



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN**

*Desarrollo de una formulación para elaborar  
una "Barra nutritiva" de chía y amaranto.*

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**INGENIERA EN ALIMENTOS**

**P R E S E N T A**

**Shanti Aguayo Gutiérrez.**

Asesor: Dr. Martínez Manrique Enrique

Co-asesor: I.A. Jiménez Vera Verónica

**CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO, 2019.**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN  
SECRETARÍA GENERAL  
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES



ASUNTO: VOTO APROBATORIO

DEPARTAMENTO DE  
EXÁMENES PROFESIONALES

M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ  
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN  
PRESENTE

ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA  
Jefa del Departamento de Exámenes Profesionales  
de la FES Cuautitlán.

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el: Trabajo de Tesis.

Desarrollo de una formulación para elaborar una "Barra nutritiva" de chia y amaranto.

Que presenta la pasante: Shanti Aguayo Gutiérrez

Con número de cuenta: 312100281 para obtener el Título de la carrera: Ingeniería en Alimentos

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 10 de Septiembre de 2019.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Dra. María del Carmen Valderrama Bravo	
VOCAL	I.A. Miriam Alvarez Velasco	
SECRETARIO	Dr. Enrique Martínez Manrique	
1er. SUPLENTE	M.C.E. Sandra Margarita Rueda Enriquez	
2do. SUPLENTE	I.A. Alberto Solís Díaz	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

LMCF/lmcf\*

“You never know how strong you are until being strong is the only choice you have.”-Bob Marley

“Uno no sabe lo fuerte que es, hasta que ser fuerte es la única opción.”

-Bob Marley

**Agradecimientos**

# AGRADECIMIENTOS

A la **Universidad Nacional Autónoma de México**, por brindarme desde el Bachillerato hasta la Universidad su apoyo, el cual fue fundamental para que mi educación desde ese entonces pudiera ser de tan alto nivel y por enseñarme con su ejemplo la importancia del ser autónomo y mexicano.

A la **Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán**, porque gracias a ella y en ella estudié Ingeniería en alimentos y un diplomado: “Innovando para crear tu propia empresa”, así como por permitirme desde hace más de 10 años realizar actividades extra como clases de yoga, inglés, italiano y temazcales.

A mi asesor **Dr. Enrique Martínez Manrique**, por aceptarme en su laboratorio desde el primer día en el que me presenté, también por exigirme tanto desde ese día y así hacer que mi formación y educación se fortaleciera aún más de lo que era. Pero sobre todo, le agradezco enormemente el siempre haber confiado en mi potencial para realizar cualquier proyecto.

A mi co-asesora **I.A. Verónica Jiménez Vera**, también por aceptarme en el laboratorio y fortalecer mi formación con las reglas que tienen en LABIFIGRAS, por tolerarme de lunes a viernes y por siempre apoyarme cuando la necesité. Valoro muchísimo la paciencia que me tuvo siempre.

A mis sinodales, **Dra. Ma. del Carmen Valderrama**, por todo el apoyo que me ha brindado desde que fue mi maestra, la admiro mucho, es una gran maestra y persona. A la **I.A. Miriam Álvarez Velasco**, gracias por todos sus consejos, apoyo y sabiduría, por su carisma y alegría que siempre me ha contagiado. A la **M.C. E. Sandra Margarita Rueda Enríquez**, porque aunque no fui su alumna, desde que tuve el placer de conocerla, me brindó su apoyo y paciencia, también gracias por su buena actitud hacia mí siempre. Al **I.A. Alberto Sólis Díaz**, igualmente por todo el apoyo que recibí de usted desde que me impartió clases, por toda la sabiduría y conocimiento, por último por contagiarme su amor por los alimentos desde el ámbito sensorial y de innovación.

A mi familia, por ser el pilar de mi vida en todos los ámbitos, por los valores tan lindos que me heredaron, por todo el amor, comprensión, apoyo, sabiduría, empatía hacia mí y por ayudarme a disfrutar esta hermosa vida que juntos hemos construido. Los amo como a nadie.

A Dios, por darme todas las herramientas para llegar hasta donde ahora estoy, por la familia y amigos que ha puesto en mi camino y por nunca abandonarme. “Tú eres yo, yo soy tú”.

“Evita herir el corazón de las personas, el veneno del dolor que causes a otros retornará a ti. Debes ser sincero y verdadero en todas tus actuaciones. La honestidad es la gran herencia que dejaremos al universo”.

- Proverbio de los indios norteamericanos

“La consideración con los demás no solo está en el hecho de ser cautelosos a la hora de emitir juicios. También algunos proverbios hacen un llamado directo a evitar hacerles daño a los demás, porque finalmente es un daño que uno se hace a sí mismo.” (Sánchez, E. 2017).

**Dedicatorias**

# DEDICATORIAS

*En la vida he aprendido que una de las virtudes más importantes que puede tener un humano, es el ser AGRADECIDO, por eso este trabajo se lo dedico a quiénes han sido pilares en mi educación y formación. Los amo con todo mí ser.*

A **Lydia Gutiérrez**, por ser “mi cómplice y mi todo”, por ser esa persona en la que pienso inmediatamente cuando tengo una buena o mala noticia, quien me ha dado todo incondicionalmente, quién ha estado en mis peores y mejores momentos y a quién junto con Dios, le debo el estar a un paso de ser una Ingeniera en alimentos, gracias por ver por mi educación y la de mi hermano desde que inicio y hacer todo porque ésta fuera de calidad. Te amo y admiro como a ningún otro ser.

A **José Manuel Aguayo**, porque a pesar de que este logro no era para tí indispensable, has respetado y apoyado cada una de las decisiones que he tomado. Gracias por hacer de mí una mejor humana y por ser no solo mi padre sino también mi mejor amigo y estar también en cada paso que doy. Eres el mejor padre que me pudo haber tocado, siempre lo he dicho: “Sin ti, no sería Shanti”. También por darme todo lo que me has dado, sea poco o mucho sé que lo has hecho con mucho amor e ilusión de verme llegar hasta donde yo quiero. Te amo desde el primer día en que llegué a este mundo, siempre lo haré incondicionalmente.

A **Alfonso**, por ser un ejemplo a seguir en todo, eres más que un tío para mí, te quiero, admiro y respeto muchísimo. **Martha**, también por ser un gran ejemplo para mí, por todo el apoyo y amor que me has dado, eres una guerrera y quiero tenerte siempre cerca para aprender muchísimo de ti. **Arturo**, por siempre ver por mí bien y el de mi familia, obviamente eres ya parte de ella. También eres un gran ejemplo para mí, te quiero mucho. **Citlalli**, sé que a veces somos muy diferentes, pero sé que siempre has querido lo mejor para mí, te quiero y agradezco el que siempre estás para mí, sin ti mi época universitaria no hubiera sido la misma.

A mis amados hermanos, les agradezco a los tres el ser también “mis cómplices y mi todo”. **Manuel Aguayo**, gracias por ser incondicional para mí, por amarme como lo haces, por cocinarme o convidarme de tu comida cuando no tengo ganas de cocinar, eres un excelente chef, músico y hermano. Siempre he sabido que serás muy grande en lo que sea que elijas ser, te amo mucho. **Zahafvne G. Aguayo**, mi tan adorado hermanito, gracias por ser mi incondicional desde el primer día en que te conocí, de verdad agradezco que siempre me apoyes y animes a hacer lo que me apasiona, gracias a ti descubrí por primera vez el maravilloso mundo de la gastronomía, te amo muchísimo. **Lizhete Aguayo**, hermana hermosa, gracias por ser uno de mis ejemplos a seguir, por enseñarme el valor de ser tú misma y el amor

incondicional por los animales, gracias por siempre estar para mí, por apoyarme cuando te he necesitado y por todo el amor y comprensión que siempre me has dado. Te amo muchísimo.

A **Emmanuel Catalán**, el ser más bello que me han mandado, gracias por también siempre ser mi cómplice, por todo el amor, apoyo y comprensión incondicional que me has dado desde que te conozco. Eres un pilar muy importante en mí vida, gracias a ti mis metas ahora son más ambiciosas y he vuelto a creer en mis sueños de niña, siempre estaré agradecida por ayudarme en esta etapa de mi vida y espero que este sólo sea el inicio de una hermosa, sana y fuerte relación. Te amo como a ningún otro ser que no sea de mi familia, eres mágico y tienes un potencial enorme en todo lo que haces.

A **Jorge Cozatl**, por ser mi más grande inspiración para siempre seguir mis sueños en verdad eres una parte fundamental en mi educación y formación. Gracias a ti hoy soy una persona, responsable y apasionada por lo que hago. Te quiero, respeto y admiro muchísimo y siempre.

A **los Aguayo**, por ser ese lado de mi familia que me dio alegría, diversión, confianza y mucho amor. Valoro mucho su existencia y esencia. Los amo mucho.

A **los Gutiérrez**, por ser el otro lado de mi familia que me dio también alegría, apoyo, consejos y mucho amor. Son una inspiración y parte fundamental para mi educación. También los amo mucho.

A **mis más cercanos amigos**, por ser mis pilares cuando yo sentía que no podía seguir en este camino, gracias por toda su paciencia, cariño, comprensión y empatía hacia mí siempre. Por escuchar o presenciar mis logros y fracasos, por todos sus sabios consejos. Y sobre todo por su lealtad y confianza. Los amo con todo mi corazón, sin ustedes este viaje definitivamente no hubiera sido tan feliz y divertido.





*EL PRESENTE TRABAJO SE  
REALIZÓ EN EL LABORATORIO  
DE BIOQUÍMICA Y FISIOLOGÍA  
DE GRANOS DE LA FES-  
CUAUTITLÁN, COMO UN  
PROYECTO DEL TALLER  
MULTIDISCIPLINARIO DE  
PROCESOS TECNOLÓGICOS DE  
CEREALES CON EL APOYO DEL  
PROGRAMA*

***PIAPI-1841 -FESC***

## ÍNDICE

Resumen	1
Introducción	2
<b>Capítulo I. Antecedentes</b>	<b>4</b>
<b>1.1 Trigo</b>	<b>4</b>
1.1.1 Origen.	
1.1.2 Estructura.	5
1.1.3 Clasificación del trigo.	7
1.1.4 Composición química.	9
1.1.5 Harina de trigo.	9
1.1.6 Producción.	10
1.1.7 Productos elaborados con trigo.	10
<b>1.2 Barras de cereales</b>	<b>11</b>
1.2.1 Definición.	11
1.2.2 Consumo.	11
1.2.3 Tipos de barritas energéticas.	12
1.2.4 Composición química.	12
<b>1.3 Alimentos funcionales</b>	<b>14</b>
1.3.1 Definición Alimentos funcionales.	14
1.3.2 Ejemplo de alimentos funcionales.	14
<b>1.3.2.1 Almidón como alimento funcional</b>	<b>14</b>
<b>1.3.2.2 Chía como alimento funcional</b>	<b>16</b>
<b>1.3.2.3 Amaranto como alimento funcional</b>	<b>16</b>
<b>1.3.2.4 Arándano como alimento funcional</b>	<b>17</b>
<b>1.4 Chía</b>	<b>17</b>
1.4.1 Origen.	17
1.4.2 Características botánicas.	18
1.4.3 Composición química.	18
1.4.4 Producción.	19
1.4.5 Harina de chía.	20
1.4.6 Productos elaborados con Chía.	21
<b>1.5 Amaranto</b>	<b>22</b>
1.5.1 Origen.	22
1.5.2 Características botánicas y clasificación.	22

1.5.3 Composición química.	24
1.5.4 Producción.	25
1.5.5 Harina de amaranto.	26
1.5.6 Productos elaborados con amaranto.	27
<b>1.6 Arándano</b>	<b>28</b>
1.6.1 Origen	28
1.6.2 Composición química.	28
1.6.3 Producción.	31
<b>Capitulo II. Desarrollo Experimental</b>	<b>32</b>
<b>2.1 Objetivos</b>	<b>32</b>
2.1.1 Objetivo general.	32
2.1.1.1 Objetivos Particulares.	32
<b>2.2 Cuadro Metodológico</b>	<b>33</b>
<b>2.3 Materiales y métodos</b>	<b>34</b>
2.3.1 Material biológico.	34
2.3.2 Preparación de la muestra.	34
2.3.3 Análisis químico proximal de la materia prima.	34
2.3.3.1 Determinación de humedad.	34
2.3.3.2 Determinación de grasa.	35
2.3.3.3 Determinación de proteínas.	35
2.3.3.4 Determinación de cenizas.	36
2.3.3.5 Determinación de fibra.	37
2.3.3.6 Determinación de carbohidratos.	37
<b>2.4 Elaboración de barra nutritiva</b>	<b>38</b>
2.4.1 Diagrama de proceso.	39
2.4.2 Preparación de formulaciones.	42
<b>2.5 Evaluación sensorial</b>	<b>42</b>
2.5.1 Prueba de preferencia.	42
<b>2.6 Calidad nutrimental de la barra nutritiva</b>	<b>43</b>
2.6.1 Análisis químico proximal de muestra.	43
2.6.2 Cuantificación de triptófano.	43
2.6.3 Digestibilidad <i>in vitro</i> .	43
2.6.4 Cuantificación de almidón total.	44
2.6.5 Relación de Eficiencia Proteica.	45
2.6.6 Digestibilidad <i>in vivo</i> .	46

<b>2.7 Calidad funcional de la barra nutritiva</b>	47
2.7.1 Fibra dietética.	47
2.7.2 Determinación de compuestos fenólicos.	48
2.7.3 Determinación de capacidad antioxidante.	49
2.7.4 Cuantificación de almidón resistente.	50
2.7.5 Cuantificación de almidón digerible.	51
<b>2.8 Evaluación sensorial</b>	51
2.8.1 Prueba de nivel de agrado.	51
<b>2.9 Análisis estadístico</b>	51
<b>Capítulo III. Resultados y discusión</b>	53
<b>3.1 Análisis químico proximal de la materia prima.</b>	53
<b>3.2 Prueba de preferencia.</b>	54
<b>3.3 A.Q.P. de la barra comercial, control y seleccionada</b>	54
<b>3.4 Calidad nutrimental de la barra nutritiva.</b>	56
<b>3.4.1 Cuantificación de triptófano, digestibilidad in vitro, cuantificación de almidón total.</b>	56
<b>3.4.2 Relación de Eficiencia Proteica.</b>	57
<b>3.4.3 Digestibilidad in vivo.</b>	58
<b>3.5 Calidad funcional de la barra nutritiva</b>	59
<b>3.5.1 Fibra dietética, determinación de compuestos fenólicos, determinación de capacidad antioxidante, cuantificación de almidón resistente.</b>	59
<b>3.6 Prueba de nivel de agrado</b>	60
<b>Conclusiones</b>	62
<b>Recomendaciones</b>	63
<b>Referencias</b>	64
<b>Anexos</b>	73
Anexo 1. Prueba sensorial de nivel de agrado	73
Anexo 2. Prueba de nivel de agrado	73
Anexo 3. Funcionalidad de los ácidos grasos insaturados	74
Anexo 4. Ejemplos de barritas que se venden en México y su composición química	75

## Resumen

Las barras de cereales comerciales, elaboradas principalmente con harina refinada de trigo, en los últimos años se han incluido en la dieta de la gente llamándoles “snacks” y con esto ha aumentado su consumo, pero su calidad nutrimental es baja con proteínas de bajo valor biológico y su aporte principal es energético. Para mejorar su valor nutrimental se buscó sustituir la harina de trigo por harina de amaranto y chía y también añadirlos como granos en la barra, siendo estos considerados de alto valor nutrimental, pero son poco consumidos de manera directa y en menor proporción en alimentos procesados. Además, estadísticas en México muestran que existen altos índices en problemas de salud debido a los malos hábitos alimenticios entre ellos la obesidad y el sobrepeso. Las barras nutritivas ofrecen al mercado un producto que ayude a las personas a cambiar sus hábitos alimenticios y aumentar el consumo de semillas con alto contenido nutricional. Con base en lo anterior se desarrolló una formulación de una barra nutritiva con chía y amaranto para incrementar su calidad nutrimental, funcional y aceptación por el consumidor, para esto se propusieron cuatro formulaciones que incluyeron diferentes porcentajes de chía y amaranto y para poder elegir la mejor se realizó una prueba sensorial de preferencia, a la muestra seleccionada se le realizó un análisis químico proximal; se evaluó su calidad nutrimental mediante la cuantificación de triptófano, digestibilidad *in vitro*, cuantificación de almidón total y digerible, relación de eficiencia proteica y digestibilidad *in vivo*. También se evaluaron sus ingredientes funcionales como fibra dietética, compuestos fenólicos, capacidad antioxidante y cuantificación de almidón resistente. Por último, se realizó una prueba de nivel de agrado para determinar la aceptación del producto por parte de los consumidores. Los resultados mostraron que la mejor formulación fue 20% de chía 20% de amaranto y 60 % trigo y esta tuvo el doble de proteína que la barra comercial y casi el doble que la barra control, así como mayor cantidad de cenizas y fibra. La calidad nutrimental de la barra seleccionada fue mejor que la barra comercial por contener menor cantidad de almidón total, excelente digestibilidad *in vitro* y una digestibilidad *in vivo* aceptable al ser similar a la caseína, cantidad de triptófano igual para las barras comercial y seleccionada y menor para la control, finalmente una eficiencia proteica de la misma calidad que la caseína siendo esta la proteína de referencian. La calidad funcional de la barra seleccionada fue mejor que las barras comercial y control con más del doble de fibra dietética que la barra comercial y control, capacidad antioxidante 11 veces mayor que la barra control y mayor que la comercial, para fenoles 2 veces mayor que la comercial y más del doble que la control, menos cantidad de almidón resistente que las barras comercial y control y menor cantidad de almidón digerible que la barra control y casi igual que la comercial. Y finalmente obtuvo una calificación de 7.25 con 71% de aceptación.

## INTRODUCCIÓN

Las barras de cereales son productos obtenidos por la compresión de cereales tostados, que pueden contener frutos secos oleaginosas, semillas y jarabes de azúcar usados como agentes ligantes (Olivera *et al.*, 2015).

En la actualidad el consumo, fabricación y diversificación de las barras energéticas se ha incrementado notablemente debido a lo práctico que resulta ingerirlas como desayuno, complemento alimenticio o como colación entre comidas (Iñárritu, 2001). Sin embargo, no todas las barras disponibles en el mercado poseen un alto valor nutricional, ya que la mayoría de ellas se desarrollaron para obtener características tecnológicas y organolépticas aceptables, prolongada vida útil a temperatura ambiente y formulación en base a ingredientes de bajo costo (Olivera *et al.*, 2015).

Trabajos recientes muestran que en la mayoría de las barras comerciales su promedio de contenido de proteínas es de 5.5% y su calidad proteica sería pobre ya que provienen principalmente de harina refinada de trigo (Olivera, 2009 y Centro de cereales y oleaginosas, 2011).

Por otra parte, el consumo de cereales, leguminosas, semillas y frutos secos combinados en barras energéticas, es benéfico para la salud ya que el cereal cubre las deficiencias de aminoácidos azufrados de las leguminosas y éstas cubren la deficiencia de lisina o triptófano del cereal, además hay otros compuestos que son una buena fuente de fibra dietética, ricos en omega 3 y 6 y antioxidantes como son las antocianinas y compuestos polifenólicos los cuales debido a sus propiedades antioxidantes, previenen la degeneración de las células protegiéndolas de los efectos de radicales libres (Silva, 2007), la correcta mezcla de estos componentes en una barra forma un buen complemento nutricional (Bourges, 2000). Una de estas semillas que pueden combinarse con cereales es la chía, que se consume como grano, y de manera aislada su aceite y mucílago. Los antioxidantes presentes en la chía son de naturaleza fenólica y pueden estar de forma libre o unida a azúcares (Valdivia-López y Tecante, 2015). También, las semillas de chía son una importante fuente de nutrientes ya que es rica en proteínas, fibra y ácidos grasos esenciales (Jiménez, *et al.*, 2013).

El amaranto también es otra de estas semillas que son una fuente importante de proteína, calcio, hierro y otros nutrientes. La composición de la proteína del amaranto se asemeja a la de la leche y se acerca mucho a la proteína ideal propuesta por la FAO para la alimentación humana (FAO, 2018 A). Tiene un contenido importante de lisina aminoácido esencial en la alimentación humana y que comúnmente es limitado en otros cereales. Además, el amaranto puede aportar cantidades importantes de fibra dietética y vitamina E y B, puede ser una fuente importante de niacina así como fósforo y magnesio (Huerta-Ocampo y Barba de la Rosa, 2012).

Por otra parte, actualmente cada vez más personas se preocupan por informarse sobre los nutrimentos que contienen los alimentos presentes en su dieta, mostrando una tendencia hacia el consumo de productos saludables como son hierbas, semillas, frutas, raíces y algas que contienen una mayor cantidad de nutrimentos en pequeñas cantidades de alimento y que apoyan a nuestra alimentación de una manera segura y fácil, o los alimentos funcionales que son alimentos que pueden aportar un beneficio a la salud más allá de una nutrición básica propia del alimento que estemos consumiendo (Fisiostar, 2017). Además, están los consumidores que no tienen tiempo o interés en informarse sobre la calidad nutrimental de los alimentos que consumen, y su elección se basa en lo fácil y rápido de preparar y barato que sea el alimento (Muns, 2017). Para estos dos amplios sectores de la sociedad, está dirigido este proyecto, pues se pretende desarrollar una barra “nutritiva” que contengan chía y amaranto, con la finalidad de mejorar su calidad nutrimental y funcional. Por lo tanto, se evaluarán diferentes formulaciones con harinas de trigo, chía y amaranto para seleccionar la mejor mediante una prueba sensorial de preferencia; a la barra nutritiva que se elija, así como a una barra control elaborada solo con trigo y a una barra comercial se les determinará su calidad química mediante un análisis químico proximal, así como, su calidad nutrimental (cuantificación de triptófano, digestibilidad *in vitro* e *in vivo*, Relación de Eficiencia Proteica, almidón total) y su calidad funcional (fibra dietética, capacidad antioxidante, contenido de fenoles, almidón resistente) para compararlas. Al final, a la barra seleccionada se le realizará una prueba de nivel de agrado.

# Capítulo I. Antecedentes

## 1.1 Trigo

### 1.1.1 Origen

**La palabra “trigo” proviene del vocablo latino *triticum***, que significa “quebrado”, “triturado” o “trillado”, haciendo referencia a la actividad que se debe realizar para separar el grano de trigo de la cascarilla que lo recubre. El trigo, es uno de los tres granos más cultivados mundialmente, junto al maíz y el arroz, y el más consumido por el hombre en la civilización occidental desde la antigüedad (Serna, 2001).

El trigo es una planta no perenne que pertenece a la familia de las gramíneas produce un conjunto de frutos modificados que se fusionan con su sola semilla, en una espiga terminal y puede ser silvestre o cultivada. Su origen data de la civilización mesopotámica, entre los valles de los ríos Tigris y Éufrates en el Medio Oriente. Fueron los egipcios, quienes descubrieron la fermentación del trigo y lo utilizaron en la elaboración de alimentos.

De acuerdo con textos académicos, hace aproximadamente 8 milenios ocurrieron cruces y mutaciones en trigos silvestres, lo que ocasionó un tipo de planta con tres o más juegos de cromosomas, por lo que con estos componentes genómicos, esta gramínea comenzó a cultivarse; este acontecimiento es considerado la base de la revolución neolítica, ya que transformó la vida de la humanidad.

A partir de la revolución neolítica en el Oriente próximo, el trigo comenzó a cultivarse convirtiéndose en uno de los alimentos básicos. Una gran parte de alimentos se hacen a partir del trigo y contribuye con entre el 10 y 20% de la toma calórica diaria.

De sus granos molidos se saca la harina. Existen dos tipos de harina: a) Tipo A o panificable con tres grados de calidad (común o estándar, fina y extrafina) y b) Tipo B o sémolas (no panificables), en donde se incluyen las harinas para elaborar pastas y macarrones. El destino principal de la harina es la elaboración de pan y en menor medida la fabricación de pasteles, galletas y pastas (Angus, *et al.*, 2011)

### 1.1.2 Estructura

#### ❖ Pericarpio

Pericarpio, es la envoltura del grano maduro de trigo, el conjunto del pericarpio es fino, encierra a la semilla y está compuesto de varias capas en epicarpio, mesocarpio y endocarpio.

Las funciones primordiales del pericarpio son proteger el grano contra agentes bióticos externos (insectos, microorganismos), impedir la pérdida de humedad y conducir y distribuir el agua y otros nutrientes durante la germinación.



El pericarpio constituye 5-7% del peso del grano. Está caracterizado por contener alto contenido de fibra y cenizas y carece totalmente de almidón.

❖ Capa de Aleurona.

La capa de aleurona juega un papel muy importante durante la germinación porque sintetiza las enzimas indispensables para lograr desdoblar a los compuestos del endospermo. En el caso específico del trigo, la capa de aleurona se considera como parte del salvado, y se remueve durante el proceso de molienda seca para producir harinas blancas o refinadas. Los llamados trigos blancos han sido mejorados para bajar la cantidad de pigmentos en la capa de aleurona sobre todo para usarse en la producción de panes integrales con mejor color y sabor.

❖ Testa (cubierta de la semilla).

La testa está firmemente adherida a la parte ventral de las células tubulares. Consiste en uno o dos estratos de células. El color de algunos granos depende en parte de la existencia de pigmentos en estas capas celulares. Por ejemplo, testa del trigo rojo invernal pueden estar fuertemente pigmentada, modificando sustancialmente el color y/o apariencia del grano. Cuando la testa está presente y contiene el gen dispersador S en forma dominante contiene taninos condensados, los cuales producen coloración café o marrón en el grano. Los taninos producen sabores amargos o astringentes, por lo que las semillas son más resistente al ataque de pájaros. Otra ventaja es que el gran contenido de taninos es menos susceptible a los hongos y a germinar en la panícula. Desafortunadamente los taninos disminuyen la calidad nutricional porque baja la digestibilidad de la proteína y tienen la capacidad de ligar a enzimas digestivas disminuyendo notablemente su capacidad hidrolítica.

❖ Endospermo

La parte feculenta del endospermo de trigo (llamada «endospermo») está formada por células de paredes delgadas que varían de tamaño, forma y composición en las diferentes partes del endospermo. Se compone principalmente de almidón y proteína. Las paredes de las células del endospermo de trigo están constituidas principalmente por pentosanos (polímeros de azúcares pentosas) en un 75% en forma de arabinoxilana.

- Endospermo periférico

El endospermo periférico se caracteriza por su alto contenido proteico y por contener unidades de almidón pequeñas, angulares y compactadas. Esta capa ha sido asociada con la baja en la tasa de digestibilidad de nutrientes. Algunos procesos como el laminado, tratamiento térmico con vapor, micronización y

explosión o reventado tienen como objetivo principal destruir o modificar esta capa de tal manera que las enzimas digestivas tengan un mejor acceso al sustrato.

- Endospermo vítreo

Las células maduras del endospermo maduro contienen básicamente cuatro estructuras: paredes celulares, gránulos de almidón matriz y cuerpos proteicos. Las paredes celulares son delgadas y encierran a los demás componentes. En ellas hay un alto contenido de fibra insoluble (celulosa y betaglucanos) y soluble (pentosanos). Los gránulos de almidón ocupan la mayoría del espacio celular y están rodeados y separados por la matriz proteica que sirve para mantener la estructura interna de la célula. Los cuerpos proteicos son redondos y muy pequeños si se comparan con las unidades de almidón. En las células del endospermo vítreo no existen espacios de aire y los gránulos de almidón están bien recubiertos por la matriz proteica, por lo que adquieren formas angulares (poligonales). Esta estructura tiene una apariencia vítrea o traslúcida debido a que la luz no es difractada cuando pasa a través del endospermo.

- Endospermo almidonoso

El endospermo almidonado se encuentra encerrado por el vítreo, es decir, se encuentra en la parte más céntrica del grano. Contiene las mismas estructuras del endospermo vítreo, pero las unidades de almidón son de mayor tamaño y menos angulares; la asociación entre los gránulos de almidón y la matriz proteica es más débil y las unidades del almidón tienen menos incrustaciones de los cuerpos proteicos, las paredes celulares son más delgadas y en general tienen un menor contenido de proteína que el anterior. En otras palabras, estas estructuras no están aprisionadas como en el endospermo vítreo. Esto en virtud de la presencia de minúsculos espacios de aire que dan al endospermo su apariencia almidonosa u opaca

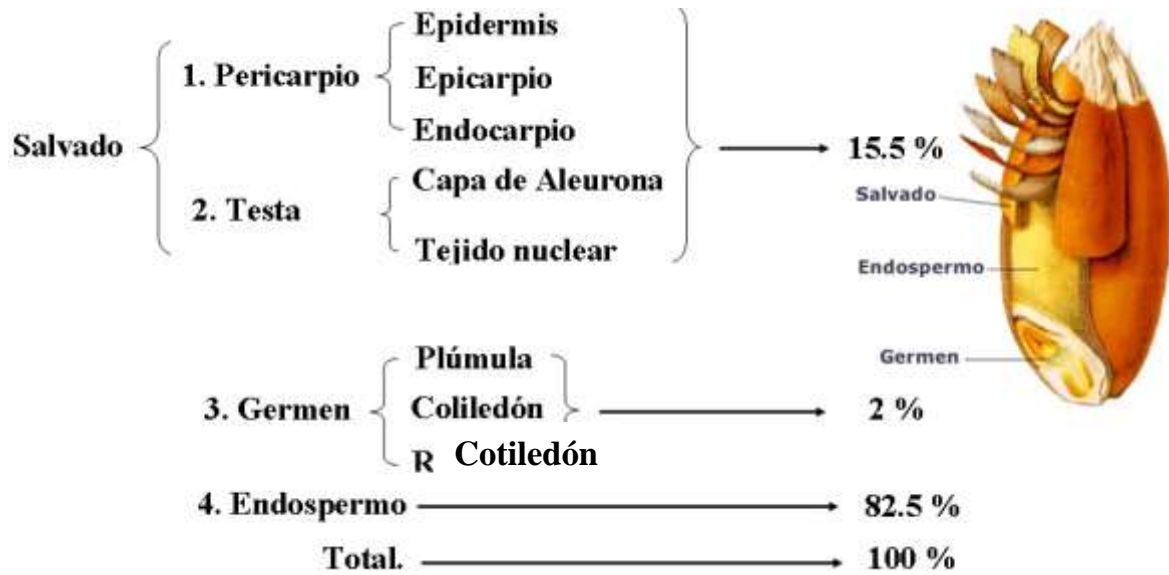
- Germen (embrión)

El germen se caracteriza por carecer de almidón y por su alto contenido de aceite, proteína, azúcares solubles y cenizas. Además, es alto en vitaminas B y E y genera la mayoría de las enzimas para el proceso de germinación.

- Escutelo

Esta estructura se encuentra adherida o fusionada al endospermo. Este tejido y su epitelio son morfológicamente el único cotiledón de las gramíneas. Sirve como almacén de nutrientes y como puente de comunicación entre la plántula o embrión en desarrollo y el gran almacén de nutrientes del endospermo. El escutelo es el asiento de la mayor parte de la vitamina B (Garza, 2011).

En la figura 1 se muestra la estructura del grano de trigo con las partes que lo componen como es el salvado, endospermo y germen.



**Figura 1.** Estructura del grano de trigo

**Fuente:** Martínez-Manrique y Jiménez-Vera, 2013

### 1.1.3 Clasificación del trigo

Los trigos en México se clasifican sobre la base de las propiedades del gluten del trigo, esto a diferencia de Estados Unidos y Canadá en donde los trigos se clasifican por sus hábitos de crecimiento. Los principales tipos de trigo que se cultivan en México, de acuerdo a su tipo de gluten, se dividen en 5 grandes grupos (Tabla 1), siendo los de mayor demanda los del grupo 1 y 3; sin embargo hay mayor crecimiento en la producción de trigos cristalinos (CANIMOLT, 2005).

**Tabla 1.** Clasificación de trigos con base en la fuerza del gluten

Grupo 1	Fuerte (muy elástico) y extensible.	Duro a semiduro.	Lo utiliza la industria mecanizada de la panificación, produciendo principalmente harina para pan de caja. Se le utiliza como mejorador de trigos débiles.
Grupo 2	Medio fuerte (elástico) y extensible.	Duro a semiduro.	Es para la industria del pan hecho a mano o semi-mecanizado; se le utiliza como mejorador de trigos débiles o trigos con gluten muy fuerte.
Grupo 3	Débil (ligeramente elástico) y extensible.	Suave (blando). No producen harinas panificables por sí solos; requieren mezclarse con trigos Grupo 1 y 2.	Se utilizan para la industria galletera y elaboración de tortillas, buñuelos y otros; aunque puede utilizarse en la panificación artesanal. Como corrector de trigos con gluten muy fuerte.
Grupo 4	Medio y tenaz (no extensible)	Duro a Semiduro.	No es panificable por su alta tenacidad. Se mezcla con trigos fuertes. Es utilizado para la industria de la repostería (pastelera y galletera).
Grupo 5	Fuerte, tenaz y corto (no extensible).	Es un grano muy duro y cristalino. Endospermo con alto contenido de pigmento amarillo (carotenoides)	No es panificable. Se usa para la industria de pastas alimenticias (espagueti, macarrones, sopas secas, etc.).

Fuente: CANIMOLT, 2005

### 1.1.4 Composición química

El grano maduro del trigo está formado por: hidratos de carbono, (fibra cruda, almidón, maltosa, sucrosa, glucosa, melibiosa, pentosanos, galactosa, rafinosa), compuestos nitrogenados (principalmente proteínas: Albúmina, globulina, prolamina, residuo y gluteínas), lípidos (ácidos grasos: mirístico, palmítico, esteárico, palmitooleico, oléico, linoléico,) sustancias minerales (K, P, S, Cl) y agua junto con pequeñas cantidades de vitaminas (inositol, colina y del complejo B), enzimas ( $\beta$ -amilasa y glucosidasas) y otras sustancias como pigmentos (Tabla 2).

Estos nutrientes se encuentran distribuidos en las diversas áreas del grano de trigo, y algunos se concentran en regiones determinadas. El almidón está presente únicamente en el endospermo, la fibra cruda está reducida, casi exclusivamente al salvado y la proteína se encuentra por todo el grano. Aproximadamente la mitad de los lípidos totales se encuentran en el endospermo, la quinta parte en el germen y el resto en el salvado, pero la aleurona es más rica que el pericarpio y testa. Más de la mitad de las sustancias minerales totales están presentes en el pericarpio, testa y aleurona.

**Tabla 2** Composición química del grano de trigo

Cereal	Humedad (%)	Proteína (%)	CHOS (%)	Lípidos (%)	Fibra (%)	Cenizas (%)
Trigo	12.5	12.0	68.0	1.8	2.2	1.7

**Fuente:** Martínez-Manrique y Jiménez-Vera, 2013

### 1.1.5 Harina de trigo.

Las harinas refinadas (Tabla 3) y sus derivados son muy pobres en fibra, poseen menos proteínas, menos vitaminas y también menos minerales y antioxidantes. Mientras que las harinas integrales conservan el pericarpio (la cascarilla del grano), el germen y el endospermo, a las harinas blancas se les retiran estos dos últimos componentes (Escobar *et al.*, 2009)

**Tabla 3** Composición química de harinas de trigo.

Parámetro	Harina de trigo
Humedad	9
Proteína	9.2
Lípidos	1.1
Cenizas	0.6
Fibra cruda	0.6

**Fuente:** Estévez *et al.*, 2009

### 1.1.6 Producción

El trigo es el quinto alimento que más se produjo en México en el año 2010 con 4 116 161 Toneladas. La producción de trigo hecho en México registró un incremento de 14.6 por ciento en tres años (SIAP, 2019). Con base en estadísticas del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), la dependencia reportó un crecimiento en la producción de este cultivo de casi 500 mil toneladas de 2013 a 2016, al pasar de tres millones 352 mil toneladas a tres millones 841 mil. La dependencia federal precisó que los cinco principales estados productores del cereal en el país son Sonora con 1.8 millones de toneladas, Baja California con 579 mil toneladas, Sinaloa 364 mil toneladas, Guanajuato 291 mil toneladas, y Michoacán con 209 mil toneladas. Este cereal aporta el 12.9 por ciento del volumen nacional de granos que se producen en el país, y el valor total de este producto se estima en 14 mil 167 millones de pesos, donde el 85 por ciento del volumen total se obtiene durante los meses de mayo y junio (Grupo Milenio, 2017).

### 1.1.7 Productos elaborados con trigo.

Se clasifican de acuerdo a su composición en:

- Tipo I: Pan blanco, bolillo y telera
- Tipo II: Pan de harinas integrales
- Tipo III: Productos de bollería
- Tipo IV: Pan dulce
- Tipo V: Galletas
- Tipo VI: Pastas secas
- Tipo VII: Pastel
- Tipo VIII: Pay o tarta

(NMX-F-516-1992)

## 1.2 Barras de cereales

### 1.2.1 Definición

Las barras de cereales son productos relativamente nuevos de gran aceptación general y difusión, siendo percibidos como alimentos saludables y hasta funcionales por la incorporación en su formulación de distintas variedades de granos enteros (Olivera *et al.*, 2015).

Las barras energéticas o barras de cereales son alimentos combinados, enriquecidos o fortificados, que debido a los compuestos bioactivos del producto pueden contribuir al beneficio de la salud disminuyendo el riesgo de padecer enfermedades cardiacas, cáncer, diabetes, hipertensión, etc. (Iñarritu, 2001).

### 1.2.2 Consumo

En los últimos años se ha producido un vertiginoso aumento de su producción cuadruplicándose el consumo a nivel mundial en la última década. El desarrollo de productos dirigidos a la población infantil también es estudiado, dado que las barras de cereales han sido incorporadas en las dietas de comedores escolares para la diversificación de los productos que integran desayunos y/o meriendas (Olivera *et al.*, 2015).



**Figura 2** Grafico de frecuencia de consumo de barras nutritivas en México

**Fuente:** Seale & Associates, 2017

El mercado de los alimentos con alta proteína vendió más de siete mil millones de dólares durante 2013 en todo el mundo, de los cuales la comercialización de barras significó el 11% del total, convirtiéndose en el producto más solicitado de ese nicho, señala la consultora Euromonitor. En México esta industria crece 10% anualmente; en 3 años se han logrado ventas de 7 mdd (Rivera, 2014).

### 1.2.3 Tipos de barras nutritivas

La clasificación de las barras nutritivas se puede realizar en función de diversos criterios:

- ❖ Clasificación según el nutriente principal de la barra nutritiva, que no ha de ser siempre el mayoritario:

- Barras hidrónicas: su contenido en este macronutriente alcanza la mitad de todo el producto en cuestión. Sin embargo, algunas marcas pueden llegar a contener hasta más del 70%.

- Barras proteicas: aunque su contenido hidrónico sea elevado, debido a la cantidad de proteínas que presenta es necesario que se disponga en este apartado. El porcentaje proteico oscila entre 5-20%.

- ❖ Clasificación según el ingrediente característico de la barra nutritiva (Álvarez, 2018):

- Barras de cereales: avena, muesli, trigo, maíz, arroz.
- Barras con chocolate.
- Barras con multifrutas.

### 1.2.4 Composición química de barras nutritivas

En trabajos recientes se llegó a la conclusión que mayoritariamente los productos comerciales en este caso las barras de cereales, su promedio en el contenido de proteínas es de tan solo 5,5%, y su calidad proteica es muy pobre en la medida de que provienen directamente de cereales (Tabla 4) (arroz, avena, maíz, etc.) y mayormente de harina de trigo y ésta además de no contener un alto contenido de proteína su calidad proteica es pobre ya que únicamente contiene gliadinas, gluteninas y los no perteneciente al gluten albúminas, globulinas (Olivera *et al.*, 2015).



**Tabla 4** Composición química de cereales comerciales y sus ingredientes.

Marca	Barra (g)	Ingredientes	Proteína	Grasa	Fibra
Granvita	30	Amaranto con chocolate cacahuate y pasas	2.6	7	0
	30	Granola con chips de chocolate	2	4	0.2
	30	Granola con malvaviscos y chips de chocolate	2.8	1.7	0.2
	30	Granola con miel	3	6	2
	30	Granola con chocolate	2.9	6	0.2
Kellogg's	27	Arroz tostado sabor fresa, vainilla o chocolate	1	2	0
	27	Cereal de maíz con leche sabor vainilla	3	4.5	0
	39	Trigo con fruta (guayaba, manzana, piña o fresa)	2	3	1
	25	Multicereal con manzana	1	4	1
Marinela	30	Arroz inflado con sabor chocolate o vainilla con malvaviscos y chispas de chocolate	1.6	5	0
	35	Granola con miel, chocolate y cacahuate	3.3	6.3	0
Nestlé	28	Cereal de trigo con malvavisco, vainilla y chocolate	1.6	4.1	0.1
Quaker	37	Harina de avena y trigo con manzana; fresa; plátano y fresa o frambuesa y fresa.	1	3	1
	37	Harina de avena y trigo con manzana con fresa y queso	2	3	<1
	28.3	Trigo integral y chispas de chocolate y granola	2	2	1
	28.3	Trigo integral con chocolate, malvavisco y granola.	1	2	1

Fuente: Iñarritu, 2001

Con base en las estadísticas internacionales se detecta que existen altos índices en problemas de salud debido a los malos hábitos alimenticios, causando problemas de obesidad y sobre peso debido a la falta de tiempo por el ritmo de vida en el que actualmente vivimos (Magán, & De Vicente, 2011). Las barras nutritivas ofrecen a

su mercado un producto que ayude a las personas a cambiar sus hábitos alimenticios en el consumo de productos producidos con semillas con alto contenido nutricional, que esté al alcance de todo tipo de consumidor y sea fácil de consumir. Por esta razón se eligió una barra elaborada de trigo a la cual se le añadirán semillas y harinas integrales de chía y de amaranto para aumentar su calidad nutrimental, ya que estas poseen altos contenidos proteicos, de fibra dietética, minerales, vitaminas y ácidos grasos esenciales, que son benéficos para la salud.

### **1.3 Alimentos funcionales**

#### **1.3.1 Definición Alimentos funcionales**

Son alimentos que pueden aportar un beneficio extra más allá de una nutrición básica propia del alimento que estemos consumiendo. Esto quiere decir que los alimentos funcionales son alimentos que contienen, se les modifica, potencia o adiciona alguna propiedad. Es decir a los alimentos funcionales o AF se les agregan componentes activos como la fibra, azúcares especiales, ácidos grasos, aminoácidos o vitaminas por poner algunos ejemplos.

#### **1.3.2 Ejemplo de alimentos funcionales:**

- Los cereales enriquecidos con fibra o con vitaminas
- Los yogures con probióticos
- La leche con extra de calcio
- Chía
- Amaranto
- Arándano
- Almidón

##### **1.3.2.1 Almidón como alimento funcional**

El almidón es un polisacárido

El almidón es un polisacárido que forma gránulos en numerosas plantas (cereales, castaña, leguminosas, maíz, mandioca, papa, sagú, etc.). (Larousse Cocina, 2019), este polisacárido es muy consumido por su rápida asimilación, aportando energía casi inmediata (Irene Palma – CONASI, 2018-2019). Los polisacáridos se encuentran en forma natural en muchos alimentos, pero en algunas ocasiones se añaden a otros para obtener la formulación correcta, como en el caso del almidón, la carragenina y las pectinas, que se utilizan por sus propiedades funcionales. Por su gran capacidad de retener agua, producen

partículas coloidales muy hidratadas, razón por la cual se les da el nombre de hidrocoloides (Badui, 2015).

A partir de este hidrato de carbono se obtienen distintos derivados, como la glucosa, las dextrinas y los almidones modificados, todos ellos ampliamente usados en la elaboración de un gran número de alimentos, e incluso en muchas otras industrias de productos no comestibles (Badui, 2015).

#### 1.3.2.1.1 Almidón resistente

Recientemente a la definición de la fibra dietética, se le añadió el nuevo concepto de fibra funcional, que incluye otros hidratos de carbono resistentes a la digestión de las enzimas del tracto intestinal humano, como el **almidón resistente**, la inulina, diversos oligosacáridos (fructooligosacáridos, galactooligosacáridos y xilooligosacáridos) y disacáridos como la lactulosa (azúcar sintético usado para tratar el estreñimiento), definiendo como fibra total a la suma de fibra dietética más fibra funcional (Escudero & González, 2006).

El almidón resistente es diferente: se trata de un tipo de fibra con efecto prebiótico, Según Baixauli (2007) los almidones resistentes no se hidrolizan en la etapa de la digestión humana. Esto es porque las enzimas digestivas no son capaces de penetrar el polímero lineal de amilosa que se encuentra en este tipo de almidón con alto contenido en amilosa, lo que provoca que llegue intacto al colon, donde es fermentado. En esta parte del intestino hay multitud de bacterias intestinales, deseables y no deseables, y el almidón resistente es uno de los alimentos favoritos de las bacterias beneficiosas, ejerciendo así un efecto prebiótico. Se comporta prácticamente igual que la fibra soluble, diferenciándose en su composición. La fermentación de la fibra en el colon es fundamental para mantener y desarrollar la población bacteriana y el epitelio intestinal. Los productos que resultan de la fermentación son gases (hidrógeno, anhídrido carbónico y metano), energía y ácidos grasos de cadena corta (AGCC): acetato, propionato y butirato. El almidón resistente se encuentra en varios alimentos ricos en almidones como tubérculos, cereales, plátano macho y legumbres. Se obtiene al cocer los alimentos y después enfriarlos, así de sencillo. Este tipo de almidón influye positivamente en la salud intestinal, y a su vez, ejerce potentes beneficios en el resto del organismo: disminuye los niveles de colesterol en sangre, la glucemia posprandial, el riesgo de cáncer de colon y favorece la sensibilidad a la insulina. Incluso ayuda a adelgazar: es un ingrediente muy saciante que disminuye la ingesta global sin pasar hambre y además, se movilizan grasas para obtener energía, disminuyendo su acumulación. A continuación se muestran los tipos de almidón resistente según Irene Palma - CONASI (2018-2019).

## Tipos de almidón resistente

No todos los almidones resistentes son aprovechados por las bacterias de la misma manera. Existen 4 tipos, siendo el **almidón resistente tipo 3** (AR 3) el de mayor interés:

- **AR1 o almidón inaccesible físicamente.** El que se encuentra naturalmente dentro de las paredes vegetales. Lo encontramos en granos, legumbres y semillas enteras.
- **AR2 o almidón crudo o cristalizado.** Sus fuentes son el plátano verde, la patata cruda y la harina de maíz.
- **AR3 o retrogradado.** El almidón resultante tras cocinar el alimento y enfriarlo. Por ejemplo, se puede encontrar en alimentos cocinados y fríos como patata, yuca y resto de tubérculos; en cereales como el arroz y la avena, copos de maíz y legumbres consumidas frías como el hummus.
- **AR4 o modificado químicamente.** No se encuentra naturalmente, es el que se utiliza en la industria alimentaria para espesar, como sustituto de la grasa en alimentos light, como agente gelificante, etc. Se encuentra en alimentos procesados como aliños y multitud de precocinados.

### 1.3.2.2 Chía como alimento funcional

Se trata de las semillas de una planta herbácea de Mesoamérica de la misma familia del tomillo, el romero y el orégano. En varias regiones del nuevo continente es muy común, sobre todo en regiones del centro y el caribe de América.

- **Sus beneficios:** Contiene ácidos grasos, o en otras palabras, omega 3, de hecho es considerado el vegetal con más omega 3 del mundo (Funcionalidad del omega 3, ver anexo 3). Además contienen fibra dietética y un alto contenido proteico sin colesterol, poco sodio, cero lactosa y sin gluten, por lo cual es ideal para las dietas de deportistas.

### 1.3.2.3 Amaranto como alimento funcional

Es una planta muy típica de Sudamérica de rápido crecimiento, con tallos y flores moradas, rojas y doradas que ha tomado importancia en los últimos años por ser un superalimento que no contiene gluten, siendo está una buena noticia para personas con requerimientos nutricionales muy preciso.

- **Sus beneficios:** Es perfecto para personas celiacas o con autismo, puesto que no contiene gluten. Contiene entre 13 y 18% de proteína. Tiene el doble

de calcio que la leche, reduce el colesterol y tiene decenas de vitaminas como la C y la E y antioxidantes que ayudan a depurar los desechos y a mantener el equilibrio del cuerpo.

#### 1.3.2.4 Arándano como alimento funcional

Últimamente es muy utilizado por millones de personas en el mundo gracias a sus propiedades curativas. Lo podemos asimilar en forma y color con una uva y su sabor está enfocado en preparaciones como condimentos. Es fácil de digerir y de asimilar gracias a su característica aceitosa.

- **Sus beneficios:** Es un excelente astringente; antiséptico; antidiarreico y antioxidante. Previene además las infecciones en la vía urinaria y reduce la probabilidad de padecer una enfermedad cardíaca. Como si fuera poco, también protege los dientes contra la adherencia de bacterias.

(Fisiostar, 2017)

### 1.4 Chía

#### 1.4.1 Origen

*Salvia hispanica* conocida comúnmente como chía, es una especie anual nativa de Centroamérica, de zonas montañosas del oeste y centro de México, así como de Guatemala (Di Sapio *et al.*, 2012). Se encuentra naturalmente en áreas de bosques de encino o pino-encino y se distribuye en ambientes semicálidos y templados del Eje Neovolcánico Transversal de las Sierras Madre Occidental y del sur de Chiapas, en altitudes que oscilan entre 1 400 y 2 200 m donde se ubica el centro de diversidad genética y fenotípica de chía silvestre y domesticada (Hernández y Miranda, 2008). Históricamente, esta especie se ha cultivado en ambientes tropicales como subtropicales, en regiones libres de heladas y con heladas (Capitani, 2013), específicamente en las áreas montañosas de la vertiente del océano pacífico (Beltrán y Romero, 2003).

Para los Aztecas y Mayas represento un grano importante, usado: en alimentación, preparación de pinturas, elaboración de medicinas y en uso ceremonial mediante ofrendas (Hernández y Colín, 2008). Los numerosos usos culinarios, medicinales, artísticos y religiosos convirtieron al grano y su harina en las materias primas más usadas de la época de la conquista española, formando parte de los cuatro granos más importantes: maíz (*Zea mays*), frijol (*Phaseolus vulgaris*), chía (*Salvia hispanica*) y amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*) que conformaron la base de la dieta alimentaria (Cahill, 2004).

La producción de chía y algunas otras especies en el México precolombino fueron reemplazados por cereales, que fueron introducidos por los conquistadores, por lo

cual miles de hectáreas bajo el control de las culturas con cultivos extraños para los conquistadores, colapsaron; por lo cual la mayoría de estos cayeron en desuso, ya que también cambiaron las preferencias alimenticias por los hábitos alimenticios europeos. Las especies nativas decrecieron y el cultivo de la chía quedó relegado a comunidades aisladas, en grave peligro de extinción (Ayerza y Coates, 2006).

Las semillas de chía se han reintroducido en las dietas con la finalidad de mejorar la salud humana, recomendándose por sus altos niveles de proteínas, antioxidantes, fibra dietética, vitaminas y minerales (calcio, potasio, magnesio, fósforo, selenio, cobre, hierro, manganeso, molibdeno, sodio y zinc), pero sobre todo a su alto contenido de aceite omega 3 en comparación con otras fuentes naturales conocidas hasta la fecha (Guiotto *et al.*, 2013).

#### 1.4.2 Características botánicas

*S. hispanica* L. es una planta herbácea anual, de 1 a 1.5 m de altura, con tallos ramificados de sección cuadrangular y hueco, con pubescencias cortas y blancas; hojas opuestas con bordes aserrados de 80 a 100 mm de longitud y de 40 a 60 mm de ancho, con diferentes grados de pubescencia. Las flores son hermafroditas, azules o blancas, frutos muy comúnmente indehiscentes (Capitani *et al.*, 2013) en grupos de cuatro clusas monospermas ovales de 1.5 a 2 mm de longitud y 1 a 1.2 mm de diámetro; son suaves y brillantes, de color pardo grisáceo con manchas irregulares castaño oscuro, en su mayoría y en menor proporción blanquecinas (Di Sapia *et al.*, 2012), el peso de 1 000 semillas varía entre 0.94 y 1.29 g (Bueno *et al.*, 2010).

Se define como una planta autógama, con más altos niveles de polinización cruzada en chía cultivada, que en chía silvestre, los insectos son los responsables de la polinización cruzada, obteniendo mayores rendimientos cuando existe la presencia de abejas en la zona de cultivo (Cahill, 2004). La propagación más usada en la chía es por medio de semilla (Ayerza y Coates, 2006).

#### 1.4.3 Composición química

La semilla de chía está compuesta de nutrientes, vitaminas, antioxidantes y ácidos grasos (Tabla 6). La cantidad y calidad de los componentes puede variar por el sitio de cultivo, condiciones ambientales, disponibilidad de nutrientes, año de cultivo, por el tipo de suelo y clima (Ayerza y Coates, 2009). La chía es un alimento completo y funcional por su contenido de antioxidantes (ácido clorogénico, ácido caféico, miricetina, quercetina y kaempferol), niveles seguros de metales pesados, ser libre de micotoxinas y por no contener gluten (Mohd, 2012).

La chía es la fuente vegetal con el mayor contenido de ácidos grasos esenciales, su aceite contiene propiedades físico-químicas de interés para la industria alimentaria, considerado como ingrediente alimentario potencial debido a sus

beneficios en salud humana por contener 85.4% de ácidos grasos poliinsaturados (Segura *et al.*, 2014).

**Tabla 6.** Composición de semillas de chía (100 g de porción comestible)

Humedad	6.2
Proteína	19.9
Grasa	27.9
Cenizas	4.5
Hidratos de Carbono	8.6
Fibra dietetica	33

**Fuente:** Martínez-Manrique y Jiménez-Vera., 2013

La semilla de chía por su contenido de aceite se considera como “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. Absorbe 27 veces su peso de agua (Muñoz *et al.*, 2012), por su contenido de fibra dietética soluble, ayudando a contrarrestar problemas de estreñimiento, divertículos y cáncer de colón (Alvarado, 2011). Para esto se puede ingerir de 15 a 25 g de semillas remojadas en agua quince minutos, durante 20 días (Bernal *et al.*, 2015).

#### 1.4.4 Producción

La Chía comenzó a comercializarse a nivel internacional a partir de los noventas. 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 *et al.*, 2015). Recientemente se incorporaron como productores Nicaragua y países del sudeste de Asia (Jamboonsri *et al.*, 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 la Tabla 7 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.

**Tabla 7.** Evolución de la producción de chía en México.

Año	Superficie sembrada (ha)	Volumen de producción (t)	Valor de la producción (\$)	Precio medio rural (\$ t <sup>-1</sup> )
2006	15	37.5	292500.00	7800
2007	37	45.8	343500.00	7500
2008	20	60	312000.00	5200
2009	45	33.6	177800.00	5291
2010	2329	2913.5	57240000.00	19646
2011	2750	3448.6	55477500.00	16086
2012	5097	2060.16	135512961.00	65777
2013	18155	8431.89	478425545.00	56740
2014	16721	9548.14	420701810.00	44061

Fuente: SIAP, 2016

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 la Tabla 8. 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 (SIAP, 2016).

**Tabla 8.** Distribución de producción de chía en México durante el ciclo primavera-verano 2014

Ubicación	Superficie sembrada (ha)	Producción (t)	Costo (\$ t <sup>-1</sup> )
Jalisco	15790	9058	44408
Puebla	460	391	34659
Nayarit	281	97	49793
San Luis Potosí	20	1	24000
Guanajuato	150	0	0
Aguascalientes	20	0	0
Total	16721	9548	44061

Fuente: SIAP, 2016

#### 1.4.5 Harina de chía

La harina de chía se obtiene a través del prensado en frío de la semilla chía (*Salvia hispanica*). Esta harina es rica en fibra, además de contener magnesio, fósforo, potasio, calcio, y vitaminas principalmente del grupo B (José Antonio, 2017)

La harina de “chía” puede ser total o parcialmente desgrasada mediante la utilización de solventes (Capitani *et al.*, 2009) o por vía seca (Vázquez-Ovando *et al.*, 2007). El CAA 2009 establece como harinas, las semillas que han sido sometidas a prensado para la remoción parcial o prácticamente total del aceite.



#### 1.4.6 Productos elaborados con Chía

La chía se consume comercialmente sin procesamiento alguno o adicionada como enriquecedora de productos (repostería); en México se prepara una bebida refrescante llamada “chía fresca”, también se prepara un mucílago dejando reposar la semilla en agua, para utilizarla como fibra dietética o añadirla y dar espesor a mermelada, jalea, yogur, mostaza y salsa tártara; igualmente tiene utilidad en cosmetología, en panificación (donde el gel es utilizado como sustituto de aceite) para resaltar su sabor y para cubrir la masa antes de hornear y así aumentar vida de anaquel (Busilacchi *et al.*, 2015). Es un excelente enriquecedor de productos como fórmulas para bebés, alimentos de animales, barras nutritivas, etc (Busilacchi *et al.*, 2015).

El mucílago o gel obtenido de la fibra soluble contenida en la semilla, es fuente de hidrocoloides con propiedades de: retención de agua, emulsionante, espesante, estabilizador, y es soluble en agua caliente y fría (Muñoz *et al.*, 2012). El contenido de mucílago en semillas es 3.5%. La composición del mucílago es: humedad 9.37%, proteína 29%, fibra bruta 11.42%, aceite 3.83%, cenizas 10.27% y 56.24% de extracto libre de nitrógeno (Guiotto *et al.*, 2016).

La incorporación de semillas de chía en panificación aumenta el valor nutritivo del producto debido a la proporción de ácidos grasos omega y fibra dietética proporcionados por estas, 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 y además de que contribuye a una reducción en el volumen específico y ligereza del pan (Pizarro *et al.*, 2015).

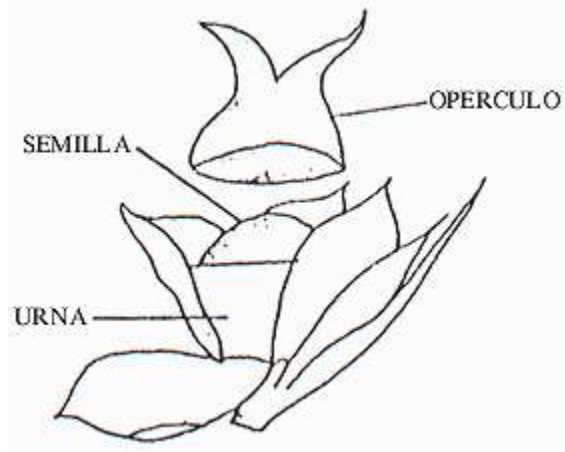
## 1.5 Amaranto

### 1.5.1 Origen

Los estudios arqueobotánicos realizados en las cuevas del valle de Tehuacán, cuya falta de humedad hizo posible la conservación de restos vegetales, permiten saber que nuestros antepasados cultivaron, desde los años 9 000 a 5 000 a. C., una mayor variedad de plantas comestibles que sus contemporáneos europeos; entre otras, diversas clases de chile, maíz, frijol, aguacate, cacahuete, tomate, ciruela, zapote, guayaba y calabaza. Otra de esas plantas es el amaranto, que en lengua náhuatl se conoce como huauhtli y actualmente recibe el nombre de alegría en diversas regiones. La especie *A. cruentus* tiene una antigüedad de 4 000 años, y sus semillas fueron halladas en grietas de la cueva de Coxcatlán, en Tehuacán, Puebla. Las muestras arqueobotánicas de *A. hypochondriacus* son de 500 años antes del descubrimiento de América (Barros & Buenrostro, 1997). Todos los amarantos encontrados en la cueva de Coxcatlán presentan semillas blancas, una característica de los amarantos cultivados como semillas de grano y sujetos a una cuidadosa selección para el color de las semillas. Las de color oscuro son universales entre las razas modernas de *A. cruentus* y *A. hypochondriacus*, que crecen como plantas tintóreas, verduras y ornamentales, y entre otras especies que son silvestres y malezas. En La Quemada, Zacatecas, se han podido identificar restos de maíz, frijol, calabaza, maguey, nopal y chile, y también se han encontrado plantas de los géneros *Chenopodium* y *Amaranthus*, aunque no puede precisarse si crecían silvestres o se cultivaban. De época posterior son los restos de inflorescencias y semillas de amaranto de color claro y oscuro, bien conservadas, que se han encontrado en Arizona, en una población habitada por los indios salado, entre los años 1 350 y 1 400. Este grupo, fusión de los indios hohokam y anasazi, practicó el cultivo de regadío con maíz, frijol, calabaza y el propio amaranto (Barros & Buenrostro, 1997).

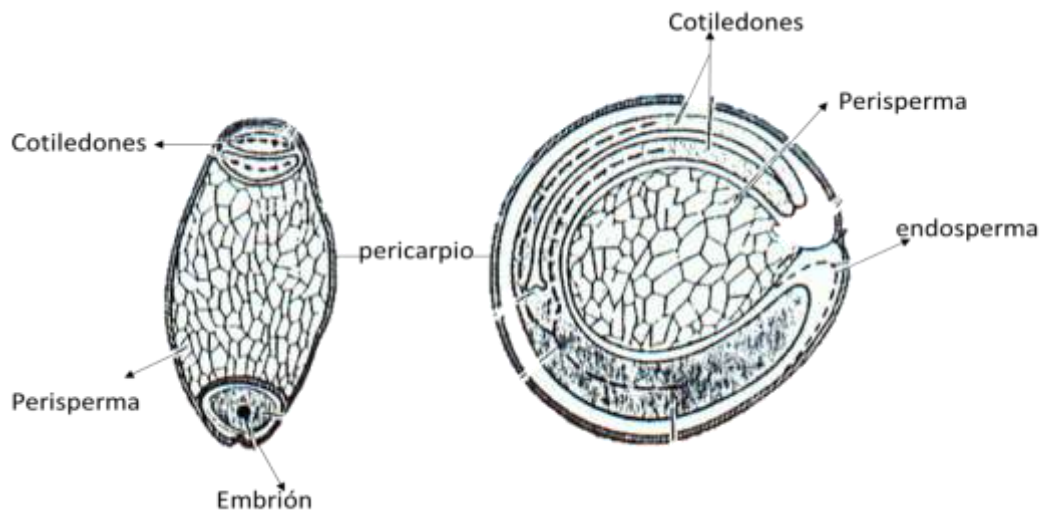
### 1.5.2 Características botánicas y clasificación

El fruto es una cápsula pequeña que botánicamente corresponde a un pixidio unilocular, la que a la madurez se abre transversalmente, dejando caer la parte superior llamada opérculo, para poner al descubierto la inferior llamada urna, donde se encuentra la semilla. Siendo dehiscente por lo que deja caer fácilmente la semilla (Sánchez, 1980). Existen algunas especies de amaranto que tienen pixidios indehiscentes, característica que puede ser transferida a cultivares comerciales de amaranto (Brenner, 1990) (Figura 3).



**Figura 3.** Pixidio unilocuar de amaranto  
**Fuente:** Brenner, 1990

La semilla es pequeña, lisa, brillante de 1-1,5 mm de diámetro, ligeramente aplanada, de color blanco, aunque existen de colores amarillentos, dorados, rojos, rosados, púrpuras y negros; el número de semillas varía de 1000 a 3000 por gramo (Nieto, 1990), las especies silvestres presentan granos de color negro con el pericarpio muy duro. En el grano se distinguen cuatro partes importantes: pericarpio que viene a ser la cubierta seminal, constituida por una capa de células muy finas, endosperma que viene a ser la segunda capa, embrión formado por los cotiledones que es la más rica en proteínas y una interna llamada perisperma rica en almidones (Irving *et al.*, 1981) (Figura 4).



**Figura 4.** Diagrama de secciones transversal (a) y longitudinal (b) de semilla de amaranto  
**Fuente:** Irving *et al.*, 1981

El amaranto es una planta perteneciente a la familia de las amarantáceas, la cual posee 70 géneros y más de 850 especies. El género *Amaranthus* tiene más de 60 especies, siendo las más importantes y conocidas las siguientes: a) *Amaranthus caudatus* L. cuyos sinónimos son: *Amaranthus edulis* Spegazzini, *Amaranthus mantegazzianus* Passerini.; b) *Amaranthus hypochondriacus* L. cuyos sinónimos son: *Amaranthus leucocarpus* S, Wats y *Amaranthus flavus* L.; c) *Amaranthus cruentus* L. cuyo sinónimo es *Amaranthus paniculatus* L.; d) *Amaranthus hybridus* L. cuyo sinónimo sería *Amaranthus quitensis* S.; e) *Amaranthus tricolor* L. cuyos sinónimos serían *Amaranthus gangeticus* L., *Amaranthus tristis* L., *Amaranthus mangostanus* L. y *Amaranthus melancholicus* L. f) *Amaranthus blitum* L. sinónimo de *Amaranthus lividus* L.; g) *Amaranthus dubius* L. y h) *Amaranthus virides* L., sinónimo de *Amaranthus gracilis* Desf. Taxonómicamente aún existen discrepancias y alguna confusión debido a su semejanza entre ellos, amplia distribución geográfica y criterios de los taxónomos; el género tiene amplia dispersión y distribución en el mundo, encontrándola en México, Estados Unidos, Guatemala, Ecuador, Perú, Bolivia, Argentina, Asia, India, Pakistán, Sri Lanka, Nepal, Birmania, Afganistán, Irán, China, Africa, Nigeria, Uganda, Oceanía, Malasia, Indonesia, etc. (FAO, 2018 B).

### 1.5.3 Composición química

El valor energético del amaranto es mayor que el de otros cereales. La semilla tiene un alto contenido de proteínas, fibra, vitaminas y minerales (Tabla 9).

**Tabla 9** Composición química de la semilla de amaranto (por 100 g de parte comestible y en base seca)

Característica	Contenido
Proteína (g)	12 - 19
Carbohidratos (g)	71,8
Lípidos (g)	6,1 - 8,1
Fibra (g)	3,5 - 5,0
Cenizas (g)	3,0 - 3,3
Energía (kcal)	391
Calcio (mg)	130 - 164
Fósforo (mg)	530
Potasio (mg)	800
Vitamina C (mg)	1,5

Fuente: Nieto, 1990

Se puede apreciar el alto valor biológico de su proteína comparándola con los cálculos químicos de la proteína del trigo (73%) y soya (74%) (Tabla 10), mientras que las proteínas de origen animal no tienen aminoácidos limitantes. Lo que destaca de la proteína del amaranto es su alto contenido en lisina comparado con otros cereales, lo que permite una excelente complementación aminoacídica con las proteínas de maíz, arroz y trigo. (FAO, 2018 B)

**Tabla 10.** Contenido de proteína del amaranto comparado a los principales cereales (g/100 g pasta comestible)

Cultivo	Proteína
Amaranto	13,6 - 18,0
Cebada	9,5 - 17,0
Maíz	9,4 - 14,2
Arroz	7,5
Trigo	14,0 - 17,0
Centeno	9,4 - 14,0

Fuente: USDA, 1963

El balance de aminoácidos está cercano al requerido para la nutrición humana y su aminoácido más limitante es la leucina que permite que la proteína de *A. caudatus* se absorba y utilice hasta el 70%, cifra que asciende hasta el 79% según las variedades. El cómputo aminoacídico es de 86% en *A. hypochondriacus* y de 77% en *A. cruentus* (Tabla 11).

#### 1.5.4 Producción

El amaranto en México es cultivado en los estados de Guerrero, México, Morelos, Tlaxcala, Puebla, Distrito Federal, Michoacán y Oaxaca. Se usa en golosinas, como complemento alimenticio, en productos dietéticos y tiene un importante potencial en la industria por sus tipos de aceites, almidones y proteínas. Se ha conservado y continúa siendo importante en la agricultura tradicional, sin embargo algunas variantes corren el riesgo de desaparecer por su cultivo limitado, sostenido por pocos agricultores y estos de edad avanzada.

El interés internacional ha favorecido mayor atención hacia su cultivo. Su conocimiento, colecta, caracterización, mejoramiento en México, se ha impulsado desde la década de 1980 y se ha continuado, aunque no de manera sostenida, hasta el presente. En los últimos años la superficie sembrada y el volumen de

producción de amaranto en México registraron durante el periodo de 1982 a 2010, tasas de crecimiento media anual (TCMA) de 8.17 y 15.34b% (SIACON-SAGARPA, 2012). En los años 1997, 1999 y 2001 se tuvieron las máximas superficies cultivadas con áreas superiores a las tres mil hectáreas. De 2004 a 2007 se estabilizó la superficie a un nivel ligeramente superior a las dos mil hectáreas; entre 2008 y 2010 la superficie alcanzó nuevamente más de tres mil hectáreas, con un promedio de 3047. Una situación similar ocurrió con la producción, donde se tuvieron incrementos variables, con un salto a partir de 1995 y un máximo histórico en 2001, con la misma tendencia a la estabilización de 2004 a 2007 de tres mil toneladas y un promedio de 4075 toneladas. El porcentaje de participación del valor de la producción del amaranto en el valor de la producción agrícola total, creció a una tasa media anual de 8.17 % durante el mismo periodo (SIACON- SAGARPA, 2012)

**Tabla 11.** Contenido y cómputo de aminoácidos de la proteína de amaranto (mg de aminoácidos / g de proteína)

Aminoácidos	Patrón de aminoácidos	<i>A. caudatus</i>	<i>A. hypochondriacus</i>	<i>A. cruentus</i>
isoleucina	28	52	39	36
leucina	66	46	57	51
lisina	58	67	55	51
metionina + cistina	25	35	47	40
fenilalanina + tirosina	63	63 (d)	73	60
treonina	34	51	36	34
triptofano	11	11	---	---
valina	35	45	45	42
histidina	19	25	25	24
cómputo aminoacídico		70	86	77

**Fuente:** a. FAO/OMS/UNU, 1985 y b. Collazos, *et al.*, 1975

### 1.5.5 Harina de amaranto

La harina de amaranto se deriva de las semillas de la planta de amaranto. De manera típica, este tipo de harina se ve en las tiendas de alimentos saludables, aunque algunas tiendas regulares también la comercializan. Su popularidad ha crecido porque no contiene gluten, y muchas personas que no lo toleran pueden cocinar con este tipo de harina debido a sus beneficios para la salud.

El uso más común del cereal de amaranto es su molienda para harina. La harina de amaranto tiene un elevado contenido de proteínas, fibras y lisina, un aminoácido esencial (Tabla 12). De acuerdo con la liga ([usaemergencysupply.com](http://usaemergencysupply.com)), sólo 150 gramos de amaranto proporciona el 150 por ciento de la ingesta diaria recomendada de proteínas para un adulto. Este cereal también cuenta con un contenido alto de fitoesteroles, los que pueden ayudar a prevenir enfermedades, según [usaemergencysupply.com](http://usaemergencysupply.com). Para los individuos sensibles o intolerantes al gluten, el amaranto es una buena harina para cocinar, ya que no lo contiene (EcoAndes, 2016).

**Tabla 12.** Análisis de la harina integral de amaranto (g/100 g)

	( 1 )	( 2 )
Humedad (%)	10,1	8,3
Proteína	17,8	14,2
Grasa	3,2	6,3
Fibra	5,1	---
Cenizas	2,1	3,0
Carbohidratos	61,7	---

**Fuente:** (1) Sánchez y Maya, 1986, (2) Rayas-Duarte *et al.*, 1996

### 1.5.6 Productos elaborados con amaranto

Los productos elaborados con amaranto por lo regular son hechos de amaranto reventado, lo cual los hace productos de menor calidad nutricional como lo es la fibra dietética. A continuación se muestran ejemplos (Tehutli Amaranto, 2015) de ellos:

- Palanqueta de Girasol y Arándano Gourmet
- Palanqueta de Girasol y Linaza Gourmet
- Palanqueta de Maguey Gourmet
- Churritos de Amaranto
- Palanqueta de Amaranto con Miel de Piloncillo, Almendras y Pasas
- Cereal Natural de Amaranto Tehutli
- Harina Natural de Amaranto
- Paquete Donitas de Amaranto
- Palanqueta de Amaranto con Miel de Piloncillo
- Palanqueta de Amaranto con Miel de Piloncillo, Almendras y Pasas
- Palanqueta de Amaranto con Miel de Piloncillo, Pepitas, Pasas y Almendras
- Palanqueta de Amaranto con Chocolate
- Trocitos de Amaranto de diversos sabores: miel, pasas y nuez ó de chocolate
- Cereal con Miel
- Galletas de Amaranto

Polvos para Preparar Malteada de Amaranto sabor Chocolate y fresa  
Mazapán de Amaranto con Cacahuete  
Granola de Amaranto con diversas semillas  
Mantecada de Amaranto  
Pasta para preparar sopa de Amaranto

## 1.6 Arándano

### 1.6.1 Definición

El arándano es una fruta que proviene de plantas arbustivas, es de piel tersa y su pulpa es jugosa y aromática de sabor agridulce. Es un fruto esférico, y dependiendo de la variedad puede variar su tamaño entre 0,7 a 1,6 cm. de diámetro, su color puede variar entre azul claro y azul oscuro. El período de desarrollo del fruto, entre la floración y la maduración de la fruta, es de 90 días para el arándano del tipo Highbush y de 120 días aproximadamente para variedades Rabbiteye, con variaciones dentro de cada variedad (Bascopé, 2013).

### 1.6.2 Origen

Los arándanos, considerados por muchos como el fruto más antiguo de la tierra, forman parte del grupo conocido como frutos del bosque, los cuales han sido utilizados desde tiempos ancestrales para el tratamiento de distintas enfermedades como la gripe, el escorbuto y las infecciones urinarias. El arándano pertenece a la familia Ericacea, género *vaccinium*, el cual engloba dos especies:

arándano rojo (*Vaccinium oxycoccus*) y arándano azul (*Vaccinium corymbosum*). El arándano que se consume en España procede básicamente de Australia, Chile, Holanda e Italia, pero cada vez toman mayor relevancia los que proceden de Asturias y Huelva, zonas en las que se dedican grandes extensiones de terreno al arándano azul desde hace aproximadamente dos décadas (Vázquez-Castilla., *et al* 2012).

### 1.6.3 Composición química.

La composición nutricional del arándano rojo se puede ver afectada por la variedad, la región donde se cultive y las prácticas culturales. Los arándanos presentan además un amplio espectro de sustancias bioactivas como vitamina C, vitamina A,  $\beta$ caroteno y compuestos fenólicos. Entre los compuestos fenólicos, los metabolitos que predominan son los flavonoides, y particularmente las antocianinas (Tabla 14) (Conejero & Pérez-Urria 2014).



**Tabla 13.** Composición nutricional del arándano rojo.

<b>Nutriente</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valor por 100 g</b>
Agua	G	87.13
Energía	Kcal	46
Proteína	G	0.39
lípidos totales(grasas)	G	0.13
Carbohidratos	G	12.2
fibra alimentaria total	g	4.6
Azúcares	g	4.4
<b>Minerales</b>		
calcio, Ca	mg	8
hierro, Fe	mg	0.25
magnesio, Mg	mg	6
fósforo, P	mg	13
potasio, K	mg	85
sodio, Na	mg	2
zinc, Zn	mg	0.1
<b>Vitaminas</b>		
vitamina C	mg	13.3
Tiamina	mg	0.12
Riboflavina	mg	0.2
Niacina	mg	0.101
ácido pantoténico	mg	0.295
vitamina B6	mg	0.057
folato total	mg	1
colina total	mg	5.5
Betaína	mg	0.2
vitamina A	mg	3
caroteno, beta	mg	36
luteína+zeaxantina	mg	91
vitamina E	mg	1.2
tocoferol, gamma	mg	0.04
vitamina K	mg	5.1

Fuente: USDA, 2018

El arándano se caracteriza por poseer un bajo valor calórico y un gran contenido en agua (más del 80% del peso total del fruto) (Tabla 13). Si bien su aporte en macronutrientes no es destacable, su calidad nutricional viene determinada por ser una buena fuente de fibra, vitaminas y minerales. Además, contiene diversos fitoquímicos, principalmente de naturaleza fenólica (Tabla 14), relacionados con

distintos parámetros de calidad organoléptica, nutricional y funcional (Vázquez-Castilla *et al.*, 2012).

**Tabla 14:** Composición de compuesto fenólicos.

Nutriente	Unidades	Valor por 100g
<b>Falvonoides</b>		
<b>Antocianidinas</b>		
cianidina	mg	46.4
delfidina	mg	7.7
malvidina	mg	0.4
pelargonidina	mg	0.3
peonidina	mg	49.2
<b>Flavan-3-oles</b>		
(+)-catequina	mg	0.4
(-)-epigallocatequina	mg	0.7
(-)-epicatequina	mg	4.7
<b>Flavonoles</b>		
kaempferol	mg	0.1
miricetina	mg	6.6
quercetina	mg	14.8
<b>Proantocianidinas</b>		
monómeros	mg	7.3
dímeros	mg	25.9
trímeros	mg	18.9
4 a 6 monómeros	mg	70.3
7 a 10 monómeros	mg	62.9
más de 10 monómeros	mg	233.5

Fuente: USDA, 2015

De acuerdo con Tristán *et al.* (2008) antocianinas provenientes de cuatro especies de arándanos silvestres: *Amelanchier alnifolia*, *Viburnum trilobum*, *Prunus virginian* y *Shepherdia argentea*, muestran propiedades hipoglucémicas. Tales frutos, con alto contenido de sustancias fitoquímicas, han sido consumidos tradicionalmente por tribus norteamericanas para la protección de enfermedades crónicas como diabetes. Finalmente, el mejoramiento de la agudeza visual y del comportamiento cognitivo como resultado del consumo de antocianinas ha sido reportado por Joseph *et al.* (1999) y ShukittHale *et al.* (2005) donde han demostrado que el comportamiento cognitivo y las funciones neuronales de ratas de laboratorio puede ser mejorado a través de suplementación nutricional con extractos de arándanos y fresas. Ohgami *et al.* (2005) suministraron extractos de frutas ricas en antocianinas a ratas con deficiencia ocular, resultando en una reducción de la inflamación y aumento de la agudeza visual. Así también, Tristan *et al.* (2005) realizaron bioensayos que demuestran que los arándanos inhiben las etapas de iniciación, promoción y progresión de la carcinogénesis. Referente a la actividad

antiinflamatoria, Wang & Mazza (2002) encontraron en extractos concentrados de antocianinas efecto inhibitorio de la producción de óxido nítrico en macrófagos activados (Aguilera-Otíz *et al.*, 2011)

#### 1.6.4 Producción.

La industria mexicana del arándano es relativamente nueva y se está convirtiendo en un actor importante de la producción mundial. Está experimentando un gran impulso dado principalmente por las ventajas comparativas y competitivas que ofrece para la producción de este cultivo. Algunas de las principales ventajas son:

- Costo de mano de obra relativamente bajo comparado con otros países productores.
- Cercanía con el mercado de exportación, principalmente EE.UU.
- Condiciones de suelo y clima óptimas para cultivo.
- Época de producción en los meses de altos precios (noviembre-marzo).

Dado lo anterior, empresas locales y extranjeras (americanas y chilenas) han decidido invertir en México para impulsar el desarrollo de esta industria. Actualmente, el 75% de la producción interna se concentra en los estados de Jalisco y Michoacán.

Con base en la información anterior, se propone realizar un proyecto para elaborar una barra nutritiva con mejor calidad nutrimental que las barras nutritivas comerciales al incorporar harinas de chíá y amaranto, ya que las barras nutritivas comerciales son hechas a base de harina de trigo, además ésta barra contendrá granos de chíá y amaranto para incrementar el beneficio al consumidor, además esta barra podría considerarse un alimento funcional por que podría ayudar a prevenir enfermedades cardiovasculares, inflamatorias, diabetes y mejorará la digestión del consumidor.

## Capítulo II. Desarrollo Experimental

### 2.1 Objetivos

#### 2.1.1 Objetivo General

Desarrollar una formulación para elaborar una barra nutritiva de chía y amaranto con características sensoriales aceptables para incrementar su calidad nutrimental y funcional.

##### 2.1.1.1 Objetivos Particulares

#### Objetivo particular 1

Determinar la composición química de la harina refinada de trigo, harinas integrales de amaranto y chía por medio de un análisis químico proximal para comparar su aporte químico en el producto final.

#### Objetivo particular 2

Elaborar barras con diferentes formulaciones variando la cantidad de harinas de chía, amaranto y trigo sin afectar sus características sensoriales para seleccionar la mejor formulación mediante una prueba de preferencia.

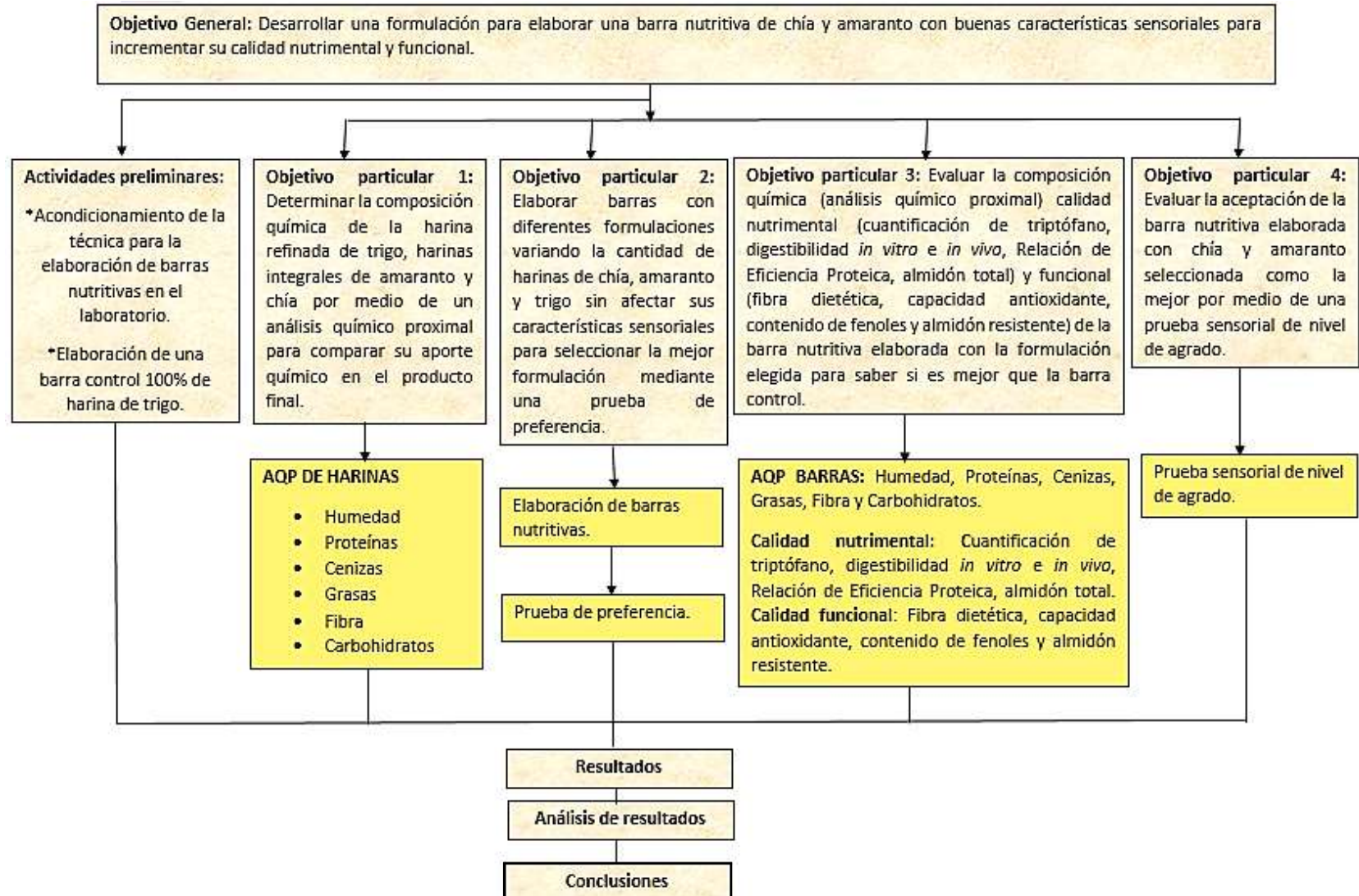
#### Objetivo particular 3

Evaluar la composición química (análisis químico proximal) calidad nutrimental (cuantificación de triptófano, digestibilidad *in vitro* e *in vivo*, Relación de Eficiencia Proteica, almidón total) y funcional (fibra dietética, capacidad antioxidante, contenido de fenoles, almidón resistente y almidón digerible) de la barra nutritiva elaborada con la formulación elegida para saber si es mejor que la barra control.

#### Objetivo particular 4

Evaluar la aceptación de la barra nutritiva elaborada con chía y amaranto seleccionada como la mejor por medio de una prueba sensorial de nivel de agrado.

## 2.2 Cuadro metodológico



## 2.3 Materiales y métodos

### 2.3.1 Material biológico

Para el desarrollo de este proyecto fue utilizada semilla de amaranto de la especie (*Amaranthus hypocondriacus*), variedad Tulyehualco cosecha 2016, granos de Chía de la especie *Salvia hispanica L.*, obtenida en el Estado de Puebla cosecha 2016 y harina refinada de trigo marca Tres estrellas®.

### 2.3.2 Preparación de la muestra

Las semillas de chía y de amaranto fueron molidas en un molino de cuchillas para café marca KRUPS GX4100; y el producto obtenido se tamizó con una malla #40 USA serie Tyler, estas harinas fueron analizadas y se utilizaron para realizar el producto, por lo que se mantuvieron guardadas en frascos de vidrio bien tapados a 4°C hasta su uso.

### 2.3.3 Análisis químico proximal de la materia prima

Se llevó a cabo el análisis químico proximal de la materia prima: harina integral de amaranto, harina integral de chía y harina refinada de trigo marca Tres estrellas®, realizando las pruebas de humedad, grasa, proteína, cenizas, fibra y carbohidratos por diferencia, siguiendo los métodos de la A.O.A.C. (2005).

#### 2.3.3.1 Determinación de humedad (925.09, AOAC 1990)

Método o técnica: Estufa.

El contenido de humedad se determinó por el método de secado por estufa, el cual se basa en la eliminación del agua por efecto del calor aplicado a la muestra. Se calculó el contenido de humedad, por la pérdida de peso en la muestra debida a la evaporación del agua por calentamiento a 130 °C en una estufa con circulación de aire forzado BLUE M C-4850-Q, hasta que ésta registró un peso constante (Figura 5) (A.O.A.C, 2005).



Figura 5. Determinación de humedad

Calculo del % de humedad:

$$\%H = \left[ \left( \frac{W_2 - W_3}{W_1} \right) * 100 \right]$$

Donde:

W<sub>1</sub>= Peso de la muestra (g)

W<sub>2</sub>=Peso de la muestra húmeda (g)

W<sub>3</sub>= Peso de la muestra seca (g)

### 2.3.3.2 Determinación de grasa (920.39, AOAC 1990)

Método o técnica: Soxhlet.

Se lleva a cabo mediante la extracción continua con éter etílico o hexano. Se colocó la muestra en un papel filtro bien cerrado para no perder el alimento en el proceso. Este papel se puso dentro de un cartucho de extracción y se colocaron ambos dentro del equipo. Debajo de la muestra se colocó un matraz con hexano a ebullición durante 2 a 4 horas. Pasado el tiempo necesario, se evaporó el hexano, quedando en el matraz la grasa del alimento. La cantidad de grasa se obtuvo mediante una diferencia de peso del matraz antes y después del proceso (Figura 6) (A.O.A.C., 2005).



**Figura 6.** Determinación de grasa

Calculo del % de grasa extraíble:

$$\%Grasa\ extraible = \left[ \left( \frac{W_3 - W_2}{W_1} \right) * 100 \right]$$

Donde:

$W_1$  = Peso de la muestra (g)

$W_2$  = Peso del matraz sin grasa (g)

$W_3$  = Peso del matraz con grasa (g)

### 2.3.3.3 Determinación de proteínas (954.01, AOAC 1990)

Método o técnica: MicroKjeldahl

El contenido de proteína se determinó por el método micro Kjeldahl; el cual se basa en la combustión húmeda de la muestra, el producto se digiere con ácido sulfúrico concentrado en presencia de catalizadores metálicos (sulfato de cobre, sulfato de potasio) para convertir el nitrógeno orgánico en iones de amonio. Se calentó el tubo a fuego lento hasta que la muestra pasó de color oscuro a un líquido transparente con una coloración azul verdosa, se dejó enfriar. Se agregó hidróxido de sodio (NaOH) al 40%. Por otro lado, en un matraz se adicionó 50 mL de ácido bórico y 3-4 gotas de fenolftaleína. Ambos matraces se colocaron en el destilador micro Kjeldahl y se esperó a que el volumen del destilado llegara a



**Figura 7.** Equipo Micro Kjeldahl

100 mL. Posteriormente se tituló con HCl, y se calculó el total de proteína de la muestra mediante la siguiente fórmula (Figura 7) (A.O.A.C., 2005).

Calculo del % de proteína:

$$\% \text{ Nitrogeno total} = \left[ \left( \frac{(V_2 - V_1)(N)(0.014)}{W} \right) * 100 \right]$$

$$\% \text{ Proteína} = (F)(\% \text{ Nitrogeno total})$$

Donde:

W= Peso de la muestra (g)

V<sub>1</sub>= Volumen (mL) de la solución de HCl requerido para la prueba en el blanco

V<sub>2</sub>= Volumen (mL) de la solución de HCl requerido para la muestra

N= Normalidad de HCl

F=Factor de conversión de nitrógeno en proteína utilizado para trigo 5.83, amaranto 5.87 y chíá 6.25

#### 2.3.3.4 Determinación de cenizas (923.03, AOAC 1990)

Método o técnica: Klemm

Se colocó la muestra en crisoles a peso constante, posteriormente se incineraron con un mechero hasta obtener cenizas grises, después se colocó el crisol en una mufla a 530°C (Figura 8), la incineración termina cuando se obtienen cenizas blancas. Finalmente se pesó el crisol las veces necesarias hasta llegar a peso constante.

$$\% \text{ Cenizas} = \left[ \left( \frac{P_1 - P_2}{P - P_1} \right) * 100 \right]$$

Donde:

P= Peso de la capsula con muestra (g)

P<sub>1</sub>= Peso de la capsula con cenizas (g)

P<sub>2</sub>= Peso de la capsula vacía (g)



Figura 8. Mufla



### 2.3.3.5 Determinación de fibra (989.03, AOAC 1990)

El método consistió en someter la muestra seca y desengrasada a una primera digestión ácida, posteriormente a una digestión alcalina una vez filtrado (Figura 9), se obtuvo un residuo de fibra cruda y sales. Para poder determinar el porcentaje de fibra cruda se sometió el residuo a calcinación para determinar cenizas.

$$\% \text{ Cenizas} = \left[ \left( \frac{(W_2 - W_1) - (W_4 - W_3)}{W_s} \right) * 100 \right]$$

Donde:

$W_1$ = Peso del papel filtro (g)

$W_2$ =Peso del papel filtro con residuos secos (g)

$W_3$ = Peso del crisol vacío (g)

$W_4$ = Peso del crisol después de la incineración (g)

$W_s$ = Peso de la muestra previamente desengrasada (g)

### 2.3.3.6 Determinación de carbohidratos

La cantidad de carbohidratos se determinó por diferencia de los demás componentes

$$\% \text{ Carbohidratos} = 100 - (\text{Proteínas} + \text{Humedad} + \text{Grasa} + \text{Fibra} + \text{Cenizas})$$



**Figura 9.**  
Determinación de fibra.

## 2.4 Elaboración de barra nutritiva

Para la elaboración de una barra nutritiva se tomó como referencia la formulación presentada en la Tabla 13 y Figura 10.



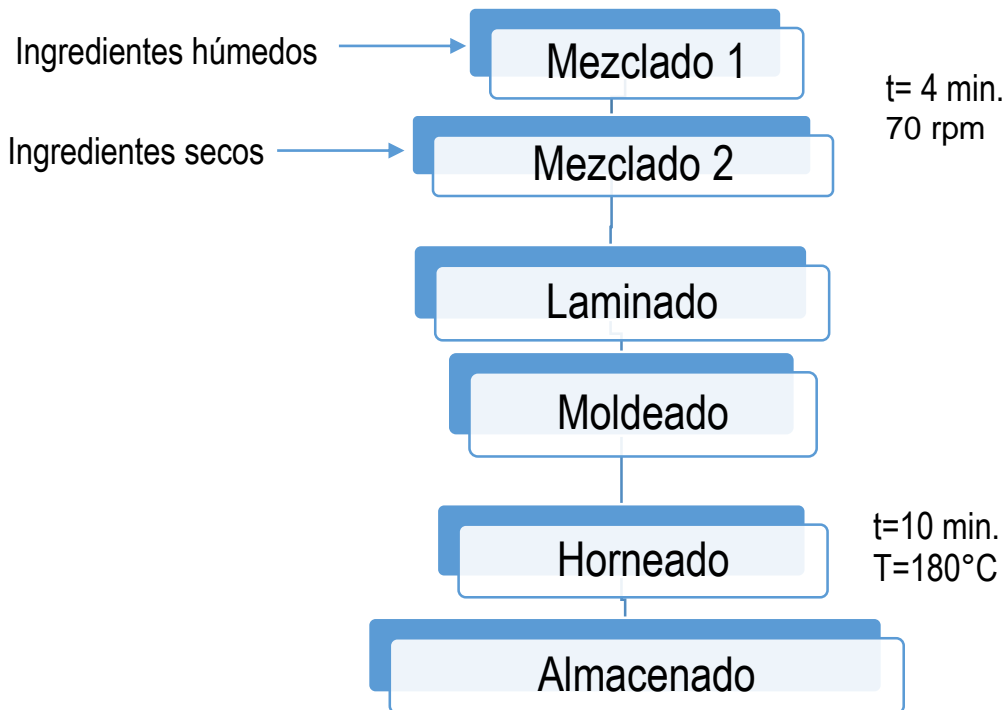
**Figura 10** Ingredientes húmedos y secos.

**Tabla 13.** Formulación de una barra nutritiva

Ingredientes	100g
<b>Secos</b>	
Harina de trigo	43
Harina de chía	-
Harina de amaranto	-
Amaranto	4.3
Chía	5.7
Arándano	5.7
Levadura	0.4
Azúcar	5.7
Royal	0.4
<b>Húmedos</b>	
Aceite	5.7
Miel	8.7
Vainilla	1.5
Mantequilla	4.5
Agua	5.7

La barra nutritiva se elaboró como lo muestra el Diagrama de proceso (Figura 11), seguido de una descripción de este, que explica paso a paso como se elaboró la barra nutritiva, además de contener imágenes de cómo se hizo para facilitar su realización.

## Diagrama de proceso



**Figura 11.** Diagrama de proceso para la elaboración de una barra nutritiva

### Descripción del diagrama de proceso

**Mezclado 1:** En la batidora Hamilton Beach 633221, mezclar todos los ingredientes húmedos, así como el azúcar y la levadura previamente hidratada con agua, durante 4 minutos (Figura 12).



**Figura 12.** Mezclado 1

**Mezclado 2:** Incorporar los ingredientes secos a la mezcla anterior durante 4 minutos a 70 rpm (Figura 13).



**Figura 13.** Mezclado 2

**Laminado:** Colocar la masa formada en una plancha metálica, extenderla con un rodillo hasta que la mezcla tenga el espesor de 0.5 mm (Figura 14).



**Figura 14.** Laminado

**Moldeado:** Cortar la masa con un molde de madera de 11 x 3.5 cm (Figura 15).



**Figura 15.** Moldeado

**Horneado:** En un horno convencional ROBOT COOL INC. Hornear durante 4 minutos a 180°C, en una charola metálica con papel encerado, luego de los 4 minutos se voltea la barra para hornearla por 4 minutos más con las mismas condiciones (Figura 16).



Figura 16. Horneado

**Almacenado:** Guardar en bolsas de celofán perfectamente selladas en un lugar fresco (Figura 17).



Figura 17. Almacenado

### 2.4.1 Preparación de formulaciones

Con base en la formulación original se propusieron las siguientes formulaciones (Tabla 14) mezclando harina de trigo, harina de amaranto y harina de chía para la elaboración de una barra nutritiva sin variar la cantidad de los demás ingredientes.

**Tabla 14.** Porcentaje de harinas de chía, amaranto y trigo utilizadas en cada formulación.

Formulación	Chía%	Amaranto%	Trigo%
1	15	15	70
2	20	20	60
3	25	25	50
4	30	40	30

## 2.5 Evaluación sensorial

### 2.5.1 Prueba de preferencia

En esta prueba se puede solicitar a los consumidores que ordenen su preferencia (mayor a menor) sobre las muestras que se les presenten. Las muestras se presentan en recipientes idénticos, codificados con números aleatorios de 3 dígitos. Son pruebas de fácil realización y la pregunta es comprendida por los consumidores de todas las edades, incluso aquellas con poca preparación (Ramírez, 2012).

Dicha prueba se realizó (Figura 18) a las cuatro formulaciones propuestas (Ver Tabla 13), a 100 jueces no entrenados elegidos al azar, con muestras codificadas pidiéndoles que calificaran cada muestra en base a un cuestionario (Anexo 1).



**Figura 18.** Prueba de preferencia

## 2.6 Calidad nutrimental de la barra nutritiva

### 2.6.1 Análisis químico proximal de muestra

A la formulación seleccionada se le realizó un análisis químico proximal, al igual que a una barra control 100% de trigo y una barra comercial. Determinando humedad, proteína, cenizas, grasas y carbohidratos con los métodos propuestos por la A.O.A.C. 2005, explicados en el punto 2.3.3.

### 2.6.2 Cuantificación de triptófano

La cuantificación de triptófano aplicada a sistemas biológicos completos como son los alimentos, presentan algunas dificultades como llevar a cabo la hidrólisis para liberar el triptófano del enlace peptídico, debido a que con la aplicación de hidrólisis ácidas no se obtienen resultados satisfactorios al leerlos en equipos como autoanalizador o HPLC, por lo que las técnicas colorimétricas para su cuantificación son múltiples. En este caso se utilizó una hidrólisis enzimática y se desarrolló el color con *p*-dimetilbenzoaldehído (DMAB) y nitrito de sodio como contraste (Rama *et al.*, 1974)

#### Procedimiento

1. Se pesó 0.5 g de muestra
2. Se agregó 5 mL de pepsina; se agitó e incubó por 3 horas a temperatura ambiente.
3. Se adicionó 5 mL de NaOH 0.1N y 5 mL de pancreatina, se agitó e incubó por 24 horas.
4. Se aforó a 25 mL con agua destilada y filtrar.
5. Se tomaron 2 mL y se adicionó 3.75 mL de HCL concentrado y de DMAB, así como 0.25 mL de NaNO<sub>2</sub> y se dejó reposar 15 min.
6. Se leyó a  $\lambda = 590$  nm.

$$\bar{X} = \frac{X(50)(100)}{\% \text{ proteina}}$$

Donde:

$\bar{X}$  = Promedio de las interpolaciones de la curva patrón

### 2.6.3 Digestibilidad *in vitro*

La digestibilidad *in vitro* se lleva a cabo utilizando un sistema multienzimático para determinar la digestibilidad de proteínas. El sistema multienzimático está compuesto por tripsina, quimiotripsina, peptidasa y proteasa. Se encontró que el pH de una proteína en suspensión, inmediatamente después de los 20 minutos de digestión con solución multienzimática; tiene una gran correlación con la digestibilidad *in vivo* en ratas (Hsu *et al.*, 1977).

La ecuación de la regresión obtenida experimentalmente es:

$$\% D = 234.84 - 22.56 (X)$$

Donde:

%D= Porcentaje de digestibilidad

X= Es el pH de la suspensión proteica registrado inmediatamente después de los 20 minutos de la digestión con la solución multienzimática.

#### Procedimiento

1. Se pesó una muestra que contenga 10 mg de N<sub>2</sub>
2. Se utilizó como control cuantitativo la caseína liofilizada
3. Se adicionó 10 mL de agua destilada
4. Se equilibró el pH a 8 +/- 0.03 utilizando HCl y NaOH
5. Se dejó una hora hidratando y en agitación en un baño de agua a 37°C
6. Transcurrida la hora se añade 1 mL de solución enzimática A mientras se agita.
7. Exactamente a los 10 minutos después de añadida la solución A, se adicionó 1 mL de la solución enzimática B y al mismo tiempo se transfirió a un baño a 55°C.
8. Exactamente a los 19 minutos de añadida la solución enzimática A y se transfirió a un baño a 37°C.
9. A los 20 minutos de añadida la solución enzimática A medir el pH.
10. El pH del control de caseína debe de ser de 6.42 +/- 0.05.

#### 2.6.4 Cuantificación de almidón total

Se fundamenta en cuantificar la glucosa liberada como resultado de la hidrólisis enzimática de la amiloglucosidasa que hidroliza los enlaces glucosídicos  $\alpha$ -(1-4) y  $\alpha$ -(1-6) de las cadenas de amilosa y amilopectina, según el método propuesto por Goñi *et al.*, (1997).

#### Procedimiento

1. Se pesaron 50 mg de muestra molida y dispersaron con 6 mL de KOH 2 M durante 30 minutos a temperatura ambiente y con agitación constante.
2. Se adicionó 3 mL de Buffer de Acetato de sodio 0.4 M pH=4.75, y se ajustó el pH=4.75
3. Se adicionó 80 $\mu$ L de enzima amiloglucosidasa.
4. Se colocaron en baño a 60°C por 45 minutos, para que el almidón solubilizado se gelatinizara.
5. Pasado este tiempo, se dejó enfriar a temperatura ambiente y se centrifugó 10 minutos a 5000 RPM.



6. Se midió la cantidad de sobrenadante (usando el reactivo de glucosa oxidasa/peroxidasa)
7. Colocando 1 mL de reactivo de glucosa con 10 µL del sobrenadante, por triplicado, sin olvidar un blanco con solo reactivo de glucosa y dejar reposar por 20 minutos.
8. Se leyó la absorbancia a 505 nm en espectrofotómetro.
9. Se realizaron los cálculos correspondientes.

### 2.6.5 Relación de Eficiencia Proteica

Se emplearon 12 ratas macho de la cepa Wistar, suministradas por la Unidad de Aislamiento y Bioterio de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán Campo 4, de la Universidad Nacional Autónoma de México. Los animales tenían 21 días de destete y sus pesos oscilaron entre 38 y 51 g.

Se utilizó una dieta de caseína como control y otra experimental con la barra seleccionada. La cantidad de proteína se ajustó a 10% para adecuar la composición de la materia prima a ensayar. Las dietas se prepararon de acuerdo a la formulación establecida por la AOAC (1990).

La relación de Eficiencia Proteica fue determinado de acuerdo al método 960.48 AOAC (1990). Las ratas fueron pesadas inicialmente y distribuidas homogéneamente de acuerdo al método de la “culebra japonesa”, después fueron divididas en lotes de seis ratas, considerando el peso de cada una.

Las ratas fueron colocadas en jaulas individuales. Se mantuvo controlada la temperatura a 24°C y la humedad relativa a 48 %HR con ciclos de 12 horas de luz y 12 horas de oscuridad. Se les suministraron las dietas preparadas y agua *ad libitum*. Cada tercer día se registró el peso ganado y la cantidad de alimento ingerido. Al concluir los 28 días del bioensayo se determinó el valor de PER y PER ajustados, con base en las siguientes ecuaciones:

$$PER = \frac{\Delta P}{\Sigma AI * F}$$

$$PER \text{ ajustado} = PER \text{ experimental} * \frac{PER \text{ caseína de referencia}}{PER \text{ caseína experimental}}$$

Donde:

$\Delta P$ =Incremento de peso (g)

$\Sigma AI$ = Alimento ingerido total (g)

F=% de proteína en la dieta/ 100

PER experimental=Valor PER obtenido en el bioensayo

PER caseína de referencia= 2.5

PER caseína experimental=Valor PER de la caseína obtenida en el bioensayo.

#### 2.6.6 Digestibilidad *in vivo*

La última semana se realizó la recolección de heces para determinar el contenido de nitrógeno. Las heces se recogieron diariamente y se mantuvieron en refrigeración a 2 °C. Al final del periodo de recolección, se homogenizaron para formar una muestra representativa.

Para la evaluación biológica se utilizó el método basado en la determinación de la digestibilidad aparente de la proteína (DA) con base en la siguiente ecuación:

$$DA = \frac{N_{\text{consumido}} - (N_{\text{fecal}} - N_{\text{ingerido}})}{N_{\text{consumido}}} * 100$$

Donde:

N=Nitrógeno

## 2.7 Calidad funcional de la barra nutritiva

### 2.7.1 Fibra dietética

Se mide el contenido de fibra dietaría de los alimentos usando una combinación de métodos enzimáticos y gravimétricos. Las muestras de alimentos secos y libres de grasa son gelatinizadas con  $\alpha$ -amilasa estable al calor y posteriormente digeridas enzimáticamente con proteasa y amiloglucosidasa para eliminar la proteína y almidón presente en la muestra. Se adiciona etanol para precipitar la fibra dietaría soluble. Los residuos son filtrados y lavados con etanol y acetona. Después de secarlos, los residuos se pesan. En la mitad de las muestras se mide la proteína y las otras son calcinadas para medir cenizas. La fibra dietaría total es el peso del residuo menos el peso de la proteína y ceniza (CUNNIF *et al.*, 1994).

#### Procedimiento

1. Se pesó 1 g de muestra en un matraz de 500 mL y adicionar 50 mL de buffer de fosfato 0.08 M, se ajustó el pH a 6 +/- 0.02. Se debe de correr de manera simultanea un blanco.
2. Se adicionó 0.1 mL de solución de amilasa, se cubrió con papel aluminio, se colocó en un baño a ebullición durante 15 minutos agitando constantemente y se enfrió.
3. Se ajustó a pH 7.5 +/- 0.2 adicionando 10 mL de NaOH.
4. Se adicionó 5 mg de proteasa, se cubrió el matraz con papel aluminio, se colocaron en un baño a 60 °C por 30 min, con agitación continua y enfriar.
5. Se adicionó 10 mL de HCl, ajustar el pH a 4-4.6 y se adicionó 0.1 mL de amiloglucosidasa, se incubó a 60 °C por 30 min, con agitación continua y se enfrió.
6. Se adicionó 280 mL de etanol 95% precalentado a 60°C
7. Se dejó en reposo una hora.
8. Se colocó un embudo en un matraz con un papel filtro y el matraz se conectó al vacío con una manguera para crear succión y el filtrado fuera más rápido.
9. Se filtró la solución.
10. Se realizaron lavados con etanol 78%, posteriormente con etanol 95% y al final con acetona.
11. Se secó el papel filtro en una estufa a 110 °C por una noche.
12. Se analizó el contenido de proteínas.
13. Se analizó el contenido de cenizas.
14. Se calculó el porcentaje de fibra dietética restando al peso del residuo total, el peso de las cenizas, proteínas y el blanco.

$$\% \text{ FDT} = \left( \frac{(R \text{ muestra} - P \text{ muestra} - A \text{ muestra} - B)}{PM} \right) * 100$$

Donde:

R muestra= Peso del residuo de la muestra (mg)

P muestra= Promedio del peso de proteína de la muestra (mg)

A muestra= Promedio del peso de cenizas de la muestra (mg)

B= Promedio del blanco (mg)

PM= Peso de la muestra (mg)

### 2.7.2 Determinación de compuestos fenólicos

Se basa en la reacción de los compuestos fenólicos con el reactivo de Folin Ciocalteu, a pH básico, dando lugar a una coloración azul susceptible de ser cuantificada espectrofotométricamente a 765 nm. Este reactivo contiene una mezcla de wolframato sódico y molibdato sódico en ácido fosfórico y reacciona con los compuestos fenólicos presentes en la muestra. El ácido fosfomolibdotúngstico (formado por las dos sales en el medio ácido), de color amarillo, al ser reducido por los grupos fenólicos da lugar a un complejo de color azul intenso, cuya intensidad es la que se midió para evaluar el contenido en polifenoles (Prasad y Weigle 1976; Ranganna 1977; Valadez *et al.*, 1990).

Preparación de la extracción:

1. Se pesó 0.1 g de muestra desengrasada.
2. Se diluyo con 1 mL de metanol-HCl al 1%.
3. Hirvió 10 minutos a baño María en tubos eppendorf con rosca (para que no se abran).
4. Se dejó enfriar y centrifugar a 9000 rpm durante 10 minutos.
5. Se obtuvo el sobrenadante y se colocó en tubos eppendorf de punta (fondo de punta).
6. Se colocó a 65°C en bloque de calentamiento (abiertos) hasta su total evaporación.
7. Una vez evaporados se obtuvo una pastillita, se redisolvió en 1 mL de agua destilada y se agitó.
8. Se centrifugó a 9000 rpm durante 10 minutos.
9. Se obtuvo el extracto con el que se trabajó.

Determinación de polifenoles

1. Del extracto obtenido se tomaron 400 µL.
2. Se agregaron 3750 µL de agua destilada.
3. Se agregaron 250 µL reactivo Folin- Ciocalteu.
4. Se agitó y dejó reposar 5 minutos.
5. Se agregaron 500 µL de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>.

6. Se agitó y se dejó reposar por 15 minutos.
7. Se leyó la absorbancia a 760 nm.
8. Se realizaron los siguientes cálculos.

Cálculos

$$x = \frac{a - 0.065}{3.492} = r$$

$$r \rightarrow 400\mu L$$

$$X1 \rightarrow 1000\mu L$$

$$X1 \rightarrow 0.1g$$

$$X2 \rightarrow 1g$$

$$\frac{X2 - (6 \text{ eq AG})}{170.2g} * 10 = \frac{\text{meq AG}}{g \text{ mtra}}$$

Donde:

a=absorbancia

r=resultado de la ecuación

X1= resultado de la primera regla de tres.

X2= resultado de la segunda regla de tres.

### 2.7.3 Determinación de capacidad antioxidante

La prueba para determinar la capacidad antioxidante se basó en la estabilización de un radical libre (DPPH); dicha medición se realizó espectrofotométricamente siguiendo el decaimiento de la absorbancia a 580 nm. La reacción de estabilización se considera transcurre parcialmente mediante un mecanismo de transferencia de electrones, con un aporte marginal de transferencia de átomos de hidrógeno (Lodoño, 2012; Da Silva y Selma 2012; Martinez 2007).

Preparación de la extracción

1. Se pesó 0.1 g de muestra previamente desengrasada.
2. Se diluyó 1 mL de Metanol-HCl 1% y se colocó por 10 minutos a baño María.
3. Se enfrió y centrifugó a 9000 rpm durante 10 min.
4. Se obtuvo el sobrenadante, se colocó en tubos eppendorf, se colocaron a 65°C en un bloque de calentamiento hasta su total evaporación.

5. Una vez evaporados se obtuvo una pastilla que se disolvió en 1 mL de agua desionizada, se agitó y centrifugó 9000 rpm por 10 min. Se obtuvo el extracto.

#### Determinación de poder antioxidante

1. Se tomaron 500 µL del extracto, se agregaron 500 µL de solución DPPH y se dejaron reposar por 30 min. en obscuridad absoluta.
2. Se leyó a 518 nm en el espectrofotómetro previamente calibrado con agua.
3. Se calibró con metanol.
4. Se leyó con metano más DPPH 500 µL de cada uno y se dejaron reposar 30 min. como control negativo y se obtuvo la lectura.

#### Cálculos

$$\% CA = \frac{\text{Abs control negativo} - \text{Abs muestra}}{\text{Abs control negativo}}$$

Donde:

Abs control negativo= Valor de absorbancia (Metanol + DPPH)

Abs muestra= Valor de absorbancia de la muestra a analizar.

#### 2.7.4 Cuantificación de almidón resistente.

Se fundamenta en realizar la digestión enzimática en donde se cortan las cadenas de almidón y almidón unido a proteínas. Posteriormente se realiza un lavado con agua para eliminar la glucosa soluble. Se realiza nuevamente otra digestión para liberar los monómeros de glucosa, que son cuantificados por un método espectrofotométrico (Goñi *et al.*, 1996).

#### Procedimiento

1. Se pesaron 100 mg de muestra molida, se colocaron en un tubo de centrífuga de 50 ml.
2. Se agregaron 10 ml de buffer KCl-HCl a pH 1,5 (se ajustó el pH con 2 M HCl o 0,5 M NaOH).
3. Se agregó 0,2 ml de solución de Pepsina.
4. Se mantuvo en agitación constante a 40 °C por 60 minutos
5. Se dejó enfriar a temperatura ambiente. Se agregaron 9 ml de buffer 0,1 M Tris-maleato a pH 6,9 (ajustar el pH con 2 M HCl ó 0,5 M NaOH).

6. A esta mezcla se le agregó 1 ml de  $\alpha$ -amilasa pancreática porcina, se mezcló nuevamente, se incubó durante 16 horas en el baño de agua a 37 °C con agitación constante.

7. Se centrifugaron las muestras por 15 minutos a 5000 rpm y desechar los sobrenadantes.

8. Se lavó al menos una vez con 10 ml de agua destilada, se centrifugó y nuevamente se desecharon los sobrenadantes. .

9. Se agregaron 3 ml de 4 M KOH, mezclar y se dejaron por 30 minutos a temperatura ambiente en todo este proceso en agitación constantemente.

10. Se agregaron 3 ml buffer 0,4 M de acetato de sodio – ácido acético pH 4,75 (ajustar pH con ácido acético glacial 1 mL aprox.).

11. Se agregó 80  $\mu$ l de enzima Amiloglucosidasa, se mezcló y dejó por 45 minutos en baño de agua a 60 °C con agitación constante.

12. Se centrifugó por 10 minutos a 5000 rpm, se recolectaron los sobrenadantes y se midieron los volúmenes.

13. Se preparó una curva estándar de solución líquida de glucosa (10 – 60 ppm).

14. Se colocó 1 ml de agua destilada, 1 ml de muestra y 1 ml de los estándares y se pusieron en diferentes tubos de ensayo.

15. Se agregó 2 ml del reactivo de glucosa (GOD-POD) (5,6 g de glucosa oxidasa / peroxidasa en 100 ml de buffer tris-fosfato pH 7.0 a 0,5 M) a cada tubo de ensayo. Se mezcló y dejó por 30 minutos en un baño de agua a 37 °C.

16. Se leyó la absorbancia de las muestras y de los estándares a 505 nm.

17. Se realizaron los calculos necesarios.

#### 2.7.5 Cuantificación de almidón digerible

La cantidad de almidón digerible se determinó por diferencia de la cantidad de almidón total menos la cantidad de almidón resistente.

$$\text{Almidón digerible} = \text{almidón total} - \text{almidón resistente}$$

## **2.8 Evaluación sensorial**

### **2.8.1 Prueba de nivel de agrado**

Las pruebas de aceptación también se conocen como de nivel de agrado (hedónicas). Se emplean para determinar el agrado de aceptación de un producto por parte de consumidores y según su tipo permiten medir cuanto agrada o desagrada dicho producto. La aceptabilidad de un producto generalmente indica el uso real del producto (compra y consumo) (Ramírez, 2012).

La prueba se realizó a la formulación elegida en la prueba de preferencia y se asignó a 100 jueces no entrenados elegidos al azar, para que contestaran un cuestionario de escala no estructurada de 10 cm, para elegir entre disgusta mucho, es indiferente y me gusta mucho, dicho cuestionario se encuentra en el Anexo 2.

## **2.9 Análisis estadístico**

Todas las pruebas se realizaron por triplicado y se calculó su promedio, desviación estándar y coeficiente de variación. Para el análisis de los promedios se realizó una prueba de rango múltiple t-student a nivel de significancia de  $p \leq 0.05$ .



## Capítulo III. Resultados y discusión

### 3.1 Análisis químico proximal de la materia prima.

A continuación se muestran los resultados de cada uno de los componentes químicos de las materias primas (Tabla 17).

**Tabla 17.** Análisis químico proximal de harina refinada de trigo tres estrellas®, harina integral de amaranto y chía.

MUESTRA	HUMEDAD %	PROTEÍNA %	GRASA %	CENIZAS %	FIBRA %	CHOS %
H. TRIGO	12.06±0.1 <sup>a</sup>	8.94±0.015 <sup>a</sup>	1.1 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.5±0.02 <sup>a</sup>	0.7±0.014 <sup>a</sup>	76.68 <sup>a</sup>
H.AMARANTO	10.94±0.24 <sup>b</sup>	13.84±0.09 <sup>b</sup>	6.31±0.06 <sup>b</sup>	2.58±0.07 <sup>b</sup>	6.6±0.42 <sup>b</sup>	59.73 <sup>b</sup>
H. CHÍA	6.1±0.11 <sup>c</sup>	18.8±0.5 <sup>c</sup>	31.89±0.76 <sup>c</sup>	3.81±0.09 <sup>c</sup>	38.28±0.66 <sup>c</sup>	1.12 <sup>c</sup>

\*Letras diferentes en la misma columna indican diferencia estadísticamente significativa ( $P \leq 0.05$ )

El contenido de proteína de la harina de amaranto es 1.3 veces mayor que la de trigo y la de chía es 2 veces mayor que esta última, y entre ellas hubo diferencia estadísticamente significativa ( $p \leq 0.05$ ). Esto es importante porque se corrobora el mayor contenido de proteína en las dos semillas en comparación con el trigo, pero no solo es la cantidad sino la calidad biológica de sus proteínas que es mucho mejor que la del trigo lo que permitiría aumentar el contenido y la calidad de proteína en el producto final (USDA, 1963; Guiotto *et al.*, 2013; Ayerza y Coates, 2006).

El contenido de grasa de las harinas de amaranto y chía son 5.7 y 29 veces mayores respectivamente que la harina de trigo y entre ellas existió diferencia estadísticamente significativa ( $p \leq 0.05$ ). El mayor contenido de grasa se obtuvo en la harina de chía. Estos resultados están de acuerdo con los reportes hechos sobre la chía (Nieto, 1990).

La cantidad de cenizas de la harina de amaranto fue 5 veces mayor que la harina de trigo y la harina de chía casi 8 veces mayor que la harina de trigo y todas tuvieron diferencia estadísticamente significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre ellas. Esto se debe a que el amaranto contiene alto contenido de calcio, fósforo y potasio, y la chía contiene altos contenidos de minerales como el fósforo, calcio, potasio, magnesio y hierro (Segura *et al.*, 2014 y Jiménez *et al.*, 2013).

El contenido de fibra de la harina de amaranto fue 9.4 veces mayor que la harina de trigo y la harina de chía 55 veces más. Esto es porque las harinas de chía y de

amaranto son integrales esto quiere decir que contienen salvado y en él se encuentra mayor cantidad de fibra. Además, esta reportado que la chía contiene un alto contenido de fibra la cual permitirá tener beneficios contra problemas de estreñimiento, divertículos y cáncer de colón (Alvarado, 2011; Ixtaina *et al.*, 2011)

### 3.2 Prueba de preferencia.

En la tabla 18 se muestran los resultados de la prueba de preferencia realizada a cuatro diferentes formulaciones.

**Tabla 18.** Resultados de la prueba de preferencia de la barra nutritiva elaborada con diferentes porcentajes de harina refinada de trigo tres estrellas®, harina integral de amaranto y chía.

Formulación	Chía%	Amaranto%	Trigo%	Puntaje
1	15	15	70	234 <sup>a</sup>
2	20	20	60	276 <sup>b</sup>
3	25	25	50	233 <sup>a</sup>
4	30	40	30	275 <sup>ab</sup>

\*Letras diferentes en la misma columna indican diferencia estadísticamente significativa ( $\rho \leq 0.05$ ).

Se observó que la formulación que tuvo mayor puntaje fue la que contenía 20 g de amaranto y 20 g de chía por 100 g de harinas y tuvo una diferencia estadísticamente significativa ( $\rho \leq 0.05$ ) con dos formulaciones, sin embargo con la formulación cuatro no tuvo diferencia estadísticamente significativa ( $\rho \leq 0.05$ ). Por lo tanto, cualquiera de estas dos formulaciones podría ser seleccionada como la mejor, sin embargo como la formulación 4 tenía mayor contenido de amaranto y chía, esto podría modificar el sabor de la barra, sobre todo por la chía, que tiene un sabor amargo, por esta razón se eligió la formulación 2.

### 3.3 Análisis químico proximal de la barra comercial, control y seleccionada.

**Tabla 19.** Análisis químico proximal de muestra comercial, muestra control y muestra 20% harina amaranto, 20% harina de chía y 60% harina de trigo.

Muestra	Humedad %	Proteína %	Grasa %	Ceniza %	Fibra %	CHOS %
Comercial	5.32±0.02 <sup>a</sup>	5.83±0.01 <sup>a</sup>	22.01±0.07 <sup>a</sup>	1.02±0.02 <sup>a</sup>	7.64±0.07 <sup>a</sup>	58.18 <sup>a</sup>
Control	6.23±0.08 <sup>b</sup>	6.47±0.015 <sup>b</sup>	13.53±0.12 <sup>b</sup>	0.94±0.01 <sup>b</sup>	5.54±0.31 <sup>b</sup>	67.29 <sup>b</sup>
20 HA-20 HCh-60 HT	8.82±0.14 <sup>c</sup>	10.0±0.02 <sup>c</sup>	19.99±0.41 <sup>c</sup>	1.98±0.017 <sup>c</sup>	11.48±0.53 <sup>c</sup>	47.73 <sup>c</sup>

\*Letras diferentes en la misma columna indican diferencia estadísticamente significativa ( $\rho \leq 0.05$ )

HA=Harina Amaranto, HCh= Harina Chía, HT= Harina Trigo

A la muestra seleccionada se le realizó un Análisis Químico Proximal (Tabla 19) y se comparó con una barra comercial y una control elaborada con 100% de harina de trigo.

Como se observa la barra seleccionada contiene 41.7% más proteína que la muestra comercial y 35.3% más que la control. Entre las tres muestras existe diferencia estadísticamente significativa ( $p \leq 0.05$ ). Esto se debe a que la barra seleccionada contiene harinas y granos de amaranto y chía, que como se mostró antes (Tabla 17) tienen mayor porcentaje de proteína que el trigo. Además es importante resaltar que probablemente también se haya aumentado la calidad proteica pues se ha reportado que el contenido de lisina y de los otros aminoácidos esenciales en el amaranto es comparable al que tiene la caseína de la leche de vaca, que es considerada como la proteína de referencia, además el aporte de lisina, cisteína y metionina de la chía es relativamente alto (Ubico, 2017; Ayerza y Coates, 2006).

El contenido de cenizas de la barrita seleccionada es casi 2 veces mayor que la barra comercial y la control, teniendo diferencia estadísticamente significativa ( $p \leq 0.05$ ) las tres barras. Esto se debe a que la chía y el amaranto que se utilizaron en la barra seleccionada contienen altos contenidos de minerales como son el fósforo, magnesio, hierro, calcio, entre otros (Segura *et al.*, 2014).

El contenido de grasa de la barrita comercial fue 38.52% mayor que la barra control y presentó diferencia estadísticamente significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre ellas. Esto se debe a que una de las principales propiedades que posee la semilla de chía es ser fuente natural de ácidos grasos como, omega – 3, que corresponde al 75% del aceite total de la chía y omega – 6. La barra comercial fue 9.17% mayor que la barrita seleccionada, aunque ambas tienen semillas y oleaginosas, y por lo tanto un contenido de grasa similar, se puede suponer que la barra comercial fue elaborada con un mayor contenido de aceite.

El contenido de fibra de la barra seleccionada fue 1.5 veces mayor que el de la barra comercial y 2.07 veces mayor que la barra control y presentaron diferencia estadísticamente significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre ellas. Esto se debe a que los granos enteros y harinas integrales contienen fibra soluble este tipo de fibra atrae el agua que contienen los alimentos y los jugos digestivos, dando como resultado una especie de gel o jalea durante la digestión. Dentro de sus beneficios destacan la reducción del colesterol en la sangre y de la glucosa (Araya, 2016).

### 3.4 Calidad nutrimental de la barra nutritiva.

#### 3.4.1 Cuantificación de triptófano, digestibilidad *in vitro*, y almidón total.

Se evaluó el contenido de triptófano, la digestibilidad *in vitro* y el contenido de almidón total a la muestra comercial, control y a la seleccionada, harina de trigo, amaranto, chía y los resultados se muestra en la Tabla 20 y 21.

**Tabla 20.** Cuantificación de triptófano de muestra comercial, muestra control y muestra seleccionada.

Muestra	Triptófano (g de Try/100 g de proteína)
Comercial	0.79±0.038 <sup>a</sup>
Control	0.69±0.012 <sup>b</sup>
20 HA-20 HCh-60 HT	0.74±0.003 <sup>ab</sup>

\*Letras diferentes en la misma columna indican diferencia estadísticamente significativa ( $\rho \leq 0.05$ )  
HA=Harina Amaranto, HCh= Harina Chía, HT= Harina Trigo

**Tabla 21.** Cuantificación de triptófano de harina de trigo, amaranto, chía.

Muestra	Triptófano (g de Try/100 g de proteína)
HT	1.05+/-0.06 <sup>a</sup>
HA	1.65+/-0.08 <sup>b</sup>
HC	1.35+/-0.02 <sup>b</sup>

\*Letras diferentes en la misma columna indican diferencia estadísticamente significativa ( $\rho \leq 0.05$ )  
HA=Harina Amaranto, HCh= Harina Chía, HT= Harina Trigo

El contenido de triptófano de la barra comercial fue 6.32% mayor que la barra seleccionada, sin embargo no hay diferencia estadísticamente significativa ( $\rho \leq 0.05$ ). Por otro el contenido de triptófano de la barra seleccionada fue 6.75% mayor que la barra control con diferencia estadísticamente significativa ( $\rho \leq 0.05$ ) entre ellas esto se debe a que las harinas de chía y amaranto contienen cantidades mayores

de triptófano y se mantienen en la barra nutritiva y la barra control únicamente contenía harina de trigo (FAO/OMS/UNU, 1985) y (Collazos, 1975).

**Tabla 22.** Cuantificación de digestibilidad *in vitro* y almidón total de muestra comercial, muestra control y muestra seleccionada

Muestra	Digestibilidad <i>in vitro</i> (%)	Almidón total (%)
Comercial	91.43±0.25 <sup>a</sup>	42.11±2.27 <sup>a</sup>
Control	90.36±0.34 <sup>a</sup>	51.49±3.51 <sup>b</sup>
20 HA-20 HCh-60 HT	90.66±0.13 <sup>a</sup>	42.79±2.71 <sup>a</sup>

\*Letras diferentes en la misma columna indican diferencia estadísticamente significativa ( $p \leq 0.05$ )  
 HA=Harina Amaranto, HCh= Harina Chía, HT= Harina Trigo

En los resultados de la digestibilidad *in vitro* (Tabla 22) no existe diferencia estadísticamente significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre las tres barras, pero todas tuvieron una buena digestibilidad, pues son ligeramente superiores a los reportados por la FAO (1989) para la harina de trigo que fueron de 87% y 84.9 % según Nieto (2003).

El contenido de almidón total de la barra control (Tabla 22) fue 17% mayor que el de la barra seleccionada y 18 % mayor que la barra comercial presentando diferencia estadísticamente significativa ( $p \leq 0.05$ ). Esto es bueno porque la barra seleccionada, al contener menos el almidón total, permitirá que la digestión y absorción de carbohidratos sea más lenta y su índice glucémico será más bajo, lo que ayudará a una mejor digestión y aprovechamiento de la barra, ya que la cocción de la barra es corta puesto que sólo se somete a un proceso térmico por 8 minutos y la cocción prolongada de ciertos alimentos, al producir la ruptura del almidón en moléculas más pequeñas, permite una digestión más rápida, y por lo tanto, incrementa el índice glicémico (IG) (Nutrinfo, 2000 y Ayadi *et al.*, 2011)

### 3.4.2 Relación de Eficiencia Proteica.

A la muestra seleccionada se le realizó una prueba de relación de eficiencia proteica comparándola con caseína, para conocer su calidad proteica (Tabla 23).

La eficiencia proteica (Tabla 23) de la dieta fue estadísticamente igual a la de la caseína que es la proteína de referencia. El PER nos indica que la proteína de la barra es de buena calidad ya que esta tiene alto contenido de lisina que es el aminoácido que más contiene el amaranto y lisina, cisteína y metionina de la chía (Montero *et al.*, 2015 y Ubico, 2017).

**Tabla 23.** Relación de Eficiencia Proteica de la muestra seleccionada y de caseína.

Muestra	Relación de Eficiencia Proteica.
Caseína	2.17±0.179 <sup>a</sup>
20 HA-20 HCh-60 HT	2.3±0.20 <sup>a</sup>

\*Letras diferentes en la misma columna indican diferencia estadísticamente significativa ( $\rho \leq 0.05$ )  
HA=Harina Amaranto, HCh= Harina Chía, HT= Harina Trigo

### 3.4.3 Digestibilidad *in vivo*.

A la muestra seleccionada se le realizó una prueba de digestibilidad *in vivo* comparándola con la digestibilidad *in vivo* de caseína (Tabla 23).

**Tabla 23.** Digestibilidad *in vivo* de la muestra 20-20-60 y caseína.

Muestra	Digestibilidad <i>in vivo</i> .
Caseína	96±1.24 <sup>a</sup>
20 HA-20 HCh-60 HT	86.48±1.92 <sup>b</sup>

\*Letras diferentes en la misma columna indican diferencia estadísticamente significativa ( $\rho \leq 0.05$ )  
HA=Harina Amaranto, HCh= Harina Chía, HT= Harina Trigo

La digestibilidad *in vivo* de la caseína fue 9.92% mejor que la de la barra seleccionada, teniendo diferencia estadísticamente significativa ( $\rho \leq 0.05$ ). Esto se debe a que aunque la cantidad de fibra de nuestra barra no afectó a la calidad proteica, sí afectó a la digestibilidad de esta ya que como se menciona esta afecta negativamente a la digestibilidad (Montero *et al.*, 2015).

### 3.5 Calidad funcional de la barra nutritiva

#### 3.5.1 Fibra dietética, determinación de compuestos fenólicos, determinación de capacidad antioxidante, cuantificación de almidón resistente.

A continuación se muestran los resultados del contenido de fibra dietética, capacidad antioxidante, fenoles y almidón resistente (Tabla 24), para analizar la calidad funcional de la barra nutritiva seleccionada, control y comercial.

**Tabla 24.** Contenido de fibra dietética, capacidad antioxidante, contenido de fenoles y almidón resistente de muestras comercial, control y seleccionada.

Muestra	Fibra dietética (%)	Capacidad antioxidante (%)	Fenoles (mg EAG/g muestra)	Almidón resistente (%)	Almidón digerible (%)
Comercial	3.49±0.19 <sup>a</sup>	65.29±1.10 <sup>a</sup>	0.69±0.022 <sup>a</sup>	4.85±0.30 <sup>a</sup>	37.26 <sup>a</sup>
Control	5.40±0.45 <sup>b</sup>	7.03±0.2 <sup>b</sup>	0.31±0.005 <sup>b</sup>	4.80±0.49 <sup>a</sup>	46.69 <sup>b</sup>
20 HA-20 HCh-60 HT	13.66±0.27 <sup>c</sup>	79.57±1.10 <sup>c</sup>	1.19±0.003 <sup>c</sup>	3.5±0.53 <sup>c</sup>	39.29 <sup>a</sup>

\*Letras diferentes en la misma columna indican diferencia estadísticamente significativa ( $p \leq 0.05$ )  
HA=Harina Amaranto, HCh= Harina Chía, HT= Harina Trigo

La fibra dietética (Tabla 24) de la barra seleccionada fue casi 4 veces mayor que la barra comercial y más de 2 veces que la barra control, todas tuvieron una diferencia estadísticamente significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre ellas. Esto puede ser benéfico para la salud ya que el consumo de fibra ayuda a combatir el estreñimiento crónico y también ayuda a la prevención de cáncer de colon. La fibra al aumentar el volumen del contenido intestinal puede diluir los carcinógenos potenciales que pueden estar presentes en el colon (Escudero y González, 2006)

La capacidad antioxidante de la barra seleccionada fue 1.21 veces mayor que la barra comercial y 11 veces mayor que la barra control (Tabla 24), teniendo diferencia estadísticamente significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre ellas y a cantidad de fenoles de la barra seleccionada (Tabla 24) fue 1.72 veces mayor que la barra comercial y 3.83 veces mayor que la barra control, presentando diferencia estadísticamente significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre ellas La barra control fue la que menos capacidad antioxidante tuvo y esto se debe a que fue elaborada únicamente de trigo y al no tener arándanos, ni chía, su contenido de compuestos antioxidantes (ácido rosmárico, protocatéquico, cafeico y gálico) fue mucho menor que la barra comercial y seleccionada (Martinez-Cruz & Paredes-López, 2014). Los fenoles

ayudan a la actividad anticancerígena, antiinflamatoria, antihipertensiva, estrogénica, antioxidante y efectos protectores contra enfermedades cardiovasculares, pueden ejercer efecto antioxidante como el secuestro de radicales libres, donan moléculas de hidrogeno, barren moléculas de superóxido, quelan metales de transición; estas propiedades son atribuidas principalmente al grupo hidroxilo presente en su anillo estructural (Muñoz. A., & Ramos, F., 2007).

El contenido de almidón resistente de la barra control fue 27.08 % mayor que la barra comercial y el contenido de la barra control fue 23.07% mayor que la barra seleccionada, presentando diferencia estadísticamente significativa ( $p \leq 0.05$ ) la barra seleccionada con las barras comercial y control, lo mismo para el almidón digerible la barra control fue 15.84% mayor que la barra seleccionada y 20.14% mayor que la barra comercial. Esto es bueno ya que el almidón resistente es digerible únicamente en el intestino grueso degradándose en ácido láctico, succínico y propiónico que favorece el crecimiento de la flora intestinal (Topping & Clifton, 2001); Además este tipo de almidón presenta una resistencia a la hidrólisis enzimática, pero cuando se somete a calentamiento en presencia de agua y se produce la gelatinización, la digestibilidad aumenta. La razón por la cual la barra comercial contiene más almidón resistente puede ser porque el almidón se retrogradó por su tiempo de almacenamiento de la harina que ocuparon para hacer la barra. Por lo tanto, que la barra seleccionada contenga menor cantidad de almidón resistente es favorable, porque su absorción de carbohidratos y digestión será más lenta y esto hará que el índice glucémico sea menor y con esto nuestra barra sea apta para personas diabéticas (Englyst et al, 1992; Asp, 1992; Bravo et al, 1998; Shin et al, 2003; Nutrinfo, 2000).

La calidad funcional de la barra seleccionada fue mejor que la barra comercial y que la control debido a que sus ingredientes son funcionales y a pesar de que la barra comercial contiene chía la su contenido es menor que la seleccionada, además en este desarrollo se buscó reducir el contenido de harina de trigo sustituyendo la cantidad que se redujo con harina de chía y amaranto, es por esto que la barra seleccionada tuvo una diferencia de fibra dietética muy grande en comparación con la barra control y comercial, así como la cantidad de fenoles y capacidad antioxidante, a pesar de la cantidad de almidón resistente fue menor esto es algo deseable porque al contener menos almidón resistente la digestión y la absorción es más lenta y por lo tanto el índice glucémico es menor.

### **3.6 Prueba de nivel de agrado**

Por último al realizarse una prueba de nivel de agrado a la barra seleccionada, los resultados mostraron un 71% de aceptación, por otra parte el consumidor le otorgó una calificación de 7.25 en una escala del 1 al 10 (Tabla 25). Siendo estos valores aceptables en un producto de nuevo desarrollo (Ramírez, 2012).

Con estos resultados se confirma que además de ser un producto con una mayor calidad química, nutricional y funcional que la barra comercial, gusto y fue



aceptada por potenciales consumidores, por lo tanto, la probabilidad de que tenga éxito en el mercado aumenta.

**Tabla 25.** Resultados de la prueba de nivel de agrado

<b>Barra nutritiva</b>	<b>Número de jueces</b>	<b>Calificación</b>	<b>Aceptación (%)</b>
<b>20 HA-20 HCh-60 HT</b>	100	7.25	71%

## Conclusiones

- El análisis químico de las harinas mostró que la harina integral de chía y la de amaranto poseen un contenido mayor de proteína, grasa, cenizas y fibra en comparación con la harina refinada de trigo por lo que pueden complementarla.
- La formulación seleccionada como la de mejores características físicas y sensoriales para elaborar la barra fue la que contenía 20% harina de chía, 20% harina de amaranto y 60% harina de trigo.
- La formulación seleccionada para elaborar la barra nutritiva presentó mejor calidad nutrimental y funcional que una barra comercial y una barra control elaborada 100% con trigo ya que tuvo un mayor contenido de proteína, grasa, cenizas y fibra cruda; también tuvo un valor de Eficiencia Proteica muy bueno similar al de la caseína, además tuvo un mayor contenido de fibra dietética, capacidad antioxidante y fenoles.
- Estos resultados nos permiten concluir que se obtuvo una barra nutritiva que podría considerarse como un alimento funcional y de muy buena calidad nutrimental.
- Por último, el producto tuvo una buena aceptación por parte del consumidor.

## Recomendaciones

- Evaluar la adición de algún tipo de conservador para prologar la vida de anaquel de la barrita.
- Realizar un análisis microbiológico para determinar la inocuidad del producto, ofreciendo al consumidor seguridad alimentaria.
- Realizar un estudio de factibilidad financiera para saber si es rentable su producción.

## Referencias

- ❖ Aguilera-Otíz, M., del Carmen Reza-Vargas, M., Chew-Madinaveita, R. G., & Meza-Velázquez, J. A. (2011). Propiedades funcionales de las antocianinas. *Biotecnia*, 13(2), 16-22.
- ❖ Altamirano, E. B., Trávez, J. J. I., & Lozano, B. C. (2015). Efecto del consumo de chía (*Salvia hispánica*) sobre los síntomas de estreñimiento que presentan los estudiantes de una universidad particular de Lima Este, 2014. *Revista Científica de Ciencias de la Salud*, 8(2), 18-24.
- ❖ Bonjean, A. P., & Angus, W. J. (2001). *The world wheat book: a history of wheat breeding*. Lavoisier Publishing.
- ❖ Alvarado, R. (2011). Caracterización de la semilla de chan (*Salvia hipánica* L.) y diseño de un producto funcional que la contiene como ingrediente. *Revista de la Universidad del Valle Guatemala*, 23, 43-49.
- ❖ Álvarez Miguel, A. (2019). Desarrollo y evaluación de barritas con alto contenido proteico con incorporación de harina de grillo.
- ❖ Angus W., Bonjean A., & Maarten, V. G. (2011). *The world wheat book: a history of wheat breeding* (Vol. 2). Lavoisier.
- ❖ AOAC (1990). Official Methods of Analysis. 15 ed. AOAC INC. USA
- ❖ AOAC (2005). Official Methods of Analysis. 18 ed. AOAC INTERNATIONAL .USA
- ❖ Araya, M. (2016). Los 4 principales beneficios de la fibra. Fecha de consulta: Mayo 2019. Disponible en: <https://www.clinicauandes.cl/shortcuts/novedades/los-4-principales-beneficios-de-la-fibra>
- ❖ Asp, N. G., & Björck, I. (1992). Resistant starch. *Trends in Food Science & Technology*, 3, 111-114.
- ❖ Ayadi, F., Bliard, C., & Dole, P. (2011). Materials based on maize biopolymers: Effect of flour components on mechanical and thermal behavior. *Starch-Stärke*, 63(10), 604-615.
- ❖ Ayerza, R. y Coates, W. (2006). Chía redescubriendo un olvidado alimento de los aztecas. Del Nuevo Extremo. Buenos Aires, Argentina. 232 p.
- ❖ Badui, S. (2a. Ed.). (2015). La ciencia de los alimentos en la práctica. México, México: Pearson Educación, 2015.
- ❖ Baixauli S., & Aguilar J. (2002). *Principales sustratos empleados, características y propiedades*. Valencia, España. GENERALITAT VALENCIANA. 15-56 pp
- ❖ Barros, C. (1997). *Amaranto: fuente maravillosa de sabor y salud*. Grijalbo.
- ❖ Bascopé, A. (2013). Realidad productiva del arándano en EEUU y México. *Santiago de Chile: ODEPAFIA*.

- ❖ Beltrán, O. M. C. y Romero, M. R. (2003). La chía, alimento milenario. Departamento de Graduados e Investigación en Alimentos. ENCB. Instituto Politécnico Nacional (IPN), México. 25
- ❖ Bourges, H. (2000). Los alimentos y la dieta. *Nutriología médica*. 469-508.
- ❖ Bravo, L., Siddhuraju, P., & Saura-Calixto, F. (1998). Effect of various processing methods on the in vitro starch digestibility and resistant starch content of Indian pulses. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(11), 4667-4674.
- ❖ Brenner, D. (1992). The Plainsman story. *Legacy* 1 (5), 12-13.
- ❖ Bueno, M., Di Sapio, O., Barolo, M., Busilacchi, H., Quiroga, M., & Severin, C. (2010). Análisis de la calidad de los frutos de *Salvia hispanica* L.(Lamiaceae) comercializados en la ciudad de Rosario (Santa Fe, Argentina). *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 9(3).
- ❖ Busilacchi, H., Bueno, M., Severin, C., Di Sapio, O., Quiroga, M., & Flores, V. (2013). Evaluación de *Salvia hispanica* L. cultivada en el sur de Santa Fe (República Argentina). *Cultivos Tropicales*, 34(4), 55-59.
- ❖ Cahill JP (2004) Genetic diversity among varieties of chia (*Salvia hispanica* L.). *Genet Resour Crop Evol* 51:773–781
- ❖ Cairns, P., Sun, L., Morris, V.J., & Ring, S.G., (1995). Physicochemical studies using amylase as an in vitro model for resistant starch, *Cereal Science*, 21(1), 37–47.
- ❖ CANIMOLT (2005). Estructura del grano. Fecha de consulta: Marzo 2019. Disponible en: <https://www.canimolt.org/estructura-del-grano/>
- ❖ CANIMOLT (2005). Tipos de grano. Fecha de consulta: Marzo 2019. Disponible en: <https://www.canimolt.org/tipos-de-grano/>
- ❖ Capitani, M. I. (2013). *Caracterización y funcionalidad de subproductos de chía (Salvia hispanica L.)* (Doctoral dissertation, Facultad de Ciencias Exactas).
- ❖ Capitani, M. I.; Nolasco, S. M. and Tomás, M. C. (2013). Effect of mucilage extraction on the functional properties of Chia meals. Muzzalupo In *Food Industry*. IntechOpen., Croacia. 421-437 pp.
- ❖ Carrero, J. J., Martín-Bautista, E., Baró, L., Fonollá, J., Jiménez, J., Boza, J. J., & López-Huertas, E. (2005). Efectos cardiovasculares de los ácidos grasos omega-3 y alternativas para incrementar su ingesta. *Nutrición hospitalaria*, 20(1), 63-69
- ❖ Centro de cereales y oleaginosas. (2011). “Barras de cereales”. Fecha de consulta: Marzo de 2019. Disponible en: [http://www.inti.gob.ar/productos/pdf/barritas\\_cereal2011.pfd/](http://www.inti.gob.ar/productos/pdf/barritas_cereal2011.pfd/)
- ❖ Coates, W. (2009). Influence of environment on growing period and yield, protein, oil and  $\alpha$ -linolenic content of three chia (*Salvia hispanica* L.) selections. *Industrial Crops and Products*, 30(2), 321-324.

- ❖ Coates, W., & Ayerza, R. (2006). Chía redescubriendo un olvidado alimento de los Aztecas.
- ❖ Collazos, C., White, P. L., White, H. S., Vinas, T., & Alvistur, J. (1975). La composición de los alimentos peruanos.
- ❖ Conejero, M. V. G., & Pérez-Urria, E. (2014). Arándono Rojo I (*Vaccinium macrocarpon* Ait.). *REDUCA (Biología)*, 7(2), 100-112.
- ❖ Cunniff, P. M., Fossey, S. A., Auerbach, M. A., Song, J. W., Kaplan, D. L., Adams, W. W., ... & Vezie, D. L. (1994). Mechanical and thermal properties of dragline silk from the spider *Nephila clavipes*. *Polymers for advanced technologies*, 5(8), 401-410.
- ❖ Delgado, M. K. (2016). perspectiva actual de los polifenoles en México. *Entretextos*. 7(21):1-12 Fecha de consulta: Abril 2019. Disponible en: <http://entretextos.leon.uia.mx/num/21/PDF/ENT21-1.pdf>
- ❖ Di Sapio, O., Bueno, M., Busilacchi, H., Quiroga, M., & Severin, C. (2012). Caracterización morfoanatómica de hoja, tallo, fruto y semilla de *Salvia hispanica* L.(Lamiaceae). *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 11(3).
- ❖ EcoAndes. (2016). Harina de Amaranto. Fecha de consulta: Abril 2019. Disponible en: <http://productosecoandes.com/harina-de-amaranto/>
- ❖ Englyst, H. N., Kingman, S. M., & Cummings, J. H. (1992). Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. *European journal of clinical nutrition*, 46, S33-50.
- ❖ Escarpa, A., González, M.C., Mañas, E., García, D.L., & Saura, C.F., (1996). Resistant starch formation: Standardization of a highpressure autoclave process. *Agricultural and Food Chemistry*, (44), 924–928.
- ❖ Escobar, B., Estévez, A.M., Fuentes, C., & Venegas, D. (2009). Uso de harina de cotiledón de algarrobo (*Prosopis chilensis* (Mol) Stuntz) como fuente de proteína y fibra dietética en la elaboración de galletas y hojuelas fritas. *Revista de la Sociedad Latinoamericana de Nutrición*, 59(2)101-105
- ❖ Escudero Álvarez, E., & González Sánchez, P. (2006). La fibra dietética. *Nutrición hospitalaria*, 21, 61-72.
- ❖ FAO. (2018) A. Composición química del amaranto. Fecha de consulta: Abril 2019. Disponible en: [http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP\\_FaoRlc/old/prior/segalim/prodalim/prodveg/cdrom/contenido/libro01/Cap7.htm](http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/prior/segalim/prodalim/prodveg/cdrom/contenido/libro01/Cap7.htm)
- ❖ FAO. (2018) B. Origen y botánica de la especie. Fecha de consulta: Abril 2019. Disponible en: [http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP\\_FaoRlc/old/prior/segalim/prodalim/prodveg/cdrom/contenido/libro01/Cap2.htm#Bot](http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/prior/segalim/prodalim/prodveg/cdrom/contenido/libro01/Cap2.htm#Bot)
- ❖ FAO/OMS/UNU. (1985). Necesidades de energía y proteínas. OMS., Ginebra. Serie de Informes técnicos N° 724

- ❖ FAO/WHO. (1989). Protein quality evaluation Report of the Joint FAO/WHO: Expert Consultation
- ❖ Fisiostar. (2017). 49 SUPERALIMENTOS ¡una lista que cambiará tu vida! SUPER SALUD. Fecha de consulta: Abril 2019. Disponible en: <https://fisiostar.com/salud/superalimentos-mejores-salud>
- ❖ Garza, A. (2011). El trigo. Fecha de consulta: Marzo 2019. Disponible en: <http://www.ilustrados.com/tema/1269/Trigo.html>
- ❖ Gonzalvo, P., (2017). Omega-3 y omega-6: la importancia del equilibrio y su papel en la inflamación. Fecha de consulta: Septiembre 2019. Disponible en: <https://soycomocomo.es/reportajes/omega-3-y-omega-6-la-importancia-del-equilibrio-y-su-papel-en-la-inflamacion>
- ❖ Goñi, I., Garcia-Diz, L., Mañas, E., & Saura-Calixto, F. (1996). Analysis of resistant starch: a method for foods and food products. *Food chemistry*, 56(4), 445-449.
- ❖ Grupo Milenio. (2017). Producción de trigo en México creció 14.6% en tres años. Fecha de consulta: Abril del 2019. Disponible en: <https://www.milenio.com/negocios/produccion-trigo-mexico-crecio-14-6-anos>
- ❖ Guiotto, E. N., Ixtaina, V. Y., Tomás, M. C., & Nolasco, S. M. (2013). Moisture-dependent engineering properties of chia (*Salvia hispanica* L.) seeds. In *Food Industry*. IntechOpen.
- ❖ Hsu, H., Vavak, I., Satterlee & Miller, G. (1977). A multienzyme technique for estimating protein digestibility. *Journal Food Science and Technology*, 42(5), 1269-1273
- ❖ Huerta-Ocampo, J. A. & Barba de la Rosa A. P. (2012). “Caracterización bioquímica y estructural de las proteínas de reserva de amaranto”, en E. Espitia-Rangel (ed.), *Amaranto: ciencia y tecnología*, México, inifap/sinarefi, pp. 293-302
- ❖ Iglesias-Puig, E., & Haros, M. (2013). Evaluation of performance of dough and bread incorporating chia (*Salvia hispanica* L.). *European Food Research and Technology*, 237(6), 865-874.
- ❖ Iñárritu, M., & Vega, L. (2001). Las barras de cereales como alimento funcional en niños . Fecha de consulta: Abril 2019. Disponible en : <http://www.mediagraphic.com/pdfs/pediat/sp-2001/sp011c.pdf>
- ❖ Irene Palma - CONASI (2018-2019). ALMIDÓN RESISTENTE: MEJORA TU SALUD INTESTINAL. Barcelona, España.:Conasai. Recuperado de: <https://www.conasi.eu/blog/consejos-de-salud/consejos-de-salud-consejos-de-salud/almidon-resistente-prebiotico/>
- ❖ Irving, D. W., Betschart, A. A., & Saunders, R. M. (1981). Morphological studies on *Amaranthus cruentus*. *Journal of Food Science*, 46(4), 1170-1174.

- ❖ Jamboonsri, W., Phillips, T. D., Geneve, R. L., Cahill, J. P., & Hildebrand, D. F. (2012). Extending the range of an ancient crop, *Salvia hispanica* L.—a new  $\omega$ 3 source. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 59(2), 171-178.
- ❖ Jiménez, P., Masson, L., & Quitral, V. (2013). Composición química de semillas de chía, linaza y rosa mosqueta y su aporte en ácidos grasos omega-3. *Revista chilena de nutrición*, 40(2), 155-160.
- ❖ José Antonio (2017). Harina de chia Del Oro de los Andes. Fecha de consulta: Abril 2019. Disponible en: <https://elorodelosandesecoalimentacion.com/harina-de-chia-del-oro-de-los-andes/>
- ❖ Joseph, C. P. (2004). Genetic diversity among varieties of chia (*Salvia hispanica* L.). *Genetic Resources and Crop Evolution*, 51(7), 773-781.
- ❖ Joseph, J. A., Shukitt-Hale, B., Denisova, N. A., Bielinski, D., Martin, A., McEwen, J. J., & Bickford, P. C. (1999). Reversals of age-related declines in neuronal signal transduction, cognitive, and motor behavioral deficits with blueberry, spinach, or strawberry dietary supplementation. *Journal of Neuroscience*, 19(18), 8114-8121.
- ❖ Larousse cocina (2019). Almidón. México. Larousse Cocina. All rights reserved. de <https://laroussecocina.mx/palabra/almidon/>
- ❖ Lodoño, J. (2012). Antioxidantes: importancia biológica y métodos para medir su actividad. Corporación Universitaria Lasallista. Capítulo 9. Parte III. Antioquia- Colombia.
- ❖ Magán, I. B. C., & De Vicente, A. (2011). Prevención de los problemas de la alimentación en niños y adolescentes. *Infocop*, 52, 3-7.
- ❖ Mapes, E.C. (2015). El amaranto. Fecha de consulta: Abril 2019. Disponible en: [https://www.amc.edu.mx/revistaciencia/images/revista/66\\_3/PDF/Amaranto.pdf](https://www.amc.edu.mx/revistaciencia/images/revista/66_3/PDF/Amaranto.pdf)
- ❖ Martínez Vazquez J. B. (2007). Evaluación de la actividad antioxidante de extractos orgánicos de semillas de *Heliocarpus terebinthinaceus*. Tesis de Licenciatura. Ingeniería en alimentos. Huajuapán de León, Oaxaca. Universidad Tecnológica de la Mixteca.
- ❖ 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-Manrique, E. y Jiménez-Vera, V., (2013). Trigo (*Triticum vulgare*). Fecha de consulta: Marzo 2019. Disponible en: [http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/semillas/index.php?option=com\\_content&view=article&id=18&Itemid=29](http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/semillas/index.php?option=com_content&view=article&id=18&Itemid=29)



- ❖ Mohd Ali, N., Yeap, S. K., Ho, W. Y., Beh, B. K., Tan, S. W., & Tan, S. G. (2012). The promising future of chia, *Salvia hispanica* L. *BioMed Research International*, 2012.
- ❖ Montero, K., Rojas, R., & Molina, E. (2015). Evaluación de panes enriquecidos con amaranto para regímenes dietéticos. *Interciencia*. 40 (7), 473-478.
- ❖ Muns, S. (2017). Alimento funcional, nutraceutico y superalimentos. Fecha de consulta: Abril 2019. Disponible en: <https://www.saludterapia.com/articulos/a/2674-alimento-funcional-nutraceutico-superalimentos.html>
- ❖ Muñoz, A., & Ramos, F. (2007). Componentes fenólicos de la dieta y sus propiedades biomedicinales. *Horizonte Médico*, 7 (1), 23-31
- ❖ Muñoz, L. A.; Cobos, A.; Díaz, O. & Aguilera, J. (2012). Chia seeds: microstructure, mucilage extraction and hydration. *Journal of food Engineering*. 108(1), 216-224.
- ❖ Nieto, C. (1990). El cultivo de amaranto (*Amaranthus* spp) una alternativa agronómica para Ecuador. INIAP, EE. Santa Catalina. Publicación Miscelánea N°52. Quito, Ecuador
- ❖ Nieto, M. G. (2003). *Desarrollo de una técnica de digestibilidad in vitro para el control de harinas de pescado y alimento para camarón*. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Nuevo León, México.
- ❖ NMX-F-516-1992. Alimentos. Productos de panificación. Clasificación y definiciones. Normas Mexicanas. Dirección general de normas.
- ❖ Nutrinfo. (2000). Tablas de índice glucémico. Fecha de consulta: Mayo 2019. Disponible en: <http://www.fundacion-barcelo.com.ar/nutricion/documentos%20NCB/Indice-Glucemico.pdf>
- ❖ Ohgami K., Ilieva I., Shiratori K., Koyama Y., Jin X. H. & Yoshida K. (2005). Anti-inflammatory effects of aronia extract on rat endotoxin-induced uveitis. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 46, 275-281.
- ❖ Olivera Carrión, M., Giacomino, S. M., Pellegrino, N., & Sambucetti, M. E. (2009). Composición y perfil nutricional de barras de cereales comerciales. *Actualización Nutr 2009*; 10 (4): 275, 84.
- ❖ Olivera Carrión, M.; Giacomino, S.M; Pellegrino, N.; Sambucetti, M.E (2015). Composición y perfil nutricional de barras de cereales comerciales. Cátedra de Bromatología, Facultad de Farmacia y Bioquímica. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires. Fecha de consulta: Abril 2019. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/255366249\\_COMPOSICION\\_Y\\_PERFIL\\_NUTRACIONAL\\_DE\\_BARRAS\\_DE\\_CEREALES\\_COMERCIALES](https://www.researchgate.net/publication/255366249_COMPOSICION_Y_PERFIL_NUTRACIONAL_DE_BARRAS_DE_CEREALES_COMERCIALES)
- ❖ Pacheco-Delahaye, E., Techeira, N., & García, A. D. (2008). Elaboración y evaluación de polvos para bebidas instantáneas a base

- de harina extrudida de ñame (*Dioscorea alata*). *Revista chilena de nutrición*, 35(4), 452-459.
- ❖ Pizarro, P. L., Almeida, E. L., Coelho, A. S., Sammán, N. C., Hubinger, M. D., & Chang, Y. K. (2015). Functional bread with n-3 alpha linolenic acid from whole chia (*Salvia hispanica* L.) flour. *Journal of food science and technology*, 52(7), 4475-4482.
  - ❖ Pizarro, P. L., Almeida, E. L., Coelho, A. S., Sammán, N. C., Hubinger, M. D., & Chang, Y. K. (2015). Functional bread with n-3 alpha linolenic acid from whole chia (*Salvia hispanica* L.) flour. *Journal of food science and technology*, 52(7), 4475-4482.
  - ❖ Prasad, K. & Weigle L. J. (1976). Association of seed coat factors with resistance to *Rhizoctonia solani* in *Phaseolus vulgaris*. *Phytopathology*, 66, 342-345.
  - ❖ Rama, M., Tara, R., & Krishnan, C. (1974). Colorimetric estimation of tryptophan content of pulses. *Journal Food Science and Technology*. 11, 213-216
  - ❖ Ramírez, J. (2012). Análisis sensorial: pruebas orientadas al consumidor. Revista ReCitela. Recuperado de: [https://www.academia.edu/28353054/ANÁLISIS\\_SENSORIAL\\_PRUEBAS\\_ORIENTADAS\\_AL\\_CONSUMIDOR](https://www.academia.edu/28353054/ANÁLISIS_SENSORIAL_PRUEBAS_ORIENTADAS_AL_CONSUMIDOR)
  - ❖ Ranganna, S. (1977). Manual of Analysis of Fruit and Vegetables Products. Mc-Graw Hill. New Delhi. 634 p.
  - ❖ Rayas-Duarte, P. y R. Joeb. (1992). Study on the squalene content in amaranth grains (Abstracts). *Proceedings of the 6<sup>th</sup> Annual National Meeting of the Amaranth Institute*, North Dakota State. University, Fargo, N.D.
  - ❖ Rayas-Duarte, P., Mock, C. M., & Satterlee, L. D. (1996). Quality of spaghetti containing buckwheat, amaranth, and lupin flours. *Cereal Chemistry*, 73(3), 381-387.
  - ❖ Rivera, G. (2014). Barras energéticas, la tendencia alimenticia. Fecha de consulta: Abril 2019. Disponible en: <https://manufactura.mx/industria/2014/05/30/barras-energeticas-la-tendencia-alimenticia>
  - ❖ Ruiz, R. (1981). Cultivo del Trigo y la Cebada. Temas de Orientación Agropecuaria, Bogotá.
  - ❖ Sánchez, M. A. (1980). Potencial agroindustrial del amaranto. *México: Centro de Estudios Económicos y Sociales del Tucu Mundo*.
  - ❖ Sánchez, M.A., J. Peres, J. Briones y J. Kuri. (1986). Potencialidad de la hoja de amaranto. p. 307-314. *En: Primer Seminario Nacional del Amaranto*. Chapingo, México.
  - ❖ Seale & Associates (2017). Botanas Saludables México. Fecha de consulta: Abril 2019. Disponible en: <http://mnamexico.com/wp-content/uploads/2017/05/Healthy-Snacks-1.pdf>

- ❖ Segura-Campos, M. R., Ciau-Solís, N., Rosado-Rubio, G., Chel-Guerrero, L., & Betancur-Ancona, D. (2014). Physicochemical characterization of chia (*Salvia hispanica*) seed oil from Yucatán, México. *Agricultural Sciences*, 5(03), 220.
- ❖ Serna S.O. (2001). Química, almacenamiento e industrialización de los cereales. Ed. A.G.T. México D.F. 521 pp
- ❖ Shin, M., Woo, K. & Seib, P.A., (2003). Hot-water solubilities and water sorptions of resistant starches at 25°C. *Cereal Chemistry*, (80), 564-566.
- ❖ Shukitt-Hale B., Galli R. L., Meterko V., Carey A., Bielinski D. F & McGhie T. 2005. Dietary supplementation with fruit polyphenolics ameliorates age-related deficits in behavior and neuronal markers of inflammation and stress. *Age the Journal of American Aging Association*, 27(1), 49-57.
- ❖ SIACON-SAGARPA (Sistema de información agroalimentaria de consulta. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). (2012). Sistema de información agroalimentaria de consulta. México, D. F.
- ❖ SIAP. (2019). Boletín mensual de avance de la producción de trigo grano. Fecha de consulta: Agosto 2019. Recuperado de: <https://www.gob.mx/siap/documentos/boletin-mensual-de-avances-de-la-produccion-de-trigo-grano-103707>
- ❖ Silva, L. (2007). Estudio de la digestibilidad de carbohidratos y capacidad antioxidante de leguminosas de mayor consumo en México. Instituto Politécnico Nacional. Yautepec, Morelos-México
- ❖ Silva, M. C. A. D., & Paiva, S. R. (2012). Antioxidant activity and flavonoid content of *Clusia fluminensis* Planch. & Triana. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 84(3), 609-616.
- ❖ Tehutli Amaranto (2015). Catalogo de productos. Fecha de consulta: Abril 2019. Disponible en: [http://tehutliamaranto.com/?page\\_id=45](http://tehutliamaranto.com/?page_id=45)
- ❖ Topping, D.L. & Clifton, P.M., (2001). Short-Chain fatty acids and human colonic function: roles of resistant starch and nonstarch polysaccharides. *Physiological Reviews*, 81(3), 1031-1064
- ❖ Tristan F., Kraft B., Schmidt B. M., Yousef G. G., Knigh C. T. G. & Cuendet M. (2005). Chemopreventive potential of wild lowbush blueberry fruits in multiple stages of carcinogenesis. *Journal of Food Science*, 70(3), 159-166.
- ❖ Ubico, J. (2017). *Formulación de barras nutricionales dirigidas a deportistas guatemaltecos a partir de frutos secos y deshidratados*.(Tesis de pregrado). Universidad Rafael Landívar, Guatemala.
- ❖ Unidad de Desarrollo Sectorial (2018). La Industria de Alimentos Procesados en México Febrero 2018. Fecha de consulta: Abril 2019.

Disponible en:  
<http://www.promexico.gob.mx/documentos/sectores/presentacion-alimentos-procesados.pdf>

- ❖ USDA, N. (2015). The PLANTS Database (<http://plants.usda.gov>, 1 May 2018). National Plant Data Team, Greensboro.
- ❖ USDA. (1963). Scoring color of orange juice products with the USDA 1963 orange juice color standards.
- ❖ Valadez Moctezuma, E., Ortega Delgado, M. L., Carallo Carballo, A., & Fucikovskiy Zak, L. (1990). Flavonoides de la testa del frijol como inhibidores de dos bacterias fitopatógenas. *Agrociencia*, 2, 75-91.
- ❖ Valdivia-López, M. Á., & Tecante, A. (2015). Chia (*Salvia hispanica*): a review of native mexican seed and its nutritional and functional properties. In *Advances in food and nutrition research* (Vol. 75, pp. 53-75). Academic Press.
- ❖ Vasquez-Castilla, S., Guillén-Bejarano, R., Jaramillo-Carmona, S., & Jimenez-Araujo, A. (2012). Funcionalidad de distintas variedades de arándanos.
- ❖ Vázquez-Ovando, A. Propiedades Fisicoquímicas y Funcionales de un Producto Proteínico de Chía (*Salvia hispanica* L.) Vázquez-Ovando, Alfredo<sup>1</sup>; Rosado-Rubio, Gabriel<sup>1</sup>, Betancur-Ancona, David<sup>1</sup>; Chel-Guerrero, Luis<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería Química, Universidad Autónoma de Yucatán. Avenida Juárez No. 421.
- ❖ Viviant V. (2005). Barras de cereal: una golosina saludable. *La Alimentación Latinoamericana*, 258(4) 40-42.
- ❖ Wang, J., & Mazza, G. (2002). Inhibitory effects of anthocyanins and other phenolic compounds on nitric oxide production in LPS/IFN- $\gamma$ -activated RAW 264.7 macrophages. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(4), 850-857.

## Anexos

### Anexo 1. Prueba sensorial de nivel de agrado

#### PRUEBA SENSORIAL DE PREFERENCIA

Edad: \_\_\_\_\_ Sexo: Hombre Mujer Fecha: \_\_\_\_\_

- **Nota:** Tome agua antes de iniciar la prueba y después de cada degustación consuma una galleta y agua.
- **Instrucciones:** Pruebe cada una de las muestras y ordene según sea su preferencia  
Considerando que: 1 es la que menos le gusta y 4 es la que más le gusta.  
No se permiten empates, en el espacio de abajo explique porque tomo esa decisión.

MUESTRAS	604	503	402	301
VALOR				

¿Por qué?

---

---

---

¡ Gracias ☺ !

### Anexo 2. Prueba de nivel de agrado

#### PRUEBA DE NIVEL DE AGRADO

Edad: \_\_\_\_\_ Sexo: Hombre Mujer Fecha: \_\_\_\_\_

**NOTA:** Tome agua antes de iniciar la prueba  
**INSTRUCCIONES:** Pruebe la barra nutritiva y sobre la línea indique con una "X" su nivel de agrado hacia el producto. En el espacio de abajo, explique brevemente porque tomó esa decisión

Escala

Disgusta Mucho

Es indiferente

Gusta Mucho

¿Por qué?

---

---

---

¡GRACIAS!

### Anexo 3. Funcionalidad de los ácidos grasos insaturados

Los ácidos grasos se definen como: “ácidos monocarboxílicos de cadena alifática con número par de átomos de carbono, que podían ser saturados o insaturados; sin embargo, en la actualidad se han identificado muchos otros, como cíclicos, ramificados, hidroxilados, con un número non de átomos de carbono, etcétera, de tal manera que se conocen más de 400 que se localizan en la leche, en algunos vegetales y en ciertos microorganismos. Aun cuando son muchos, la mayoría se encuentra en muy bajas concentraciones e influyen poco en las características físicas y químicas de los productos que los contienen.” (Badui, 2015)

“Las enfermedades cardiovasculares son la principal causa de mortalidad en Europa, Estados Unidos y gran parte de Asia. Existen varios factores de riesgo asociados a las enfermedades cardiovasculares, entre ellos están el colesterol total, la homocisteína y los triglicéridos elevados, la hipertensión, la diabetes y niveles reducidos de colesterol HDL. Muchos de estos factores de riesgo son influenciados por la dieta. La ingesta de alimentos enriquecidos en ácidos grasos poliinsaturados n-3 parece ser una opción que puede ser eficaz en la reducción de factores de riesgo de enfermedades, sustituyendo a los suplementos sin originar cambios en los hábitos alimentarios del consumidor” (Carrero *et al.*, 2005).

Los omega-3 y omega-6 son ácidos grasos poliinsaturados y esenciales, es decir, son grasas que el cuerpo no es capaz de sintetizarlas y por lo tanto debemos obtenerlos a través de la dieta. Existen dos ácidos grasos esenciales con 18 carbonos: el ácido alfa-linolénico (omega-3) y el ácido linoleico (omega-6), que a su vez son los precursores de otros ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga, que contienen veinte átomos de carbono o más. Entre los distintos tipos de omega-3 destaca el ácido alfa-linolénico o ALA (18:3n3), un omega-3 de cadena corta (18 carbonos) que encontramos principalmente en alimentos de origen vegetal como las semillas de lino, chía y las nueces. Dentro de la serie omega-3, también están el ácido eicosapentaenoico (EPA) (20:5n3) y el ácido docosahexaenoico (DHA) (22:6n3), que son los dos ácidos grasos que aportan los mayores beneficios para la salud y que encontramos en alimentos que provienen esencialmente del mar, también se encuentran en la carne de animales alimentados con pasto en menor cantidad. Por otro lado, tenemos el ácido linoleico o (LA) (18:2n6), el ácido graso esencial que encabeza la serie de los omega-6. La principal fuente de linoleico son los aceites de origen terrestre como algunos cereales y oleaginosas. Estos aceites son muy comunes en productos procesados y de esta serie también deriva el ácido araquidónico (ARA) (20:4n6), que se encuentran en las carnes y embutidos (Gonzalvo, P., 2017).

Anexo 4. Ejemplos de barras que se venden en México y su composición química



Figura 18. Barra multigrano Integra proteína sin azúcar

INTEGRA PROTEÍNA  
SIN AZÚCAR  
Barra multigrano + arándano  
almendra + cacahuete

Tamaño de porción  
1 barra  
Calorías 22  
Grasas Totales 66 g  
Fibra dietética 5 g  
Proteína 12 g



Figura 19. Protein Chewy Bars

Coconut Almond  
Protein Chewy Bars

Tamaño de porción  
1 barra  
Calorías 190  
Grasas Totales 12g  
Carbohidratos 14g  
Fibra dietética 5 g  
Proteína 10g



Stila fit  
 Tamaño de porción  
 1 barra  
 Calorías 86  
 Grasas Totales 2 g  
 Sodio 190 mg  
 Carbohidratos 15.4 g  
 Fibra dietética 1.7 g  
 Proteína 1.5 g

**Figura 20.** Barras Stila fit.