox**) y digestibilidad proteínica *in vitro* (**DPIV**) altos.
- 2 Conocer la composición química y propiedades fisicoquímicas a harina de chía cruda (**HCC**), **HCGO**, **HCGO desgrasada (HCGO-D)** y **HCGDEO**.
- 3 Conocer valor nutricional [digestibilidad proteínica *in vitro* (**DPIV**)], de **HCC**, **HCGO**, **HCGO-D** y **HCGDEO**.
- 4 Conocer actividad antioxidante (**ABTS**, **DPPH**) y contenido de compuestos fenólicos totales (**CFT**) en **HCC**, **HCGO**, **HCGO-D** y **HCGDEO**.
- 5 Evaluar estabilidad microbiológica a **HCC**, **HCGO** y **HCGDEO**.

VII MATERIALES Y MÉTODOS

A MATERIALES

Como material de estudio se utilizó chía (*Salvia hispánica* L.), obtenida de la localidad Colonia Agrícola México, situada en el municipio de Angostura, Sinaloa.

B MÉTODOS

1 Características físicas de la semilla de chía

Se evaluó longitud, anchura y grosor, utilizando un estereoscopio. Las mediciones se realizaron en 30 semillas de chía seleccionadas al azar. La determinación se realizó por triplicado.

a Peso de 1,000 semillas

Se determinó pesando 1,000 semillas, tomados al azar de un lote de semillas limpias, en una balanza OHAUS (Mod TP2KS, SeedburoEquipment, Co., EUA). La prueba se realizó por triplicado.

b Peso hectolítrico

Se cuantificó según el procedimiento 55-10 de la AACC (1995) utilizando una microescala. Un recipiente de volumen conocido (1 L) 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). La prueba se realizó con diez repeticiones.

2 Composición química de la semilla de chía

a Humedad

Se determinó humedad de las muestras aplicando el método 44.15 de la AOAC (1999). Se calculó la pérdida de peso de 2 g de muestra, después de calentar a 80°C durante 12 h, posteriormente se aumentó la temperatura a 130°C durante 3 h en una estufa de circulación de aire (FELISA mod 142^a, México). La prueba se realizó por triplicado.

b Proteínas

Se utilizó el método 46.12, microKjeldahl, de la AOAC (1999) para la determinación de nitrógeno en un sistema Kjeltex (Mod 1009 y 1002, Tecator, Suecia). Fueron digeridos 0.2 g de muestra, con 5 mL de ácido sulfúrico y mezcla reactiva de selenio (Merck Co., Alemania) a una temperatura de 200°C. En la destilación de la muestra, previamente diluida con 10 mL de agua 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. 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. Se utilizó el equipo Soxtec System HT 1043 Extraction Unit (Tecator, Suecia); se empleó como disolvente éter de petróleo. La prueba se realizó por triplicado.

d Cenizas

Se utilizó el método 934.01 de AOAC (1999). Se pesaron 3 a 5 g de muestra, la cual se colocó en crisol de porcelana, y se sometió a incineración en mufla a 550°C hasta que resulte una ceniza gris luminosa con peso constante. Las muestras incineradas se enfriaron en un desecador, se atemperaron (25°C) y se pesaron. La prueba se realizó por triplicado.

e Fibra dietaria

Se determinó de acuerdo al método oficial 985.29 de la AOAC (1999), con ayuda de un kit de análisis de fibra dietaria total (TDF-100A, Sigma). Se realizaron cuatro réplicas de 1 g de muestra cada una, previamente desgrasadas. Las muestras se colocaron en matraces de 250 mL y se le agregaron 50 mL de una solución reguladora de fosfatos (pH 6) a cada muestra. A cada matraz con la muestra se le adicionaron 100 µL de α -amilasa. Las muestras se sometieron a tratamiento térmico

(95°C/20 min en baño maría marca Precision) en agitación constante. Después de este tiempo, las muestras se enfriaron a temperatura ambiente, y el pH se ajustó a 7.5 ± 0.2 con NaOH 0.275 M. Se adicionaron 100 μ L de una solución de proteasa (5 mg proteasa) a cada muestra y se sometieron a baño maría a 60°C por 30 min y posteriormente se enfriaron. Se ajustó el pH entre 4-4.6 con HCl 0.325M, y se adicionaron 100 μ L de amiloglucosidasa, las muestras se colocaron a 60°C por 30 min. Finalmente, las muestras se enfriaron y filtraron (usando filtros Gooch #2, previamente secos con 0.5 g de celita, a peso constante), se hicieron 3 lavados de 20 mL con etanol al 78%, 2 lavados de 10 mL con etanol al 95% y 2 lavados de 10 mL con acetona. El residuo de filtrado se secó en una estufa a 70°C por 12 h. Esta parte del residuo se denomina fracción insoluble. A la solución del filtrado de la fracción insoluble se le adicionaron 4 veces el volumen de la solución filtrada (280 mL aprox.) con etanol al 96% y se dejó reposar (12h/ 25°C), para posteriormente ser filtrado (usando filtros Gooch #2, previamente secos con 0.5g de celita) y se hicieron los mismos lavados descritos en la fracción insoluble. Al residuo de este filtrado se le denominó fracción soluble. El filtro con el residuo se secó en una estufa a 105°C por 12 h. Se registraron los pesos de la fracción insoluble y soluble; de las cuatro réplicas, se tomaron dos de ellas para cuantificar proteínas y las otras dos para cenizas. El porcentaje de fibra de la fracción insoluble y soluble se calculó de la siguiente manera:

$$\%FDI \text{ o } \%FDS = \frac{PRF - Proteína - Cenizas}{PMI} \times 100$$

Donde:

FDI= Fibra insoluble

FDS= Fibra soluble

PRF= Peso del residuo final seco

PMI= Peso de la muestra inicial

f Carbohidratos

El porcentaje de carbohidratos se calculó por la diferencia de 100%, menos la suma de los porcentajes de humedad, proteína cruda, grasa cruda, fibra total y cenizas.

3 Propiedades fisicoquímicas de la semilla de chía

a Actividad acuosa (a_w)

Para su determinación se utilizó un equipo marca Aqualab mod CX2 (Decagon Devices Inc, Pullman, WA, EUA). Una muestra de aproximadamente 2 g se colocó en la celda portamuestras del equipo hasta que alcance el equilibrio (40-60 min). El instrumento se calibró con agua destilada ($a_w= 1.00$). Las mediciones se realizaron por triplicado a $25 \pm 1^\circ\text{C}$ (Milán-Carrillo y col 2002).

b Diferencia total de color (ΔE)

Se utilizó la metodología reportada por Reyes-Moreno y col (2002). El color de las muestras se determinó en un colorímetro Minolta Chroma-Meter mod CR-210 (Minolta LTD, Japón). La determinación de color se basa en el efecto triestímulo, donde L mide la brillantez y varía de 100 para un blanco perfecto a cero para negro. Las dimensiones de cromaticidad son dadas por los parámetros a y b . El valor positivo de a está asociado al color rojo y el negativo con el verde. El valor positivo de b está asociado al color amarillo y el negativo con el azul. 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 correspondientes a L , a y b . Se usó 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 la muestra se calculó con la ecuación:

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

Dónde: ΔE = Diferencia total de color entre el estándar y la muestra; ΔL , Δa y Δb = Diferencias absolutas de los valores de L , a y b del estándar utilizado y los valores correspondientes observados en la muestra.

4 Obtención 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) (Fig. 8). Lotes de 15 g de semillas de chía, se distribuyeron homogéneamente sobre charolas de germinación previamente esterilizadas con NaClO a 1,000 ppm, a las cuales después de secarse



20 g de semillas de chía



100 ppm de NaClO



Condiciones óptimas
TG=21°C
tG=157 h
Fotoperiodo luz/obscuridad (12/12 h)



Secado (50°C/8h)



Molienda y almacenamiento (4°C)

Figura 7. Diagrama de flujo para la obtención de harina de chía germinada optimizada (**HCGO**)

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 diario. 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 chía germinada optimizada (**HCGO**). Además, las semillas de chía integrales crudas se molturaron (80-malla US = 0,180 mm) para obtener harinas de chía cruda (**HCC**), que se utilizó como control. La **HCGO** y **HCC** se envasaron y se mantuvieron a 4°C en recipientes herméticos hasta su utilización.

5 Obtención de harinas de chía germinada desgrasada - extrudida (HCGDE)

Para la obtención de harinas de chía germinada extrudida se aplicó el procedimiento reportado por Ley-Osuna y col (2018) con modificaciones menores (**Fig. 9**). El proceso de extrusión se optimizó para obtener harina de chía germinada-extrudida (**HCGE**) con contenidos de compuestos fenólicos totales (**CFT**), actividad antioxidante (**AAox**) y digestibilidad proteínica *in vitro* (**DPIV**) altos. La Metodología de Superficie de Respuesta (**MSR**), como herramienta de optimización, se aplicó sobre tres variables de respuesta (**CFT**, **AAox**, **DPIV**). Se utilizó un diseño central compuesto rotatable con dos factores [Temperatura de extrusión (**TE**, 50-160°C), velocidad de tornillo (**VT**, 50-240 rpm)] en cinco niveles; el diseño generó 13 tratamientos. Los germinados de chía se desgrasaron previamente utilizando una prensa extractora de aceite (Modelo DL-ZYJ05), posteriormente se utilizó el proceso descrito por Milán-Carrillo y col. (2012). La extrusión se llevó a cabo en un extrusor de tornillo simple modelo 20DN (CW Brabender Instruments, Inc., NJ, USA) con un diámetro de tornillo de 19 mm; relación longitud – diámetro 20:1; relación de compresión 1:1 y dado de salida de 5 mm. Se corrieron los 13 tratamientos, con diferentes combinaciones **TE/VT**, arrojadas por el software utilizado.

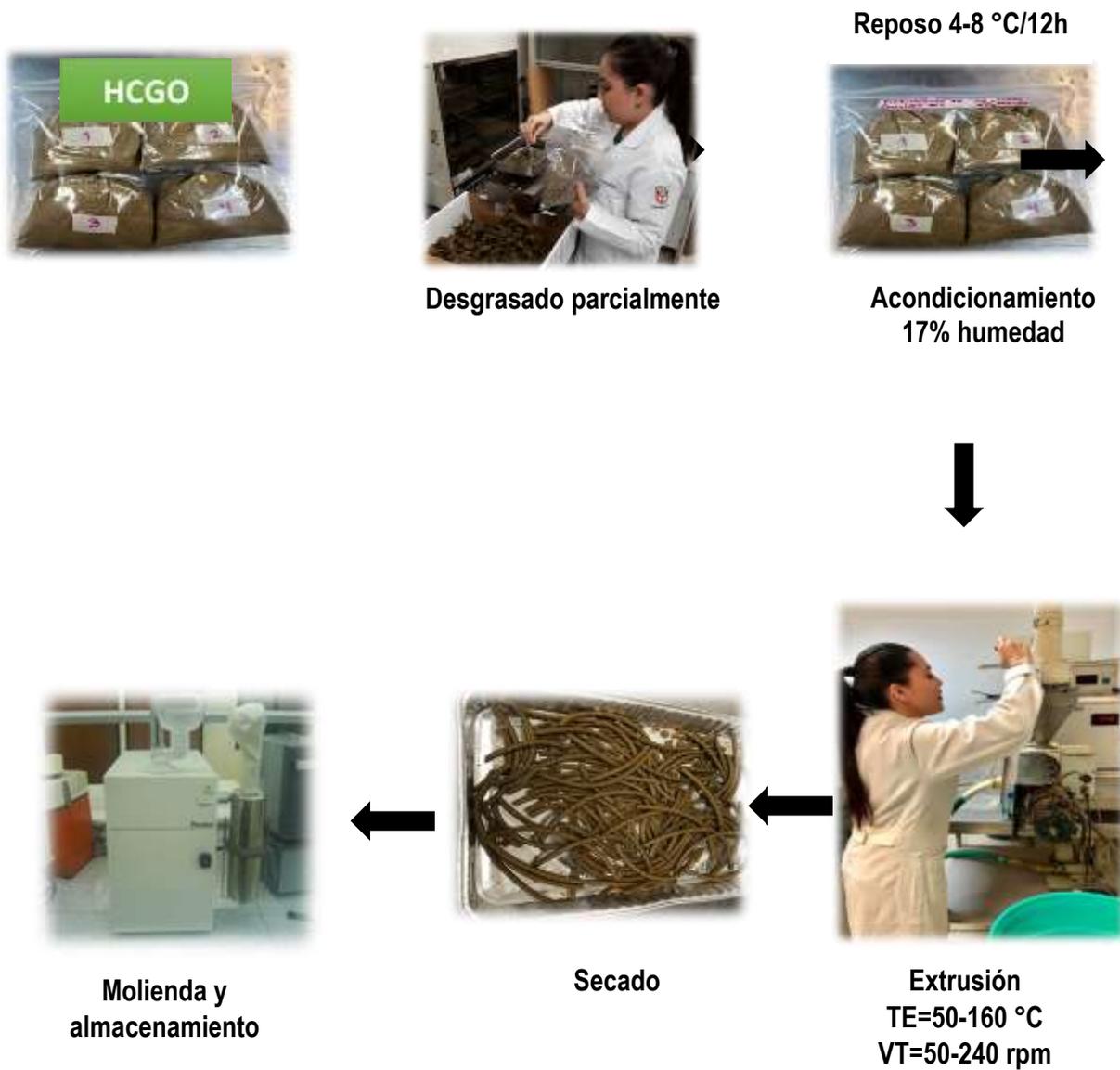


Figura 8. Diagrama de flujo del proceso de extrusión de harina de chíá germinada optimizada desgrasada

Los extrudidos provenientes de cada tratamiento se colectaron en charolas de aluminio perforadas y se enfriaron a medio ambiente. Los extrudidos secos se molturaron (UD Cyclone Sample Mill, UD Corp, Boulder, CO, EUA) hasta pasar por 80 (0.180 mm), se envasaron herméticamente en bolsas de polietileno y se almacenaron a 4°C hasta su utilización (**Fig. 9**). Estas harinas fueron reconocidas como harinas de chía germinada extrudida (**HCGDE**), provenientes de cada uno de los 13 tratamientos, a los cuales se les evaluó **CFT**, **AAox** y **DPIV**.

6 Evaluación del contenido de compuestos fenólicos totales (CFT), actividad antioxidante (AAox) y digestibilidad proteínica *in vitro* (DPIV) de harinas de chía germinada extrudida

a Extracción de fitoquímicos libres

La extracción de fitoquímicos libres se realizó acorde a la metodología descrita por Adom y Liu (2002) (**Fig. 10**). A 0.5 g de muestra se le adicionaron 10 mL de etanol al 80% (v/v); la suspensión se agitó en un rotator (OVAN Noria R, EUA) a 25 rpm durante 10 min. La suspensión se centrifugó (3,000xg/10°C/10 min) y el sobrenadante se colectó en un tubo cónico. El sobrenadante se concentró a 45°C a presión baja (Apud Vac Concentrator, Thermo Elector Corporation) hasta un volumen final de 2 mL. El concentrado se almacenó a -20°C hasta su utilización. El precipitado se utilizó para la extracción de fitoquímicos ligados.

b Extracción de fitoquímicos ligados

Los fitoquímicos ligados se extrajeron según la metodología sugerida por Adom y Liu (2002) con algunas modificaciones (Mora-Rochín y col, 2010) (**Fig. 10**). Se utilizó el precipitado obtenido de la extracción de fitoquímicos libres. El precipitado se sometió a hidrólisis alcalina con 10 mL de NaOH 2M, se eliminó el O₂ con inyección de N₂ y la muestra se sometió a tratamiento térmico (95 °C/30 min) en baño María. Posteriormente, la suspensión se agitó, a temperatura ambiente, durante una hora, se neutralizó con 2 mL de HCl, se agitó por 10 min y se le agregaron 10 mL de hexano para remover los lípidos presentes. La suspensión se agitó en rotator, a velocidad 25, por 10 min, se centrifugó (3,000xg/10°C/10 min) y se eliminó el sobrenadante.

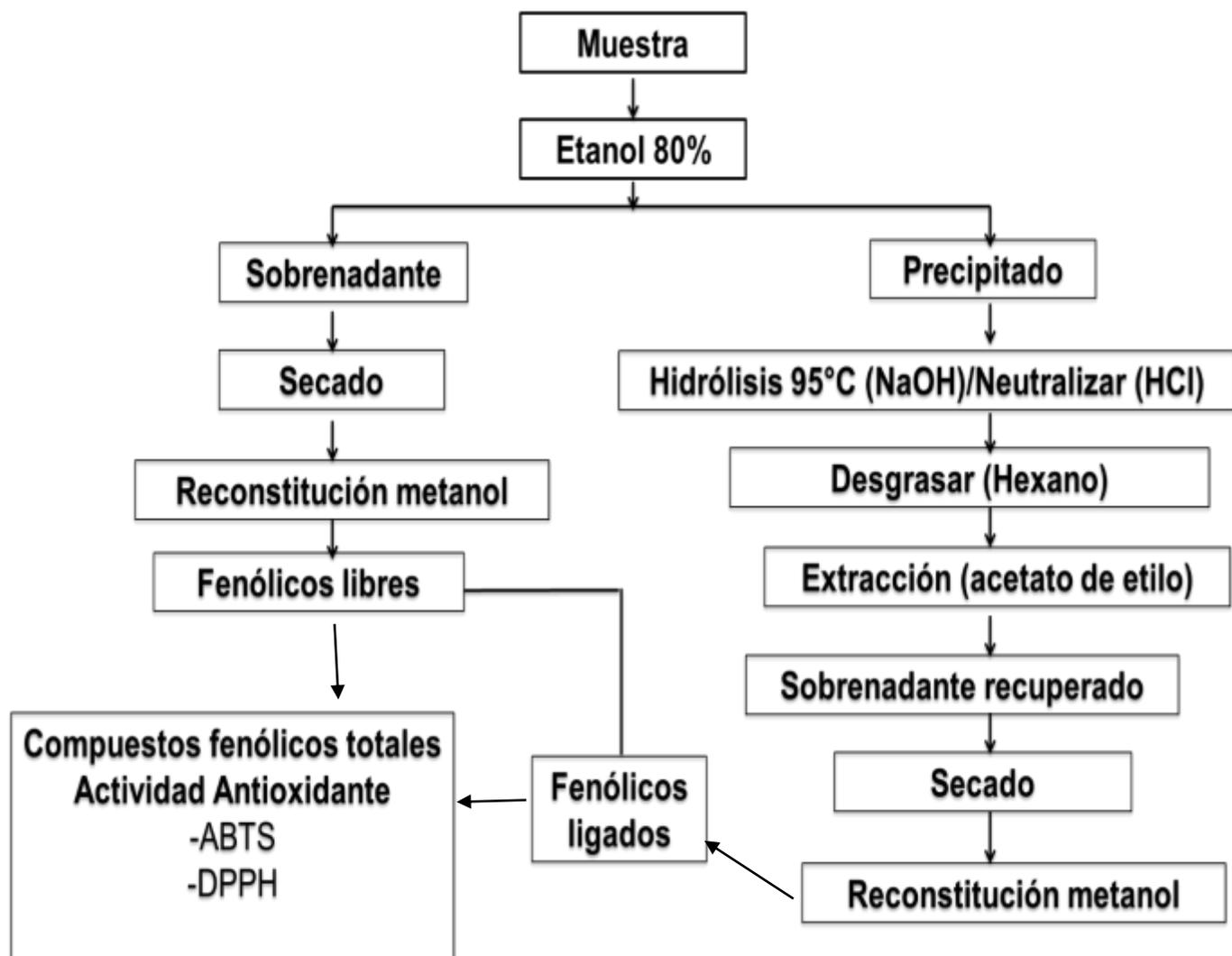


Figura 9. Diagrama de flujo para la obtención de fitoquímicos libres y ligados para la determinación de capacidad antioxidante y compuestos fenólicos totales (Adom y Liu 2002; Mora-Rochin y col. 2010)

El precipitado obtenido se lavó con 10 mL de acetato de sodio, se agitó en vortex por 2 min, se agitó en rotator (velocidad 25 / 10 min) y se centrifugó (5,000xg/10°C/10 min). Se realizaron 5 lavados y en todos los casos se recolectó el sobrenadante. Los sobrenadantes recolectados se evaporaron a sequedad (Apud Vac Concentrator, Thermo Elector Corporation). El residuo resultante se reconstituyó con 2 mL de metanol al 100% (fitoquímicos libres y ligados) y se almacenaron a -20°C hasta su utilización.

c Compuestos fenólicos totales (CFT)

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.

d Actividad antioxidante

Para cuantificar la capacidad captadora de radicales libres de los extractos se determinó el grado de decoloración que provocan sus componentes a una solución metanólica y etanólica de **DPPH** mediante el método de Brand-Williams y col (1995) con algunas modificaciones. Se preparó una solución concentrada de DPPH (20 mM) para lo cual se pesaron 0.789 g del radical DPPH en un matraz aforado de 100 mL, posteriormente se aforó con metanol puro y se dejó reposar 2 h antes de iniciar las

mediciones. Posteriormente se preparó un blanco con 200 µL de metanol puro + 800 µL de PBS y se procedió a medir la absorbancia del blanco en un espectro (UV-vis Genesys 10 UV Thermo Electron Corporation, Madison, WI, EUA). Para la medición del radical se colocaron 500 µL de la solución **DPPH** concentrada y se llevó a 50 mL con metanol puro y se procedió a ajustar la absorbancia del radical a 1. Posteriormente se colocaron 200 µL de cada punto de la curva y muestra más 800 µL de PBS más 1000 µL de radical **DPPH** ajustado a 1 (por triplicado). Se incubó a temperatura ambiente durante 30 min en la oscuridad y se midió la absorbancia a 517 nm. Los resultados se expresaran como µmol equivalente de Trolox /g muestra, bs.

e Digestibilidad proteínica *in vitro*

Se determinó de acuerdo al procedimiento reportado por Rathod y Annapure (2016) con modificaciones. Se pesó un gramo de muestra, se incubó (15 mg pepsina en 20 mL de HCl 0.1 N neutralizada con 10 mL NaOH 0.2 N) a 37°C / 3 h. Se agregaron 7.5 mL de solución reguladora de fosfatos (pH=8) que contenían 40 mg de pancreatina, se incubó a 37°C por 24 h, luego se agregaron 700 µL de ácido TCA (tricloroacético) y se centrifugó a 5,000xg/10 min. Se descartó el sobrenadante y el precipitado se secó (40-50°C) y posteriormente se utilizó en la digestión de proteínas en sistema MicroKjehldal. La digestibilidad proteínica *in vitro* (**DPIV**) (%) se calculó como:

$$DPIV (\%) = [(Proteína\ total - Residuo\ de\ Proteína) / (Proteína\ total)] \times 100$$

7 Optimización del proceso de extrusión para conocer las mejores condiciones de procesamiento para elaborar harinas de chía germinada extrudida con contenido de fenólicos totales, capacidad antioxidante y digestibilidad proteínica *in vitro* altos

a Diseño experimental / Análisis estadístico

Se aplicó la metodología de superficie de respuesta (MSR), como técnica de optimización, para determinar la mejor combinación de variables del proceso de

extrusión para la producción de harina de chía germinada-extrudida optimizada (**HCGEO**) con valores de actividad antioxidante (**AAox**), compuestos fenólicos totales (**CFT**) y digestibilidad de proteína *in vitro* (**DPIV**) altos. Datos de la literatura y ensayos preliminares se tomaron en cuenta para seleccionar el número y niveles de variación de las variables de proceso en el diseño experimental. Se seleccionó un diseño experimental central compuesto rotatable de 13 tratamientos. Como variables de proceso se seleccionaron temperatura de extrusión (**TE**, 50-160°C) y velocidad de tornillo (**VT**, 50-240 rpm). Como variables de respuesta se consideraron actividad antioxidante (**AAox**), compuestos fenólicos totales (**CFT**) y digestibilidad de proteína *in vitro* (**DPIV**). El modelo empírico de la “caja negra” que se presenta a continuación representa la relación entre variables de proceso (**TE**, **VT**) y variables de respuesta (**AAox**, **CFT**, **DPIV**).

La expresión dentro de la “caja negra” representa **AAox**, **CFT** y **DPIV** cuyo $k=1$, y 2 , respectivamente; β_{k0} , β_{ki} , β_{kii} y β_{kij} representan la constante y los coeficientes de los efectos lineal, cuadrático y de interacción, respectivamente. X_i , X_i^2 y X_iX_j representan los efectos lineal, cuadrático y de interacción de las variables independientes, respectivamente; y ε representa el error, primariamente considerado por la incapacidad para determinar el modelo verdadero. Se aplicó análisis de regresión, los términos no-significativos ($p \leq 0.1$) se eliminaron del polinomio de segundo orden, se recalculó un nuevo polinomio y se obtuvo un modelo de predicción para cada variable de respuesta (Myers, 1971). Para la realización de estos análisis se utilizó el programa STAT-EASE (Design Expert, 2007).

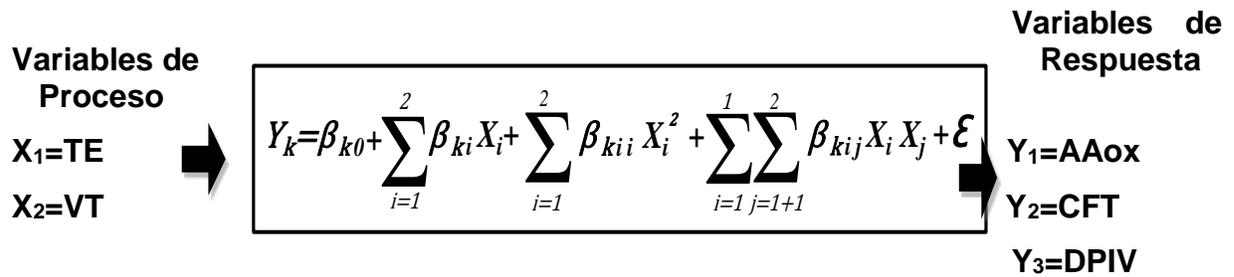


Figura 10. “Caja negra” del modelo matemático que muestra la relación entre variables de proceso y variables de respuesta del proceso de extrusión.

b Optimización

Se aplicó el método convencional gráfico para obtener valores máximos de **CFT**, **AAox** y **DPIV**. Los modelos de predicción se utilizaron para representar gráficamente el sistema. La sobreposición de gráficas de contorno de cada una de las variables de respuesta permitió obtener una gráfica de contorno para la observación y selección de la mejor (óptima) combinación de **TE** y **VT** para la producción de harina de chía germinada desgrasada extrudida optimizada (**HCGDEO**) con **CFT**, **AAox** y **DPIV** altos.

8 Composición química y propiedades fisicoquímicas de la harina de chía germinada desgrasada extrudida optimizada (HCGDEO)

a Composición química

Se cuantificó el contenido de humedad, proteína, lípidos, cenizas y carbohidratos de la **HCGDEO** de acuerdo a métodos oficiales de AOAC (1999) descritos en las secciones **VII.B.2.a.b.c.d.f** de este capítulo.

b Propiedades fisicoquímicas

1) Actividad acuosa

2) Diferencia total de color (ΔE)/ Valor Hunter L

Se evaluaron acorde a la metodología propuesta en las secciones **VII.B.3.b** de este capítulo.

3) pH

El pH se determinó de acuerdo a la AOAC (1999). A 10 g de muestra se le agregaron 100 mL de agua destilada hervida y enfriada; la suspensión se agitó en un agitador orbital por 10 min a 240 rpm, después se midió el pH de la suspensión. Las mediciones se realizaron por triplicado.

4) Densidad aparente

Se determinó de acuerdo a la norma oficial mexicana NMX-FF-034/1-SCFI-2002 (NOM 2007). En una probeta graduada se adicionaron 100 mL de harina, vaciada con ayuda de un embudo; se golpeó suavemente 5 veces para favorecer el acomodo de las partículas. Se midió el volumen y el peso de la harina y la densidad aparente se calculó con esos datos. La determinación se realizó por triplicado.

5) Índice de absorción (*IAA*) y de solubilidad en agua (*ISA*)

Para estas evaluaciones se utilizó el método descrito por Anderson y col (1969). Una muestra de harina de 2.5 g se suspendió en 30 mL de agua a 30°C en un tubo para centrifuga de 50 mL previamente tarado. La suspensión se agitó en agitador orbital a velocidad moderada (250 rpm / 30 min) y posteriormente se centrifugará (3000xg / 30°C/10 min). El precipitado y el líquido sobrenadante se utilizaron para el cálculo de *IAA* e *ISA*, respectivamente. El gel formado se pesó para calcular el *IAA*, expresado como gramos de gel por gramo de muestra seca. El líquido sobrenadante se decantó cuidadosamente en un recipiente tarado para la determinación de sólidos. El *ISA*, expresado como gramos de sólidos por gramo de sólidos originales, se calculó a partir de peso de sólidos secos recuperados mediante evaporación del sobrenadante (110°C / 12 h). Ambos índices se determinaron por triplicado.

6) Dispersabilidad

Se determinó de acuerdo a Mora-Escobedo y col (1994). Se suspendió 1 g de muestra en 10 mL de agua desionizada, en un tubo cónico graduado; las muestras se homogeneizaron en un homogenizador Ultra Turrax (10,000 rpm x 5 min). La separación de fases se medirá después de 30 min de reposo.

7) Índice de absorción de aceite

La absorción de aceite de las harinas se determinó utilizando la metodología reportada por Ordorica-Falomir (1988). Muestras de 0.5 g de harina adicionadas con 3 mL de aceite vegetal se colocaron en un tubo graduado para centrifuga, se agitaron en vortex durante 1 min, se dejaron reposar 30 min y, finalmente, se

centrifugaron (1,600 x g / 25°C/ 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.

8) Capacidad de formación (CFE) y estabilidad de espuma (CEE)

Estos parámetros se determinaron mediante los métodos de Hauffman y col (1975) y Kabirullha y Wills (1982). En una probeta de 100 mL se agregaron 0.5 g de muestra más 50 mL de agua destilada. La mezcla se agitó en un Ultraturax a 12,000 rpm durante 1 min. Posteriormente se midió el volumen de la espuma formado. La capacidad de formación de espuma se reportó como porcentaje (% CFE) y se calculó con la siguiente ecuación:

$$CFE = \frac{\text{Vol. después de agitado} - \text{Vol. antes de agitado}}{\text{Vol. antes de agitado}} \times 100$$

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

$$\%EE = \frac{\text{Vol. espuma despues del reposo}}{\text{Vol. total de la emulsión}} \times 100$$

9) Capacidad emulsificante (CE) y estabilidad de emulsión (EE)

Para la determinación de la capacidad emulsión y estabilidad de emulsión se utilizó la metodología reportada por Hauffman y col (1975). Se pesaron 0.7 g de muestra, se le agregaron 10 mL de agua destilada y 10 mL de aceite vegetal. Posteriormente se agitó en un homogeneizador Ultraturax a 12,000 rpm durante 1min. El contenido de esta mezcla se distribuyó en tubos cónicos graduados para centrifuga y se centrifugaron a 1,300xg durante 5 min. Se midió el volumen de la emulsión formada y se determinó relacionando la capa emulsificada y el volumen total y se reportó como porcentaje de capacidad emulsión (%CE). La estabilidad de emulsión se evaluó con los mismos tubos utilizados en la determinación de %CE. Estos tubos se trataron térmicamente en un baño maría a 80°C durante 30 min. Después se enfriaron y se centrifugaron a 1,300xg durante 5min. Finalmente se

midió el volumen de la emulsión y el porcentaje de estabilidad de emulsión (%EE). Se reportó como porcentaje de emulsión retenido después del tratamiento térmico. La prueba se realizó por triplicado.

9 Niveles de compuestos fenólicos totales, actividad antioxidante y valor nutricional de HCGDEO

a Compuestos fenólicos totales (CFT)

Para la determinación de **CFT** se utilizó el método colorimétrico de Folin-Ciocalteu descrito por Singleton y col (1999) referenciado en la sección **VII.B.6.c** de este capítulo.

b Actividad Antioxidante (AAox)

La determinación de **AAox** se llevó a cabo por los siguientes métodos:

1) 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 ($K_2S_2O_8$) 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 solución reguladora de fosfatos (PBS, por sus siglas en inglés) pH = 7.4 (45 mL de PBS + 500 μ L de la solución de ABTS) hasta alcanzar una absorbancia de 0.7 ± 0.02 a 734 nm. Se tomaron 20 μ L del blanco (PBS) y se mezclaron con 1980 μ L 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 la absorbancia requerida, se colocaron 20 μ L de cada muestra por triplicado en tubos eppendorf de 2 mL y se le añadieron 1980 μ L del radical agitando el tubo para mezclar. La lectura de las muestras se

realizó a los 5 min 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).

2) DPPH

La determinación de **AAox** se llevó a cabo por el método de DPPH descrita en la sección **VII.B.6.d** de este capítulo.

c Valor nutricional

1) Digestibilidad proteínica in vitro (DPIV)

La **DPIV** se evaluó acorde a la metodología presentada en la sección **VII.B.6.e.** de este capítulo.

10 Estabilidad microbiológica de Harina de chía cruda (HCC), germinada optimizada (HCGO) y germinada extrudida optimizada (HCGEO)

a Preparación de la muestra

Para la preparación de la muestra se siguió la metodología descrita por la **NOM-110-SSA1-1994**, a partir de muestras sólidas, se pesaron 10 g de cada harina por analizar en un recipiente estéril de tamaño adecuado, posteriormente se le adicionaron 90 mL de agua peptonada como diluyente, una vez agregado el diluyente, la muestra se sometió a un proceso de homogenización empleando un equipo agitador marca Braun hasta obtener una suspensión completa. Se dejó reposar durante 10 minutos para que las partículas grandes se sedimentaran y transferir la cantidad adecuada de las capas superiores. Esta mezcla inicial se consideró como la dilución "0", se realizaron diluciones seriadas a partir de la dilución "0" (stock de 10 g de la muestra con 90 mL de agua peptonada) de cada dilución se tomó 1 mL y se sembró en medios de cultivo específicos para determinar la presencia de coliformes totales (CT), mesófilicos aerobios y mohos, mediante el proceso de vertido en placa.

b Conteo de Microorganismos Coliformes Totales (CT)

La cuenta de microorganismos coliformes totales se realizó de acuerdo con las especificaciones de la norma **NOM-113-SSA1-1994**. Se colocó en cajas Petri por duplicado 1 mL de la muestra directa o de la dilución correspondiente, utilizando una pipeta estéril. Después se le agregaron 10 mL de Agar Bilis Rojo Violeta (ABRV) fundido y mantenido a $45 \pm 1^\circ\text{C}$ en baño de agua. El tiempo transcurrido entre la preparación de la dilución y el momento en que se vierte el medio de cultivo, no debe exceder de 20 minutos. Se mezcló cuidadosamente el inóculo con el medio con seis movimientos de derecha a izquierda, seis movimientos en el sentido de las manecillas del reloj, seis movimientos en el sentido contrario al de las manecillas del reloj y seis de atrás para adelante, sobre una superficie lisa y nivelada. Se esperó a que la mezcla solidifique dejando las cajas Petri reposar sobre una superficie horizontal fría. Se preparó una caja control con 15 mL de medio para verificar la esterilidad. Se invirtieron las placas y se colocaron en la incubadora a 35°C , durante 24 ± 2 horas. Después del periodo especificado para la incubación, se contaron las colonias, seleccionando las placas que contenían entre 25 y 250 colonias. Las colonias típicas son de color rojo rosado, generalmente se encuentran rodeadas de un halo de precipitación debido a las sales biliares, el cual es de color rojo claro o rosa, la morfología colonial es semejante a lentes biconvexas con un diámetro de 0,5 a 2,0 mm. El valor obtenido se expresó como unidades formadoras de colonias por gramo de muestra (UFC/g).

c Conteo de Microorganismos Mesófilicos Aerobios

La cuenta de microorganismos Mesófilicos aerobios se realizó de acuerdo con las especificaciones de la norma **NOM-092-SSA1-1994**. Se colocó en cajas Petri por duplicado 1 mL de la muestra directa o de la dilución correspondiente, utilizando una pipeta estéril. Después se le agregaron 10 mL de Agar para métodos estándar (APME) fundido y mantenido a $45 \pm 1^\circ\text{C}$ en baño de agua. El tiempo transcurrido entre la preparación de la dilución y el momento en que se vierte el medio de cultivo, no debe exceder de 20 minutos. Se mezcló cuidadosamente el inóculo con el medio con seis movimientos de derecha a izquierda, seis movimientos en el sentido de las

manecillas del reloj, seis movimientos en el sentido contrario al de las manecillas del reloj y seis de atrás para adelante, sobre una superficie lisa y nivelada. Se esperó a que la mezcla solidifique dejando las cajas Petri reposar sobre una superficie horizontal fría. Se preparó una caja control con 15 mL de medio para verificar la esterilidad. Se invirtieron las placas y se colocaron en la incubadora a $35^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, durante 48 ± 2 horas. Después del periodo especificado para la incubación, se contaron las colonias, seleccionando las placas que contenían entre 25 y 250 colonias. Las colonias típicas son de color amarillo blanquecino, generalmente se comparan con las características de una perla. El valor obtenido se expresó como unidades formadoras de colonias por gramo de muestra (UFC/g).

d Conteo de Mohos

La cuenta de mohos se realizó de acuerdo con las especificaciones de la norma **NOM-111-SSA1-1994**. Se colocó en cajas Petri por duplicado 1 mL de la muestra directa o de la dilución correspondiente, utilizando una pipeta estéril. Después se le agregaron 10 mL de Agar Papa Destroxa acidificado (APD) fundido y mantenido a $45 \pm 1^{\circ}\text{C}$ en baño de agua. El tiempo transcurrido entre la preparación de la dilución y el momento en que se vierte el medio de cultivo, no debe exceder de 20 minutos. Se mezcló cuidadosamente el inóculo con el medio con seis movimientos de derecha a izquierda, seis movimientos en el sentido de las manecillas del reloj, seis movimientos en el sentido contrario al de las manecillas del reloj y seis de atrás para adelante, sobre una superficie lisa y nivelada. Se esperó a que la mezcla solidifique dejando las cajas Petri reposar sobre una superficie horizontal fría. Se preparó una caja control con 15 mL de medio para verificar la esterilidad. Se invirtieron las placas y se colocaron en la incubadora a $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, durante 3 y 4 días. Después del periodo especificado para la incubación, se contaron las colonias, seleccionando las placas que contenían entre 10 y 150 colonias. Las colonias típicas se caracterizan por ser afelpadas (vellosos) o con cuerpos de fructificación o esporangios coloreados. El valor obtenido se expresó como unidades formadoras de colonias por gramo de muestra (UFC/g).

11 Análisis estadístico

Los resultados fueron sometidos a un análisis de varianza de una sola vía (ANOVA), seguido por la aplicación de la prueba de rangos múltiples de Duncan, con un nivel de significancia del 0.05, para comparación de medias. Para la realización de estos análisis se utilizó el paquete estadístico Statgraphic Plus 6.0.

VII RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA SEMILLA DE CHÍA

En el **Cuadro 17** se muestran las características físicas de la semilla de chía (*Salvia hispánica L.*). Las dimensiones físicas de las semillas son indicadores de la calidad comercial, manejo y almacenamiento de los mismos. El tamaño de las semillas de chía fue 2.04 mm de largo, 1.26 mm de ancho y 0.40 mm de grosor (**Cuadro 17**); estos datos coinciden con lo reportado por otros investigadores (González y col 2016, Sánchez- Osuna y col 2017, Ley-Osuna y col 2018). El peso de 1,000 semillas es otra medida que indica el tamaño de la semilla de chía, las semillas de chía presentaron un peso de 1,000 semillas de 1.37 g, el cual se encuentra dentro del rango de 1.20 a 1.37 reportado por otros investigadores (Ixtaina, 2008; Ayerza y Coates 2009; Amato y col 2015). Este parámetro es necesario para la estimación del volumen de una semilla, así como para la realización de la limpieza a través del uso de fuerzas aerodinámicas. El peso hectolítrico es una medida indirecta de la densidad de la semilla, es considerado un indicador de la calidad de la semilla y depende de su acomodo en un espacio determinado. Demasiados espacios vacíos resultará en un bajo peso hectolítrico. El peso hectolítrico de la semilla de chía fue de 69.18 kg/hL (**Cuadro 17**). Porrás-Loaiza y col (2014) y Gómez-Favela y col (2017) 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.

El valor para actividad acuosa (a_w) de la semilla entera de chía fue de 0.53 (**Cuadro 17**), este valor nos indica que el grano se encuentra en valores en donde el desarrollo de la actividad enzimática, el crecimiento de microorganismos y reacciones químicas se llevan a cabo muy lentamente, lo cual significa que el grano puede permanecer en almacenamiento, bajo las condiciones ideales, por un largo periodo sin riesgo de perder su calidad.

En la evaluación de color de la semilla entera se obtuvieron valores de luminosidad Hunter "L" y ΔE de 35.81 y 64.20, respectivamente (**Cuadro 17**);

Cuadro 17. Características físicas y fisicoquímicas de las semillas de chía (*Salvia hispanica* L.)

Propiedad	Chía
Físicas	
Dimensiones (mm)	
Largo	2.044 ± 0.11
Ancho	1.26 ± 0.09
Grosor	0.40 ± 0.03
Peso de 1,000 semillas (g)	1.376 ± 0.03
Peso hectolítrico (kg/hL)	69.18 ± 0.22
Fisicoquímicas	
Color	
Diferencia total de color (ΔE)	64.20 ± 3.92
Hunter "L"	35.81 ± 1.87
Actividad acuosa (a_w)	0.53 ± 0.01

un valor bajo de “L” y alto de ΔE indican que la muestra presenta un color muy opaco y oscuro.

Las características físicas de las semillas son indicadores de la calidad comercial, manejo y almacenamiento de las mismas. Existe una correlación entre las características de remojo y el tiempo de cocción de las semillas de leguminosas con las características físicas del grano (Williams y col 1983).

B MEJORES CONDICIONES PARA LA PRODUCCIÓN DE HARINA DE CHÍA GERMINADA DESGRASADA EXTRUDIDA CON CONTENIDO DE COMPUESTO FENOLICOS TOTALES, ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE Y DIGESTIBILIDAD PROTEINICA *IN VITRO* ALTOS

Las diferentes combinaciones de variables del proceso de extrusión [Temperatura de Extrusión (**TE**) / Velocidad de Tornillo (**VT**)] utilizadas para la producción de harinas de chía germinada desgrasada extrudida (**HCDGE**), y los valores experimentales de las variables de respuesta (**CFT**, **AAox**, **DPIV**) para cada uno de los trece tratamientos, generados por el diseño experimental, se muestran en el **Cuadro 18**.

1) Modelos de predicción

A partir de los datos experimentales de **CFT**, **AAox** y **DPIV** de las **HCGE** (**Cuadro 18**) se obtuvieron modelos de predicción, para cada una de ellas, como resultado de ajustar el polinomio “ $\hat{Y}_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{11} X_{12} + \beta_{22} X_{22}$ ”, que relaciona las variables de respuesta (**CFT**, **AAox**, **DPIV**), evaluadas a las **HCGDE**, con las variables de proceso de extrusión (**TE**, **VT**). A estos modelos de predicción se les probó su idoneidad y ajuste por análisis de varianza (ANOVA). Un buen modelo de predicción debe tener una R^2 ajustada (coeficiente de determinación) ≥ 0.80 , un nivel de significancia de $P < 0.05$, un coeficiente de varianza (CV) $\leq 10\%$ y prueba de falta de ajuste > 0.01 (Montgomery, 2014). Se utilizaron estos criterios para decidir el nivel de satisfacción de los modelos de predicción de cada una de las variables de respuesta.

Cuadro 18. Diseño experimental^a empleado para obtener diferentes combinaciones de temperatura de extrusión y velocidad de tornillo (**TE**, **VT**) para la producción de harinas de chía germinada desgrasada extrudida (**HCGDE**), y resultados experimentales de las variables de respuesta (**CFT**, **AAox**, **DPIV**).

Tratamiento ^b	Variables de proceso		Variables de respuesta		
	TE (°C)	VT (rpm)	CFT ^c	AAox ^d	DPIV ^e
1	66.11	77.82	596	10,604	71.7
2	143.89	77.82	606	11,217	73.2
3	66.11	212.18	594	11,497	72.6
4	143.89	212.18	650	13,940	71.3
5	50.00	145.00	602	10,870	70.0
6	160.00	145.00	642	13,323	74.0
7	105.00	50.00	607	11,455	71.0
8	105.00	240.00	632	12,694	70.2
9	105.00	145.00	584	9,235	76.1
10	105.00	145.00	594	9,067	75.2
11	105.00	145.00	591	9,366	77.5
12	105.00	145.00	588	9,579	76.6
13	105.00	145.00	586	9,794	78.2

^aDiseño central compuesto rotatable con dos factores y cinco niveles; 13 tratamientos

^bNo corresponde al orden de procesamiento.

^cCFT = Contenido de fenólicos totales expresado en: mg EAG/100 g, bs.

^dAAox = Capacidad antioxidante expresado en: μ mol ET/100 g, bs.

^eDPIV = Digestibilidad de proteína *in vitro* expresado en: %.

a Compuestos fenólicos totales

Las harinas de chía germinada extrudidas (**HCGE**) tuvieron contenido de **CFT** entre 584 y 650 mg equivalentes de ácido gálico (EAG)/ 100 g (bs). (**Cuadro 18**).

La **Fig. 11** muestra el efecto de la temperatura de extrusión (**TE**) y velocidad de tornillo (**VT**) sobre el contenido de Compuestos fenólicos totales (**CFT**) de las harinas de chía germinada extrudida. En esta figura se observa que el contenido de Compuestos fenólicos totales (**CFT**) aumenta al incrementar **TE** y **VT**. Los modelos de regresión para el contenido de Compuestos fenólicos totales (**CFT**) fueron:

Usando valores codificados:

$$\mathbf{CFT = 588.34 + 15.19 A + 9.49 B + 11.35 A*B + 14.53A^2 + 13.40 B^2}$$

Usando valores originales:

$$\mathbf{CFT = 761.36749 - 2.2569 TE - 1.1764 VT + 4.34545E-003 (TE)(VT) + 9.60744E-003 (TE)^2 + 2.97036E-00 (VT)^2}$$

El modelo de regresión explicó el 95.46 % de la variación total en los valores de compuestos fenólicos totales ($p= 0.0001$).

b Actividad Antioxidante (AAox)

Los términos lineales de la temperatura de extrusión (**TE**) y velocidad de tornillo (**VT**) tuvieron efecto significativo ($p < 0.01$) sobre la actividad antioxidante (**AAox**) de las harinas de chía germinada desgrasada extrudida (**HCGDE**). De igual manera, los términos cuadráticos de la temperatura de extrusión (**TE**) y velocidad de tornillo (**VT**) tuvieron un efecto significativo ($p < 0.01$) dentro el modelo. El modelo de regresión para la actividad antioxidante (**AAox**) de las harinas de chía germinada desgrasada extrudida (**HCGDE**) presentó las siguientes expresiones:

Usando valores codificados:

$$\mathbf{AAox = 9408.20 + 815.63 A + 1083.53 B + 367.50 A*B + 1257.65 A^2 + 1246.65 B^2}$$

Usando valores originales:

$$\mathbf{AAox = 23623.72 - 181.63 TE - 89.72 VT + 0.17 (TE)(VT) + 0.84 (TE)^2 + 0.28 (VT)^2}$$

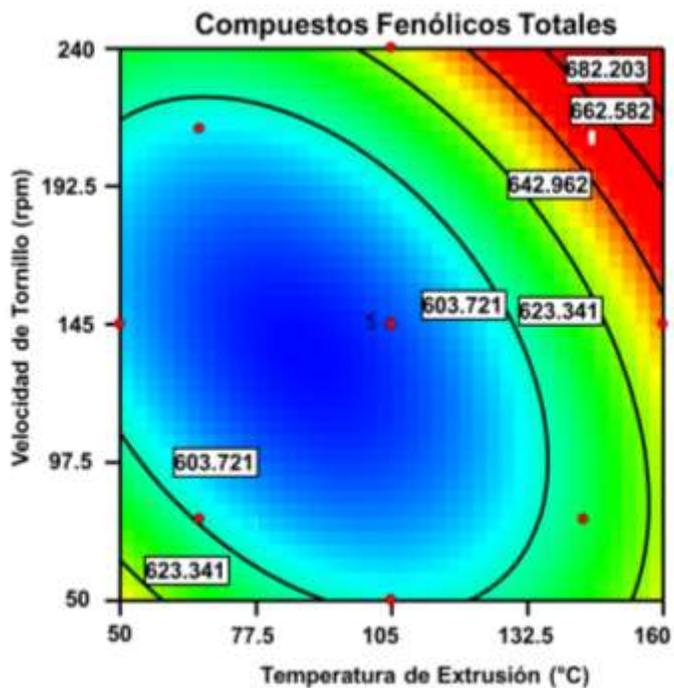
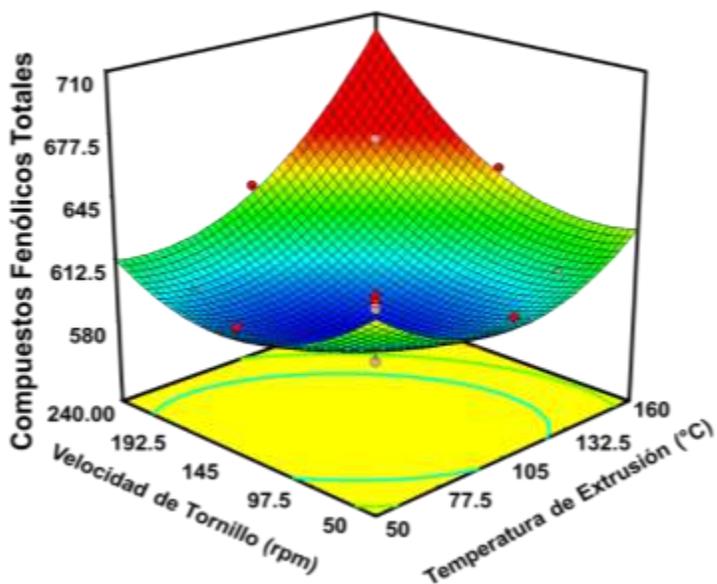
A**B**

Figura 11. Gráficas de contorno (**A**) y superficie de respuesta (**B**) mostrando el efecto de las variables de proceso [**TE** (°C), **VT** (rpm)] sobre el contenido de compuestos fenólicos totales [**CFT** (mg EAG/100 g muestra, bs)] de las harinas de chíá germinada desgrasada extrudida (**HCGDE**).

El modelo de regresión para la actividad antioxidante (**AAox**) de las harinas de chía germinada desgrasada extrudida (**HCGDE**) explicó el 96.96 % de la variación total ($p < 0.0001$) en los valores de **AAox**. La **Fig. 12** muestra la relación entre la temperatura de extrusión (**TE**) y el velocidad de tornillo (**VT**) sobre la actividad antioxidante (**AAox**) de las harinas de chía germinada desgrasada extrudida (**HCGDE**). En esta figura se observa que al incrementar la temperatura de extrusión (**TE**) y la velocidad de tornillo (**VT**) la actividad antioxidante (**AAox**) también incrementa. Los valores de **AAox** variaron desde 9,067 hasta 13,940 μmol equivalentes de Trolox (ET)/100 g de muestra (bs).

c Digestibilidad Proteínica *in Vitro*

El término lineal de la temperatura de extrusión (**TE**) así como su término cuadrático presentaron efecto significativo ($p < 0.01$). De igual manera el término cuadrático de la velocidad de tornillo (**VT**) tuvo un efecto significativo ($p < 0.01$) sobre el porcentaje de digestibilidad proteínica *in vitro* de las harinas de chía germinada extrudida (**HCGE**).

El modelo de regresión para la actividad antioxidante (**AAox**) de las harinas de chía germinada extrudida (**HCGE**) presentó las siguientes expresiones:

Usando valores codificados:

$$\text{DPIV} = 76.75 + 0.73 A - 2.15 A^2 - 2.82 B^2$$

El modelo de regresión para el porcentaje de digestibilidad proteínica *in vitro* (**DPIV**) de las harinas de chía germinada desgrasada extrudida (**HCGDE**) explicó el 85.97 % de la variación total ($p < 0.0001$) de los valores obtenidos para las **HCGDE**. La **Fig. 13** muestra la relación entre la temperatura de extrusión (**TE**) y la velocidad de tornillo (**VT**) sobre el porcentaje de digestibilidad proteínica *in vitro* (**DPIV**) de las **HCGDE**. En la **Fig. 13** se observa que a **TE** y **VT** intermedias, incrementa el valor de **DPIV**. Los valores de digestibilidad proteínica *in vitro* (**DPIV**) variaron desde 70.0 hasta 78.2 %.

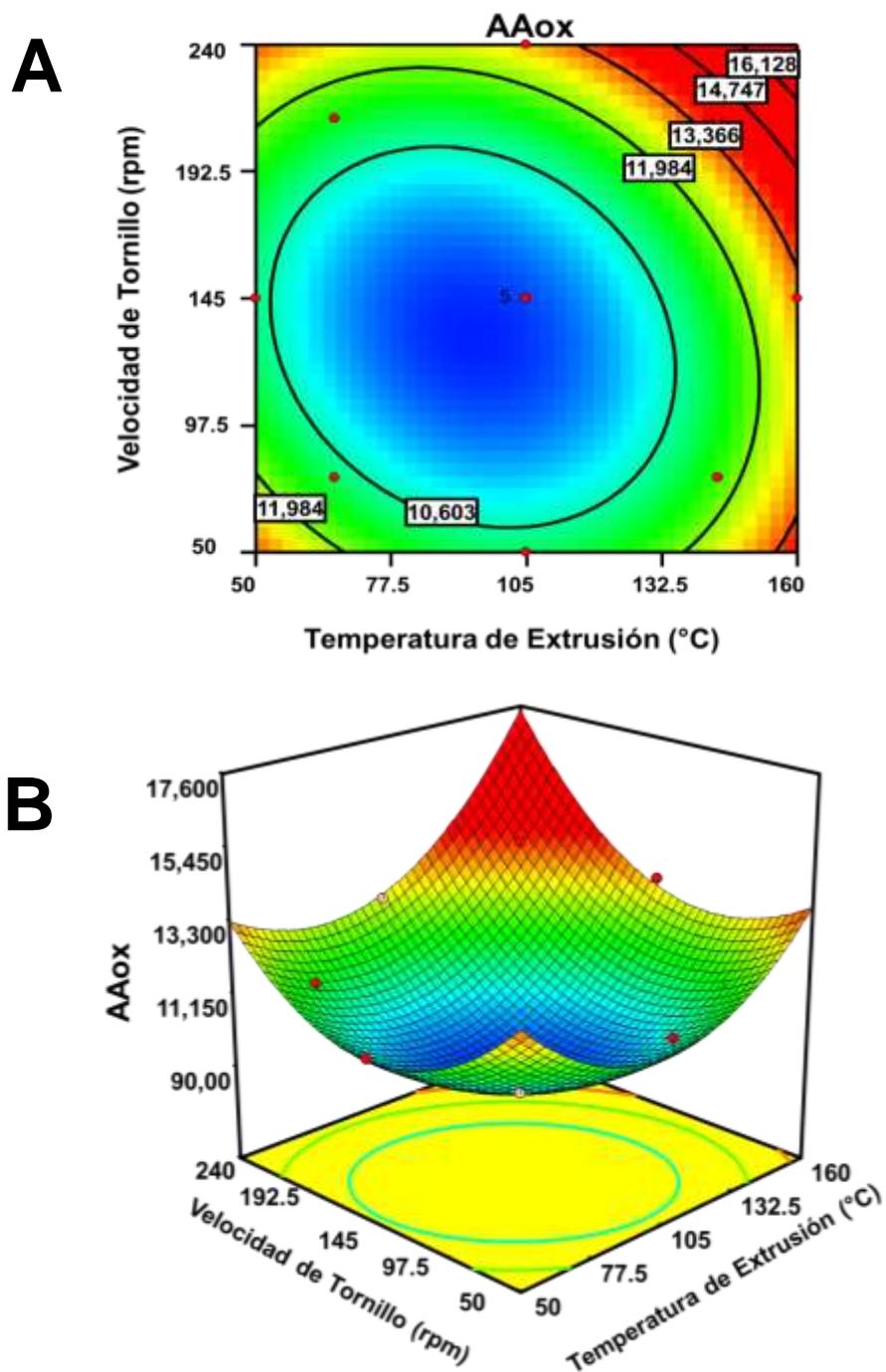


Figura 12. Gráficas de contorno (**A**) y superficie de respuesta (**B**) mostrando el efecto de las variables de proceso [TE ($^{\circ}C$), VT (rpm)] sobre $AAox$ ($\mu\text{mol ET}/100\text{ g bs}$) de las harinas de chíá germinada desgrasa extrudida ($HCGDE$).

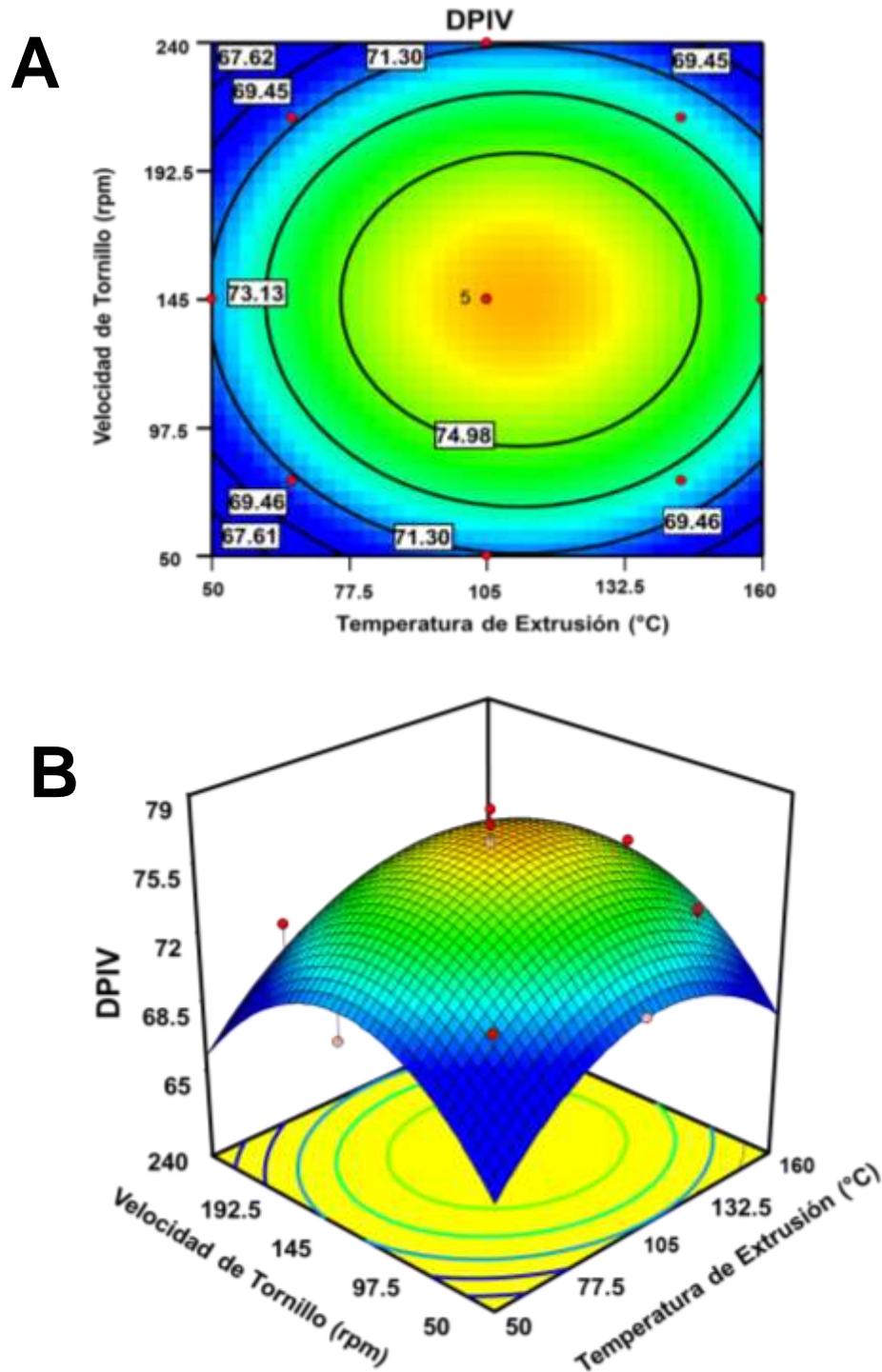


Figura 13. Gráficas de contorno (**A**) y superficie de respuesta (**B**) mostrando el efecto de las variables de proceso [**TE** (°C), **VT** (rpm)] sobre la digestibilidad proteínica *in vitro* [**DPIV** (%)] de las harinas de chíá germinada desgrasada extrudida (**HCGDE**)

2 Optimización del proceso de extrusión

Las **Fig. 11 A**, **12 A**, y **13 A** son gráficas de contorno que muestran el efecto de la temperatura de extrusión (**TE**) y la velocidad de tornillo (**VT**) sobre el contenido de compuestos fenólicos totales (**CFT**), actividad antioxidante (**AAox**) y digestibilidad proteínica *in vitro* (**DPIV**) de harinas de chía germinada desgrasada extrudida (**HCGDE**). La superposición de estos gráficos de contorno generó la **Fig. 14**, cuyo punto central de la región optimizada corresponde a la combinación óptima de las variables del proceso de extrusión la cual presentó una región (**TE=147 °C/VT=170 rpm**) para obtener harina de chía germinada desgrasada extrudida optimizada (**HCGDEO**) con valores máximos de compuestos fenólicos totales (**CFT**), actividad antioxidante (**AAox**) y digestibilidad proteínica *in vitro* (**DPIV**). Con estas combinaciones de variables de proceso (**TE=147 °C/ VT=170 rpm**) es posible predecir la obtención de los siguientes valores: **CFT=631.9 mg** equivalentes de ácido gálico (EAG)/100 g de muestra (bs), **AAox= 12,401 μmol** equivalentes de Trolox (ET)/100 g de muestra (bs), **DPIV= 74.6 %**. Los datos que se muestran a continuación y a los que se hará referencia para su comparación contra los datos de harina de chía cruda y harina de chía germinada optimizada serán de harina de chía germinada desgrasada extrudida optimizada (**HCGDEO**) obtenida bajo las condiciones **TE=147°C/VT=170 rpm**.

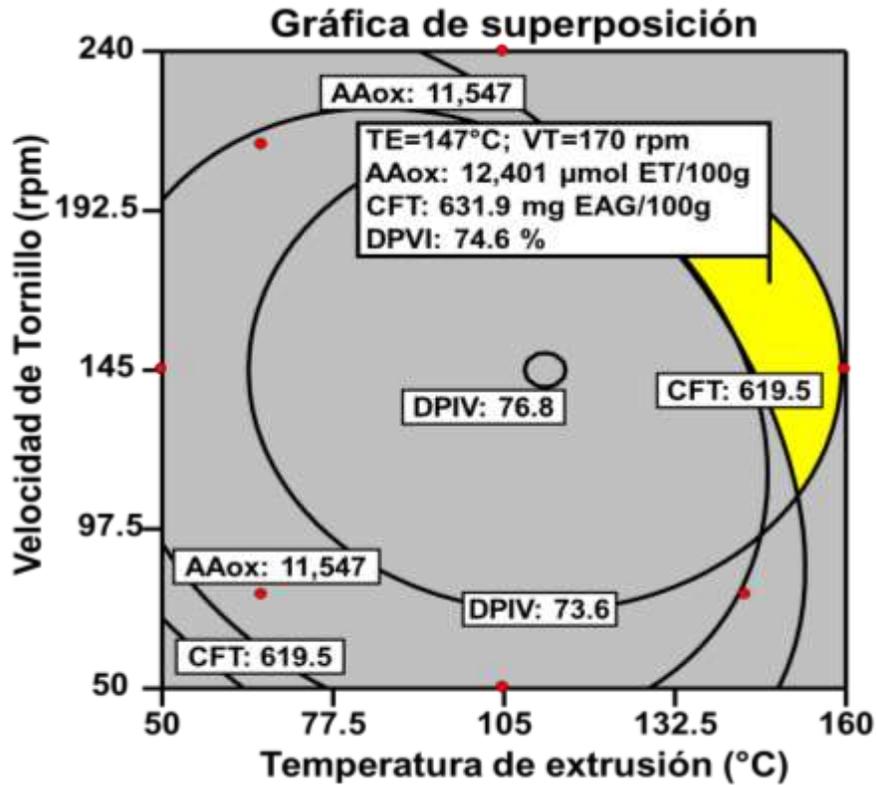


Figura 14. Gráfica de superposición mostrando la región con la mejor combinación de las variables de proceso a la cual se obtiene una harina de chía germinada extrudida optimizada con altos valores de compuestos fenólicos totales (**CFT**), actividad antioxidante (**AAox**) y digestibilidad proteínica *in vitro* (**DPIV**)

C COMPOSICIÓN QUÍMICA, PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS, FUNCIONALES Y NUTRICIONALES DE HARINAS DE CHÍA CRUDA (HCC), GERMINADA OPTIMIZADA (HCGO), GERMINADA OPTIMIZADA DESGRASADA (HCGO-D) Y GERMINADA DESGRASADA EXTRUDIDA OPTIMIZADA (HCGDEO)

El **cuadro 19** muestra la composición química de las harinas de chía integral cruda (**HCC**), harina de chía germinada optimizada (**HCGO**) [obtenida al aplicar condiciones optimizadas del proceso de germinación ($TG=21^{\circ}C$ / $tG=157$ h) (Gómez-Favela y col (2017))], harina de chía germinada optimizada desgrasada (**HCGO-D**) y harina de chía germinada desgrasada extrudida optimizada (**HCGDEO**) [obtenida al aplicar condiciones optimizadas del proceso de extrusión ($TE=147^{\circ}C$ / $VT= 170$ rpm) a la **HCGOD**]. Los contenidos de proteínas de las harinas **HCC**, **HCGO**, **HCGO-D** Y **HCGDEO** fueron de 18.48 %, 22.78%, 35.20% y 34.74%, respectivamente. El bioproceso de germinación propició un incremento ($p<0.05$) en el contenido de proteína del 19%. Con respecto a la **HCGO-D** esta obtuvo el mayor incremento de proteína ($p<0.05$) con una 35%, mientras que, **HCGDEO** no mostró una diferencia significativa ($p<0.05$) con respecto a **HCGO-D**. El aumento de los niveles de proteína ocasionados por la germinación del grano ha sido reportado (Perales-Sánchez y col 2014; Gómez-Favela y col 2017; Salas-López y col 2018) con anterioridad, y puede ser atribuido principalmente a la pérdida de nutrientes, particularmente carbohidratos (azúcares) a través del proceso de respiración. El proceso de prensado (desgrasado) en los germinados de chía ocasionó un incremento en el contenido de proteína, este cambio es debido a la eliminación parcial de la fracción lipídica, ocasionando un efecto de “concentración” del resto de nutrientes (Vázquez-Ovando y col 2010). El proceso de extrusión no se observó diferencias ($p\geq 0.05$) significativos en el contenido de proteínas, esto concuerda con otros investigadores (Montoya-Rodríguez y col 2014; Espinoza-Moreno y col 2016) al someter al proceso de extrusión granos como amaranto, frijol negro y maíz transgénico no observaron diferencias ($p\geq 0.05$) en el contenido de proteínas entre los granos crudos y los extrudidos.

Cuadro 19. Composición química, propiedades fisicoquímicas y nutricionales de harinas de chía

Propiedad	HCC ^a	HCGO ^a	HCGO-D ^a	HCGDEO ^a
Composición química (% ,bs)				
Proteína	18.47 ± 0.15 ^C	22.78 ± 0.30 ^B	35.20 ± 0.50 ^A	34.74 ± 0.45 ^A
Lípidos	32.64 ± 0.23 ^A	18.48 ± 0.29 ^B	7.98 ± 1.02 ^C	7.71 ± 0.11 ^C
Minerales	3.74 ± 0.12 ^C	5.87 ± 0.17 ^B	6.20 ± 0.02 ^A	6.17 ± 0.08 ^A
Fibra Dietaria				
Soluble	3.99±0.043 ^C	3.45±0.01 ^B	4.68 ± 0.12 ^A	4.78 ± 0.05 ^A
Insoluble	38.53±0.47 ^C	40.51±0.12 ^B	41.43 ± 0.42 ^A	43.30 ± 0.71 ^A
Total	42.52±0.43 ^C	43.96±0.05 ^B	46.11 ± 0.63 ^A	47.85 ± 0.33 ^A
Carbohidratos	2.82 ± 0.04 ^C	9.35 ± 0.18 ^A	4.51±0.30 ^B	3.6 ± 0.24 ^B
Fisicoquímicas				
Color				
Valor Hunter L	39.79 ± 1.37 ^B	40.31 ± 0.87 ^B	40.82 ± 0.34 ^B	43.98 ± 0.16 ^A
ΔE	57.37 ± 1.37 ^A	54.77 ± 1.32 ^B	54.93 ± 1.28 ^B	57.74 ± 0.16 ^A
Actividad acuosa (a _w)	0.49 ± 0.01 ^A	0.42 ± 0.01 ^B	0.40 ± 0.01 ^C	0.37 ± 0.01 ^D
pH	6.09 ± 0.01 ^A	5.72 ± 0.01 ^D	5.74 ± 0.01 ^C	5.79 ± 0.01 ^B
Densidad aparente	23.24 ± 0.09 ^D	39.09 ± 0.30 ^C	52.06 ± 0.30 ^B	66.30 ± 0.50 ^A
IAA ^b	41.11 ± 0.28 ^A	15.82 ± 1.31 ^B	10.30 ± 0.19 ^C	8.79 ± 0.40 ^D
ISA ^c	10.85 ± 0.11 ^D	20.67 ± 0.87 ^A	19.29 ± 0.18 ^B	18.32 ± 0.44 ^C
IAceite ^d	0.14 ± 0.01 ^D	1.56 ± 0.05 ^A	0.98±0.01 ^B	0.76 ± 0.03 ^C
Dispersabilidad (%)	100 ± 0.00 ^A			
Formación espuma (%)	5.96 ± 0.03 ^B	86.56 ± 0.23 ^A	4.83 ± 0.30 ^C	1.04 ± 0.23 ^D
Estabilidad espuma (%)	67.04 ± 0.66 ^B	91.00 ± 1.73 ^A	61.26 ± 0.45 ^C	50.00 ± 0.00 ^D
Actividad emulsión (%)	53.23 ± 0.50 ^A	37.03 ± 0.84 ^B	18.65 ± 0.92 ^C	15.80 ± 0.14 ^D
Estabilidad emulsión (%)	82.78 ± 0.96 ^A	51.28 ± 1.11 ^B	20.41 ± 1.22 ^C	16.67 ± 0.00 ^D
Nutricionales				
DPIV ^e (%)	53.2 ± 0.58 ^C	60.60 ± 0.65 ^B	61.28 ± 1.11 ^B	78.99 ± 1.41 ^A

Los resultados se expresan como promedio ± desviación estándar; medias con letra diferente en el mismo renglón indican diferencia significativa (Duncan p≤0.05); ^a **HCC**= Harina de chía cruda, **HCGO**= Harina de chía germinada optimizada, **HCGO-D**= Harina de chía germinada optimizada desgrasada, **HCGDEO**= Harina de chía germinada desgrasada extrudada optimizada; ^b Índice de absorción de agua = g gel/g muestra; ^c Índice de solubilidad en agua = sólidos/100g muestra; ^d Índice de absorción de aceite = mL de aceite absorbido / g de muestra; ^eDigestibilidad proteínica *in vitro*

Las harinas de chía **HCC**, **HCGO**, **HCGO-D** Y **HCGDEO** tuvieron contenidos de lípidos de 32.64%, 18.48%, 7.98% y 7.71%, respectivamente (**Cuadro 19**). A medida que se realizó el procesamiento secuencial a la **HCC**, se observó que los niveles de lípidos para todas las **HCGO**, **HCGO-D** Y **HCGDEO** fueron de disminuyendo ($p \geq 0.05$) 43.38 %, 56.82 % y 3.38%, respectivamente (**Cuadro 19**). La semilla 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 durante el proceso de germinación es debido al uso de éstos, como fuente de energía requerida para actividades metabólicas, tales como, síntesis de DNA, RNA, enzimas, Proteínas estructurales y otras moléculas biológicas que son necesarias para el desarrollo de la plántula; haciendo uso de las reservas de nutrientes (principalmente almidón y lípidos) (Perales-Sánchez y col 2014; Gómez-Favela y col 2017; Domínguez-Arispuro y col 2017; Salas-López y col 2018). Los germinados de chía se desgrasaron mediante el proceso de prensado previo a la extrusión, debido a su alto contenido de lípidos; ya que materiales con contenidos de lípidos $\geq 10\%$ dificultan el proceso de extrusión-cocción cuando se utiliza extrusor de tornillo simple con las características del empleado en esta investigación (Singh y col 2008). Mientras que, el proceso de extrusión no presentó diferencias ($p \geq 0.05$) significativas en el contenido de lípidos (Montoya-Rodríguez y col 2014; Espinoza-Moreno y col 2016)

Las harinas de chía **HCC**, **HCGO**, **HCGO-D** y **HCGDEO** tuvieron contenidos de fibra dietaria total de 42.52 %, 43.96 %, 46.11 % y 47.85%, respectivamente (**Cuadro 19**). En el procesamiento secuencial realizado a la **HCC**, se observó que los niveles de fibra dietaria total para todas las harinas **HCGO**, **HCGO-D** Y **HCGDEO** se incrementó ($p \geq 0.05$) entre 3.38 y 12.54% (**Cuadro 19**). La fibra dietaria total en **HCGO** se incrementó ($p < 0.05$) en un 3.38 % con respecto a la **HCC**, debido a que, durante el proceso de germinación, se modifica la estructura de los polisacáridos de la pared celular de las semillas produciendo un aumento en hemicelulosa, celulosa y pectipolisacáridos. 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 (Megat y col 2016;

Domínguez-Arispuro y col 2017; Salas-López y col 2017). El contenido de fibra dietaria total en la HCGO-D se incrementó ($p < 0.05$) 4.66%, respecto a **HCGO**. La eliminación parcial de la fracción lipídica durante el prensado, ocasiona un efecto de “concentración” del resto de nutrimentos (proteínas, minerales, fibra dietaria, carbohidratos). Por su parte, el proceso de extrusión causó ligeros cambios en los valores de fibra total (FDT) aumentó ($p < 0.05$) 3.64 % con respecto a la **HCGO-D** (**Cuadro 19**). El aumento puede deberse a la liberación de oligosacáridos debido a la rotura de glucosídicos de los polisacáridos por el estrés mecánico, así como, a la formación de materiales resistentes a las degradaciones enzimáticas, como el almidón y los complejos de proteína-polisacáridos originados por el calentamiento. Así como, a los Ciclos de enfriamiento y reacción de Maillard (Espinoza-Moreno y col 2016). La fibra dietaria está asociada con la prevención de diferentes enfermedades y es fundamental para el mantenimiento de la salud intestinal (Liu 2007). Así, el procesamiento secuencial podría ser utilizado como una herramienta para aumentar el contenido de fibra en las semillas, mejorando sus beneficios para la salud.

Algunos autores han reportado que el procesamiento secuencial de germinación-extrusión aplicado en cereales (arroz y trigo), incrementa el contenido de proteínas, minerales y fibra dietaria, así como, una disminución en el contenido de lípidos con respecto a los granos sin procesar (Ohtsubo y col 2005 ; Singkhornart y col 2013), lo cual puede ser benéfico para la salud, debido a que FAO/OMS sugieren moderar el consumo de grasa a un valor máximo de 30% de las calorías, mantener constantes las proteínas y consecuentemente aumentar el consumo de carbohidratos complejos (con bajo índice glicémico) para obtener alimentos saludables (FAO 2016). Así, el proceso secuencial germinación-extrusión podría ser utilizado como herramienta útil para obtener productos con una adecuada distribución de macronutrientes.

El **cuadro 19** muestra las propiedades fisicoquímicas de las harinas de chía integral cruda (**HCC**), harina de chía germinada optimizada (**HCGO**), harina de chía germinada optimizada desgrasada (**HCGO-D**) y harina de chía germinada desgrasada extrudida optimizada (**HCGDEO**).

Los valores Hunter “L” para las **HCC**, **HCGO**, **HCGO-D** y **HCGDEO** fueron de 39.79, 40.31, 40.82 y 43.98, respectivamente (**Cuadro 19**); mientras que valores de

diferencia total de color (ΔE) fueron de 57.37, 54.77, 54.93 y 57.74, respectivamente (**Cuadro 19**). El proceso secuencial (germinación-extrusión) de semillas de chíá provocó un aumento ($p \geq 0.05$) en el valor Hunter "L" entre 1.29 % a 9.52% con respecto a la **HCC**. En el caso de la ΔE , el proceso secuencial ocasiono una disminución ($p \geq 0.05$) del 4.65% en la primera parte del proceso (germinación), y después un aumento ($p \geq 0.05$) del 4.86 % durante la segunda parte (extrusión). El aumento en el valor Hunter "L" y en ΔE indican un aumento en la luminosidad y un aclaramiento en la materia prima, estos fenómenos que están asociados a diferentes reacciones. En el proceso de germinación se forman hidrolizados de proteínas y almidón, los cuales durante el secado favorecen las reacciones de Maillard (Perales-Sánchez y col 2014). Mientras que, en el proceso de extrusión la elevación de la temperatura favorece reacciones de pardeamiento (reacción de Maillard y caramelización), lo que provoca una mayor intensidad de oscurecimiento de los productos extruidos (Singkhornanrt y col 2014). A menudo, este puede considerarse una característica nutricional importante.

La harina de chíá cruda presentó un valor de pH de 6.09, la harina de chíá germinada optimizada obtuvo un valor de 5.72, la harina de chíá germinada desgrasada 5.74 y la harina de chíá germinada desgrasada extrudida optimizada de 5.79. Además, las harinas **HCC**, **HCGO**, **HCGO-D** y **HCGDEO** obtuvieron valores de actividad acuosa entre 0.49 a 0.37 (**Cuadro 19**). Estos valores 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) (Ugrozov y col 2007; 2008). El valor de **IAA** de las harinas de chíá **HCC**, **HCGO**, **HCGOD** y **HCGDEO** fue de 41.11, 15.82, 10.30 y 8.79 g de gel/ g de muestra seca, respectivamente (**Cuadro 19**). La **HCC** presentó los valores más altos de **IAA**, esto se debe a la presencia de polisacáridos mucilaginosos, los cuales tienen la capacidad de absorber agua; esta propiedad hace a la semilla de chíá muy útil en la industria alimentaria (Suri y col 2016), los valores encontrados en este trabajo

concuerdan con los reportados por Gómez-Favela y col (2017), para harina de chía cruda. Mientras que, el **IAA** de la **HCGO** se encontró un decremento ($p \geq 0.05$) del 38.48% con respecto a la **HCC**, esta disminución es debido a la degradación de polisacáridos de reserva (galactomananos) que tienen la capacidad de absorción de agua y formación de soluciones altamente viscosas en concentraciones bajas, los galactomananos durante la germinación de semillas son degradados por enzimas como β -manasa y α -galactasa en azúcares simples (galactosa) y son utilizados como fuente de energía durante la germinación (Atlaw y col 2018). En el proceso de extrusión el valor de **IAA** de la **HCGDEO** mostró un decremento ($p \geq 0.05$) del 44.43% con respecto a la **HCGO**, la disminución en el valor **IAA** puede estar relacionada con la desnaturalización de proteínas, gelatinización del almidón e hinchamiento de la fibra cruda que ocurre durante la extrusión debido a la fuerza de cizalla excesiva la cual incrementa proporcionalmente con la velocidad del tornillo, provocando reducción en la capacidad de retención de agua de las moléculas debido a una disminución en el tamaño molecular (Gutiérrez-Dorado y col 2008).

El valor de índice de solubilidad en agua (**ISA**) se utiliza a menudo como un indicador de la degradación de los componentes moleculares, ya que mide el grado de conversión del almidón durante el procesamiento que corresponde a la cantidad de polisacárido soluble liberado del gránulo de almidón (Chanlat y col 2011). Los valores de **ISA** que presentaron las harinas de chía **HCC**, **HCGO**, **HCGO-D** y **HCGDEO** fueron 10.85, 18.32, 19.29 y 20.67 g de sólidos/100 g de muestra seca, respectivamente (**Cuadro 19**). Los valores de **ISA** de las harinas también pueden estar influenciados por la conformación de las proteínas presentes, cuando la estructura de la proteína se ve afectada por una desnaturalización parcial o total, los valores de la solubilidad en agua tienden a disminuir, y presenta el efecto contrario para el índice de absorción de agua (**IAA**) (Rodríguez-Sandoval y col 2012). El proceso de germinación aumentó ($p \geq 0.05$) el valor de **ISA** de la **HCGO** en un 40.77% con respecto a la **HCC**, esto debido a que durante la germinación hay una reestructuración de las proteínas, se produce una degradación de las mismas hasta su unidad básica (aminoácidos), para después, llevar a cabo la síntesis de nuevas proteínas de acuerdo a las necesidades de las nuevas plántulas para llevar a cabo

su desarrollo y crecimiento hasta llegar a una etapa donde sea autótrofa (Morales-Santos y col. 2017). Con respecto al proceso de extrusión, este ocasiono una disminución del **ISA** ($p \geq 0.05$) del 6.67% en la **HCGDEO** con respecto a la **HCGOD**, esto puede deberse a que durante el proceso de extrusión se utiliza una fuerza de corte de cizalla ocasionada por la velocidad de tornillo y temperaturas altas lo que provoca una mayor desnaturalización de proteínas. Mercado-Pedraza y col 2013, quienes utilizan un sistema de bajo cizallamiento basado en la extrusión obtienen harinas con valores de **ISA** de 8.16 a 11.42 g de sólidos/ 100 g de muestra seca, estos valores son comparables con los obtenidos en el presente estudio, por lo tanto únicamente con la selección adecuada de parámetros de entrada se pueden obtener harinas con bajo daño termo mecánico.

Singkhornart y col (2013), estudiaron las propiedades fisicoquímicas del trigo y cebada procesados secuencialmente por germinación-extrusión, ellos reportan diferencia significativa ($P < 0.05$) para índice de absorción de agua (**IAA**), índice de solubilidad en agua (**ISA**) y densidad aparente, según las harinas crudas, germinadas y germinadas extrudidas de trigo y cebada, mostrando un comportamiento de decremento con respecto al índice de absorción de agua (**IAA**) y por lado contrario un aumento en el índice de solubilidad en agua (**ISA**) concordando esto, con los resultados mencionados anteriormente correspondientes a esta investigación.

Gong y col (2018), estudiaron los efectos de la germinación combinada con la extrusión sobre las propiedades funcionales de harinas integrales de maíz, ellos reportaron que el (**ISA**) aumentó significativamente ($p < 0.05$), pues la harina de maíz germinada extrudida mostró un aumento del 575% comparado con la harina sin procesar. Ellos relacionan el **ISA** con el grado de conversión del almidón a polisacáridos solubles. Además explican que durante la gelatinización, el **IAA** e **ISA** representan los efectos importantes de los almidones presentes en los alimentos. La conversión de almidón crudo en un material cocido y digerible, se debe a las propiedades físicas y características de calidad sensorial, que están relacionadas principalmente con un **ISA** alto.

El índice de absorción de aceite (**IAceite**) de las harinas de chía cruda, germinada optimizada, germinada desgrasada y germinada extrudida optimizada fueron de 0.14, 1.56, 0.98 y 0.76 mL de aceite/ g de muestra, respectivamente (**Cuadro 19**). De los valores obtenidos para la propiedad de **IAceite** en las harinas de chía **HCC, HCGO, HCGO-D y HCGDEO**, la harina de chía cruda obtuvo el menor valor; esta propiedad es importante ya que la grasa actúa como un retenedor del sabor y aumenta la sensación en la boca de los alimentos.

La unión del aceite depende de la disponibilidad en la superficie de los aminoácidos hidrófobos, la **HCGO** aumento ($p < 0.05$) del 101.42% con respecto a la **HCC** en la propiedad de **IAceite**, esto podría atribuirse a que durante la germinación de granos existe un aumento en la disponibilidad de estos aminoácidos al desenmascarar los residuos no polares de la proteína internas de moléculas atribuido al atrapamiento físico de aceite. La gran capacidad de absorción de aceite de las harinas de germinadas de cereales y leguminosas, sugieren que estas harinas serían útiles en la formulación de alimentos donde una propiedad de retención de aceite sea una consideración importante (Elkhalifa y Bernhardt 2010). Mientras que, el proceso de extrusión provocó una disminución ($p < 0.05$) del 22.44% con respecto a la **HCGOD**, eso puede deberse a la desnaturalización proteica, que conllevaría la agregación de los grupos hidrofóbicos, y por lo tanto, la unión de dichos grupos hidrofóbicos libres con el aceite se vería reducida (Granito y col. 2007). Sin embargo, el procesamiento secuencial (germinación-extrusión) favorece valores bajos de **IAceite** lo que ayudan a evitar el enranciamiento y el desarrollo del poder oxidativo, siendo estos aspectos de especial interés ya que determinan la aceptación del producto por parte del consumidor (Aguilera-Gutiérrez y col 2009).

El porcentaje de dispersabilidad en las harinas de chía cruda, germinada optimizada, germinada-desgrasada y germinada-extrudida optimizada fue de 100% para las cuatro harinas (**Cuadro 19**). Estos resultados son similares a lo reportado por Sánchez-Osuna y col (2017) y Gómez-Favela y col (2017), ambos estudiaron semillas de chía germinadas y sin germinar. Valores de dispersabilidad del 100 % sugiere que las partículas de la harina permanecen suspendidas en el agua, característica valiosa para la formulación de algunos productos alimenticios como

bebidas. El valor de 100% en la dispersabilidad de la **HCC** es debido a la presencia de un carbohidrato soluble denominado mucílago, el cual al entrar en contacto con el agua forma un gel viscoso debido a la capacidad de absorber una gran cantidad de agua, la formación de este gel es lo que mantiene en dispersas las partículas de harina de chía cruda en la suspensión, de no contener este particular componente, el valor de la dispersabilidad podría ser menor al encontrado. Por otro lado, en la **HCGO**, **HCGO-D** y **HCGDEO** los valores tan altos (100%) en esta propiedad pueden atribuirse a una mayor interacción de las partículas de las harinas con el agua; o tal vez a la disminución en la proporción de almidón, ya que éste no es soluble en agua fría. 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 procesamiento secuencial (germinación-extrusión) no provocó la desnaturalización de las proteínas el cual es un parámetro funcional utilizado en la formulación de varios productos alimenticios (Juárez y col 2015).

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 Ettelaie 2004; Castel 2010). Los valores de la capacidad de formación de espuma y estabilidad de espuma registrados en este estudio para las harinas de chía cruda (**HCC**), germinada optimizada (**HCGO**), germinada desgrasada (**HCGO-D**) y germinada extrudida optimizada (**HCGDEO**) fueron de 5.96 y 66.04%, 86.56 y 91.00%, 4.83 y 61.26% y 1.04 y 50.00%, respectivamente (**Cuadro 19**). El proceso de germinación de semillas de chía ocasionó un incremento significativo ($p < 0.05$) de 135.90 y 35.73 % en la capacidad de formación y estabilidad de espuma con respecto a la harina cruda (**Cuadro 19**). 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 proteica, pH, tipo de sales y carbohidratos) además de los intrínsecos de la proteína (hidrofobicidad total y superficial, carga neta, 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).

Por lo tanto, 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). Por otra parte, durante el proceso de extrusión se presentó una disminución ($p < 0.05$) de 78.46 y del 18.38% de capacidad de formación y estabilidad de espuma con respecto a la HCGD. Estos valores bajos de la **HCGDEO** pueden atribuirse principalmente a los cambios en la configuración que sufren las proteínas al ser expuestas a altas temperaturas en las etapas de cocción. Las moléculas de proteínas flexibles presentan una excelente capacidad de formar espumas, sin embargo las moléculas ordenadas globulares presentan una menor

capacidad de formación de espuma porque éstas son incapaces de reducir la tensión superficial de la interfase aire-agua. Como resultado de someter las muestras a un tratamiento térmico, se consigue una menor solubilización de las proteínas debido a la desnaturalización de las mismas, lo que provocará una reducción de la capacidad espumante (Yasumatsu y col 2014). Los resultados obtenidos en esta investigación para la propiedad de capacidad de formación de espuma al aplicar el procesamiento secuencial concuerdan con lo reportado por Granito y col (2007), pues observaron una reducción durante el proceso de cocción de la capacidad de formación de espuma en harinas de judías.

En relación a la actividad de emulsión, esta propiedad mide la capacidad de las proteínas para formar una dispersión de una fase oleosa en un medio acuoso (Dagorn-Scaviner y col 1987). Las características de emulsión de las proteínas contribuyen en gran medida a la funcionabilidad de los alimentos. Son varios los factores que afectan a la capacidad emulsionante, tales como pH, tamaño de gota, carga neta, tensión interfacial, viscosidad y la conformación de la proteína. Por su parte, los valores para la actividad y estabilidad de emulsión de las harinas de chía cruda (**HCC**), chía germinada optimizada (**HCGO**), chía germinada desgrasada (**HCGO-D**) y chía germinada desgrasada extrudida optimizada (**HCGDEO**) fueron de 53.23 y 82.78%, 37.03 y 51.28%, 18.65 y 20.41%, y 15.80% y 16.67%, respectivamente (**Cuadro 19**). La harina chía cruda (**HCC**) presenta una mayor estabilidad de emulsión, dando lugar a una suspensión viscosa en agua a temperatura ambiente más estable que el resto de las harinas de chía. Estos resultados tan heterogéneos están directamente relacionados con el contenido de fibra alimentaria y la proporción en la que las fracciones de fibra se encuentran presentes en cada una de las harinas de chía (Segura-Campos y col 2014). El procesamiento secuencial de las harinas de chía provocó drásticas reducciones en la actividad de emulsión, lo que nos indica que esta capacidad tecno-funcional es sensible al tratamiento térmico (Granito y col 2007).

La digestibilidad es uno de parámetros utilizados para medir el valor nutricional de los distintos alimentos destinados a la alimentación humana, debido a que no basta que la proteína u otro elemento se encuentren en altos porcentajes en el

alimento, sino que debe ser digerible para que pueda ser asimilado y, por consecuencia, aprovechado por el organismo que lo ingiere (Au y Bidart 1992).

Los valores para la digestibilidad proteica *in vitro* (**DPIV**) de las harinas de chía **HCC**, **HCGO**, **HCGO-D** y **HCGDEO** fueron 53.2, 60.69, 61.28 y 78.99 %, respectivamente (**Cuadro 19**). El proceso de germinación incrementó **DPIV** significativamente ($p < 0.05$) en un 13.90 % con respecto a la **HCC**. El mejoramiento de la digestibilidad proteica durante el bioproceso de germinación, puede deberse a la 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 cual puede degradar el hexafosfato de inositol a pentafofosfato o formas de peso molecular más bajo (Anton y col 2009). 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 2007; Shimelis y Rakshit, 2007; Elizalde y col 2009). Con respecto a la extrusión, este proceso incrementó **DPIV** ($p < 0.05$) en un 28.90% con respecto a la **HCGOD**. El proceso de extrusión aumenta la digestibilidad de proteínas debido a que se favorece la desnaturalización de las proteínas haciéndolas más accesibles a la acción de las proteasas (Della Valle y col 1989). Los valores de digestibilidad proteica de los productos extruidos son superiores, esto es posible debido a que por el corte de cizalla y temperaturas altas hay una mayor desnaturalización de proteínas e inactivación de factores antinutricionales que dificultan la digestión (Morales y col 2015). Esta remoción/reducción de factores antinutricionales (ácido fítico, taninos, inhibidores enzimáticos) es debido a que estos son sustancias termolábiles y su actividad inhibitoria se puede reducir ampliamente mediante una temperatura térmica adecuada. El ácido fítico en tratamientos térmicos como la extrusión puede formar

complejos insolubles entre el fitato y otros componentes, lo que reduce su disponibilidad (Anton y col 2009).

El procesamiento secuencial incrementó **DPIV** significativamente ($p < 0.05$) en un 48.47% con respecto a la **HCC**. El-Hady y col (2003), estudiaron el efecto del procesamiento secuencial (germinación-extrusión) sobre las propiedades nutricionales (fenólicos totales, contenido de proteínas y digestibilidad proteínica *in vitro*) en leguminosas (chícharo, garbanzo y frijol), encontrando valores de **DPIV** para la harina cruda de leguminosas y harinas extrudidas germinadas de leguminosas del 75.4 y 80.4%, respectivamente. reportando que el procesamiento secuencial incremento la **DPIV** del 6.21%. Por lo tanto, el procesamiento secuencial germinación-extrusión se recomienda para mejorar el valor nutricional de diferentes granos y semillas con el fin de promover el consumo de alimentos funcionales, ya sea consumiéndolos directamente o como ingredientes en ciertos tipos de alimentos.

D NIVELES DE FITOQUIMICOS Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE (AAox) DE LAS HARINAS DE CHÍA CRUDA (HCC), GERMINADA OPTIMIZADA (HCGO), GERMINADA OPTIMIZADA DESGRASADA (HCGO-D) Y GERMINADA DESGRASADA EXTRUDIDA OPTIMIZADA (HCGDEO)

El contenido de compuestos fenólicos totales (**CFT**) en las harinas de chía cruda, germinada optimizada, germinada desgrasada y germinada extrudida optimizada fueron de 528.7, 629.3, 685.6 y 726.0 mg equivalentes de ácido gálico (EAG)/100 g de muestra (bs), respectivamente (**Cuadro 20**). Sánchez-Osuna y col (2017) y Ley-Osuna y col (2018), reportaron valores similares del contenido de compuestos fenólicos totales en **HCC** (545.2 y 548.1 mg equivalentes de ácido gálico (EAG) / 100 g de muestra, respectivamente). En la harina de chía cruda los compuestos fenólicos ligados fueron los que contribuyeron en mayor porcentaje al contenido total (57.32%), estos compuestos son importantes ya que sobreviven a la digestión en el estómago y el intestino y llegan al colon, donde pueden producir un ambiente antioxidante favorable (Fardet y col 2008). Gómez-Favela y col (2017) reportaron valores de **CFT** para la HCGO de 612 mg equivalentes de ácido gálico (EAG)/100 g de muestra (bs), estos valores son semejante a los encontrados en esta investigación.

Cuadro 20. Compuestos fenólicos y actividad antioxidante de harinas de chía

Propiedad	HCC ^a	HCGO ^a	HCGO-D ^a	HCGEO ^a
CFT^b				
Fitoquímicos libres	225.6 ± 3.23 ^C	326.3 ± 4.22 ^B	319.53 ± 2.56	401.3 ± 6.1 ^A
Fitoquímicos ligados	303.1 ± 1.58 ^C	302.7 ± 1.58 ^C	366.07 ± 3.32 ^A	324.7 ± 8.9 ^B
Total	528.7 ± 4.34 ^D	629.3 ± 3.44 ^C	685.6 ± 4.22 ^B	704.4 ± 7.6 ^A
Actividad antioxidante (AAox)				
ABTS^c				
Fitoquímicos libres	3815 ± 212.34 ^D	5475 ± 137.04 ^C	5995 ± 128.42 ^B	7705 ± 97.67 ^A
Fitoquímicos ligados	4642 ± 36.87 ^C	6747 ± 131.04 ^B	7112 ± 103.38 ^A	3568 ± 21.03 ^D
Total	8457 ± 182.10 ^D	12222 ± 131.88 ^B	13067 ± 106.13 ^A	11272 ± 82.30 ^C
DPPH^c				
Fitoquímicos libres	2370 ± 85.56 ^D	6620 ± 39.69 ^C	69867 ± 67.64 ^B	7825 ± 74.44 ^A
Fitoquímicos ligados	4738 ± 117.23 ^D	7095 ± 22.92 ^B	7850 ± 84.47 ^A	5440 ± 133.69 ^C
Total	7108 ± 32.05 ^D	13716 ± 17.94 ^B	14836 ± 109.21 ^A	12563 ± 120.80 ^C

Los resultados se expresan como promedio ± desviación estándar; Medias con letra diferente en el mismo renglón indican diferencia significativa (Duncan $p \leq 0.05$); ^aHCC= Harina de chía cruda, HCGO= Harina de chía germinada optimizada, HCGO-D= Harina de chía germinada optimizada desgrasada, HCGDEO= Harina de chía germinada desgrasada extrudida optimizada; ^bmg equivalentes de ácido gálico (EAG)/100 g de muestra (bs); ^cμmol equivalentes de Trolox (ET)/100 g de muestra (bs).

El proceso de germinación incrementó ($p < 0.05$) el **CFT** libre y totales en un 44.63 y 19.02%, la fracción ligada se mantuvo igual con respecto a la HCC. En la harina de chía germinada optimizada (**HCGO**) se observó que los compuestos fenólicos libres son el mayor contribuyente al contenido de fenólicos totales (57.97%). Estos incrementos podrían deberse a la liberación y biosíntesis de compuestos fenólicos. Los compuestos fenólicos, como los hidroxicinamatos, se unen a polisacáridos no almidonosos en las paredes celulares de los granos a través de asociaciones como los enlaces éster y éter. La acción de las enzimas que degradan la pared celular (principalmente esterasas) sobre estos enlaces contribuye a la liberación de compuestos fenólicos unidos (Moongngarm y Saetung 2010; Gómez-Favela y col 2017). 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; Perales-Sánchez y col 2014). Mientras que el proceso de extrusión, aumento ($p < 0.05$) el contenido de **CFT** libres y totales en un 29.59 y 2.74% con respecto a la **HCGO-D**, por su parte la fracción ligada se mantuvo similar en ambas harinas. El aumento del contenido fenólico total durante el proceso de extrusión puede deberse a la destrucción de las paredes celulares y la liberación de compuestos fenólicos, así como, a la formación de productos de reacción de Maillard que se cuantifican como compuestos fenólicos (Dewanto y col 2002; Brennan y col 2011; Milán-Carillo y col 2012). Además, diversos autores han reportado que, durante el proceso de extrusión de granos los cambios en el contenido de ácidos fenólicos libres fueron más intensivos que los de los ácidos fenólicos ligados, estos resultados son similares a los encontrados en el presente estudio donde el aumento en el contenido de compuestos fenólicos libres en **HCGDEO** fue mayor que el de los compuestos fenólicos ligados (Likewise y col. 2001; Espinoza-Moreno y col 2016).

El procesamiento secuencial (germinación-extrusión) incrementó significativamente ($p < 0.05$) el contenido de compuestos fenólicos libres, ligados y totales de la semilla de chía en un 77.89%, 7.12% y 33.23%, respectivamente (**Cuadro 20**). Estos resultados son comparables a los reportados por otros investigadores, quienes observaron que el procesamiento secuencial (germinación-

extrusión) en granos de arroz (Albarracín y col 2015), trigo (Singkhornart y col 2013) y maíz (Gong y col 2018) incrementa el contenido de compuestos fenólicos con respecto a granos sin procesar, lo cual mejora su funcionalidad y potencial terapéutico.

La actividad antioxidante total (**AAox**) (suma de actividades antioxidantes de fitoquímicos libres y ligados) se determinó empleando las metodologías de ABTS y DPPH, obteniendo valores para la **HCC** de 8,457 y 7,108 μmol equivalentes de Trolox (ET)/100 g de muestra (bs), respectivamente (**Cuadro 20**). La **AAox** de **HCGO** por el ensayo de ABTS fue de 12,222 μmol equivalentes de Trolox (ET)/100 g de muestra (bs), mientras que, por el método de DPPH fue 13,716 μmol equivalentes de Trolox (ET)/100 g de muestra (bs). En la **HCGO-D** se obtuvieron valores de **AAox** por las técnicas de ABTS y DPPH de 13,067 y 14,836 μmol equivalentes de Trolox (ET)/100 g de muestra (bs), respectivamente. Para la **HCGDEO** la **AAox** empleando la metodología de ABTS fue de 11,272 μmol equivalentes de Trolox (ET)/100 g de muestra (bs) y aplicando la metodología correspondiente a DPPH se obtuvo un resultado de 12,563 μmol equivalentes de Trolox (ET)/100 g de muestra (bs) (**Cuadro 20**).

La **AAox**, evaluado mediante el ensayo ABTS, para fitoquímicos libres, ligados y totales aumentó ($p < 0.05$) en 43.51, 45.34 y 44.51%, respectivamente, después de la germinación (**Cuadro 20**), mientras que la **AAox**, evaluado por el método DPPH, para fitoquímicos libres, ligados y totales se incrementó ($p < 0.05$) en 79.32, 49.74, y 92.96%, respectivamente. Ambos métodos, DPPH y ABTS, mostraron una tendencia similar. El aumento de la actividad antioxidante por el bioprocesamiento de germinación es uno de los muchos cambios metabólicos que se producen al germinar las semillas, principalmente debido a un aumento en el contenido de compuestos fenólicos por la acción de las enzimas hidrolíticas endógenas (Perales-Sánchez y col 2014; Gómez-Favela y col 2017; Servín de la Mora y col 2018).

Cevallos-Casals y Cisneros-Zevallos (2010), informaron que el aumento de compuestos fenólicos después de la germinación de semillas tiene un papel potencialmente importante en la mejora de la actividad antioxidante, así como el aumento del potencial nutracéutico de las semillas. En el proceso de extrusión, la

AAox, evaluado mediante el ensayo ABTS, para fitoquímicos libres y totales aumentó ($p < 0.05$) en 101.96 y 33.33% respectivamente, con respecto a la HCC, la fracción ligada se mantuvo similar (**Cuadro 20**), mientras que la **AAox**, evaluado por el método DPPH, para fitoquímicos libres, ligados y totales se incrementó ($p < 0.05$) en 230.16, 14.81, y 76.74%, respectivamente. El aumento de **AAox** durante la extrusión podría ser el resultado de: la liberación de compuestos fenólicos antioxidantes durante el proceso de extrusión, la prevención de la oxidación de los compuestos fenólicos en el producto extruido por inactivación enzimática durante el procesamiento, y por la presencia de productos de reacción de Maillard con antioxidante actividad, generada durante la extrusión de materias primas que contienen aminoácidos y azúcares reductores (Espinoza-Moreno y col 2016; Argüelles-López y col 2018).

El procesamiento secuencial (germinación-extrusión) incrementó significativamente ($p < 0.05$) la actividad antioxidante (**AAox**) total en un 33.28% y 76.74%, evaluada por las metodologías de ABTS y DPPH, correspondientemente (**Cuadro 20**).

Albarracín y col (2015), estudiaron los cambios de la **AAox** utilizando a la germinación y a la extrusión como procesos combinados en harinas integrales de arroz, evaluadas por la metodología de ABTS, observaron que incrementó 86% con respecto a la harina integral cruda, además afirmaron que la cocción por extrusión de harinas germinadas sería un buen método de procesamiento para producir alimentos funcionales y mejorar el consumo de productos de granos integrales.

Hegazy y col (2017), estudiaron el efecto del proceso de extrusión sobre la **AAox** en mezclas de maíz y garbanzo germinadas utilizando la metodología de DPPH, reportando que la extrusión complementaria a la germinación y la extrusión causó un aumento significativo en la actividad antioxidante de las mezclas extrudidas del 9.42, 5.94 y 3.06 % según las mezclas evaluadas con respecto a las mezclas crudas.

Zhu y col (2017), investigaron el efecto de la germinación y la extrusión en las cualidades nutricionales en harinas extrudidas y tortillas de trigo, donde reportan un incremento de compuestos bioactivos con potencial actividad antioxidante, destacando al ácido gamma-aminobutírico (GABA, por sus siglas en inglés), el cual

es un aminoácido no proteico que es producido principalmente por la descarboxilación del ácido L-glutámico y catalizado por la enzima glutamato descarboxilasa (GAD) durante la germinación de semillas, por otra parte, el aumento observado en muestras extruidas puede atribuirse a la fuerza de corte de extrusión, que causó la pérdida de la integridad estructural, y por lo tanto la liberación de GABA bloqueado en la matriz del producto. Se ha reportado que este compuesto bioactivo presenta diversas actividades biológicas como antidiabéticas, hipocolesterolémico, antihipertensivo, antiinflamatorio, antidepresivo, así como antioxidante y antiproliferativo contra células de cáncer (Nikmaran y col 2017).

E ESTABILIDAD MICROBIOLÓGICA DE LAS HARINAS DE CHÍA CRUDA (HCC), GERMINADA OPTIMIZADA (HCGO) Y GERMINADA EXTRUIDA OPTIMIZADA (HCGEO)

La **NOM-147-SSA1-1996** establece para una harina integral la cantidad permisible de mesófilos aerobios 500,000 UFC/g, para coliformes totales 500 UFC/g y para mohos 500 UFC/g. Los resultados de la calidad microbiológica de la harina de chía cruda se encuentran dentro de norma ya que los microorganismos indicadores se evidenciaron en cantidades menores a los establecidos como límite máximo, 355 UFC/g de coliformes totales, 4,500 UFC/g de mesófilos aerobios y 25 UFC/g de mohos (**Cuadro 21**). En la **Figura 15** se muestra una representación visual del crecimiento de los microorganismos evaluados en placas Petri, obtenidas a partir de las diferentes diluciones empleadas en la **HCC**.

Estos resultados coinciden con los de Chávez-Bravo y col (2016), ellos evaluaron semillas de chía con tamizaje y molienda y sin tamizaje y molienda, en la semilla con tamizaje y con molienda contaron 2,000 UFC/g de bacterias mesofílicas aerobias, <10 UFC/g de coliformes totales y 35 UFC/g de hongos y levaduras, en el caso de la semilla sin tamizaje y molienda se halló 2,500, <10 y 2,500 UFC/g respectivamente. Resalta la existencia de hongos y levaduras fuera de norma, que podrían estar asociadas al sitio de resguardo con humedad y poca luz permitiendo la proliferación de dichos microorganismos.

Cuadro 21. Coliformes totales, mesófilos aerobios y mohos en harinas de chía

Microorganismo	HCC^a	HCGO^b	HCGDEO^c	Límite máximo permitido NOM-147-SSA1-1994
Coliformes totales (UFC/g) ^d	355 ± 5.0 ^B	18X10 ⁵ ± 200000 ^A	10 ± 1.0 ^B	500 (UFC/g)
Mesófilos Aerobios(UFC/g)	4500 ± 300 ^B	86X10 ⁵ ± 1050397 ^A	120 ± 20 ^B	500,000 (UFC/g)
Mohos (UFC/g)	30 ± 5.0 ^B	66X10 ² ± 500 ^A	10 ± 1.0 ^B	500 (UFC/g)

Medias con letra diferente en el mismo renglón indican diferencia significativa (Duncan $p \leq 0.05$); ^aHCC= Harina de chía cruda; ^bHCGO= Harina de chía germinada optimizada; ^cHCGEO= Harina de chía germinada extrudida optimizada; ^dUFC/g= Unidades formadoras de colonia por gramo de muestra

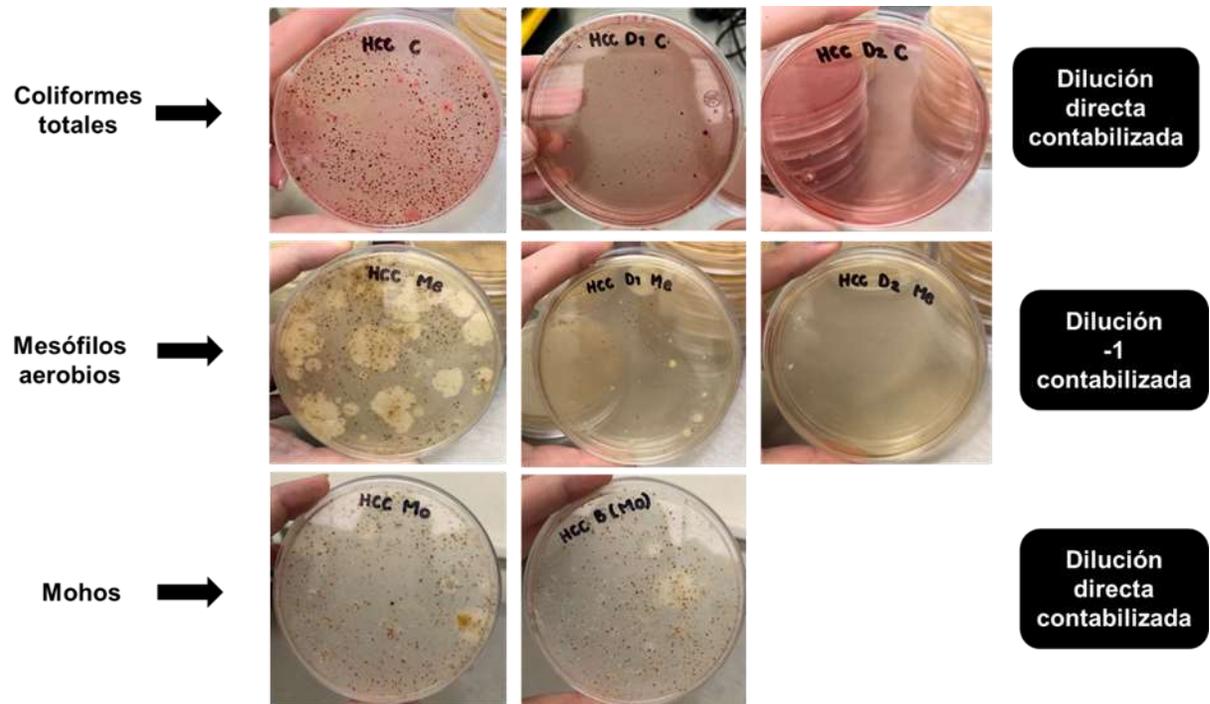


Figura 15. El crecimiento de coliformes totales, mesófilos aerobios y mohos, según el tipo de dilución en la que se contabilizó en harina de chía cruda (**HCC**)

La harina de chía germinada optimizada (**HCGO**) presentó mala calidad microbiológica, todas las muestras estuvieron contaminadas con límites que oscilaron entre 18×10^5 , 86×10^5 y 65×10^2 UFC/g (**Cuadro 21**), para coliformes totales, mesófilos aerobios y mohos respectivamente, lo cual representa un incremento de 4, 3 y 2 unidades logarítmicas respectivamente, comparada con la harina de chía cruda, cantidades que superan el límite máximo permitible establecido por la **NOM-147-SSA1-1996**, esto puede deberse a las condiciones características del proceso de germinación, tales como la alta humedad de la semilla y el ambiente, la temperatura, un pH cercano a la neutralidad, la disponibilidad de carbohidratos y otros nutrientes, favorecen el crecimiento de las bacterias que se encuentran dentro o fuera de la semilla (Buck y col 2003).

En la **Figura 16** se muestra una representación visual del crecimiento de los microorganismos evaluados en placas Petri, obtenidas a partir de las diferentes diluciones empleadas en la **HCGO**.

Se ha observado que algunos de los microorganismos patógenos pueden sobrevivir dentro de las semillas durante un largo tiempo (Moline y Kulik 1997). La microbiota característica de los granos germinados puede ocasionalmente contener bacterias patógenas. *Salmonella spp.*, *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus*, *Aeromonas hydrophila* y *Escherichia coli* O157:H7 han sido aislados de semillas germinadas, incluyendo alfalfa, judías, berro, rábano, soya y mostaza (Beuchat 1996; Aabo y Baggesen 1997; Taormina y Beuchat 1999;). El origen de la contaminación puede variar. El agua de la irrigación, la manipulación inadecuada que dañan la estructura de la semilla y la hacen más susceptibles a la contaminación son algunas causas de contaminación (Cava y col 2009).

En una investigación llevada a cabo en Venezuela por Sangronis y col (2009), realizaron el recuento de bacterias aerobias, coliformes totales, *Escherichia coli*, levaduras y mohos en semillas sin germinar y germinadas de dos variedades de *Phaseolus vulgaris*, concluyendo que la germinación de *Phaseolus vulgaris* variedades negra y blanca incrementó significativamente la población de aerobios mesófilos, coliformes totales, mohos y levaduras con respecto a las semillas sin germinar, no se detectó la presencia de patógenos como *Listeria monocytogenes*,

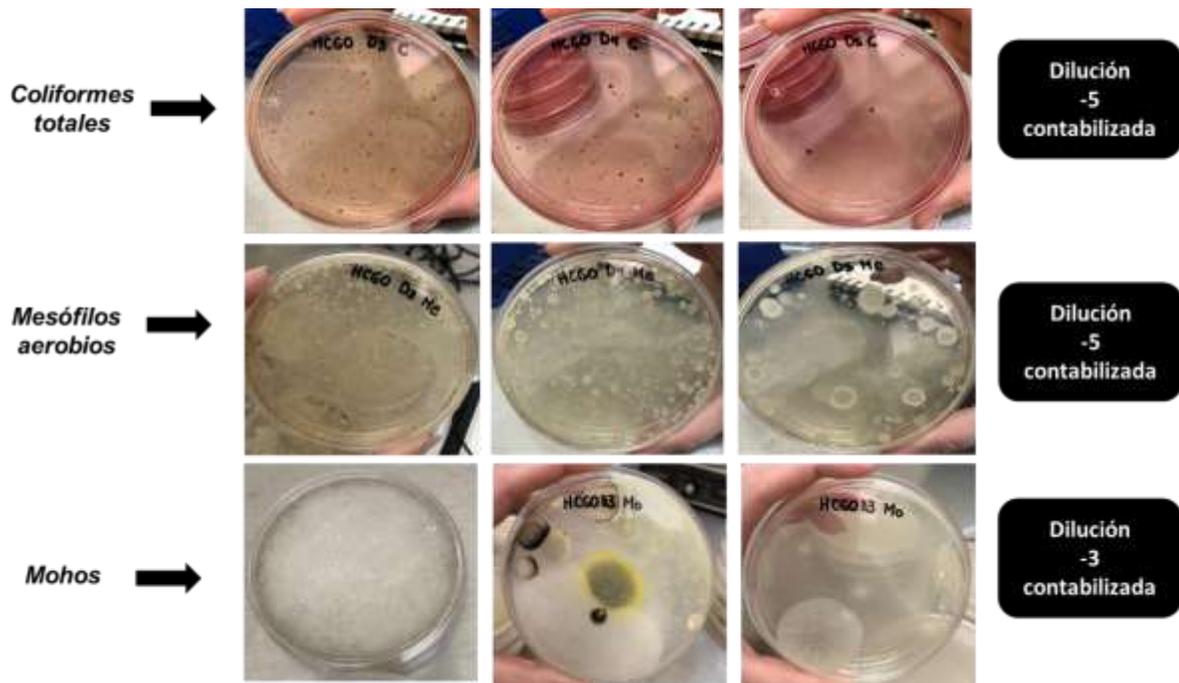


Figura 16. El crecimiento de coliformes totales, mesófilos aerobios y mohos, según el tipo de dilución que se contabilizo en harina de chíá germinada optimizada (HCGO)

Salmonella y *Escherichia coli* O157:H7 en las semillas germinadas, sin embargo, se observaron altos recuentos de *Bacillus cereus*, lo que representa un riesgo a la salud de los consumidores. Adicionalmente, si se considera que los germinados se almacenan en refrigeración por varios días antes de su consumo, podría esperarse que la carga microbiológica aumentara, incrementando el riesgo de infección a las personas que lo consumen. Para no perder la ventajas del bioproceso de germinación; es decir, calidad nutricional mejorada, se aplicó la extrusión como proceso secuencial, obteniendo como resultado una reducción en la proliferación de microorganismos significativamente ($P > 0.05$) importante con respecto a la harina germinada, logrando una reducción bacteriana de hasta 5 logaritmos para coliformes totales y mesófilos, pues la harina de chíá germinada desgrasada extrudida optimizada (**HCGDEO**) presentó valores de 10 UFC/ g de muestra, 120 UFC/g de muestra y 10 UFC/g (**Cuadro 21**) de muestra, para coliformes totales, mesófilos aerobios y mohos respectivamente. En la **Figura 17**, se muestra una representación visual del crecimiento de los microorganismos evaluados en placas Petri, obtenidas a partir de las diferentes diluciones empleadas en la **HCGDEO**. Esta reducción de microorganismos está relacionada a la cocción por extrusión, debido a las altas temperaturas y altas presiones ocasionan cambios estructurales en las células bacterianas que implican su deterioro. Se ha informado que la cocción por extrusión es una buena forma de pasteurizar o esterilizar materiales para alimentos (Linko y Linko 1982).

Además, la extrusión es útil no solo para la pasteurización, sino también para el enriquecimiento de la nutrición o los ingredientes bio-funcionales (Lin y col 2003).

Los resultados de la **HCGDEO** obtenidos en esta investigación son similares a lo que reportaron Ohtsubo y col (2005), ellos estudiaron muestras de arroz germinado extrudido, donde reportan una disminución significativa ($P > 0.05$) en colonias de *Escherichia coli*, pues obtuvieron valores de 3.8×10^3 UFC/g para arroz crudo, 9.6×10^5 UFC/g correspondientes a los germinados de arroz y reportaron ausencia de colonias (< 10 UFC/g) en el arroz germinado extrudido.

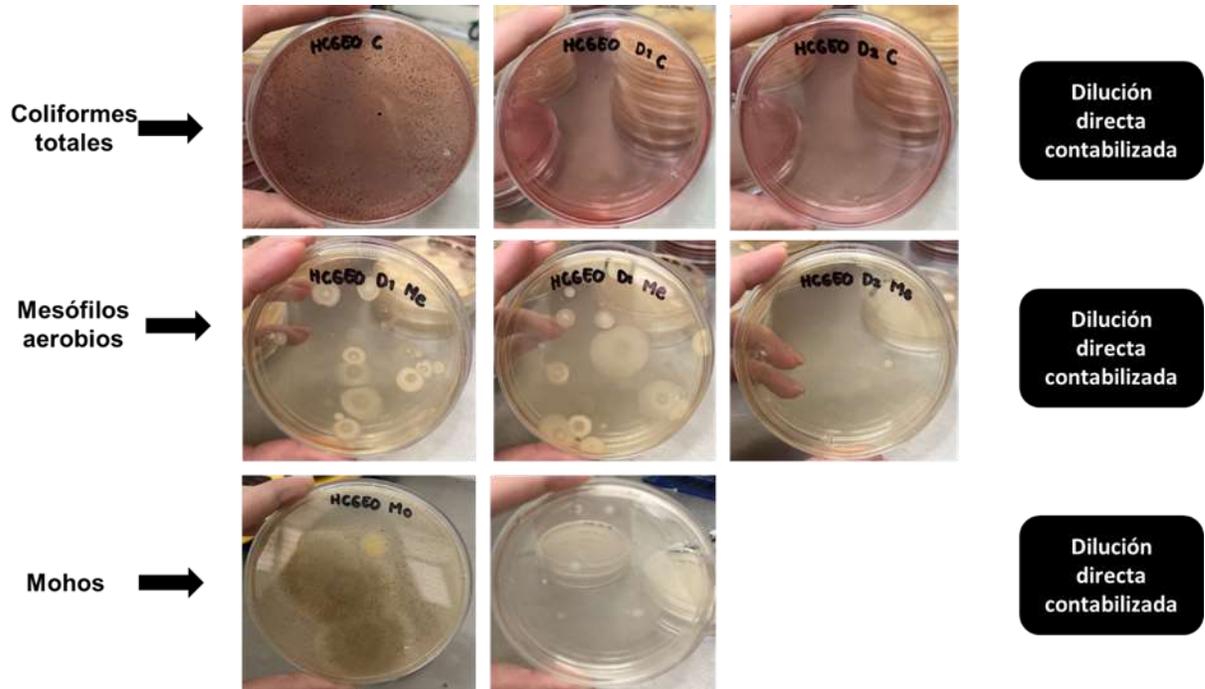


Figura 17. El crecimiento de coliformes totales, mesófilos aerobios y mohos, según el tipo de dilución que se contabilizó en harina de chíá germinada extrudida optimizada (*HCGDEO*)

IX CONCLUSIONES

La mejor combinación de las variables del procesamiento secuencial germinación-extrusión produjo una harina funcional de chía germinada extrudida con altos contenidos de compuestos fenólicos totales, actividad antioxidante y digestibilidad proteínica *in vitro*. El procesamiento secuencial optimizado de germinación-extrusión resultó ser una estrategia efectiva para incrementar el contenido y calidad de las proteínas, compuestos fenólicos totales, actividad antioxidante y digestibilidad proteínica *in vitro* de las semillas de chía; así como también mejoró su estabilidad microbiológica. Por lo tanto, la harina de chía germinada desgrasada extrudida optimizada (**HCGDEO**) podría ser utilizada con fines alimentarios como una estrategia para combatir la prevalencia y aumento de las enfermedades crónicas, por ser una fuente natural de antioxidantes, proteína y fibra dietaria, su utilización podría impactar en el desarrollo de nuevos alimentos y bebidas funcionales sensorialmente aceptables; con un aporte nutracéutico para la salud, además de ser seguros para su consumo.

X BIBLIOGRAFÍA

- Aabo S, Baggesen D. 1997.** Growth of *Salmonella* Newport in naturally contaminated alfalfa sprouts and estimation of infectious dose in Spanish *Salmonella* Newport outbreak due to alfalfa sprouts. En: "Salmonella and Salmonellosis". 97. Nice, France, pp. 425-426.
- AACC. 1995.** *Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists*. St. Paul, MN, EUA: 9ª edn.
- Abdelrahman S, Elmakui H, Idris W. 2007.** Antinutritional factor content and hydrochloric acid extractability of minerals in pearl millet cultivars. *International Journal Food Science Nutrition* 58:6-17.
- Adom KF, Liu RH. 2002.** Antioxidant activity of grains. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50:6182-6187.
- Afify A, Rashed M, Ebtessam A. 2011.** Effect of gamma radiation on profile, protein and solubility of three oil seeds. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici* 39:90-98
- Aguayo-Rojas J, Mora-Rochín S, Cuevas-Rodríguez E, Serna-Saldivar S, Gutiérrez-Urbe J, 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* 67:178-185.
- Aguilera-Gutiérrez Y, Martín-Cabrejas M, Esteban-Alvarez R. 2009.** Harinas de Leguminosas Deshidratadas: Caracterización Nutricional y Valoración de sus Propiedades Tecno-Funcionales. Tesis Doctoral. Departamento de Química Agrícola, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Madrid .
- Aguirre-Tafur DH, Calderon-Mera YK. 2015.** Elaboración de una mezcla alimenticia extruida a base de harina de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd), arroz (*Oryza sativa*) y frijol gandul (*Canajus cajan*) saborizado con harina de lúcuma. Tesis de Licenciatura, Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Perú.
<http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/UNPRG/875>
- Albarracín M, De Greef D, González R, Drago S. 2015.** Germination and extrusion as combined processes for reducing phytates and increasing phenolics content and antioxidant capacity of *Oryza sativa* L. whole grain flours. *International Journal of Food Sciences and Nutrition* 66(8):904-911.
- Albestráin J. 2014.** Descubriendo las semillas de chía *Salvia hispanica* L. Origen, propiedades y usos. *Revista Fitotecnia Sanitaria* 7-9.
- Aller R. 2004.** Effect of soluble fiber intake in lipid glucose level in healthy subjects. *Diabetes Research and Clinical Practice* 65(1):7-11.
- 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.

- Alvarado D. 2011.** Caracterización de la semilla de chia (*Salvia hispanica* L) y diseño de un producto final que la contiene como ingrediente. *Revista de la Universidad del Valle de Guatemala* 23:43-49.
- Álvarez-Jubete L, Wijngaard H, Arendt E, Gallagher E. 2010.** Polyphenol composition and *in vitro* antioxidant activity of amaranth, quinoa, buckwheat and wheat as affected by sprouting and baking. *Food Chemistry* 119(2):770-778.
- Amato M, Caruso MC, Guzzo F, Galgano F, Commisso M, Bochicchio R, Labella, R, Favati F. 2015.** Nutritional quality of seeds and leaf metabolites of Chia (*Salvia hispanica* L.) from Southern Italy. *European Food Research Technology* 241:615–625.
- Anderson R, Conway H, Pfeifer V, Griffin E. 1969.** Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. *Cereal Science Today* 14(11):11-12.
- Anton AA, Fulcher RG, Arntfield SD. 2009.** Physical and nutritional impact of fortification of corn starch-based extruded snacks with common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) flour: Effects of bean addition and extrusion cooking. *Food Chemistry* 113(4):989–996.
- Anuonye J, Onuh J, Egwim E, Adeyemo S. 2010.** Nutrient and antinutrient composition of extruded acha/soybean blends. *Journal of Food Processing and Preservation* 34(s2):680-691.
- AOAC. 1999.** Official Methods of Analysis. *Association of Official Analytical Chemists*. St. Paul, USA: Harla .
- Aphalo P, Albert A, McLeod A, Heikkila A, Gómez I, Figueroa F, Trid A. 2009.** Practice in plant UV photobiology. *University*, 176.
- Apráez E , Calderón D, Guerrero L. 2017.** Valoración nutricional y productiva de diferentes granos de cereales germinados. *Agro Sur* 45(2): 11-19
- Argüelles-López OD, Reyes-Moreno C, Gutiérrez-Dorado R, Sánchez-Osuna MF, López-Cervantes J, Cuevas-Rodríguez EO, Millán-Carrillo J, Perales-Sánchez J X. 2018.** Functional beverages elaboratd from amaranth and chia flours procesed by germination and extrusion. *Biotechnia* XX(3):135-145.
- Athar N, Hardacre A, Taylor G, Clark S, Harding R, McLaughlin J. 2006.** Vitamin retention in extruded foods products. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19: 379-383.
- Au N, Bidart J. 1992.** Manual de Harina de Pescado. Compañía pesquera San Pedro. Coronel, Chile 56 pp.
- Ayerza R. 2009.** The seeds protein and oil content, fatty acid composition, of chia (*Salvia hispanica* L.) . *Journal of Oleo Science* 58(7):347-354.
- Ayerza R. 2010.** Effects of seed color and growing locations on fatty acid content and composition of two chia (*Salvia hispanica* L.) genotypes. *Journal of the American Oil Chemists ´ Society* 87(10):1161-1165.

- Ayerza R, Coates W. 2004.** Protein and oil content, peroxide index and fatty acid composition of chia (*Salvia hispanica* L.) grown in six tropical and subtropical ecosystems of South America. *Tropical Science* 44(3):131-135.
- Ayerza R, Coates W. 2005.** *Chia. Rediscovering a Forgotten Crop of the Aztecs.* Tucson, USA: The University of Arizona Press, 197 pp.
- Ayerza R, Coates W. 2011.** Protein content, oil content and fatty acid profiles as potential criteria to determine the origin of commercially grown chia (*Salvia hispanica* L.). *Industrial Crops and Products* 34:1366-1371.
- Barrón-Yañez M, Villanueva-Verduzo C, García-Mateos M, Colinas-Leon M. 2009.** Valor nutritivo y contenido de saponinas en germinados de huauzontle (*Chenopodium nuttalliae* Saff.), calabacita (*Cucurbita pepo* L.), canola (*Brassica napus* L.) y amaranto (*Amaranthus leucocarpus*) . *Revista Chapingo Serie Horticultura* 15(3):237-243.
- Bhattacharya M, Hanna M. 1987.** Influence of process and product variables on extrusion energy and pressure requirements. *Journal of Food Engineering*, 6(2):153-163.
- Bau H, Villaume C, Nicolas J. 1997.** Effects of germination on chemical composition, biochemical constituents and antinutritional factors of soya bean. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 73:1-9.
- Beauchat L. 1996.** Pathogenic microorganisms associated with fresh products. *Journal of Food Protection* 59(2):204-216.
- Bedolla S, Rooney L. 1984.** Characteristics of U.S and Mexican instant maize flours for tortilla and snack preparation. *Cereal Foods World* 29:732-735.
- Beltran-Orozco M. 2005.** Estudio de las propiedades funcionales de la semilla de chíá (*Salvia hispanica* L) y de la fibra dietria obtenida de la misma. *Revista Salud Pública y Nutrición* 13:1-6.
- Bernal A, Iñaguazo J, Chanducas B. 2015.** Efecto del consumo de chíá (*Salvia hispanica* L.) sobre los síntomas de estreñimiento que presentan los estudiantes de una universidad particular de Lima Este. *Revista Científica de Ciencias de la Salud* 8(2):8-24.
- Bewley J. 1997.** Seed germination and dormancy. *Plant Cell* 9:1055-1066.
- Botero L, Bors, W, Michael S. 2012.** Structure-activity relationships governing antioxidant capacities of plant polyphenols. *Methods in Enzymology* 335:166-181.
- Bozan B, Temelli F. 2008.** Chemical composition and oxidative stability of flax, safflower and poppy seed and seed oils. *Bioresource Technology* 99(14):6354-6359.
- Brand-Williams W, Cuvelier ME, Berset C. 1995.** Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Science and Technology* 28:25-30.

- Brennan C, Brennan MA, Derbyshire E, Tiwari BK. 2011.** Effects of extrusion on the polyphenols, vitamins and antioxidant activity of foods. *Trends in Food Science and Technology* 22:570-575.
- Bressani R, Harper J, Whickstrom B. 1984.** *Processed and Packaged weaning foods: Development, manufacture and marketing. Improving the nutritional status of children during weaning period.* USA: MIT. Cambridge.
- Brown J. 2003.** Chia seed and meal data. International Flora Technologies, Inc., Gilbert, Ariz, 1 p.
- Buck J, Walcott R, Beuchat L. 2003.** *Recent Trends in Microbiological Safety of Fruits and Vegetables.* Obtenido de www.aspnet.org/online/feature/safety
- Buenrostro R, Jiménez V, Manrique E. 2014.** Efecto de la Germinación de Semillas de Chía (*Salvia hispanica* L.) Sobre su Calidad Nutricional. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos* 1(2):7-12.
- Bussilacchi H, Quiroga M, Bueno M, Di Sapio O, Voykos F, Severin, C. 2013.** Evaluación de *Salvia hispanica* L cultivada en el sur de Santa Fe (República Argentina). *INCA. Cultivos Tropicales* 34(4):55-59.
- Busilacch H. 2015.** Chía: Importante antioxidante vegetal. *Agromensajes, Universidad Nacional de Rosario.* pp. 7-10.
- Cáceres PJ, Martínez-Villaluenga C, Amigo L, Frias J. 2014.** Maximizing the phytochemical content and antioxidant activity of Ecuadorian brown rice sprouts through optimal germination conditions. *Food Chemistry* 152:407-414.
- Cahill J. 2005.** Human selection and domestication of chia (*Salvia hispanica* L.). *Journal of Ethnobiology* 25(2):155-175.
- Calder P. 2013.** Omega 3 polyunsaturated fatty acids and inflammatory processes: nutrition or pharmacology. *British Journal of Clinical Pharmacology* 75(3):645-662.
- Camacho-Hernández IL, Zazueta-Morales JJ, Gallegos-Infante JA, Aguilar-Palazuelos E, Rocha-Guzmán NE, Cortez-Navarro RO, Jacobo-Valenzuela N, Gómez-Aldapa CA. 2014.** Effect of extrusion conditions on physicochemical characteristics and anthocyanin content of blue corn third-generation snacks. *CyTA – Journal of Food* 12(4):320-330.
- Camire ME, Camire A, Krunhar K. 2002.** Chemical and nutritional changes in foods during extrusion. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 29(1):35-57.
- Capitani MI, Spotorno V, Nolasco SM, Tomas MC. 2012.** Physicochemical and functional characterization of by-products from chia (*Salvia hispanica* L.) seeds of Argentina. *LWT-Food Science and Technology* 45(1):94-102.
- Casp A, Abril J. 1999.** *Procesos de Conservación de Alimentos I.* España: Ediciones Mundi-Prensa, 494 p, ISBN: 9788471148100.
- Castel MV. 2010.** Estudio de las Propiedades Funcionales, Tecnológicas y Fisiológicas de las Proteínas de Amaranto. Tesis Master en Ciencia y

Tecnología de Alimentos, Instituto de Tecnología de Alimentos, Facultad de Ingeniería Química, Universidad del Litoral.

- Castillo V, Ochoa M, Figueroa C, Delgado L, Gallegos I, Morales C. 2009.** Efecto de la concentración de hidróxido de calcio y tiempo de cocción del grado de maíz (*Zea mays* L.) nixtamalizado, sobre las características fisicoquímicas y reológicas del nixtamal. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 59(4):425-435.
- Catricheo R, Sánchez F, Aguayo M, Ballester C, Yáñez E. 2009.** Desarrollo y evaluación química y nutricional de un alimento infantil a base de lupino dulce, trigo y leche. *Universidad de Chile. Departamento de Investigación y Bibliotecas* pp. 141-149.
- Cava R, Sangronis E, Rodríguez M, Colinas J. 2009.** Calidad microbiológica de semillas germinadas de *Phaseolus vulgaris*. *Interciencia* 34(11):796-800.
- Cazzaniga D, Basílico J, González R, Torres R, Greef D. 2001.** Mycotoxins inactivation by extrusion cooking of corn flour. *Letters in Applied Microbiology* 33:144-147.
- Cerezal-Mezquita P, Urtuvia-Gatica V, Ramirez-Quintanilla V, Romero-Palacios N, Arcos-Zavala R. 2011.** Desarrollo de producto sobre la base de harinas de cereales y leguminosa para niños celíacos entre 6 y 24 meses; I: Formulación y aceptabilidad. *Nutrición Hospitalaria* 26:152-160.
- Cerón-Fernandez C, Guerra-Morcillo V, Legarda-Quintero J, Enriquez-Collasos G, Pisgman-Portilla Y. 2016.** Efecto de la extrusión sobre las características fisicoquímicas de harina de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* 14(2):92-99.
- Chanlat N, Songsermpong S, Charunuch C, Naivikul O. 2011.** Twin-screw extrusion of pre-Germinated brown rice: Physicochemical properties and γ -aminobutyric acid content (GABA) of extruded snacks. *International Journal of Food Engineering* 7(4):18.
- Chaparro-Rojas D, Pisgma-Portilla R, Elizalde-Correa A, Vivas-Quila N, Ereza-Cacedo C. 2010.** Efecto de la germinación sobre el contenido y digestibilidad de proteína en semillas de amaranto, quinua, soya y guandul. *Facultad de Ciencias Agropecuarias* 8(1):1-12.
- Charoenthaikij P, Jangchud K, Janchud A. 2009.** Germination conditions affect physicochemical properties of germinated brown rice flour. *Journal of Food Science* 74(9):658-665.
- Chavarín-Martínez CD, Reyes-Moreno C, Gutiérrez-Dorado R. 2019.** Germination effect on physicochemical properties, nutritional profile, and bioactive compounds of cereals and pseudocereals. Mora-Escobedo R, Camacho-Reynoso R, Cristina (ed). Nova Publishers. In press.
- Chávez-Bravo E, Alonso-Calderon A, Castañeda-Roldán E, Ramos-Casellis M, Marroquín-Torres V. 2016.** Calidad microbiológica de la semilla de chía negra

- (*Salvia hispanica* L) y sus coproductos barras y galletas. *Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias* 7(15):58-64.
- Chávez-Jáuregui RN, Silva MEMP, Areas JAG. 2000.** Extrusion cooking process for amaranth. *Journal of Food Science* 65(6):1009–1015.
- Cheftel JC, Cuq JL, Lorient D. 1989.** Proteínas Alimentarias: Bioquímica, Propiedades Funcionales, Valor Nutricional, Modificaciones Químicas. Editorial Acribia, Zaragoza, España.
- Chen J, Serafín F, Pandya R, Daun H. 1991.** Effects of extrusion conditions on sensory properties of corn meal extrudates. *Journal of Food Science* 56(1):84-89.
- Coates W. 2011.** Whole and ground chia (*Salvia hispanica* L.) seeds, chia oil - Effects on plasma lipids and fatty acids. In: "Nuts and Seeds in Health and Disease Prevention". Preedy VR, Watson RR, Patel VB (ed), pp. 309–315, UK: Academic Press, Elsevier.
- Coates W, Ayerza R. 1997.** New crop trials in the Patagonian region of Argentina. Abstracts of an International Conference of the *Association for the Advancement of Industrial Crops*, 23, Saltillo, México.
- Coates W, Ayerza R. 1998.** Commercial production of chia in Northwestern Argentina. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 75(10):1417-1420.
- Colmenares de Ruiz A, Bressani R. 1990.** Effect of germination on the chemical composition and nutritive value of amaranth grain. *Cereal Chemistry* 67(6):519-522
- CONACYT, AI. 17 de Abril de 2018.** CONACYT Agencia Informativa. Obtenido de <http://www.conacytprensa.mx/index.php/ciencia/salud/20305-chia-funcion-contra-hipertension>.
- Cood LEW. 1985.** *Lamiaceae*: Flora of Southern Africa. Botanical Research Institute, Pretoria 28(4):1-247.
- Corrales-Bañuelos AB, Cuevas-Rodríguez EO, Gutiérrez-Irribé JA, Milán-Noris EM, Reyes-Moreno C, Milán-Carrillo J, Mora-Rochín S. 2016.** Carotenoid composition and antioxidant activity of tortillas elaborated from pigmented maize landraces by traditional nixtamalization or lime cooking extrusion process. *Journal of Cereal Science* 69:64-70.
- Cortez F, Lárraz P. 1958.** Descripción geográfica moral de la diócesis de Guatemala. *Sociedad de Geografía e Historia de Guatemala* 20(1):20-23.
- Cuadra C. 2002.** *Germinación, Latencia y Dormición de Semillas*. Madrid: SGEA. pp 24.
- Dagorn-Scaviner C, Gueguen J, Lefebvre J. 1987.** Emulsifying Properties of Pea Globulins as Related to Their Adsorption Behaviors. *Journal of food science* 52(2):335-341.
- Dal'Maso E, Casarin J, Cavalheiro B, Dos Santos B. 2013.** Salinidade na germinação e desenvolvimento inicial de sementes de chía. *Cultivado o Saber. Cascavel* 6(3):26-39.

- Davidson V, Paton D, Diosady L, Rubin L. 1984.** A model for mechanical degradation of wheat-starch in a single-screw extruder. *Journal of Food Science* 42(2):453-458.
- Davison V, Patun D, Diasady L. 1984.** Degradation of wheat starch in a single screw extruder. *Journal of Food Science* 49(2):453-458.
- Delgado-Licon E, Martínez A, Rocha G, Gallegos I, Atienzo L. 2009.** Influence of extrusion on the bioactive compounds and the antioxidant capacity of the bean/corn mixtures. *International Journal of Food Science and Nutrition* 60(6):522-532.
- Della-Valle G, Kozlowski A, Colonna P, Tayeb J. 1989.** Starch transformation estimated by the energy-balance on a twin screw extruder. *Lobensm Wiss Technology* 22:279-286.
- Design Expert. 2007.** Version 7.0.0. by Stat-Ease. Minneapolis, MN, USA, Design Expert Inc.
- Dewanto V, Wu X, Liu R. 2002.** Processed sweet corn has higher antioxidant activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50(17):4959-4964.
- Diario Oficial de la Unión Europea. 2009.** Autorización de la comercialización de semillas de chía (*Salvia hispanica* L.) como nuevo ingrediente alimentario con arreglo al Reglamento (CE) N° 258/97 del Parlamento Europeo y del Consejo.
- Di Sapio O, Bueno M, Buchilachi H, Servin C. 2012.** Chía: Importante Antioxidante Vegetal. *UNR* 56:11-13.
- Drago S, González R, Guerrero L. 2007.** Evaluación de la Disponibilidad de Minerales en Harinas de Frijol y en Mezclas de Maíz/Frijol Extrudidas. *Revista Información Tecnológica* 18(1):41-46.
- Domínguez-Arispuro DM, Cuevas-Rodríguez EO, Milán-Carrillo J, León-López L, Gutiérrez-Dorado R, Reyes-Moreno C. 2017.** Optimal germination condition impactson the antioxidant activity and phenolic acids profile in pigmented desi chickpea (*Cicer arietinum* L.) seeds. *Journal of Food Science and Technology* 55(2):638-647.
- Duodu KG. 2014.** Effects of processing on phenolic phytochemicals in cereals and legumes. *Cereal Foods World* 59(2):64-70.
- EFSA. 2009.** Scientific opinion of the panel on dietetic products nutrition and allergies on a request from European Commission. *The EFSA Journal*. pp.1-4.
- El-Hady E, Habiba R. 2003.** Effect of soaking and extrusion conditions on antinutrients and protein digestibility of legumeseeds. *Food Science and Technology* 36(3):285-293.
- Elizalde AD, Porrilla YP, Chaparro DC. 2009.** Factores antinutricionales en semillas. *Biotechnología en el sector agropecuario y agroindustrial* 7(1):114-116.
- Elkhalifa AE, Bernhardt R. 2010.** Influence of grain germination on functional properties of sorghum flour. *Food Chemistry* 121(2):387-392.

- Elkhier M, Hamid A. 2008.** Effect of malting on the chemical constituents, anti-nutrition factors. *Journal of Agricultural and Biological Science* 4(5):500-504.
- Elleuch M, Besbes S, Roiseux O, Blecker C, Attia H. 2007.** Quality characteristics of sesame seeds and by-products. *Food Chemistry* 103(2):641-650.
- Elmalik M, Klopfenstein C, Hosney R. 1986.** Effects of germination on the nutritional quality of sorghum grain with contrasting kernel characteristics. *Nutrition Reports International* 4(1):941-942.
- Esperón-Rojas AA, Monroy-Rivera JA. 2011.** Cambios en el contenido de lisina, triptófano y su relación con el incremento de la calidad proteica durante la germinación de tres variedades de maíz (H-512, H-530, VS-536). Unidad de Investigación y Desarrollo de Alimentos (UNIDA), Instituto Tecnológico de Veracruz. XIV Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería, Sociedad Mexicana de Biotecnología e Ingeniería, 19-24 junio, Querétaro, México.
- Espinoza-Moreno RJ, Reyes-Moreno C, Milán-Carrillo J, López-Valenzuela JA, Paredes-López O, Gutiérrez-Dorado R. 2016.** Healthy ready-to-eat snack with high nutritional and antioxidant value produced from whole amarantin transgenic maize and common bean. *Plant Foods for Human Nutrition* 71:218-224
- Fagger A, Babiker E. 2004.** Effect of malt pretreatment and/or cooking on phytate and essential aminoacids contents and in-vitro protein digestibility of corn flour. *Food Chemistry* 88(2):261-265.
- FAO. 2014.** Perspectiva de Alimentación, Prevención y Salud. *Nutrición y Salud*. pp. 24-27.
- FAO/WHO. 2016.** Report joint FAO/WHO food standards programme. Italy: FAO/WHO .
- Fardet A, Rock E, Remesy C. 2008.** Is the in vitro antioxidant potential of whole-grain cereals and cereal products well reflected in vivo. *Journal of Cereal* 48(2):258-276.
- Fares C, Menga V. 2012.** Effects of toasting on the carbohydrate profile and antioxidant properties of chickpea (*Cicer arietinum* L) flour added to durum wheat. *Food Chemistry* 131:1140-1148.
- Fellow P. 1994.** Tecnología del procesado de los alimentos, principios y prácticas. Zaragoza, España: Acribia.
- Fellows P. 2000.** *Food Processing Technology: Principles and practice*. Woodhead: USA.
- Férrnandez-Orozco D, Dueñas M, Hernández T, Estrella I. 2009.** Germination as a process to increase the polyphenol content and antioxidant activity of lupin seeds (*Lupinus angustifolius* L.). *Food Chemistry* 117(4):599-607.
- 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.
- Gali-Muhtasib H, Hilan C, Khater C. 2000.** Traditional uses of *Salvia libanotica* (East Mediterranean sage) and the effects of its essential oils. *Journal of Ethnopharmacology* 71:513-520.
- Gamel T, Mesallam A, Damir A. 2007.** Characterization of amaranth seeds oil. *Journal of Food Lipids* 14(3):323-334.
- García O, Infante R, Rivera C. 2008.** Hacia una definición de fibra alimentaria. *Anuales Venezolanos de Nutrición* 21:25-30.
- Garzón-Tiznado JA, Heiras-Palazuelos MJ, Espinoza-Moreno JR, Cano-Campos M, Delgado-Vargas F, Gutiérrez-Dorado R, Milán-Carrillo J, Reyes-Moreno C. 2013.** Antioxidant and antimutagenic activities of optimized extruded desi chickpea (*Cicer arietinum* L) flours. *Journal of Pharmacy and Nutrition Sciences* 3:38-47.
- Gaxiola-Cuevas N, Mora-Rochín S, Cuevas-Rodríguez EO, León-López L, Reyes-Moreno C, Montoya-Rodríguez A, Milán-Carrillo J. 2017.** Phenolic acids profiles and cellular antioxidant activity in tortillas produced from pigmented maize processed by nixtamalization or lime extrusion. *Plant Foods for Human Nutrition* 72:314-320
- Ghorpade G, Kadam C. 1989.** Métodos de germinación. *Journal Chemistry* 43:13-17.
- Gómez-Favela M, Gutierrez-Dorado R, Cuevas-Rodriguez E, Canizalez-Roman V, León-Sicairos C, Milá-Carrillo J, Reyes-Moreno C. 2017.** Improvement of Chia Seeds with Antioxidant Activity, GABA, Essential Amino Acids, and Dietary Fiber by Controlled Germination Bioprocess. *Plant Foods for Human Nutrition* 72(4):345-352.
- Gómez-Ortiz S. 1982.** Cambios en la concentración de lisina durante la germinación de amaranto. Tesis de Licenciatura. Ciudad de México: ENCB-IPN.
- Gong K, Chen L, Li X, Sun L, Liu K. 2018.** Effects of germination combined with extrusion on the nutritional composition, functional properties and polyphenol profile and related in vitro hypoglycemic effect of whole grain corn. *Journal of Cereal Science* 83:1-8
- Gonzalez F, Beltran M, Vargas O. 2010.** The antioxidant capacity and phenolic content of chia integral seed and oil. *Journal of Biotechnology* 150:315-317.
- González R, Torres R, De Greef D. 2002.** Extrusión-Cocción de Cereales. *Boletín de la Sociedad Brasileira de Ciencia y Tecnologia de Alimentos* 36:83-136.
- González-Rodríguez R, Cardentey-García J. 2018.** Comportamiento de las enfermedades crónicas no transmisibles en adultos mayores. *FINLAY* 8(2):103-110.
- Granito M, Brito Y, Torres A. 2007.** Chemical composition antioxidant capacity and functionality of raw and processed *Phaseolus lunatus*. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 87(15):2801-2809.

- Grela E, Jensen S, Jakobsen K. 1999.** Fatty acid composition and content of tocopherols and carotenoids in raw and extruded grass pea (*Lathyrus sativus* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 79(15):2075-2078.
- Griffiths R, Korn R. 1997.** A CHD1 gene is Z chromosome linked in the chicken *Gallus domesticus*, *Gene* 197(1-2):225-229.
- Guiotto EN, Ixtaina VY, Tomás MC, Nolasco SM. 2011.** Moisture-dependent physical properties of chia (*Salvia hispanica* L.) seeds. *Trans ASABE* 54:1-7
- Gutiérrez-Dorado R, Cárdenas-Valenzuela O, Alarcón-Valdez C, Garzón-Tiznado JA, Milán-Carillo J, Armienta-Aldana E, Reyes-Moreno C. 2008.** Alimento para niños preparado con harinas de maíz de calidad proteínica y garbanzo extruidos. *Interciencia* 32(12):868-874.
- Guy R. 2001.** Snack Foods. En: "Extrusion Cooking Technologies and Applications", Woodhead Publishing Ltd, Cambridge, UK, pp. 161-181.
- Guy RCE. 2003.** Extrusion cooking. Principles and practice. *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*. Second edition.
- Harper JM. 1988.** Effects of Extrusion Processing on Nutrients. En: "Nutritional Evaluation of Food Processing", Karmas E, Harris RS (ed). pp. 360-365
- Hauffman V, Lee C, Burns E. 1975.** Selected functional properties of sunflowers meal (*Helianthus annuus*). *Journal of Food Science* 40(1):70-74.
- Hegazy H, El Fath A, Sayed H, Ahmed M. 2017.** Effect of Extrusion Processes on Nutritional, Functional Properties and Antioxidant Activity of Germinated Chickpea Incorporated Corn Extrudates. *American Journal of Food Science and Nutrition Research* 4(1):59-66.
- Hicks S. 1966.** *Desert plants and people*. San Antonio, Usa: Nayloy Company.
- Howell R, Collins F. 1957.** Factors affecting linolenic and linoleic acid content of soybean. *Agronomy Journal Abstract* 49(11):593-597.
- Huang D, Ou B, Prior R. 2005.** The chemistry behind antioxidant capacity assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53:1841-1856
- Huber G. 2001.** Developments and Trends in Extruded Snacks. Recuperado el 14 de Septiembre 2018, de:<http://www.foodproductdesign.com/articles/2001/06/developmentsand-trends-in-extruded-snack.aspx>
- Iglesias E. 2013.** *Mejora del valor nutricional y tecnológico de productos de panadería por incorporación de ingredientes a base de chíá*. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia.
- Iglesias P, Haros M. 2013.** Evaluation of performance of dough and bread incorporating chia (*Salvia hispanica* L.). *Eur. Food Res. Technology* 237(6):865-874.
- 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.

- Inglett G, Chen D, Liu S, Lee S. 2014.** Pasting and rheological properties of oat products dry-blended with ground chia seeds. *LWT-Food Science Technology* 55 (1):148-156.
- Instituto Nacional de Alimentos. 2003.** Análisis fisicoquímico de semillas de chía. Buenos Aires, pp. 14-24.
- Islam K. 2010.** Dietary fibre intake and influences on risk factors reduction in coronary heart disease patient. *Bangladesh Journal Medicine* 21:96-100.
- Ixtaina VY. 2008.** Caracterización de la Semilla y el Aceite de Chía (*Salvia hispanica* L.) Obtenido Mediante Distintos Procesos. Aplicación en Tecnología de Alimentos. [Tesis Doctoral]. Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecnología de Alimentos (CIDCA). Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata (FCE-UNLP).
- Ixtaina V, Tomás M, Nolasco S. 2014.** Caracterización de la Semilla y aceite de chía. Obtenido mediante distintos procesos. *Revista de la Universidad Nacional de la Plata* 2(1):32-56.
- Jamboonsri W, Phillips TD, Geneve RL, Cahill JP, Hildebrand DF. 2012.** Extending the range of an ancient crop, *Salvia hispanica* L. – a new ω 3 source. *Genetic Resources and Crop Evolution* 59:171-178.
- Jeong SK, Park HJ, Park BD, Kim IH. 2010.** Effectiveness of topical chia seed oil on pruritus of end-stage renal disease (ESRD) patients and healthy volunteers. *Ann Dermatol* 22(2):143-148.
- Juárez M, Olano A, Morais F. 2015.** *Alimentos Funcionales*. Madrid: Fundación Española para la Ciencia y Tecnología (FECYT).
- Khang DT, Dung TN, Elzaawely AA, Xuan TD. 2016.** Phenolic Profiles and Antioxidant Activity of Germinated Legumes. *Foods* 5:27.
- Khetarpaul N, Chauhan B. 1990.** Effect of germination and fermentation on available carbohydrate content of pearl millet. *Food Chemistry*. 38(1):21-26.
- King J. 1991.** The Genetic Basis of the Plant Physiological Processes. Oxford University Press. New York, NY, EUA. pp. 347-393.
- Killeit U. 1994.** Vitamin retention in extrusion cooking. *Food Chemistry* 49(2):149-155.
- Kummer C. 2012.** *Chia (Salvia Hispanica L.)*. USA: Cooperative extension service, Universidad de Kentucky.
- Lai L, Kokini J. 1992.** The role of rheological properties on extrudate expansion. New York: Karwe, MV.
- La Vecchia C, Decarli A, Serafini M. 2013.** Dietary total antioxidant capacity and colorectal cancer. *International Journal of Cancer* 136(6):1447-1452.
- Lee C, Shen S, Lai Y. 2013.** Rutin and quercetin, bioactive compounds from tartary buckwheat, prevent liver inflammatory injury. *Food and Fuction* 4(5):794-802.
- Lee J, Stacey C, Akram U, Christopher A, Aubrey L. 2004.** Quantitative Measurement of Negligible Trypsin Inhibitor Activity and Nutrient Analysis of

- Guar Meal Fractions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52(21):6492–6495.
- Lee M, Lee J, Lee T. 2013.** Germination of Buckwheat Grain: Effects on Minerals, Rutin, Tannins and Colour. *Research Institute of Crop Production, Prague*. pp. 50-54.
- Ley-Osuna AH, Reyes-Moreno C, Gutiérrez-Dorado R. 2018.** Optimización del Proceso de Extrusión de Semillas de Chía (*Salvia hispanica* L.). Efecto sobre Valor Nutricional, Compuestos Bioactivos y Actividad Antioxidante. Tesis de Maestría. Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Facultad de Ciencias Químico Biológicas. Universidad Autónoma de Sinaloa.
- Lin Y, Yeh C, Lu S. 2003.** Extrusion Processing of Rice-Based Breakfast Cereals Enhanced with Tocopherol from a Chinese Medical Plant. *Cereal Chemistry Journal* 80(4):491-494.
- Linko P, Linko Y. 1982.** Extrusion Cooking and Bioconversions. *Journal of Food Engineering* 2(4):243-257.
- Liu RH. 2007.** Whole grain phytochemicals and health. *Journal of Cereal Science*. 46:207-219
- López-Ortiz N, Tique M, Pérez-La Valle L. 2011.** Contribución al estudio del sorgo (*Sorghum bicolor* L.) para nutrición humana. *Perspectivas en Nutrición Humana* 13(1):33-44.
- Lukow O, Bushuk W. 1984.** Influence of germination on wheat quality. Functional and biochemical properties. *Cereal Chemistry* 59(5):344-350.
- Loubes MA, Calzetta Resio AN, Tolaba MP, Suarez C. 2012.** Mechanical and thermal characteristics of amaranth starch isolated by acid wet-milling procedure. *LWT - Food Science and Technology* 46:519-524
- Luna P, Lopes E, Silva A, Sammán NC, Dupas M, Kil Y. 2015.** Functional bread with n-3 alpha linolenic acid from whole chia (*Salvia hispanica* L.) flour. *J. Food Sci. Technol* 52(7):4475-4482.
- Mallesh N, Klopfenstein C. 1998.** Nutrient composition and amino acids contents of malted sorghum pearl millet and finger millet and their milling fractions. *Journal of Food Science and Technology* 35(3):247-249.
- Martínez M. 1959.** *Plantas Útiles de la Flora Mexicana*. Ciudad de México: Ediciones de Botas.
- 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 M, Marin M, Salgado J, Revol M, Penci P. 2012.** Chia (*Salvia Hispanica* L.) oil extraction: Study of processing parameters. *Food Science and Technology* 47(1):78-82.
- Mejía-Teniente L, Torres-Pachecho I, Gonzalez-Chavira M, Ocampo-Velazques R, Herrera-Ruíz G, Chapa-Oliver A, Guevara-González R. 2010.** Use of

- elicitors as an approach for sustainable agriculture. *African Journal of Biotechnology* 9(54):9155-9162.
- Mendoza C. 1842.** *Historia de México*. Ciudad de México: Museo Nacional de Arqueología, Historia y Etnografía.
- Mercado-Pedraza E, Morales-Sánchez E, Reyes-Vega M, Gaytán-Martínez M, Ortega-Moody J. 2013.** Effects of a low-shear transport system on the physicochemical characteristics of nixtamal corn flour. *Journal of Food Processing and Preservation* 38(3):1330-1338.
- Mercier C. 1993.** Nutritional appraisal of extruded foods. *International Journal of Food Science and Nutrition* 60(4):545-553.
- Migliavacca R, Da Silva T, De Vasconcelos A, Filho W. 2014.** O cultivo da chia no Brasil: future e perspectivas. *J. Agron. Sci* 3:161-179.
- Milán-Carrillo J, Reyes-Moreno C, Camacho-Hernández I, Rouzaud-Sandez O. 2002.** Optimization of extrusion process to transform hardened chickpeas (*Cicer arietium* L) into a useful product. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 82(14):1718-1728.
- Milán-Carrillo J, Montoya-Rodríguez A, Gutiérrez-Dorado R, Perales-Sánchez JXK, Reyes-Moreno C. 2012.** Optimization of extrusion process for producing high antioxidant instant amaranth (*Amaranthus hypochondriacus* L) flour using response surface methodology. *Applied Mathematics* 3:1516-1525
- Milán-Carrillo J, Montoya-Rodríguez A, Reyes-Moreno C. 2012.** High Antioxidant Capacity Beverages from Roasted and Extruded Amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*) flours. En: "Hispanic Foods: Chemistry and Bioactive Compounds", Chapter 13, Tunick M y De Mejía-González E (ed), ACS Symposium Series, *American Chemical Society*, Washington, DC, USA, pp. 199-216.
- Miranda F. 2012.** Guía técnica para el manejo del cultivo de Chia (*Salvia hispanica* L.) en Nicaragua. Nicaragua: Sebaco.
- Moline H, Kulik M. 1997.** Contamination and deterioration of alfalfa sprouts caused by a seedborne isolate of *Erwinia herbicola*. *J. Food Qual* 20:53-60.
- Montoya-Rodríguez A, González de Mejía E, Díaz VP, Reyes-Moreno C, Milán-Carrillo J. 2014a.** Extrusion improved the anti-inflammatory effect of amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*) hydrolysates in LPS-induced human THP-1 macrophage-like and mouse RAW264.7 macrophages by preventing activation of NF- κ B signaling. *Molecular Nutrition and Food Research* 58:1028-1041
- Montoya-Rodríguez, A, Milán-Carrillo J, Reyes-Moreno C, González de Mejía E. 2014b.** 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):1-13.

- Moongngarm A, Saetung N. 2010.** Comparison of chemical compositions and bioactive compounds of germinated rough rice and brown rice. *Food Chemistry* 122(3):782-788.
- Mora-Escobedo R, Paredes-López O, Gutiérrez-López G. 1994.** Effect of germination on the rheological and functional properties of amaranth seeds. *Food Science and Technology* 24:241-244.
- Mora-Rochín S, Gutiérrez-Urbe J, Serna-Saldivar 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.
- Morales P, Cebadera L, Cámara R, Reis F, Barros L, Berrios J. 2015.** Lentil flour formulations to develop new snack-type products by extrusion processing: Phytochemicals and antioxidant capacity. *Journal of Functional Foods* 19: 537-544.
- Morales-Santos M, Peña-Valdivia C, García-Esteva A, Aguilar-Benitez G, Kohashi-Shibata J. 2017.** Características físicas y de germinación en semillas y plántulas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) silvestre, domesticado y su progenie. *Agrociencia* 51(1):43-62.
- Montgomery DC. 2014.** Diseño y Análisis de Experimentos. México: Limusa-Wiley, Cd Mex, MEXICO.
- Muñoz L. 2012.** Mucilage from chia seeds (*Salvia Hispanica* L). *Escuela de Ingeniería. Universidad Católica de Chile.* pp. 12-14.
- Murray BS, Ettelaie R. 2004.** Foam stability: proteins and nanoparticles. *Current Opinion in Colloid & Interface Science.* 9(5):314-320.
- Myers R. 1971.** *Response Surface Methodology.* Boston: Allyn and Bacon Publishers.
- Nic-Phiarais B, Schehl B. 2008.** Protein changes during malting of buckwheat. *The Journal of the American Society of Brewing Chemists* 66:127-135.
- Nikmaram Qiang, Xia. 2017.** Recent advances in γ -aminobutyric acid (GABA) properties in pulses: An overview. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 97(9): 2681-2689.
- NOM 092.** Norma Oficial Mexicana NOM-092-SSA1-1994, BIENES Y SERVICIOS. MÉTODO PARA LA CUENTA DE BACTERIAS AEROBIAS EN PLACA. Obtenido de <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/092ssa14.html>
- NOM 110.** Norma Oficial Mexicana NOM-110-SSA1-1994, BIENES Y SERVICIOS. PREPARACIÓN Y DILUCIÓN DE MUESTRAS DE ALIMENTOS PARA SU ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO. Obtenido de <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/110ssa14.html>
- NOM 111.** Norma Oficial Mexicana NOM-111-SSA1-1994, BIENES Y SERVICIOS. MÉTODO PARA LA CUENTA DE MOHOS Y LEVADURAS EN ALIMENTOS. Obtenido de <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/111ssa14.html>

- NOM 113.** Norma Oficial Mexicana NOM-113-SSA1-1994, BIENES Y SERVICIOS. MÉTODO PARA LA CUENTA DE MICROORGANISMOS COLIFORMES TOTALES EN PLACA. Obtenido de <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/113ssa14.html>
- NOM 147.** Norma Oficial Mexicana NOM-147-SSA1-1996, BIENES Y SERVICIOS. CEREALES Y SUS PRODUCTOS. HARINAS DE CEREALES, SEMOLAS O SEMOLINAS. ALIMENTOS A BASE DE CEREALES, DE SEMILLAS COMESTIBLES, HARINAS, SEMOLAS O SEMOLINAS O SUS MEZCLAS. PRODUCTOS DE PANIFICACION. Obtenido de <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/147ssa16.html>
- NOM (2007).** Norma Oficial Mexicana NMX-FF-034/1-SCFI-2002 (en línea). www.economia-noms.gob.mx. Consultado: 10 septiembre 2018.
- Nwanguma B, Eze M. 1996.** Changes in the Concentrations of the Polyphenolic Constituents of Sorghum during Malting and Mashing. *Journal of Science of Food and Agric* 70(2):162-166.
- 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 Agarquímica y Tecnología de Alimentos* 16(1):89-96.
- OMS. 2012.** Dieta, nutrición y prevención de enfermedades crónicas . *Organización Mundial de la Salud*. pp. 50-61.
- Ordorica-Falomir C. 1988.** Obtención de Aislados Proteicos por Micelización y Precipitación Isoeléctrica a partir de Pastas de Cártamo. Tesis Doctoral. Irapuato, Guanajuato: Unidad Irapuato, CIEA-IPN.
- Orona D, Valverde M, Paredes L. 2016.** Chia-The New Golden Seed for the 21st Century: Nutraceutical Properties and Technological Uses. *Plant Derived Proteins* 17:265-281.
- Orozco G, Duran N, González D, Zarazúa P, Ramírez G, Mena S. 2014.** Proyecciones de cambio climático y potencial productivo para *Salvia hispanica* L. en las zonas agrícolas de México. *Revista Mex. Ciencias Agrícolas* 10:1831-1842.
- Ohtsubo K, Suzuki K, Yasui Y, Kasumi T. 2005.** Bio-functional components in the processed pre-germinated brown rice by a twin-screw extruder. *Journal of Food Composition and Analysis* 18(4):303-316.
- Pasko P, Sajewicz M, Gorinstein S, Zachwieja Z. 2008.** Analysis of the selected phenolic acids and flavonoids in *Amaranthus cruentus* and *Chenopodium quinoa* seeds and sprouts by HPLC method. *Acta Chromatographica* 20(4):661-672.
- Paucar-Menacho L. 2010.** Aumentan efecto anticancerígeno de la soya. *Revista de la Universidad de Campinas de Brasil. Bioquímica*. pp. 78-86.

- Paucar-Menacho LM, Martínez-Villaluenga C, Dueñas M, Frias J, Peñas E. 2017.** Optimization of germination time and temperature to maximize the content of bioactive compounds and the antioxidant activity of purple corn (*Zea mays* L.) by response surface methodology. *LWT-Food Science and Technology* 76:236-244.
- Peñas E, Gómez R, Frías J, VidalValverde C. 2008.** Application of high-pressure treatment on alfalfa (*Medicago sativa*) and mung bean (*Vigna radiata*) seeds to enhance the microbiological safety of their sprouts. *Food Control* 19:698-705.
- Perales-Sánchez JXK, Reyes-Moreno C, Gómez-Favela MA, Milán-Carrillo J, Cuevas-Rodríguez EO, Valdez-Ortíz A, Gutiérrez-Dorado R. 2014.** Increasing the antioxidant activity, total phenolic and flavonoid contents by optimizing the germination conditions of amaranth seeds. *Plant Foods for Human Nutrition* 69:196-202.
- Pérez F. 2008.** Materia Vegetal de Reproducción: Manejo, conservación y tratamiento. Germinación y Dormición de Semillas. CD.MX: PLUGA.
- Pérez-Navarrete C, Betancur-Ancona D, Meris C, 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):278-286.
- Pisarikova B, Kraemar S, Herzig I. 2005.** Amino acid contents and biological value of protein in various amaranth species. *Czech Journal of Animal Science* 50: 568-573.
- 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.
- Prakash B, Hiranmay G, Utpal R. 2007.** Effects of thermal treatments and germination on physico-chemical properties of corn flour. *African Journal of Biotechnology* 6(8):994-999.
- Ramírez J, Lozano C. 2015.** Potential for Growing *Salvia hispanica* L. areas under Rainfed Conditions in México. *Agricultural Sciences* 6(9):1048-1057.
- Rathod RP, Annapure US. 2016.** Effect of extrusion process on antinutritional factors and protein and starch digestibility of lentil splits. *LWT-Food Science and Technology* 66:114-123.
- 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(9-10):1231-1237.
- Repo-Carrasco-Valencia R, Julio-Pilco J, Enczina-Zelada C. 2009.** Desarrollo y elaboración de un snack extruido a partir de amaranto. *Journal of Food Science* 29:207-222.

- Reyes-Caudillo E. 2008.** Dietary fibre content and antioxidant activity of phenolic compounds present in Mexican chia seeds. *Food Chemistry*,107(2) 656-663.
- Reyes-Moreno C, Milán-Carrillo J, Rouzand-Sanchez O, Garzón-Tiznado J, Mora-Escobedo R. 2002.** Descascarillado/suaviación/extrusión (DSE): Alternativa tecnológica para mejorar la calidad nutricional del garbanzo (*Cicer arietinum* L). *Agrociencia*, 36(2): 181-189.
- Reyes-Moreno C, Milán-Carrillo J, Gutiérrez-Dorado R, Paredes-López O, Cuevas-Rodríguez EO, Garzón – Tiznado JA. 2003.** Instant flour from quality protein maize (*Zea mays* L). Optimization of extrusion process. *LWT – Food Science and Technology* 36(7):685-695
- Reyes-Moreno C, Argüelles-López OD, Rochín-Medina JJ, Milán-Carrillo J, Rivera-López J, Valdez-Ortiz A, López-Valenzuela JA, Gutiérrez-Dorado R. 2012.** High antioxidant activity mixture of extruded whole quality protein maize and common bean flours for production of a nutraceutical beverage elaborated with a traditional mexican formulation. *Plant Foods for Human Nutrition* 67(4):450-456
- Rhadir R, Lin Y, Shefty K. 2005.** Stimulation of phenolics, antioxidant and antimicrobial activities in dark germinated mung bean sprouts in reponse to peptide and phytochemical elicitors. *Process Biochemistry*, 39(5): 637-646.
- Rochín-Medina JJ, Milán-Carrillo J, Gutiérrez-Dorado R, Cuevas-Rodríguez EO, Mora-Rochín S, Valdez-Ortiz A, 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. Optimización de procesos. *Revista Iberoamericana de Ciencias* 2(1):51-65
- Rodríguez-Sandoval E, Lascano A, Sandoval G. 2012.** Influencia de la sustitución parcial de la harina de trigo por harina de quinoa y papa en las propiedades termomecánicas y de panificación de masas. *U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 15(1): 199-207.
- Rodríguez Vallejo J. 1992.** *Historia de la agricultura y de la fitopatología, con referencia especial a México*. Ciudad de México: Colegio de Post-graduados en Ciencias Agrícolas.
- Rojas D. 2013.** Efecto de la aplicación de herbicidas sobre el rendimiento en Chía (*Salvia hispanica* L.) en la región metropolitana. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile. <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/148662>
- Rojas-Hidalgo E. 2011.** Cellulose, hemicellulose and lignin content of cooked processed vegetables. *Journal Food Science*, 48(1): 274-277.
- Rojo C. 2011.** Germinación de Semillas Para Huertos. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del ambiente*, 6(1): 21-28.
- Ruales J, Nair B. 1992.** Nutritional quaility of protein in quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd) seeds. *Plant Foods for Human Nutrition* 42 (1):1-11

- SAGARPA.SIAP (08 de Septiembre de 2018).** *Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable. Jalisco/Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.* Obtenido de <http://www.oeidrus-jalisco.gob.mx/agricultura/chia/?id=Generalidades#Generalidades>
- Sahagún B. 1979.** *Historial general de las cosas de Nueva España (Codex Florentino).* Ciudad de México: Porrúa.
- Salas-López F, Gutiérrez-Dorado R, Milán-Carrillo J, Cuevas-Rodríguez E, Canizalez-Román V, León-Sicairos C, Reyes-Moreno C. 2018.** Nutritional and antioxidant potential of a desert underutilized legume-terary bean (*Phaseolus acutifolius*). Optimization of germination bioprocess. *Food Science and Technology*. In Press
- Saman P, Vázquez J, Pandiella S. 2008.** Controlled germination to enhance the functional properties of rice. *Process Biochemistry*, 43(12): 1372-1382 <http://dx.doi.org/10.1016/j.procbio.2008.08.007>.
- Sánchez-Osuna MF, Perales-Sánchez JXK, Reyes-Moreno C. 2018.** Bebidas funcionales elaboradas con mezclas de granos integrales (Amaranto/Chía) procesados por extrusión y germinación. Tesis de Maestría. Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Facultad de Ciencias Químico Biológicas. Universidad Autónoma de Sinaloa.
- Segura-Campos M, Ciau-Solís N, Rosado-Rubio G, Chel-Guerrero L, Betancur-Ancona D. 2014.** Chemical and Functional Properties of Chia Seed (*Salvia hispanica* L.) Gum. *International Journal of Food Science*, 1-5.
- Serna-Saldívar SO, Canett R, Vargas J, Gonzales M, Bedolla S, Medina C. 1988.** Effect on value of maize and decorticated sorghum tortillas produced by extrusión-cooking. *Cereal Chemistry* 65:44-48.
- Sharma P, Gujral H, Singh B. 2012.** Antioxidant activity of barley as affected by extrusion cooking. *Food Chemistry*, 131(4): 1406-1413.
- Shimamura T, Sumikura Y, Yamazaki T, Tada A, Kashiwagi T, Ishikawa H. 2014.** Applicability of the DPPH assay for evaluating the antioxidant capacity of food additives inter-laboratory evaluation study. *Analysis of Science*, 30(7):712-721.
- Shimelis E, Rakshit S. 2007.** Effect of processing on antinutrients and in vitro protein digestibility of kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties grown in East Africa. *Food Chemistry*, 103(1): 161-172
- Simontacchi M, Sadovsky L, Puntarulo S. 2003.** Profile of antioxidant content upon developing of *Shorghum bicolor* seeds. *Plant Science*, 164(5): 709-715.
- Singh N. 2008.** Dietary survey and total dietary fiber intake in patients with irritable bowel syndrome. *Indian Journal gastroenterol*, 27(2): 66-70.
- Singh J, Dartois A, Kaur L. 2010.** Starch digestibility in food matrix: A review. *Trends in Food Science and Technology* 21:168-180

- Singh AK, Rehal J, Kaur A, Jyot G. 2015.** Enhancement of attributes of cereals by germination and fermentation: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55(11): 1575-1589.
- Singleton V, Orthofer R, Lamuela-Reventós R. 1999.** Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, 299: 152-178.
- Singkhornart S, Edou S, Ryu G. 2013.** Influence of germination and extrusion with CO₂ injection on physicochemical properties of wheat extrudates. *Food Chemistry*, 143: 122-131.
- Soustelle J. 1955.** *La vida Cotidina de los Aztecas*. Paris. Hachette.
- Stanley D. 1989.** Reactive Intermediates and carbohydrate fragmentation in Maillard chemistry. *Food Chemistry*, 62(4):393-401.
- Stojceska V, Ainsworth P, Plunket A, Ibanoglu S. 2008.** The recycling of brewer's processing by-product into ready-to-eat snacks using extrusion technology. *Journal of Cereal Science*, 47(3): 469–479.
- Sokrab A, Isam A, Elfadil E. 2012.** Effect of malting and fermentation on antinutrients, and total and extractable minerals of high and low phytate corn genotypes. *International Journal of Food Science & Technology*, 47(5):1037-1043.
- Sopida-Korkerd M, Sorada-Wanlapa L, Chureerat-Puttanlek O. 2016.** Expansion and functional properties of extruded snacks enriched with nutrition sources from food processing by-products. *Journal of Food Science and Technology*, 53(1), 561–570.
- Suri-Fernández C, Garcia-Padilla R. 2017.** Desarrollo de un cereal extruido a base de cañahua (*chenopodium pallidicaule aellen*) . Tesis de Licenciatura. Facultad de Tecnología, Universidad Mayor de San Andrés. La Paz-Bolivia
- Taga M. 1984.** Chia seeds as a source of natural lipid antioxidants. *Journal of the American Oil Chemistry*, 61(5): 928-931.
- Tiansawang K, Luangpituksa P, Varanyanond W, Hansawasdi C. 2016.** GABA (γ -aminobutyric acid) production, antioxidant activity in some germinated dietary seeds and the effect of cooking on their GABA content. *Food Science and Technology (Campinas)*, 36(2): 313-321.
- Toscano LT, da Silva CSO, 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
- Trejo-Flores S. 1987.** Elaboración de un producto extrudido y frito con base de amaranto germinado, cereales y soya desgrasada. Tesis Doctoral. Departamento de Ciencia y Tecnología de los Alimentos, Instituto Nacional de la Nutrición "Salvado Zubiran"

- Ugrozov VV, Filippov AN, Sidorenko YI. 2007.** On a mathematical description of the isotherm of water vapor sorption on grains of various cereals. *Russian Journal of Physical Chemistry A, Focus on Chemistry* 81(1): 383-386.
- Ugrozov VV, Shebershneva NN, Filippov AN, Sidorenko YI. 2008.** Sorption and desorption of water vapor by grains of native starch of some crops. *International Journal of Food Science and Technology* 70(1): 366-371.
- USDA. 2002.** *United States Department of Agriculture.* Nutrient Database for Standard Reference. Release 15, Nutrient. Data Laboratory, Beltsville Research Center, US Department of Agriculture, Pennsylvania, USA
- Vasanthan T, Rashid S, Gaosong J, Li J. 2002.** Dietary fibre profile of barley flour as affected by extrusion cooking. . *Internacional Journal of Food Science and Technology*, 50(7):1533-1537.
- Vázquez-Ovando J, Rosado-Rubio J, Chel-Guerrero L, Betancur-Ancona D. 2013.** Procesamiento en seco de harina de chía (*Salvia hispanica* L.): caracterización química de fibra y proteína. *CyTA – Journal of Food*, 8(2):117-127.
- Venegas-Alvarez R, Castellanos-Molina R, Martínez-Bustos F, Cruz-Mondragón, C. 1997.** Cambios en algunos factores antifisiológicos y nutritivos de las semillas de sorgo durante la germinación. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 33(1): 47-51.
- Vicente R, Rodriguez V, Gonzalez O, Lopez M. 2012.** Características preliminares del aceite de semillas de *Salvia Hispanica* L. cultivadas en Cuba. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 18(1): 3-9.
- Vidal-Valverde J, Gonzalez-Obregon A, Yunuen-Recio H. 2008.** Contenido de fibra cruda y fibra dietética en mezclas del cereal-leguminosa sometidas a germinación y tratamiento térmico. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Autónoma de Querétaro. <http://ri.uaq.mx/handle/123456789/4043>
- Vílchez-Tupac L, Guevara-Perez A, Enzina-Zelada R. 2012.** Influencia del tamaño de partícula, humedad y temperatura en el grado de gelatinización durante el proceso de extrusión de maca. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 78(2):78-84.
- Visser A, Thomas A. 1987.** Review: Soya protein products-their processing, functionality, and application aspects. *Food reviews international* 3 (1-2):1-32.
- Vuksan V, Whitham D, Sievenpiper JL, Jenkins AL, Rogovik AL, Bazinet RP, Vidgen E, Hanna A. 2010.** Supplementation of conventional therapy with the novel grain Salba (*Salvia hispanica* L.) improves major and emerging cardiovascular risk factors in type 2 diabetes: Results of a randomized controlled trial. *Diabetes Care* 30(11):2804-2810.
- Watson G. 1983.** Natuatl word in American English. *American Speech* 13(2):108-121.

- Williams PC, Nakkoul H, Singh U. 1983.** Relationships between cooking time and some physical characteristic in chickpea (*Cicer arietinum* L). *Journal of Food Science and agriculture* 34(5): 492-496.
- Wu Y, Wall J. 1980.** Lysine content of protein increased by germination of normal and high-lysine sorghums. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 28(2):455-458.
- Yagci S, Gogus S. 2010.** Effect of incorporation of various food by-products on some nutritional properties of rice-based extruded foods. *Food Science and Technology International* 15(6):571-581.
- Yang L, Browning J, Awika J. 2009.** Sorghum 3-deoxyanthocyanins possess strong phase II enzyme inducer activity and cancer cell. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 57(5):1197-1804.
- Yasumatsu K, Sawada K, Moritaka S, Misaki M, Toda J, Wada T, Ishii K. 2014.** Whipping and emulsifying properties of soybean products. *Agricultural and Biological Chemistry* 36(5):719-727.
- Yeboah S, Owusu D, Lamptey J, Mochiah M, Lampety S, Oteng D, Appiah-Kubi Z, Agyeman K. 2014.** Influence of planting methods and density on performance of chia (*Salvia hispanica* L.) and its suitability as an oilseed plant. *Agri Sciences* 2(4):14:26.
- Zettel V, Kramer A, Hecker F, Hitzmann B. 2015.** Influence of gel from ground chía (*Salvia hispanica* L.) for wheat bread production. *European Food Research and Technology* 240(3):655-662.
- Zhang Q, Xiang J, Zhang L, Zhu X, Evers J, van der Werf W. 2014.** Optimizing soaking and germination conditions to improve gamma-aminobutyric acid content in japonica and indica germinated brown rice. *Journal of Functional Foods* 10:283-291.
- Zhao X, Wei Y, Chen F, Ojokoh A. 2011.** Reaction kinetics in food extrusion: Methods and results. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 51(9): 835-854.
- Zhu L, Adedeji AA, Alavi S. 2017.** Effect of germination and extrusion on physicochemical properties and nutritional qualities of extrudates and tortilla from wheat. *Journal of Food Science* 82(8):1867-1875.
- Zuñiga H. 2014.** *Monografía: Biología de la Chía (Salvia hispanica L.)*. Memoria de Título, Escuela de Pregrado, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. Santiago - Chile.

Abreviaturas

A.	<i>Amaranthus</i>
a.C	Antes de Cristo
ác	Ácido
AACC	American Association of Cereal Chemists
AAE	Aminoácidos esenciales
AAox	Actividad Antioxidante
ABTS	2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid)
AGMI	Ácidos grasos monoinsaturados
AGPI	Ácidos grasos poliinsaturados
AGS	ácidos grasos saturados
ALA	Ácido alfa linolénico
AlCl ₃	Cloruro de aluminio
AOAC	Association of Official Analytical Chemists
AR	Azúcares reductores
AST	Azúcares solubles totales
a _w	Actividad de agua
B	Boro
bs	Base seca
c	cotiledones
°C	Grados Celsius
Ca	Calcio
CaCl ₂	Cloruro de calcio
CE	Capacidad emulsificante
CEE	Capacidad de estabilidad de espuma
CFE	Capacidad de formación de espuma
CFT	Compuestos fenólicos totales
CHO	Carbohidratos
cm	Centímetro(s)
Co	Cobalto
C-PER	Relación de eficiencia proteínica calculada
Cu	Cobre
c/u	Cada uno
Cys	Cisteína
d	días
DHA	Ácido docosahexanoico
DON	Atoxina deoxinivalenol

DP/IV	Digestibilidad proteínica <i>in vitro</i>
DPPH	2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl
DSE	descascarillado / suavización / extrusión
EE	Estabilidad de emulsión
ECA	Enzima convertidora de angiotensina
EFSA	European Food Safety Authority
ELISA	Ensayo por inmunoabsorción ligado a enzimas
en	Endocarpio
ep	Epicarpio
EPA	Ácido eicosapentanoico
ET	Equivalentes de Trolox
etc.	Etcétera
EUA	Estados Unidos de América
exc	extremo cotiledonal
exr	extremo radicular
FAO	Food and Agriculture Organization
Fe	Hierro
FDI	Fibra dietaria insoluble
FDS	Fibra dietaria soluble
FDT	Fibra dietaria total
Fig	Figura
FRAP	Capacidad antioxidante para reducción de ión férrico
g	Gramo(s)
GAE	Equivalentes de ácido gálico
h	Hora(s)
H	Humedad
ha	Hectárea(s)
HCC	Harina de chía cruda
HCGE	Harina de chía germinada extrudida
HCGEO	Harina de chía germinada extrudida optimizada
HCGO	Harina de chía germinada optimizada
HCl	Ácido clorhídrico
hdi	Horas después de inhibición
HDL	Colesterol asociado a lipoproteína de alta densidad
hL	Hectolitro(s)
HPLC	High performance liquid chromatography
IAA	Índice de absorción de agua
IC ₅₀	Concentración para disminuir 50% actividad enzimática
ISA	Índice de solubilidad en agua
K	Potasio
K ₂ S ₂ O ₈	Persulfato de potasio
kcal	Kilocaloría(s)
kg	Kilogramo(s)
KJ	Kilojoule(es)
L	Litro(s)

LDL	Colesterol asociado a lipoproteína de baja densidad
LPI	Inhibición de peroxidación lipídica
LPS	Lipopolisacárido
M	Molaridad
me	Mesocarpio
meq	miliequivalentes
Met	Metionina
Mg	Magnesio
mg	Miligramo(s)
min	Minuto(s)
mL	Mililitro(s)
mm	Milímetro(s)
mM	Milimolar
Mn	Manganeso
msnm	Metros sobre el nivel del mar
µg	Microgramo(s)
µL	Microlitro(s)
N	Normalidad
N ₂	Nitrógeno
Na	Sodio
NaCO ₃	Carbonato de Sodio
No	Número
NOM	Norma Oficial Mexicana
NaOH	Hidróxido de Sodio
nm	Nanómetro(s)
OEIDRUS	Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable
OMS	Organización Mundial de la Salud
ONU	Organización de las Naciones Unidas
ORAC	Capacidad de Absorbancia de Radicales Oxígeno
P	Fósforo
PBS	Solución reguladora de fosfatos
pH	Potencial hidrógeno
p. ej.	Por ejemplo
ppm	Partes por millón
PRTC	Capacidad de atrapamiento de radicales peroxilo
rpm	Revoluciones por minuto
S.	<i>Salvia</i>
SAGARPA	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación
Se	Selenio
SIAP	Sistema de Información de Agentes Promotores
SOD	Superóxido dismutasa
SSA	Secretaría de Salubridad y Asistencia
ton	Tonelada(s)
T	Temperatura

TE	Temperatura de Extrusión
TEAC	Capacidad antioxidante en equivalentes de Trolox
TG	Temperatura de germinación
tG	Tiempo de germinación
Trp	Triptófano
UFC	Unidades formadoras de colonias
UI	Unidad Internacional
USDA	United States Department of Agriculture
VT	Velocidad de tornillo
Zn	Zinc