



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES**  
**CUAUTITLÁN**

---

---

**Elaboración de una base para pizza de amaranto  
(*Amaranthus hypochondriacus*) y chía (*Salvia hispanica L.*)  
para mejorar su calidad nutrimental.**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERA EN ALIMENTOS**

**PRESENTA**

**ANA ZHAZIL LUCERO RAMOS**

**ASESOR: Dr. Enrique Martínez Manrique**

**CO-ASESORA: I.A Verónica Jiménez Vera**

**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**

**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.

Elaboración de una base para pizza de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*) y chía (*Salvia hispanica L.*) para mejorar su calidad nutrimental.

Que presenta la pasante: Ana Zhazil Lucero Ramos

Con número de cuenta: 312264679 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"**

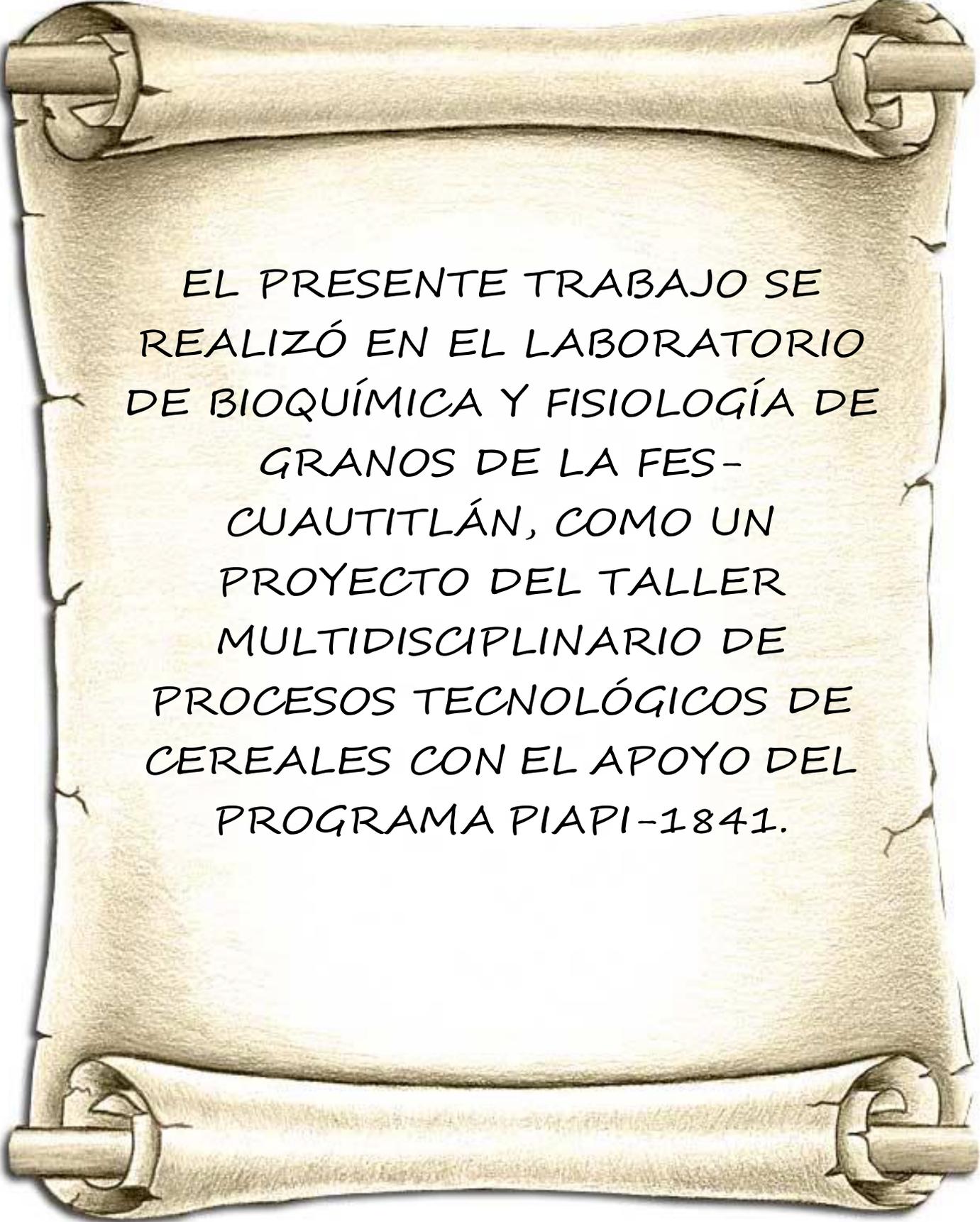
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 26 de Marzo de 2019.

**PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO**

	NOMBRE	FIRMA
<b>PRESIDENTE</b>	Dra. Elsa Gutiérrez Cortez	
<b>VOCAL</b>	I.A. Miriam Alvarez Velasco	
<b>SECRETARIO</b>	Dr. Enrique Martínez Manrique	
<b>1er. SUPLENTE</b>	I.A. Alberto Solís Díaz	
<b>2do. SUPLENTE</b>	Dra. María Elena Pahua Ramos	

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

LMCF/cga\*

A scroll of aged parchment with text. The scroll is unrolled, showing the texture of the paper and the binding at the top and bottom. The text is written in a simple, hand-drawn font.

EL PRESENTE TRABAJO SE  
REALIZÓ EN EL LABORATORIO  
DE BIOQUÍMICA Y FISIOLÓGIA DE  
GRANOS DE LA FES-  
CUAUTITLÁN, COMO UN  
PROYECTO DEL TALLER  
MULTIDISCIPLINARIO DE  
PROCESOS TECNOLÓGICOS DE  
CEREALES CON EL APOYO DEL  
PROGRAMA PIAPI-1841.



# AGRADECIMIENTOS

*Cuando tu corazón esta lleno de gratitud,  
cualquier puerta que aparece cerrada  
puede ser una apertura a una bendicion mayor.*

*-Osho*

*A la Universidad Nacional Autónoma de México por haber permitido mi formación académica en sus instalaciones desde el bachillerato y hasta culminar mis estudios universitarios.*

*A la Facultad de Estudios Superiores "Cuautitlan" por haberme permitido adquirir conocimientos en sus aulas y laboratorios a través de sus profesores.*

*A mi asesor Dr. Enrique Martinez Manrique por la ayuda profesional y personal que me brindó a lo largo de este periodo, por tomarse el tiempo de supervisar con detenimiento todo el trabajo realizado, por estar pendiente del trámite, por todas las exigencias que me pusieron a prueba, por hacer de este proceso un camino lleno de aprendizajes y buenos momentos.*

*A mi co-asesora I.A. Veronica Jimenez Vera por toda la ayuda técnica así como los consejos y buenos momentos vividos en este tiempo.  
La quiero mucho profesora.*

*A mis Sinodales por haberse tomado el tiempo para revisar este trabajo.*

*A mi Familia por el apoyo recibido a lo largo de este largo y difícil camino.*



# DEDICATORIAS

No trates de cortar el camino,  
sino de recorrerlo de tal manera que la acción  
haga más sólido el terreno y más hermoso el paisaje.

-Paulo Coelho

*Hoy culmina una etapa de mi vida llena de esfuerzo, dedicación y entrega de la cual me llevo muy gratas experiencias, y por supuesto este trabajo va dedicado a las personas que más amo en este mundo.*

*A mi madre: **Carolina Ramos Maldonado** por todo el apoyo, cariño, paciencia y dedicación que me has demostrado a lo largo de mi vida, gracias por los consejos que me encaminaron a ser la persona que soy ahora, me siento muy afortunada de saber que siempre estarás ahí para levantarme de todas mis caídas y festejar mis alegrías, este triunfo es de las dos sin ti nunca lo hubiera logrado. Te amo mucho mami.*

*A mi padre: **Francisco Gómez Altamirano** por el invaluable apoyo y cariño que me has brindado desde que era una pequeña; cuando por amor a mi madre te acercaste a mi queriendo ser mi amigo, hoy casi veinte años después con firmeza te digo PAPA mil gracias porque sin ti este proyecto no hubiera sido posible. Te quiero y espero que estés cerca por mucho tiempo más compartiendo conmigo momentos importantes. No tengo palabras ni acciones para agradecerte todo. Te quiero mucho.*

*A mi tío: **Nelson Orlando Ramos Maldonado** por cuidar de mi desde chiquita y haberme presionado para entrar a la preparatoria, hoy agradezco y entiendo la razón por la cual tanta insistencia, gracias por los regaños, llamadas de atención y consejos que siempre me dejan una lección; eres un gran consejero, espero que me dures muchos años más. Te dedico este logro porque eres uno de los motores más grandes de mi vida, cada una de mis alegrías y triunfos que sucedan a lo largo de mi vida los quiero compartir contigo. Te quiero mucho.*

*A mi abuelita: **Marbella Maldonado Alvarado** por haber cuidado de mi gran parte de mi vida, gracias por tus atenciones y por compartir conmigo este éxito que tanto trabajo me costó.*



*A mi abuelito: **José María Ramos Ramos** † aunque físicamente no estás aquí desde hace muchos años, espero que donde estés puedas ver lo que he crecido, y lo que se ha logrado gracias a tus hijos Caro y Ne, espero que estés orgulloso y contento de la solidaridad que ellos se demuestran. Te mando un beso hasta el lugar en donde te encuentres.*

*A mi tía: **Mayra Glodet García Rosas**, por ser parte de mi familia y por ser una mujer que inspira a cualquiera a la entrega total hacia el trabajo, amor y familia.*

*A mi madrina: **Catalina Miranda** por su cariño y presencia durante mi vida, por ser una mujer excepcional que nunca se rinde ante las adversidades y por inculcarme desde pequeña el amor al estudio*

*A mis niñas: **Zury y Sally** por estar conmigo cada noche de desvelo.*

*A mis amigos de la universidad: **Ivan, Luis, Melissa, Zianya y Mahely** por haber recorrido juntos esta etapa de nuestras vidas en la que sin duda pasamos grandes momentos de los cuales recordaremos con una gran sonrisa los quiero amigos y les deseo éxito en su vida profesional y personal.*

*A mis amigas: **Jimena y Mayte** por estos años increíbles de amistad por tanta diversión y aprendizaje que tuvimos juntas, no tienen idea de cuánto las quiero amigas.*

*A: **Jovanni Ambrosio** por estar conmigo durante la mayor parte de la elaboración de este proyecto dándome ánimos cuando estuve a punto de flaquear, gracias por apoyarme estos meses y por ayudarme en el inicio de mi vida laboral. Te amo y nos esperan grandes cosas mi amor.*

*“Gracias a la vida que me permitió estar en el lugar que estoy ahora y por colocar en mi camino personas maravillosas que siempre me han dejado una gran lección”*



# INDICE

RESUMEN .....	1
INTRODUCCIÓN .....	2
CAPITULO I: ANTECEDENTES.....	4
1.1 Trigo.....	4
1.1.1 Origen .....	4
1.1.2 Producción .....	5
1.1.3 Descripción de la planta y clasificación .....	6
1.1.4 Estructura del grano .....	7
1.1.5 Composición química y valor nutrimental del grano .....	10
1.1.6 Gluten.....	11
1.2 Panificación .....	13
1.2.1 Origen .....	13
1.2.2 Generalidades del Proceso .....	13
1.2.3 Materias primas .....	14
1.2.4 Sistemas de elaboración.....	15
1.2.5 Descripción del proceso.....	16
1.3 Pizza.....	18
1.3.1 Origen .....	18
1.3.2 Definición .....	18
1.4 Amaranto .....	20
1.4.1 Origen .....	20
1.4.2 Producción .....	21
1.4.3 Características botánicas y variedades de la planta.....	22
1.4.4 Composición química y valor nutrimental de la semilla .....	25
1.4.5 Proteínas del amaranto .....	26
1.4.6 Vitaminas y nutrimentos inorgánicos .....	28
1.4.7 Antioxidantes.....	28
1.4.8 Lípidos del amaranto .....	29
1.4.9 Fibra del amaranto. ....	29
1.5 Chía.....	30
1.5.1 Origen .....	30
1.5.2 Producción .....	31
1.5.3 Características botánicas de la planta .....	32



1.5.4 Composición química y valor nutrimental .....	33
1.5.5 Ácidos grasos en la chía.....	33
1.5.6 Proteínas de la chía.....	34
1.5.7 Vitaminas y minerales .....	35
1.6 Factores anti-nutricionales.....	37
1.6.1 Taninos.....	38
1.6.2 Ácido Fítico .....	38
1.6.3 Inhibidores de tripsina.....	39
<b>CAPITULO II: DESARROLLO EXPERIMENTAL .....</b>	<b>40</b>
2.1 Objetivos .....	40
2.1.1 Objetivo general .....	40
2.1.2 Objetivos particulares .....	40
2.2 Cuadro metodológico .....	41
2.3 Metodología.....	42
2.3.1 Material biológico .....	42
2.3.2 Preparación de la muestra .....	42
2.3.3 Análisis Químico Proximal.....	42
2.3.4 Elaboración de base para pizza .....	48
2.3.5 Evaluación sensorial.....	50
2.3.6 Análisis Químico Proximal.....	51
2.3.7 Evaluación de la calidad nutrimental de la base para pizza.....	51
2.3.8 Factores anti nutrimentales .....	55
2.3.9 Factores funcionales .....	59
2.3.10 Análisis estadístico.....	62
<b>CAPITULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>63</b>
3.1 Análisis químico proximal de la materia prima.....	63
3.2 Evaluación de la calidad nutrimental a la materia prima.....	65
3.3 Evaluación de la materia prima como alimento funcional .....	66
3.4 Evaluación de factores anti-nutrimientales en la materia prima.....	67
3.5 Elaboración de base para pizza .....	68
3.6 Prueba sensorial de preferencia .....	70
3.7 Análisis químico proximal de la base para pizza control y seleccionada.....	70
3.8 Evaluación de la calidad nutrimental a la base para pizza .....	72
3.9 Evaluación de la base para pizza como alimento funcional.....	75



<b>3.10 Evaluación de factores anti-nutrimientales de la base para pizza</b> .....	76
<b>3.11 Prueba de nivel de agrado</b> .....	77
<b>CONCLUSIONES</b> .....	79
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	80
<b>ANEXOS</b> .....	81
<b>REFERENCIAS</b> .....	86

## INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1 Origen del trigo</i> .....	4
<i>Figura 2 Triticum aestivum</i> .....	6
<i>Figura 3 Sistema radical en cultivos de trigo</i> .....	6
<i>Figura 4 Tallo del trigo</i> .....	6
<i>Figura 5 Hojas de trigo</i> .....	7
<i>Figura 6 Inflorescencia del trigo</i> .....	7
<i>Figura 7 Estructura del grano de trigo</i> .....	8
<i>Figura 8 Red de gluten</i> .....	12
<i>Figura 9 Origen del pan en Egipto</i> .....	13
<i>Figura 10 Pizza</i> .....	18
<i>Figura 11 Masa para pizza</i> .....	19
<i>Figura 12 Cultivo de amaranto en América</i> .....	20
<i>Figura 13 Amaranthus caudatus</i> .....	22
<i>Figura 14 Amaranthus cruentus</i> .....	22
<i>Figura 15 Amaranthus hypochondriacus</i> .....	23
<i>Figura 16 Forma de la hoja</i> .....	24
<i>Figura 17 Planta e inflorescencia de:</i> .....	24
<i>Figura 18 Forma del fruto de amaranto</i> .....	25
<i>Figura 19 Contenido de riboflavina en el grano de amaranto en comparación con otros alimentos</i> .....	28
<i>Figura 20 Origen de la chía</i> .....	30
<i>Figura 21 Salvia hispanica L</i> .....	32
<i>Figura 22 Contenido de ácidos grasos esenciales en diferentes fuentes (%)</i> .....	34
<i>Figura 23 Mucilago de chía</i> .....	36
<i>Figura 24 Estufa con circulación forzada de aire BLUE M C-4850- Q</i> .....	43
<i>Figura 25 Extracción etérea por soxhlet</i> .....	44
<i>Figura 26. Destilador micro Kjeldahl</i> .....	45
<i>Figura 27 Mufla</i> .....	46
<i>Figura 28 Filtración con succión por vacío</i> .....	47
<i>Figura 29 Diagrama de proceso para la elaboración de una base para pizza</i> .....	49
<i>Figura 30 Prueba sensorial de preferencia</i> .....	50
<i>Figura 31 Prueba de nivel de agrado</i> .....	50
<i>Figura 32 Determinación de triptófano</i> .....	51
<i>Figura 33 Digestibilidad in vitro</i> .....	52
<i>Figura 34 Formulaciones evaluadas</i> .....	69
<i>Figura 35 Nivel de aceptación de base para pizza</i> .....	77
<i>Figura 36 Nivel de aceptación de base para pizza con toppings</i> .....	77
<i>Figura 37 Base para pizza</i> .....	78



## INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1 Producción nacional del trigo 2018</i> .....	5
<i>Tabla 2 Composición química del trigo (% en peso)</i> .....	10
<i>Tabla 3 Producción nacional de amaranto</i> .....	21
<i>Tabla 4 Clasificación botánica del amaranto</i> .....	23
<i>Tabla 5 Composición proximal de la semilla de distintas especies de amaranto</i> .....	25
<i>Tabla 6 Composición de las fracciones proteicas en las semillas de amaranto</i> .....	26
<i>Tabla 7 Contenido de aminoácidos de las proteínas de amaranto</i> .....	27
<i>Tabla 8 Contenido de polifenoles, antocianinas y flavonoides en el amaranto</i> .....	29
<i>Tabla 9 Contenido de ácidos grasos en el amaranto</i> .....	29
<i>Tabla 10 Producción nacional de chía</i> .....	31
<i>Tabla 11 Composición química correspondiente a diversos granos</i> .....	33
<i>Tabla 12 Análisis del amino ácido de la proteína de la semilla de Chía</i> .....	35
<i>Tabla 13 Contenido de vitaminas en la chía</i> .....	35
<i>Tabla 14 Contenido de minerales en la semilla de chía</i> .....	36
<i>Tabla 15 Concentración de antioxidantes en extracto de semilla de chía</i> .....	37
<i>Tabla 16 Formulación de una base para pizza</i> .....	48
<i>Tabla 17 Formulaciones propuestas para elaborar base para pizza a partir de harina integral de chía y amaranto</i> ...	48
<i>Tabla 18 Análisis químico proximal de harina de trigo refinada marca Tres estrellas, harina integral de amaranto y harina integral de chía utilizadas como materia prima</i> .....	63
<i>Tabla 19 Evaluación nutrimental de la harina de trigo refinada marca Tres estrellas, harina integral de amaranto y harina integral de chía utilizadas como materia prima</i> .....	65
<i>Tabla 20 Evaluación de la funcionalidad en la harina de trigo refinada marca Tres estrellas, harina integral de amaranto y harina integral de chía utilizadas como materia prima</i> .....	66
<i>Tabla 21 Evaluación de factores anti-nutrimientales en la harina de trigo refinada marca Tres estrellas, harina integral de amaranto y harina integral de chía utilizadas como materia prima</i> .....	67
<i>Tabla 22 Formulaciones realizadas para la elaboración de base para pizza</i> .....	69
<i>Tabla 23 Resultados de prueba de preferencia aplicada a las bases para pizza desarrolladas con distintas formulaciones</i> .....	70
<i>Tabla 24 Análisis químico proximal de la base para pizza control y la base para pizza realizada con la formulación seleccionada</i> .....	71
<i>Tabla 25 Evaluación de la calidad nutrimental a la base para pizza control y la base para pizza realizada con la formulación seleccionada</i> .....	73
<i>Tabla 26 Evaluación de la digestibilidad in vivo y relación de eficiencia proteica a la base para pizza seleccionada</i> .....	74
<i>Tabla 27 Evaluación de factores anti-nutrimientales a la base para pizza control y a la base para pizza elaborada con 20 % de harinas integrales de chía y amaranto</i> .....	75
<i>Tabla 28 Evaluación de factores anti-nutrimientales a la base para pizza control y a la base para pizza elaborada con 20 % de harinas integrales de chía y amaranto</i> .....	76
<i>Tabla 29 Prueba de nivel de agrado</i> .....	77



## RESUMEN

El consumo frecuente de comida rápida ha sido tendencia en los últimos años debido en parte a la globalización y la gran demanda de tiempo que conlleva la preparación de alimentos nutritivos, es por ello que la gente prefiere consumir alimentos fáciles de adquirir y realizar, un ejemplo de ello es la pizza, cuyo consumo es alto en varios países globalizados como son Estados Unidos, Canadá y México, sin embargo, el aporte nutricional de esta es bajo, debido en gran parte a la base o corteza hecha a partir de harina refinada de trigo la cual no ofrece proteínas ni ácidos grasos de buena calidad, es por ello que en este proyecto se propuso una alternativa de base para pizza más nutritiva y funcional, al adicionarle harinas de chía y amaranto, ya que dichos granos no convencionales poseen proteínas con aminoácidos esenciales, ácidos grasos esenciales, fibra y antioxidantes los cuales confirieron propiedades funcionales al producto, que aportan beneficios a la salud al prevenir y ayudar a combatir enfermedades.

En la formulación base, la harina refinada de trigo se sustituyó por harinas integrales de amaranto y chía en distintas proporciones (20, 30 y 40%). Las características organolépticas del producto fueron evaluadas mediante una prueba sensorial de preferencia con jueces no entrenados con el fin de seleccionar la mejor formulación. A la base para pizza elaborada con la formulación seleccionada se le evaluaron sus propiedades nutricionales, funcionales, factores anti-nutrimientales y una prueba sensorial de nivel de agrado. Los resultados mostraron que la formulación seleccionada fue 50% harina refinada de trigo, 20 % harina integral de amaranto, 20% harina integral de chía y 10 % de gluten, la cual presentó mejor calidad nutrimental que una base para pizza control elaborada con 100% harina de trigo, debido a que tuvo un mayor contenido de cenizas, proteínas y grasa, en cuanto al contenido de triptófano fue mayor en la base seleccionada en comparación con la base control, mientras que la digestibilidad no presentó diferencia estadísticamente significativa. En cuanto a las propiedades funcionales se encontraron valores mucho mayores de capacidad antioxidante y fenoles en la formulación seleccionada con respecto a la control. Respecto a los factores anti-nutrimientales; taninos, ácido fítico, e inhibidores de tripsina, en ambas formulaciones resultaron ser casi despreciables. En cuanto a la relación de eficiencia proteica los valores presentados fueron mayores en comparación con trigo, pero menores que la caseína, la digestibilidad *in vivo* fue mayor del 80%. Finalmente la base para pizza seleccionada con toppings (queso mozzarella, salsa de tomate y peperonni) obtuvo un 92% de aceptación y una calificación de 8.34 en una prueba sensorial de nivel de agrado.

**Palabras clave:** Amaranto, Aminoácidos esenciales, Antioxidantes, Chía, Pizza.

## INTRODUCCIÓN

El trigo es uno de los tres cereales más cultivado globalmente, junto al maíz y el arroz, y el más consumido por el ser humano en la civilización occidental desde la antigüedad. El grano del trigo se utiliza para hacer harina, harina integral, sémola y malta, así como una gran variedad de productos alimenticios derivados de estos como por ejemplo el pan (León *et al.*, 2007).

El proceso de panificación fue uno de los grandes descubrimientos importantes de la humanidad, el pan ha representado un papel muy importante en el desarrollo del género humano, también constituye una de las principales fuentes de alimentación de los hombres. Actualmente contribuye a una alimentación de convivencia y variada, constituye un componente dietético saludable y un fuerte representante económico (Dobraszczyk *et al.*, 2001).

Dentro de los diversos productos obtenidos a partir del proceso de panificación se encuentra la pizza; dicho producto es el segundo alimento preferido en México -después de los tacos- con un consumo de 120 millones de unidades anuales. Los habitantes de nuestro país son por tanto los segundos consumidores mundiales de pizza, tan sólo superados por los estadounidenses, que consumen 650 millones de estos productos al año, el éxito de la pizza dentro del mercado de "fast food" se debe en gran medida a su importante adaptabilidad, por su precio y por la rapidez con la que se puede cocinar y consumir (Milenio, 2016).

La industria de comidas rápidas es un reflejo directo de los cambios en la sociedad actual, ya que ha cambiado a un orden social más avanzado y complicado que implica un movimiento que se aleja de los alimentos producidos naturalmente para dar paso a alimentos altamente procesados producidos para las masas porque las exigencias de los usuarios han cambiado, sin embargo, la forma de alimentarse variará con el correr de los tiempos, ya que cada día las personas piensan más en su salud y la selección de los alimentos se basa en éste concepto (Montalvo-Castro, 2008).

Durante la última década, la palabra antioxidante ha adquirido la misma importancia en salud preventiva como las vitaminas, los minerales y las proteínas. La población común ya no se preocupa por enfermedades infecciosas ni por deficiencias nutricionales clásicas. Ahora las principales preocupaciones de salud son las enfermedades degenerativas como Alzheimer, artritis, cáncer, diabetes, enfermedades cardiovasculares y osteoporosis, donde los antioxidantes pueden jugar un papel muy importante, debido a su estructura química, pueden hacer frente a los radicales libres (especies reactivas de oxígeno y nitrógeno) que detonan los síntomas de envejecimiento (Islam *et al.*, 2013).

Debido a las recientes exigencias de la sociedad por consumir alimentos que contienen algunos de los nutrientes esenciales, se creó el concepto de "súper alimentos" lo cual implica que tienen altas concentraciones de todos los nutrientes beneficiosos como las vitaminas, minerales, proteínas, ácidos grasos esenciales y antioxidantes. La lista de los "súper alimentos" varía mucho y usualmente incluyen semillas como el amaranto y la chía (Islam *et al.*, 2013).



La chía es una semilla que está considerada como un súper alimento gracias a los beneficios que proporciona al consumirla: es rica en antioxidantes, muy buena en ácidos grasos esenciales como el omega 3, rica en proteínas; aparte de ser una buena fuente de fibra soluble entre otras propiedades que contiene. Lo cual significa que es un alimento que aporta beneficios a la salud y por el lado de los nutrientes, este grano nos ofrecen una buena cantidad de vitaminas, minerales y proteínas que no tienen las demás semillas convirtiéndola en una buena fuente de nutrientes (Zúñiga, 2014; Hernández, 2007).

Por otra parte el amaranto contiene altos niveles de grasa y fibra dietética en comparación con los granos de cereales convencionales. La proteína del grano de amaranto es rica en lisina, el cual generalmente es deficiente en los granos de cereales. El grano de amaranto contiene altas cantidades de minerales, especialmente calcio y magnesio. El grano contiene de 6 a 10% de aceite que se encuentra principalmente en el germen, que es rico en aceites insaturados (76%), especialmente en ácido linoléico (Monteros, 1994).

Una masa para pizza normalmente posee un bajo contenido de proteínas de buena calidad (Blanco *et al.*, 2006), por lo que la incorporación de harina de amaranto y chía dará valor agregado al producto, beneficiando a los consumidores por las características nutricionales y funcionales del alimento enriquecido.

Esta investigación pretende por tanto la adición de harina de chía y amaranto en la formulación de una base para pizza, mediante una prueba sensorial de preferencia se seleccionará la mejor formulación, posteriormente se evaluará la calidad nutrimental (digestibilidad *in vitro*, triptófano y fibra dietética), sensorial (prueba de nivel de agrado), funcional (fenoles totales y capacidad antioxidante) y anti nutrimental (taninos, ácido fítico e inhibidores de tripsina) del producto seleccionado, y se comparará con una base para pizza elaborada 100% de trigo para definir si se mejoró su valor nutrimental.



## CAPITULO I: ANTECEDENTES

### 1.1 Trigo

#### 1.1.1 Origen

El trigo tiene sus orígenes en la antigua Mesopotamia. Las más antiguas evidencias arqueológicas del cultivo de trigo vienen de Siria, Jordania, Turquía e Iraq. Hace alrededor de 8 milenios, una mutación o una hibridación ocurrieron en el trigo silvestre, dando por resultado una planta con semillas más grandes, la cual no podría haberse diseminado con el viento. Existen hallazgos de restos carbonizados de granos de trigo almidonero (*Triticum dicocoides*) y huellas de granos en barro cocido en Jarmo, que datan del año 6700 a. C. (OEIDRUS, 2015).

El origen del actual trigo cultivado (Figura 1), se encuentra en la región asiática comprendida entre los ríos Tigris y Éufrates, habiendo numerosas gramíneas silvestres comprendidas en esta área y están emparentadas con el trigo. Desde Oriente Medio el cultivo del trigo se difundió en todas las direcciones. Las primeras formas de trigo recolectadas por el hombre, hace más de doce mil años, eran del tipo *Triticum monococcum* y *Triticum dicocccum*, caracterizadas fundamentalmente por tener espigas frágiles que se disgregan al madurar (Rimache, 2008).

Se dice que el trigo llegó a nuestro país en la época de la conquista, a través de los españoles que arribaron con grandes cantidades de trigo. Ya para 1534, a escasos 13 años de consolidar la conquista, se levantaban importantes cosechas de trigo en las inmediaciones de Texcoco y Puebla. También tuvieron la necesidad de enseñar a los nativos la molienda y la elaboración de pan convirtiéndose en parte de la dieta americana desde entonces (CANIMOLT, 2007).



Figura 1. Origen del trigo  
Fuente: Ancient-Origins, 2018

## 1.1.2 Producción

La producción de trigo se concentra básicamente en los estados de Sonora, Guanajuato, Baja California, Sinaloa, Michoacán, Tlaxcala y Jalisco. En el territorio nacional se distinguen las regiones Noroeste y Bajío por su preponderancia en la producción de trigo, siendo los principales estados productores Sonora, Sinaloa, Baja California, Guanajuato, Michoacán, Tlaxcala y Jalisco (Tabla 1). La Región Noroeste aporta en promedio el 55% de la producción nacional del cereal y el Bajío el 28%, lo que conjuntamente representa más de las tres cuartas partes del total nacional (OEIDRUS, 2016).

El trigo posee un alto grado de comercialización, por lo que el autoconsumo no es significativo. Este cereal requiere, para su consumo humano un proceso previo de transformación que da como resultado la producción de harina, que es utilizada como materia prima en algunas industrias, que la transforman cocinada a productos masivos terminales como la industria de la panificación. Por lo anterior, la mayor demanda del cereal en nuestro país la tiene la industria harinera, la que a su vez provee de materia prima a los fabricantes de la industria del pan, en donde la calidad del producto es determinada por la cantidad y la calidad de la proteína del grano (OEIDRUS, 2016).

Tabla 1. Producción nacional del trigo 2018

Estado	Superficie	Superficie	Producción	Rendimiento
	(ha) sembrada	(ha) <sup>2</sup> cosechada	(ton) obtenida	(ton/ha) obtenido
<b>BAJA CALIFORNIA</b>	46,610	46,051	279,322	6.066
<b>BAJA CALIFORNIA SUR</b>	2,133	2,133	13,447	6.304
<b>COAHUILA</b>	5,334	5,304	18,830	3.551
<b>CHIHUAHUA</b>	8,518	8,517	40,677	4.776
<b>DURANGO</b>	1,830	1,830	4,566	2.495
<b>GUANAJUATO</b>	50,312	50,312	346,605	6.889
<b>HIDALGO</b>	610	566	2,775	4.902
<b>JALISCO</b>	24,996	24,996	136,389	5.456
<b>MICHOACAN</b>	39,966	39,746	226,362	5.695
<b>NUEVO LEON</b>	19,787	19,331	39,809	2.059
<b>OAXACA</b>	1,238	1,238	1,709	1.381
<b>SINALOA</b>	41,676	41,676	241,523	5.795
<b>SONORA</b>	223,373	223,373	1,448,318	6.484
<b>TAMAULIPAS</b>	387	375	389	1.037
<b>ZACATECAS</b>	394	394	1,044	2.65
<b>TOTAL</b>	<b>467,319</b>	<b>465,997</b>	<b>2,802,008</b>	<b>6.013</b>

Fuente: SIAP, 2018.



### 1.1.3 Descripción de la planta y clasificación

#### ✚ Clasificación taxonómica

Reino: *Plantae*  
 División: *Magnoliophyta*  
 Clase: *Liliopsida*  
 Orden: *Poales*  
 Familia: *Poaceae, Pooideae*  
 Tribu: *Triticeae*  
 Género: *Triticum*  
 Especie: *T. aestivum*

#### ▪ Raíz

El sistema radical del trigo *Triticum aestivum* (Figura 2), es fibroso o fasciculado (Figura 3). Cuando la semilla de trigo germina, emite una raíz primaria o seminal, seguida por un sistema de raíces secundarias o permanentes que surgen de los nudos inferiores "corona" este último grupo de raíces, son las encargadas de dar sostén a la planta tanto en el aspecto mecánico como en la absorción de agua y nutrientes del suelo hasta que el trigo completa su ciclo vegetativo (Villareal, 2014).

#### ▪ Tallo

La altura que alcanzan los tallos (Figura 4) del trigo, generalmente oscila entre 60 y 120 cm: existen sin embargo trigos enanos (30- 40 cm) que normalmente resultan ser de difícil recolección o cosecha, así mismo, se sabe de trigos de gran altura (120-180 cm) los cuales a su vez carecen de importancia económica cuando se les cultiva para producción de grano ya que generalmente suelen preferirse cuando se siembran para utilizar la planta como forraje. Desde el punto de vista comercial, los trigos intermedios en altura de (60-100 cm) son los más adecuados especialmente cuando se producen bajo condiciones de riego y con aplicación de fertilizantes (Villareal, 2014)



Figura 2. *Triticum aestivum*  
 Fuente: eBay, 2017



Figura 3. Sistema radical en cultivos de trigo  
 Fuente: Antama, 2016



Figura 4. Tallo del trigo  
 Fuente: Ruralnet, 2014

### ▪ Hoja

El número de hojas (Figura 5) por tallo es variable, sin embargo, frecuentemente oscila de 4 a 7, la longitud varía de los 15 a 30 cm y de 0.5 a 2.0 cm de ancho (Villareal, 2014).



Figura 5. Hojas de trigo  
Fuente: Cienradios, 2007.

### ▪ Inflorescencia

La inflorescencia (Figura 6) del trigo es una espiga formada por espiguillas dispuestas en forma alternada sobre un eje central denominado raquis. Las espiguillas contienen de dos a cinco florecillas que posteriormente darán lugar al grano.

En condiciones de campo, no todas las florecillas son fértiles o productivas, por lo que el número de granos por espiguilla varía de dos a cuatro. El número de espiguillas que forman la espiga varía de 10 a 20 o más de acuerdo a las variedades y las condiciones ambientales donde se produzca; la separación entre espiguillas es variable entre especies (Villareal, 2014).



Figura 6. Inflorescencia del trigo.  
Fuente: Wordpress, 2014

### ▪ Fruto

Se desarrolla después de la polinización y alcanza su tamaño normal en los siguientes 30 a 45 días. El fruto es un grano o cariósipide de forma ovalada con una sutura o pliegue en la parte ventral, en un extremo lleva germen o embrión y en el otro una pubescencia llamada generalmente brocha o mechón (Villareal, 2014).

#### 1.1.4 Estructura del grano

El grano de trigo tiene una forma ovalada y sus extremos redondeados, sobresaliendo el germen en uno de ellos y en el otro, un mechón de finos pelos. En la Figura 7 puede observarse que el trigo está formado por tres partes principales: endospermo, salvado y germen (Serna-Saldívar, 2009). La mayor parte del salvado lo constituye el pericarpio que está formado por la epidermis, el epicarpio y el endocarpio. Entre el salvado y el endospermo se encuentra la capa de aleurona que cumple un papel muy importante en el desarrollo del embrión durante la germinación. El endospermo, por su parte, es el depósito de reserva energética.

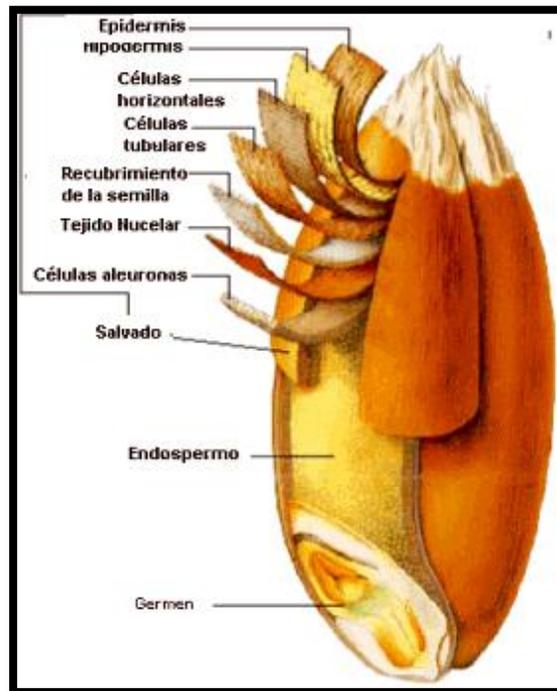


Figura 7. Estructura del grano de trigo  
Fuente: Cytcereales, 2016

#### ▪ **Salvado**

A su vez, este se divide en pericarpio, cubierta de la semilla o testa, tejido nuclear y una capa de células aleuronas. El pericarpio envuelve a la semilla protegiéndola contra el ataque de insectos y de las condiciones ambientales y está compuesto por varias capas:

- a) Epidermis.
- b) Hipodermis.
- c) Restos de células de paredes delgadas.
- d) Células intermedias.
- e) Células cruzadas.
- f) Células tubulares.

Las tres primeras capas componen al pericarpio externo y las tres restantes pertenecen al pericarpio interno (endocarpio). La parte más interna del pericarpio externo está formada por restos de células de pared delgada. Ya que no tiene una estructura celular continua, constituye un plano natural para la división entre el pericarpio externo y el pericarpio interno (Ospina, 2002).

En el pericarpio interior, ni las células intermedias ni las tubulares cubren por completo el grano. Las células cruzadas son largas y cilíndricas y tienen su eje longitudinal perpendicular al eje longitudinal del grano, entre ellas hay poco o nada de espacio intercelular. Las células tubulares son del mismo tamaño y forma que las células cruzadas, pero tienen sus ejes longitudinales paralelos al eje longitudinal del grano y existen muchos espacios intercelulares. El pericarpio

representa en volumen 5% de la totalidad del grano y tiene una composición aproximada de 6% proteína, 2% ceniza, 20% celulosa y 0.5% de grasa con el resto de pentosanas y fibra (Hoseney, 1991).

La cubierta de la semilla está compuesta por tres capas: una cutícula exterior gruesa, una capa pigmentada y una cutícula interior fina. El tejido nuclear tiene unos 7µm de espesor y está unido estrechamente tanto a la cubierta de la semilla como a la capa de aleuronas. La capa de aleurona, rodea el grano por completo. Botánicamente, es la capa exterior del endospermo, sin embargo, se elimina durante la molienda constituyendo parte de lo que se conoce como salvado (Hoseney, 1991).

#### ▪ **Endospermo**

El endospermo, por su parte, es el depósito de alimento para el embrión y constituye el 82% del peso del grano (Ritchie *et al.*, 2000; Mabile *et al.*, 2001; Shewry & Halford, 2002). Está compuesto por almidón, proteínas y en menor proporción celulosas; además, tiene una baja proporción de vitaminas y minerales, conformado por tres tipos de células: periféricas, prismáticas y centrales, las cuales varían de tamaño y forma con su localización en el grano.

Las paredes celulares del endospermo están formadas por pentosanas, otras hemicelulosas y glucanas pero no por celulosa. El contenido y paredes celulares del endospermo, constituyen la harina. Las células están repletas de granos grandes de almidón incluidos en una matriz proteica. La mayor parte, aunque no toda, de la proteína es el gluten, las proteínas de reserva del trigo. Cuando madura el trigo, se sintetiza el gluten en los cuerpos proteicos. Sin embargo al madurar el grano, los cuerpos proteicos se comprimen unos contra otros formando una matriz como de barro o arcilla con lo que ya no son conspicuos los cuerpos proteicos.

El endospermo puede variar en textura (dureza) y en aspecto (calidad vítrea). La dureza es producida por la fuerza de unión entre la proteína y el almidón en el endospermo, fuerza que es controlada genéticamente. La opacidad se da cuando en el grano existen cavidades aéreas difractando y difundiendo la luz. En los granos bien repletos la luz viaja a través del grano sin sufrir la difracción una y otra vez resultando un grano vítreo.

#### ▪ **Germen**

El germen de trigo abarca en volumen aproximadamente 2.5% al 3.55% del grano. El germen está constituido por dos partes principales: eje embrionario (raíz y tallo rudimentarios) y el escutelo que tiene el papel de almacén. El germen es relativamente rico en proteína (25%), azúcar (18%), aceite (16% del eje embrionario y 32% del escutelo es aceite) y cenizas (5%) no contiene almidón, pero es bastante rico en vitaminas B además de varias enzimas (Hoseney, 1991).



Tabla 2. Composición química del trigo (% en peso)

	Almidón	Proteína	Lípidos	Minerales
	%			
<b>Grano</b>	60-70	10-14	1.5-2.5	1.6-2
<b>Endospermo</b>	70-85	8-13	1-1.6	0,3-0.8
<b>Salvado</b>	0	7-8	1-5	3-10
<b>Germen</b>	20	35-40	15	5-6

Fuente: David &amp; Bogdan, 2004

### 1.1.5 Composición química y valor nutrimental del grano

El grano de trigo en sus tres partes morfológicamente diferentes: el endospermo, que representa la mayor parte del grano; la capa de salvado, que envuelve el grano; y el germen, que incluye el embrión y el escutelo. La composición química de las tres partes varía ampliamente como se puede observar en la Tabla 2 (David & Bogdan, 2003).

#### ▪ Hidratos de Carbono

Los hidratos de carbono se forman a partir de dióxido de carbono y agua durante la fotosíntesis. Estos sirven como estructura de soporte en la planta y la semilla, son la fuente de energía para muchas de las reacciones metabólicas y se depositan en la semilla para suministrar energía durante el desarrollo de la nueva planta (Hoseney 1994).

Los hidratos de carbono totales constituyen del 77 al 87% de la materia seca total y son los componentes más importantes, de los cuales aproximadamente el 64% es almidón y el resto, carbohidratos solubles e insolubles que constituyen la fibra dietética (Kent, 1987). La fracción insoluble está compuesta principalmente por celulosa y hemicelulosa, encontrándose en las envolturas del grano y no es digerible para el humano.

La fibra dietética soluble está formada por  $\beta$ -glucanos y pentosanos que, principalmente, se encuentran en las paredes celulares. Alteran el tránsito intestinal y la absorción de nutrientes, activando los movimientos peristálticos que previenen o combaten la constipación (Wang *et al.*, 2002; Philippe *et al.*, 2006).

#### ▪ Almidón

Los granos de cereales almacenan energía en forma de almidón. El almidón es el hidrato de carbono mayoritario en el grano de trigo maduro, representando entre el 65-70% de la harina de trigo (suponiendo una tasa de extracción del 80% y una humedad del 14%). El almidón se acumula en forma de gránulos que se forman dentro de los amiloplastos (León *et al.*, 2007).



## ▪ Lípidos

En el grano de trigo se encuentran presentes distintos tipos de lípidos, tales como ácidos grasos, glicéridos simples, galactoglicéridos, fosfoglicéridos, esteroides, esfingolípidos, dioles, tocoferoles, carotenoides e hidrocarburos. Los lípidos tipo acil son los que se encuentran en mayor proporción; entre ellos predominan los triglicéridos que contienen ácido palmítico, esteárico, oleico, linoléico y  $\alpha$ -linolénico, encontrándose los mono y diglicéridos en menor proporción. Los ácidos grasos saturados constituyen el 11-26% del total y los no saturados el 72- 85% (Matz 1999).

## ▪ Minerales

Los minerales están en muy pequeña proporción en el grano de trigo, y es aún menor su presencia en el endospermo (inferior al 1%). Los componentes mayoritarios de esta fracción son los fosfatos y sulfatos de potasio, magnesio y calcio. También se encuentran cantidades significativas de hierro, magnesio, zinc y cobre (Matz 1999).

## ▪ Proteínas

Las proteínas que acompañan al almidón, tienen una buena tasa de digestibilidad; sin embargo, dado su bajo porcentaje (8 al 16%) y a la ausencia de los aminoácidos esenciales lisina, triptófano y treonina, se considera de bajo valor biológico a la proteína de trigo (Wardlaw & Wrigley, 1994; Daniel & Triboi, 2000; Mikhaylenko, et al., 2000; Serna-Saldívar, 2009).

Las proteínas contenidas en el trigo pueden dividirse en dos grupos: las proteínas del gluten o de almacenamiento y las proteínas que no forman gluten, englobando a la mayoría de las enzimas. Las albúminas y globulinas se encuentran en el germen, el salvado y la aleurona, y en menor proporción en el endospermo, conteniendo un buen balance de aminoácidos. Las prolaminas y gluteninas se encuentran en el endospermo, distinguiéndose por sus altas concentraciones de glutamina y prolina (Dupont & Altenbach, 2003; Gómez- Pallarés *et al.*, 2007).

Las proteínas son un factor determinante en la funcionalidad de la harina de trigo, pues son estas las que durante el amasado forman una red tridimensional continua llamada gluten capaz de retener al anhídrido carbónico producto de la fermentación y por tanto determinan las características físicas del producto final (García *et al.*, 2007).

### 1.1.6 Gluten

Las proteínas son las que otorgan principalmente la capacidad de esponjamiento de la harina de trigo, además del almidón y los lípidos. Las glutelinas y gliadinas forman el gluten que, junto con los lípidos y el agua, son responsables de las propiedades de viscoelasticidad y cohesividad de la masa panadera. Las interacciones hidrofóbicas e hidrofílicas ayudan a que los polímeros se orienten longitudinalmente originando una red elástica (Figura 8) y cohesiva para la formación del esponjado producido por la generación de CO<sub>2</sub>, producto de la fermentación (Wieser, 2007; Kamal *et al.*, 2009; Badui, 2013);

La calidad de una harina que permita desarrollar un gluten con buenas propiedades viscoelásticas va a depender del tipo y la cantidad de gluteninas y gliadinas que posee y de la capacidad de estas proteínas de formar enlaces intermoleculares mediante puentes disulfuro. En este sentido, promover un mayor grado de entrecruzamiento en la red polimérica podría



traducirse en mejores características reológicas de las masas, por lo tanto las proteínas formadoras de gluten juegan un papel fundamental en la elaboración de productos de panificación (Sciarini *et al.*, 2016).

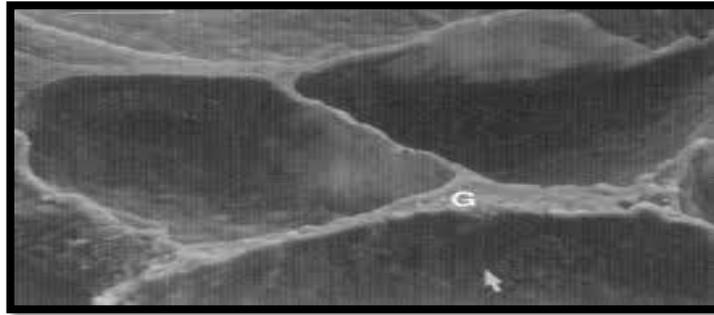


Figura 8. Red de gluten  
Fuente: TRIPOD, 2018

Estudios han revelado que el gluten causa mecanismos de inflamación, los cuales se deben a diversas causas, dentro de las cuales se incluye la ausencia de enzimas digestivas (glutaminasa intestinal), producción de anticuerpos anti-prolamina, aumento en la producción de mediadores (histamina, serotonina, cininas prostaglandinas e interleukinas) o por un aumento de la permeabilidad intestinal a macromoléculas y proteínas antígenas (Bordés *et al.*, s.f.). Estos procesos no solo ocasionan daños al tejido intestinal, incrementando la probabilidad de desarrollar alergias en el futuro, sino producen una alta cantidad de citocinas, las cuales producen daños en los tejidos cerebrales (Perlmutter & Loberg, 2014)

El gluten no es una proteína indispensable para la supervivencia del ser humano, por lo que disminuir su consumo en la dieta no solo permitirá a la persona vivir sin ningún déficit, sino que podrá evitar procesos inflamatorios y complicaciones para la salud cerebral (Federación de Asociación de Celiacos de España, 2014), (Perlmutter & Loberg, 2014).

La alta ingestión de carbohidratos y gluten están asociados con un deterioro cerebral acelerado. Así, niveles altos de glucosa (indicadores como hemoglobina A1C) se asocian con el estrés oxidativo y glicación con efectos como deterioro cognitivo, y pérdida de tejido cerebral. Además, se ha evidenciado que existe una fuerte vinculación entre la obesidad y pérdida de tejido cerebral. La inflamación provocada por el gluten se relaciona con el deterioro cognitivo y con enfermedades como Alzheimer, Parkinson, Esclerosis Múltiple, Autismo y Depresión (Caañamo, 2015).

A pesar de la baja calidad nutrimental del gluten y las proteínas que lo conforman, como ya se mencionó, estas tienen ciertas características especiales que resultan ideales para la industria alimenticia, específicamente a la industria de la panificación (Caañamo, 2015).



## 1.2 Panificación

### 1.2.1 Origen

El pan constituye la base de la alimentación desde hace 7000 u 8000 años (Bourgeois y Larpent, 1995). Al principio era una pasta plana, no fermentada, elaborada con una masa de granos machacados groseramente y cocida, muy probablemente sobre piedras planas calientes. Parece que fue en Egipto (Figura 9) donde apareció el primer pan fermentado, cuando se observó que la masa elaborada el día anterior producía burbujas de aire y aumentaba su volumen, y que, añadida a la masa de harina nueva, daba un pan más ligero y de mejor gusto. Existen bajorrelieves egipcios (3000 años a. de J.C.) sobre la fabricación de pan y cerveza, que sugieren que fue en la civilización egipcia donde se utilizaron por primera vez los métodos bioquímicos de elaboración de estos alimentos fermentados (Aleixandre, 1996).



Figura 9. Origen del pan en Egipto  
Fuente: Komoni, 2018

### 1.2.2 Generalidades del Proceso

Con el objeto de convertir una mezcla de ingredientes en una estructura esponjosa como lo es la miga de pan, se siguen una serie de procesos que llevan, en su conjunto, a la obtención de una masa con las propiedades mecánicas apropiadas que permitan la retención de gases, en la cual el papel del gluten es fundamental (Gan *et al.*, 1990; Kokelaar & Prins, 1995; McRitchie, 2016). Ocurren tres hechos durante el proceso (Bloksma, 1990; Campbell *et al.*, 1991; Kent & Evers, 1994):



- **Hidratación**

El amasado de los ingredientes, además de la tarea obvia de mezclarlos, tiene como función distribuir el agua entre los polímeros.

- **Desarrollo del gluten**

Aunque algunas de las proteínas presentes en la harina son solubles en agua, es en las proteínas insolubles, conocidas colectivamente como gluten, donde se enfocan los estudios que pretenden elucidar cómo el trabajo aplicado transforma al agua y la harina en una masa cohesiva (Weegels *et al.*, 1996). Cuando la masa se desarrolla bajo condiciones óptimas, estas proteínas forman una red viscoelástica que retiene el aire, y contiene a los gránulos de almidón y otros materiales, como el salvado. El óptimo desarrollo del gluten durante el amasado es vital para la formación de la estructura de la miga.

- **Incorporación y retención del aire**

Durante el amasado debe incorporarse el aire que formará la fase gaseosa de la miga de pan, y el volumen final de aire será una función de la amasadora que se emplee.

### 1.2.3 Materias primas

Las materias primas utilizadas en la elaboración del pan son: harina, agua, sal, levadura y otros componentes. Evidentemente la utilización de las 4 primeras conduce a la elaboración de pan común, la ausencia de alguna de ellas o la inclusión de algún componente especial conlleva la elaboración de pan especial (Matz, 1996; Miralbés, 2000; Callejo, 2002).

- **Harina**

El producto obtenido de la molienda del endospermo del grano de trigo limpio. Si se trata de otros granos de cereales o de leguminosas hay que indicarlo, por ejemplo: harina de maíz, harina de cebada, etc. Si en la harina aparece no sólo el endospermo, sino todos los componentes del grano se llama harina integral (Mesas & Alegre, 2002).

- **Agua**

Es el segundo componente mayoritario de la masa y es el que hace posible el amasado de la harina. El agua hidrata la harina facilitando la formación del gluten, con ello y con el trabajo mecánico del amasado se le confieren a la masa sus características plásticas: la cohesión, la elasticidad, la plasticidad y la tenacidad o nervio (Calvel, 1983). La presencia de agua en la masa también es necesaria para el desarrollo de las levaduras que han de llevar a cabo la fermentación del pan.



## ▪ Sal

Su objetivo principal es dar sabor al pan (Calvel, 1994). Además es importante porque hace la masa más tenaz, actúa como regulador de la fermentación, favorece la coloración de la corteza durante la cocción y aumenta la capacidad de retención de agua en el pan (Calvel, 1983).

## ▪ Levadura

En panadería se llama levadura al componente microbiano aportado a la masa con el fin de hacerla fermentar de modo que se produzca etanol y CO<sub>2</sub>. Este CO<sub>2</sub> queda atrapado en la masa la cual se esponja y aumenta de volumen. A este fenómeno se le denomina levantamiento de la masa (Humanes, 1994; Tejero, 1992; Guinet & Godon, 1996). Los microorganismos presentes en la levadura son principalmente levaduras que son las responsables de la fermentación alcohólica, pero también se pueden encontrar bacterias que actúan durante la fermentación dando productos secundarios que van a conferir al pan determinadas características organolépticas, en concreto una cierta acidez.

### ○ Tipos de levadura

Levadura natural o levadura de masa: se prepara a partir de la microbiota de la propia harina. Para ello, en 3 ó 4 etapas sucesivas, se mezclan harina y agua, se amasa y se deja reposar la masa para que fermente de modo espontáneo. Poco utilizada en la actualidad como levadura única, salvo en elaboraciones artesanales muy concretas, tiene su principal aplicación en la elaboración de la masa madre empleada en el sistema de elaboración mixto (Tejero, 1992).

Levadura comercial o levadura de panadería: se prepara industrialmente a partir de cultivos puros generalmente de *Saccharomyces cerevisiae*. Se comercializa en distintas formas: prensada, líquida, deshidratada activa o instantánea, en escamas. Tiene aplicación en todos los sistemas actuales de elaboración de pan (Callejo, 2002).

Levaduras químicas o impulsores de masas: son aditivos gasificantes que básicamente consisten en la mezcla de un ácido y un compuesto alcalino que con el amasado y el calor de la cocción reaccionan generando CO<sub>2</sub>. Su aplicación real corresponde más a la pastelería que a la panificación (Humanes, 1994; Pérez *et al.*, 2001).

## 1.2.4 Sistemas de elaboración

Existen tres sistemas generales de elaboración de pan que vienen determinados principalmente por el tipo de levadura utilizado (Tejero, 1992; Callejo, 2002), son los siguientes:

### ▪ Directo

Es el menos frecuente y se caracteriza por utilizar exclusivamente levadura comercial. Requiere un periodo de reposo de la masa de unos 45 minutos antes de la división de la misma. No es útil en procesos mecanizados con división automática volumétrica.



- **Mixto.**

Es el sistema más frecuente en la elaboración de pan común. Utiliza simultáneamente masa madre (levadura natural) y levadura comercial. Requiere un reposo previo a la división de la masa de sólo 10–20 minutos. Es el más recomendable cuando la división de la masa se hace por medio de divisora volumétrica.

- **Esponja o «poolish»**

Es el sistema universalmente empleado en la elaboración de pan francés y sobre todo en la de pan de molde. Consiste en elaborar una masa líquida (esponja) con el 30 – 40% del total de la harina, la totalidad de la levadura (comercial) y tantos litros de agua como kilos de harina. Se deja reposar unas horas, se incorpora el resto de la harina y del agua y a partir de ahí se procede como en el método directo.

### 1.2.5 Descripción del proceso

Con las particularidades propias de cada sistema de elaboración y de cada tipo de pan, el proceso de elaboración consta de las siguientes etapas (Quaglia, 1991; Kamel, 1993; Guinet & Godon, 1996; Cauvain & Young, 1998).

- **Amasado**

Sus objetivos son lograr la mezcla íntima de los distintos ingredientes y conseguir, por medio del trabajo físico del amasado, las características plásticas de la masa así como su perfecta oxigenación. El amasado se realiza en máquinas denominadas amasadoras, que constan de una artesa móvil donde se colocan los ingredientes y de un elemento amasador cuyo diseño determina en cierto modo los distintos tipos de amasadoras, siendo las de brazos de movimientos variados y las espirales que son más comúnmente utilizadas en la actualidad (Mesas & Alegre, 2002).

- **División y pesado**

Su objetivo es dar a las piezas el peso justo. Si se trata de piezas grandes se suelen pesar a mano. Si se trata de piezas pequeñas se puede utilizar una divisora hidráulica, pesando a mano un fragmento de masa múltiplo del número de piezas que da la divisora. En las grandes panificadoras donde el rendimiento horario oscila entre las 1000 y 5000 piezas se suele recurrir a las divisoras volumétricas continuas (Mesas & Alegre, 2002).

- **Boleado**

Consiste en dar forma de bola al fragmento de masa y su objetivo es reconstruir la estructura de la masa tras la división. Puede realizarse a mano, si la baja producción o el tipo de pan así lo aconsejan. O puede realizarse mecánicamente por medio de boleadoras siendo las más frecuentes las formadas por un cono truncado giratorio (Mesas & Alegre, 2002).



### ▪ **Reposo**

Su objetivo es dejar descansar la masa para que se recupere de la desgasificación sufrida durante la división y boleado. Esta etapa puede ser llevada a cabo a temperatura ambiente en el propio obrador o mucho mejor en las denominadas cámaras de bolsas, en las que se controlan la temperatura y el tiempo de permanencia en la misma (Mesas & Alegre, 2002).

### ▪ **Formado**

Su objetivo es dar la forma que corresponde a cada tipo de pan. Si la pieza es redonda, el resultado del boleado proporciona ya dicha forma. Si la pieza es grande o tiene un formato especial suele realizarse a mano. Si se trata de barras, que a menudo suponen más del 85% de la producción de una panadería, se realiza por medio de máquinas formadoras de barras en las que dos rodillos que giran en sentido contrario aplastan el fragmento de masa y lo enrollan sobre sí mismo con ayuda de una tela fija y otra móvil (Mesas & Alegre, 2002).

### ▪ **Fermentación**

Consiste básicamente en una fermentación alcohólica llevada a cabo por levaduras que transforman los azúcares fermentables en etanol, CO<sub>2</sub> y algunos productos secundarios. En el caso de utilizar levadura de masa se producen en menor medida otras fermentaciones llevadas a cabo por bacterias. Los objetivos de la fermentación son la formación de CO<sub>2</sub>, para que al ser retenido por la masa ésta se esponje, y mejorar el sabor del pan como consecuencia de las transformaciones que sufren los componentes de la harina (Mesas & Alegre, 2002).

### ▪ **Corte**

Operación intermedia que se hace después de la fermentación, justo en el momento en que el pan va a ser introducido en el horno. Consiste en practicar pequeñas incisiones en la superficie de las piezas. Su objetivo es permitir el desarrollo del pan durante la cocción (Mesas & Alegre, 2002).

### ▪ **Cocción**

Su objetivo es la transformación de la masa fermentada en pan, lo que conlleva: evaporación de todo el etanol producido en la fermentación, evaporación de parte del agua contenida en el pan, coagulación de las proteínas, transformación del almidón en dextrinas y azúcares menores y pardeamiento de la corteza. La cocción se realiza en hornos a temperaturas que van desde los 220 a los 260 °C, aunque el interior de la masa nunca llega a rebasar los 100 °C.

Tras la cocción y enfriamiento el pan está listo para su consumo, aun así el proceso completo puede que conlleve rebanado y/o empaquetado (Mesas & Alegre, 2002).

La industria de la panificación tiene gran demanda en sus productos como son, pan dulce, pan de molde, bollería, esta última de suma importancia en la industria de la comida rápida, al igual que la base para pizza.



## 1.3 Pizza

### 1.3.1 Origen

La pizza es un producto de origen italiano formada por una base o corteza, la cual representa un 40 % del peso del producto final y sobre ella se colocan distintos ingredientes llamados “toppings”, entre ellos queso mozzarella y salsa de tomate (American Institute of Baking, 1993; Diaz, 2016).

La pizza (Figura 10) tiene un origen muy antiguo, se dice que su aparición fue hace tres mil años, aunque no se sepa con exactitud. Fue considerada una comida típica en las culturas históricas que se encontraban en la cuenca del Mar Mediterráneo por lo que se considera originaria de Italia específicamente de Nápoles, ya que se dice que quien la invento fue un panadero de esa región, el mismo que había extendido una masa de pan sobrante a la que le agregó verduras entre otros ingredientes y que luego la horneó teniendo como resultado la primera pizza (Zúñiga, 2017).



Figura 10. Pizza  
Fuente: Ripped recetas, 2015

### 1.3.2 Definición

La pizza es un alimento que consiste en una base de masa de pan, generalmente delgada y redonda, que se recubre con salsa de tomate, queso mozzarella o similar y diversos ingredientes troceados y se cuece al horno (Oxford, 2018).

La masa (Figura 11) para pizza (llamada también base o corteza una vez horneada) es un tipo de pan plano leudado químicamente o con el uso de levadura, algo similar en fórmula al pan francés y a los panes planos del Medio Oriente (harina de trigo, agua, sal, azúcar, aceite/manteca y levadura). La formulación de la masa puede ser variada dependiendo del equipo de elaboración que se utilice, el grosor (delgada o gruesa) y las propiedades comestibles deseadas (American Institute of Baking, 1993; Asghar *et al.*, 2007).





Figura 11. Masa para pizza  
Fuente: Enrilemoine ,2018

### 1.3.3 Mercado de la pizza

El valor de mercado del negocio de pizza en México supera los mil millones de dólares anuales, y el país es el segundo en el mundo donde se consume más de este producto, después de Estados Unidos; además, el consumo de este alimento aumenta 7 % anual, y se estima que en promedio cada uno de los 120 millones de mexicanos come por lo menos, una pizza entera al año (El conocedor, 2017).

El mercado de pizza, a nivel mundial y en México es uno de los más versátiles, dado que entra en casi todas las categorías del sector de la restauración: comida rápida, comida casual, domicilios y gourmet. Según un estudio realizado por la firma CID Gallup Latinoamérica, y conocido en exclusiva por revista La Barra, la pizza representa el 17,5% de la oferta de restauración en el país, y es la segunda comida preferida por los mexicanos a la hora de comer por fuera (Baron, 2010).

### 1.3.4 Efectos negativos del consumo de pizza en la salud

El consumo excesivo de este alimento puede provocar un aumento de peso, esto se debe a que ciertos tipos de pizza aportan una gran cantidad de energía al cuerpo, y al no gastarla se transforma en grasa. En promedio, una rebanada de pizza mediana tiene 266 calorías, sin contar aderezos, por otra parte la harina refinada con la que está hecha la pizza, tienen carbohidratos simples, los cuales hacen que en el proceso de digestión no se absorban suficientes nutrientes (Yazio,2018).

Al no ofrecer nutrimentos, ni proteínas de buena calidad en este producto, se decidió elaborar una formulación de masa para pizza adicionando harina de chía y amaranto, con el fin de mejorar la calidad nutrimental de la misma.



## 1.4 Amaranto

### 1.4.1 Origen

La palabra amaranto viene del griego que significa “eterno, perdurable”, nombrado así por la resistencia de la planta a numerosos factores, logrando persistir hasta la fecha como parte de la agricultura tradicional en México (Mapes, 2010).

En la antigüedad, los granos de amaranto formaron parte de los cultivos básicos de las Américas (Figura12); existen evidencias arqueológicas que indican que el origen del grano de amaranto se encuentra en América, ya que la semilla más antigua data de 1000 años a. C. y fue encontrada en Tehuacán, Puebla (Oropeza & Rodriguez, 2001).

Hace más de 500 años, antes de que se llevara a cabo la conquista, el amaranto formaba parte de la oferta nutricional de la población mesoamericana, compitiendo en importancia con el maíz y el frijol. Significó mucho para las civilizaciones hablantes del náhuatl, como los mexicas, tlaxcaltecas, chalcas, xochimilcas y tlahuicas (Contreras *et al.*, 2009).

Datos históricos muestran que el amaranto era consumido como vegetal y como cereal, cada cultura le atribuía diversos valores, los Mayas, por ejemplo lo valoraban por su poder alimenticio, los Aztecas porque lo vinculaban estrechamente con sus ritos religiosos por el vigor que les proporcionaba y los Incas por su poder curativo; justificando con ello el cultivo masivo de la asombrosa hierba (Contreras *et al.*, 2009).

El amaranto fue reconocido por las culturas antiguas como un grano alternativo, porque era el único cultivo mesoamericano que se acerca al maíz en su plasticidad gastronómica (Reyes, 2005 & García, 2011)



Figura 12. Cultivo de amaranto en América  
Fuente Quali, 2018

## 1.4.2 Producción

Las dos especies que se cultivan en México, son *A. cruentus* y *A. hypochondriacus* y son usadas como alimento en comunidades de la zona centro de México. La producción comercial de amaranto está localizada en cuatro regiones (Tabla 3): el oriente del Estado de Morelos, principalmente Huazulco y Amilzingo; San Miguel del Milagro en Tlaxcala; Huequechula, Santa Clara Textla y Tochimilco en el Estado de Puebla; y Tulyehualco, Mixquic, Tetelco y Tecomitl en el D.F. Se encuentran algunos lotes en los estados de Oaxaca, México y San Luis Potos (Garay *et al.*, 2011).

Tabla 3. Producción nacional de amaranto

Estado	Sup. Sembrada (Ha)	Sup. Cosechada (Ha)	Prod. (Ton)	Rendimiento (Ton/Ha)
Distrito Federal	136.00	136.00	161.10	1.18
México	156.50	156.50	305.83	1.95
Morelos	100.00	100.00	130.00	1.30
Oaxaca	45.00	45.00	68.71	1.53
Puebla	1,967.00	1,967.00	2,143.40	1.09
San Luis Potosí	37.50	37.50	17.34	0.46
Tlaxcala	1,287.0	1,287.0	1,791.35	1.39

Fuente: SIAP, 2016

A pesar de la distribución del género *Amaranthus*, el cultivo de amaranto se encuentra ausente en las zonas agrícolas del país, pues sólo se encuentra oficialmente registrado en 7 estados de la República Mexicana (Barrales *et al.*, 2014). Dentro de los estados que cultivan amaranto, destaca Puebla como principal productor por mayor superficie sembrada 1,967.00 ha y una producción de 2,143.40 ton; el rendimiento medio nacional es de 1.39 ton/ha, mientras que el rendimiento más alto se encuentra en el estado de México con 1.95 ton/ha.

De acuerdo con la FAO citado por García (2011), es necesario que se reconozca la importancia del amaranto como un cultivo de alto nivel nutricional para diversificar la base de la alimentación del ser humano y que no pase como hace un siglo con la soya, el girasol y el cacahuate, que eran menospreciados y hoy en día son de los cultivos más importantes a nivel mundial.



### 1.4.3 Características botánicas y variedades de la planta

El amaranto es una planta dicotiledónea, perteneciente a la familia *Amaranthaceae*, especie anual de crecimiento rápido, herbácea o arbustiva de diversos colores (verde, morado, café o púrpura con distintas coloraciones intermedias) y se reproduce mediante la autopolinización, principalmente por la acción del viento. Por el tipo de polinización, las plantas son predominantemente autógamias, en las que varía el porcentaje de polinización cruzada en los cultivares. El amaranto presenta flores unisexuales, pequeñas, estaminadas y pistiladas. Esta familia comprende más de 60 géneros y cerca de 800 especies de plantas herbáceas anuales o perennes (Chagaray, 2005).

- Descripción general de las tres principales variedades de amaranto

**A. caudatus:** tiene su origen en los Andes desde hace más de cuatro mil años. Esta especie (Figura 13) crece en zonas de Perú, Bolivia y Argentina. Su altura es generalmente de 1.50 a 2.5 metros, a veces tienen una tonalidad oscura, las semillas son por lo general blancas o amarillentas, de un milímetro de diámetro. Usualmente las hojas y las ramas forman un tallo central y pueden estar en la base de la planta, por lo cual ésta tiene una forma irregular de cilindro. La raíz es corta y ancha con algunas raíces secundarias. Las hojas son simples, enteras, de forma ovoide con bastantes nervaduras y casi siempre de color verde claro; su longitud varía entre 6.5 y 14 centímetros. Cuando las hojas son tiernas se les puede consumir como verduras, junto con la inflorescencia. Las semillas se encuentran en panículas que se elevan y crecen de forma lateral a manera de cola o cauda, lo que les da su nombre (Chagaray, 2005).



Figura 13. *Amaranthus caudatus*  
Fuente: Amazon, 2017

**A. cruentus:** Es una especie (Figura 14) cuyo cultivo se encuentra entre los más antiguos del continente americano, según los hallazgos realizados en cuevas de Tehuacán, Puebla, México, los cuales indican que se le ha cultivado desde hace más de cinco mil años. Crece también en zonas de América Central, como Guatemala y se utiliza como grano y verdura. Las flores son por lo general verde amarillentas o rojas; alcanza alturas de 1.5 a 2.2 metros (Chagaray, 2005).



Figura 14. *Amaranthus cruentus*  
Fuente: eBay, 2017

**A. hypochondriacus:** la primera descripción de esta especie (Figura 15) fue dada por Carl von Linneo bajo el nombre de *A. flavus*. Es la especie más común y de mayores rendimientos entre los amarantos originarios de México y América Central. Su domesticación fue posterior a la del *A. cruentus*. En las cuevas de Tehuacán se han encontrado semillas cuya antigüedad se calcula en más de 1,600 años. Las hojas pueden ser rojas, verdes o una combinación de ambos colores. La semilla es por lo general blanca. Esta especie se cultiva en Centroamérica, Nepal e India. Es herbácea, anual, de altura que va de 1.5 a metros, con el tallo rojizo ramificado desde cerca de la base y marcado con estrías longitudinales. Las hojas son largamente pecioladas, ovaladas, hasta de 15 a 18 centímetros de largo por 10 centímetros de ancho (Chagaray, 2005).



Figura 15. *Amaranthus hypochondriacus*  
Fuente: eBay, 2017

- Clasificación botánica del amaranto

Tabla 4. Clasificación botánica del amaranto

Reino	<i>Plantae</i>
División	<i>Embriophyta Siphonograma</i>
Clase	<i>Dicotiledóneas</i>
Subclase	<i>Archiclomidie</i>
Familia	<i>Amaranthaceae</i>
Género	<i>Amaranthus</i>
Especie	<i>hypochondriacus, cruentus</i> y <i>caudatus</i>

Fuente: García, 2011

- La raíz

Es pivotante con abundante ramificación y múltiples raicillas delgadas, que se extienden rápidamente después que el tallo comienza a ramificarse, facilitando la absorción de agua y nutrientes, la raíz principal sirve de sostén a la planta, permitiendo mantener el peso de la panoja. Las raíces primarias llegan a tomar consistencia leñosa que anclan a la planta firmemente y que



en muchos casos sobre todo cuando crece algo separado de otras, alcanza dimensiones considerables (Mujica *et al.*, 1997).

- El tallo

Es cilíndrico y anguloso con gruesas estrías longitudinales que le dan una apariencia acanalada, alcanza de 40 cm a 3 metros de longitud, cuyo grosor disminuye de la base al ápice, presenta distintas coloraciones que generalmente coincide con el color de las hojas, aunque a veces se observa estrías de diferentes colores, presenta ramificaciones que en muchos casos empiezan desde la base o a media altura y que se originan de las axilas de las hojas. El número de ramificaciones es dependiente de la densidad de población en la que se encuentre el cultivo (Ceprobol, 2006).

- La hoja

Las hojas (Figura 16) son pecioladas, sin estípulas de formas ovales, elípticas, opuestas o alternas con nervaduras prominentes en el envés, lisas o poco pubescentes de color verde o púrpura cuyo tamaño disminuye de la base al ápice, presentando borde entero de tamaño variable de 6.5 a 15 cm (Sumar, 1993; Tapia, 1997).



Figura 16. Forma de la hoja  
Fuente: Someicca, 2014

- La inflorescencia

La inflorescencia del amaranto corresponde a panojas amarantiformes o glomeruladas muy vistosas, terminales o axilares, que pueden variar de totalmente erectas hasta decumbentes, con colores que van del amarillo, anaranjado, café, rojo, rosado, hasta el púrpura; el tamaño varía de 0.5-0.9 metros pudiendo presentar diversas formas incluso figuras caprichosas y muy elegantes. Son amarantiformes cuando los amentos de dicasios son rectilíneos o compuestos dirigidos hacia arriba o abajo según sea la inflorescencia erguida o decumbente y es glomerulado cuando estos amentos de dicasios se agrupan formando glomérulos de diferentes tamaños (Mujica *et al.*, 1997).

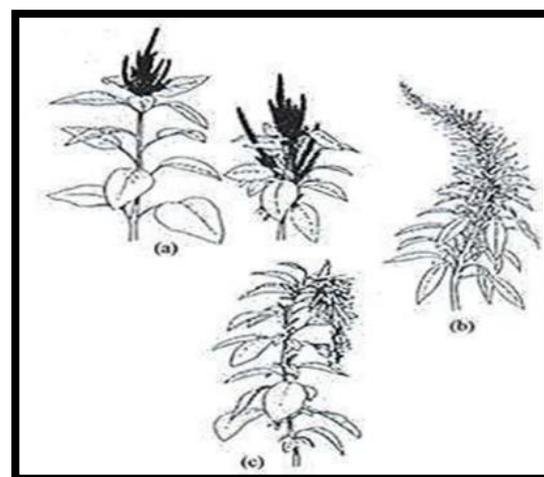


Figura 17. Planta e inflorescencia de:  
a) *Amaranthus hypochondriacus* L.  
b) *Amaranthus cruentus* L.  
c) *Amaranthus caudatus* L.  
Fuente: García, 2011

- Fruto

El fruto (Figura 18) es una capsula pequeña que en botánica corresponde a un pixidio unicelular que se abre de forma transversal en la madurez y deja caer en la parte superior llamada opérculo para poner al descubierto la inferior llamada urna, en ella se encuentra la semilla (Sanchez-Marroquin, 1980)

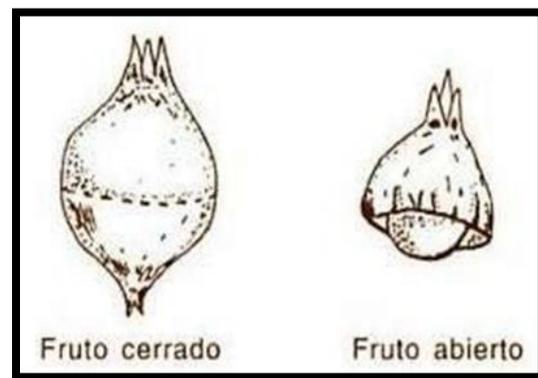


Figura 18. Forma del fruto de amaranto  
Fuente: SCRIBD, 2011

- La semilla

Las semillas del amaranto son pequeñas, ovaladas, lisas, brillantes y ligeramente aplanadas, pudiendo ser de color blanco, blanco amarillento, dorado, rojo, rosado y negro. Anatómicamente se distinguen en el grano (semilla) las siguientes partes centrales: la cubierta que es una capa muy fina de células conocida como epispermo, una segunda capa que está formada por los cotiledones siendo la parte más rica en proteína y finalmente una capa interna rica en almidones llamada perisperma.

#### 1.4.4 Composición química y valor nutrimental de la semilla

En los últimos años, varios trabajos experimentales y de revisión han proporcionado amplia información sobre los componentes y el valor nutrimental del amaranto (Tabla 4). Los análisis señalan que los contenidos de proteínas crudas, lípidos, fibra y cenizas del amaranto en general son más altos que en los cereales, mientras que la proporción de hidratos de carbono es baja (Morales-Guerrero, 2014)

Tabla 5. Composición proximal de la semilla de distintas especies de amaranto

Componente	<i>A. caudatus</i>	<i>A. cruentus</i>	<i>A. hypochondriacus</i>
	(g/100 g de base seca)		
<b>Proteínas crudas</b>	13.0	14.1	15.6
<b>Extracto etéreo</b>	6.0	6.0	6.1
<b>(lípidos)</b>			
<b>Fibra cruda</b>	4.0	2.9	5.0
<b>Cenizas</b>	2.0	2.7	3.3
<b>Hidratos de carbono</b>	65.0	67.2	62
<b>Energía (kcal)</b>	360	372	370

Fuente: Morales-Guerrero, 2014

Entre los aspectos más estudiados esta la identificación y cuantificación de los aminoácidos y proteínas. Las semillas de amaranto contienen alrededor del 13 al 18 % de proteínas crudas, aunque algunos autores han encontrado valores del 15 al 22 % (Tosi *et al.*, 2011).

#### 1.4.5 Proteínas del amaranto

Las proteínas del amaranto se encuentran principalmente en el embrión (65%) , a diferencia de los cereales como el maíz y el arroz tienen el 80 % de sus proteínas en el endospermo (Bressani, 1989).

- Fracciones proteínicas

Las proteínas solubles (prolaminas) no constituyen proteínas de almacenamiento en la semilla de amaranto y las glutelinas conforman una de las fracciones mayoritarias en la semilla, aunque en menor proporción que las globulinas. Por lo que pudo concluir que las principales proteínas de almacenamiento son albumina y globulina, sin embargo existen otras fracciones proteínicas (Tabla 6) que se encuentran en menor proporción como las prolaminas (Gorinstein *et al.*, 2002).

Tabla 6. Composición de las fracciones proteicas en las semillas de amaranto.

Albuminas	Globulinas	Prolaminas	Glutelinas
18.8 +/- 0.7	38.4 +/- 1.0	12.6 +/- 0.8	20.8 +/- 0.5

Fuente: Morales-Guerrero, 2014

- Albuminas

Las albuminas constituyen la otra fracción de proteínas que se encuentra en mayor proporción en la semilla de amaranto y se caracterizan por su solubilidad en agua o en soluciones con baja fuerza iónica. La composición de aminoácidos de esta proteína purificada y la secuencia de aminoácidos derivados muestran gran proporción de lisina, leucina, treonina, fenilalanina, valina y aminoácidos azufrados (Raina & Datta, 1992).

Las albúminas incluyen algunas moléculas que poseen propiedades funcionales y muchas son enzimas que metabolizan las sustancias almacenadas en la semilla, como por ejemplo las glicosidasas y las proteasas, que tienen un papel importante en la degradación proteínica durante la germinación. Otras participan en la defensa de la planta, como son los inhibidores de tripsina y las lectinas (Gueguen & Cerletti, 1994).

- Globulinas

Las globulinas, principales proteínas de almacenamiento en la semilla, es rica en lisina y soluble en sales; de hecho, en buena parte las propiedades nutricias del grano de amaranto han sido atribuidas a esta proteína (Marcone, 1999).

- Prolaminas

Estas proteínas son solubles en etanol 50-80%. Constituyen un grupo cuyo nombre se originó por el alto contenido de prolina y nitrógeno amídico proveniente de la glutamina, que es el



aminoácido presente en altas cantidades y que juntos en algunos casos llegan a ser hasta el 50% del nitrógeno del grano (Segura-Nieto & Jiménez Flores, 1999).

- Glutelinas

Las glutelinas son ricas en leucina, triptófano, treonina e histidina. En particular las glutelinas exhiben la mayor proporción de aminoácidos indispensables y presentan el menor contenido de metionina que oscila entre 0.6-1% (Paredes *et al.*, 1990).

- Aminoácidos

El amaranto tiene concentraciones adecuadas de aminoácidos azufrados, lisina y triptófano (Goristein *et al.*, 2002; Abalone *et al.*, 2004; Calzetta *et al.*, 2004; Fidantsi y Doxastakis, 2001 y Mahajan y Dua, 2002).

Tabla 7. Contenido de aminoácidos de las proteínas de amaranto.

Aminoácidos	Patrón de aminoácidos <sup>a</sup>	Contenido de aminoácidos
g/100g de proteína		
Isoleucina	3.0	4.0
Leucina	5.9	6.2
Lisina	4.5	6.1
Azufrados	2.2	6.2
Aromáticos	3.0	9.1
Treonina	2.3	4.6
Triptófano	0.6	1.3
Valina	3.9	4.4
Histidina	1.5	2.7
Arginina	-	8.1
Alanina	-	3.9
Acido aspártico	-	8.1
Ácido glutámico	-	16.6
Glicina	-	8.4
Prolina	-	4.6
Serina	-	8.0

Fuentes: a) FAO, 2007, b) Morales- Guerrero, 2014.

En la Tabla 6 se puede observar que las proteínas de amaranto cumplen satisfactoriamente con los requerimientos de aminoácidos esenciales según los estándares de para adultos establecidos en 2007 por la FAO. Por lo anterior, diversos estudios se han enfocado a evaluar y estudiar la capacidad del amaranto para complementar la calidad de las proteínas de otros granos, como los del maíz, trigo y frijol (Morales-Guerrero, 2014).

#### 1.4.6 Vitaminas y nutrimentos inorgánicos

Los nutrimentos inorgánicos del grano de amaranto se hallan en el epispermo, el endospermo y el embrión. El contenido de calcio, magnesio, boro, hierro y aluminio es mayor que en otros cereales.

Entre las vitaminas que contiene el grano de amaranto, la riboflavina se encuentra en mayor proporción que en otros alimentos, como los cereales e incluso que en la leche solo es menos que el huevo (Figura 19). Otras vitaminas que posee el grano son tiamina, niacina y ácido ascórbico (Morales-Guerrero, 2014).

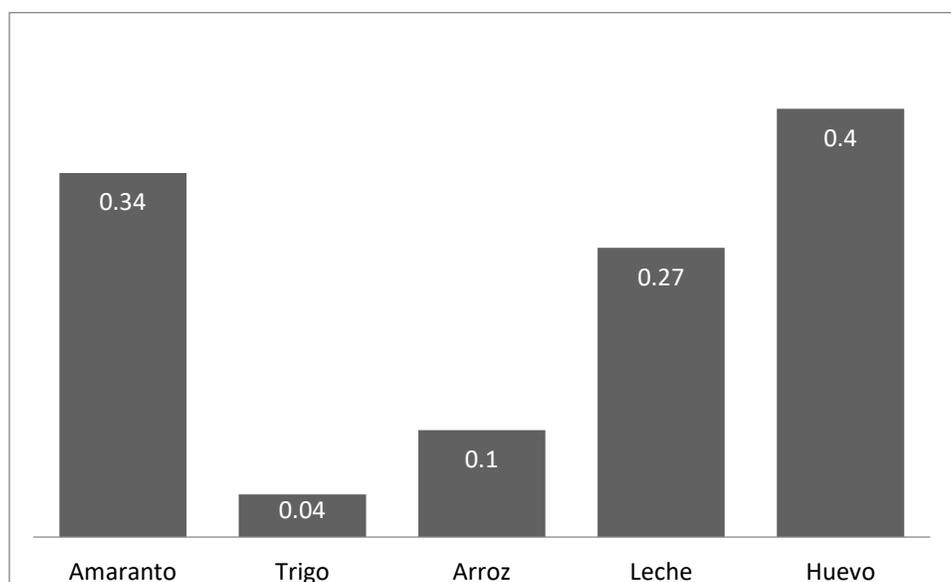


Figura 19. Contenido de riboflavina en el grano de amaranto en comparación con otros alimentos (mg/100g de producto).  
Fuente: FAO, 1990

#### 1.4.7 Antioxidantes

Se han estudiado las propiedades antioxidantes en hojas y semillas de amaranto, Czerwinski y sus colaboradores (2004) compararon la harina de avena, harina integral de amaranto y semillas de amaranto *in vivo e in vitro*, encontraron que ambas harinas y semillas de amaranto tienen un



alto poder antioxidante y afectan de forma positiva el perfil de lípidos en plasma en ratas alimentadas con dietas que contienen colesterol.

En años más recientes, Gorinstein y sus colaboradores (2006) informaron del contenido de polifenoles, antocianinas y flavonoides en las tres variedades de amaranto (Tabla 7). Por otra parte Fomsgaard y sus colaboradores (2010) encontraron concentraciones elevadas de flavonoides con actividad antioxidante en la semilla y las hojas de amaranto; esta información incrementa la importancia del amaranto como recurso natural de componentes nutraceuticos, como biopeptidos y compuestos fotoquímicos.

Tabla 8. Contenido de polifenoles, antocianinas y flavonoides en el amaranto.

Polifenoles totales <sup>a</sup>	Antocianinas <sup>b</sup>	Flavonoides <sup>c</sup>
405-430	83-95	21-23

- a) Concentración en equivalentes de ácido gálico µg/g de peso seco
- b) Expresado en mg/100 g de peso seco
- c) Expresado en mg/100 g de peso seco

Fuente: Morales-Guerrero, 2014.

### 1.4.8 Lípidos del amaranto

Los contenidos de lípidos de las diferentes especies de amaranto van de 6.1-10.9% y son mayores que en los cereales (Betschart *et al.*, 1981; Lorenz & Hwang, 1985; Garcia *et al.*, 1987; Pedersen *et al.*, 1987; Stallknecht & Schulz, 1993). La fracción de lípidos del grano de amaranto es de aproximadamente 77% de ácidos grasos insaturados, con el ácido linoleico como fracción predominante (Tabla 7).

Tabla 9. Contenido de ácidos grasos en el amaranto

Ácido palmítico	Ácido esteárico	Ácido oleico	Ácido linoleico
18-20	3-4	23-30	25-40

Fuente: Morales-Guerrero, 2014.

### 1.4.9 Fibra del amaranto.

La fibra dietética contiene polisacáridos indigeribles, oligosacáridos, lignina y sustancias asociadas a la planta. El contenido de fibra dietética varia en algunas especies de 9 a 16 %, a su vez el salvado es fino y más suave que el del trigo (Tosi *et al.*, 2001; Bunzel *et al.*, 2004).

La composición relativa de azúcares de la fibra insoluble en el amaranto es de aproximadamente 53% de glucosa, 21% de arabinosa, 8.5% de xilosa, 6.07% de galactosa, 3.95% de ramnosa, 1.59% de manosa y 0.5% de fructuosa (Bunzel *et al.*, 2004).

El contenido de fibra total para amaranto es aproximadamente de 14.2 %: 8.1% de insoluble y 6.1% de soluble (Tosi *et al.*, 2001).



## 1.5 Chía

### 1.5.1 Origen

La semilla de chía comenzó a usarse en la alimentación humana unos 3500 años a.C. Los mesoamericanos ya disponían de ella en el año 2600 a.C. y se convirtió en un cultivo básico en el centro de México entre 1500 y 900 a.C ya que era utilizada como moneda (Coates, 2012).

En la época precolombina, la semilla de chía era uno de los alimentos básicos de las civilizaciones de América Central (los aztecas y los mayas), después del maíz y frijol, y antes que el amaranto (Hernández, 2007).

Los gobernantes aztecas recibían semillas de chía como tributo anual de las naciones conquistadas y también se las ofrecían a los dioses durante las ceremonias religiosas (Figura 20). Usaban la semilla de chía en distintos preparados nutricionales y medicinales, así como también en la elaboración de ungüentos cosméticos. Era fuente de energía para travesías prolongadas y, combinada con maíz, alimento para los guerreros. Una comida típica (tzoalli) la preparaban con semillas de amaranto y chía tostadas, miel de maguey y harina de maíz. La harina de chía tostada se utilizaba en la preparación de una popular bebida refrescante y nutritiva, costumbre que, con variantes, hoy persiste en nuestro país y el resto de Centroamérica y se denomina “fresco o refresco de chía” (agua, limón y chía).

Los ceramistas y pintores utilizaban el aceite de chía para la preparación de barnices y pinturas, que se destacaban por su brillo y resistencia al envejecimiento. La harina de chía podía ser almacenada mucho tiempo, podía transportarse fácilmente en viajes largos y se utilizaba como moneda de pago para tributos y transacciones (Bendaña, 2012).

Sin embargo, con la conquista española se destruyó la mayor parte del sistema intensivo de producción y comercialización agrícola en uso. Muchos cultivos que habían mantenido una posición relevante en las dietas precolombinas americanas fueron eliminados por los españoles debido a su estrecha relación con la religión y reemplazados por especies foráneas (trigo, cebada, arroz, entre otros.) demandadas por los conquistadores.



Figura 20. Origen de la chía

Fuente: Prolea, 2016 | Ingeniería en alimentos

### 1.5.2 Producción

La producción, consumo y demanda de chía en México y a nivel mundial se ha incrementado en los últimos años, por ser una fuente de aceite con altos niveles de ácidos grasos poliinsaturados y compuestos fenólicos. En México sigue una tendencia a la alza, observándose un incremento gradual en la superficie sembrada, en 2006 solo se cultivaron 15 ha y 2014, 16 721 ha, incrementándose en 111 473% (SIAP, 2016), esto debido al auge y al éxito que ha tenido, ya que es más redituable que el maíz y a la demanda por las propiedades nutraceuticas que le caracterizan.

La producción en México se concentra en Jalisco y Puebla y se empieza a incursionar en nuevas zonas con potencial productivo, como se observa en el 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 10. Producción nacional de chía

Estado	Sup. Sembrada (Ha)	Sup. Cosechada (Ha)	Prod. (Ton)	Rendimiento (Ton/Ha)
Jalisco	15790	15790	9058	0.57
Puebla	460	460	391	0.85
Nayarit	281	261	97	0.37
San Luis Potosí	20	4	1	0.25
<b>Total</b>	<b>16721</b>	<b>16 515</b>	<b>9548</b>	<b>0.58</b>

Fuente: SIAP, 2016

La demanda de chía es creciente y es liderada por EU. Es un cultivo que tiene un importante mercado potencial a nivel nacional e internacional. En EE. UU la elaboración de productos con chía va en aumento, en 2011 se introdujeron 21 nuevos productos a base de chía (jugos de fruta) y 2012 dicha cantidad aumentó a 100 productos (Busilacchi *et al.*, 2015). Los países de la Unión Europea se están incorporando recientemente al consumo de chía, producto de la autorización de su inclusión en alimentos elaborados y a futuro, se espera que países



asiáticos se incorporen a esta demanda, lo que la duplicaría a 40 000 t año<sup>-1</sup> (Busilacchi *et al.*, 2015).

### 1.5.3 Características botánicas de la planta

La chía, *Salvia hispanica* L. (Figura 21) es una planta anual, de verano, que pertenece a la familia de las Lamiaceae; originaria de México. Mide de 1 a 1.5 metros de altura de tallos cuadrangulares, hojas ovaladas, las flores se producen en las espigas terminales. La mayoría de las variedades tienen flores de color azul, morado y blanco. En el fruto se encuentran las semillas que son ovaladas, lisas, brillantes de color oscuro grisáceo, con manchas irregulares color rojizo (Vega *et al.*, 2010).

- Clasificación taxonómica

Reino: *Plantae*.  
 División: *Magnoliophyta* o *Angiosperma*.  
 Clase: *Magnoliopsida* o *Dicotiledóneas*.  
 Subclase: *Asteridae*.  
 Orden: *Lamiales*.  
 Familia: *Lamiaceae*.  
 Género: *Salvia*.  
 Especie: *S. hispanica* L.  
 Descubridor: *Lineo*.  
 Nombre Científico: *Salvia hispanica* L.



Figura 21. *Salvia hispanica* L.  
 Fuente: Pfaf, 2017

- Descripción botánica y morfológica.

Son características generales de la especie hispánica poseer plantas anuales, con altura de un metro, tallos cuadrangulares, acanalados y vellosos; presenta hojas opuestas, de 4 a 8 cm de largo y 3 a 5 de ancho, pecioladas y aserradas que tienen un alto contenido de aceites esenciales, los cuales actúan como un repelente de insectos en extremo potente, gracias a lo cual se evita la necesidad de utilizar químicos para proteger los cultivos (Hernández & Miranda, 2008).

- Flores

Las flores son hermafroditas, purpúreas azuladas a blancas, y aparecen en ramilletes terminales; florece entre julio y agosto en el hemisferio norte. Al cabo del verano, las flores dan lugar a un fruto en forma de aquenio indehisciente. Cada fruto lleva cuatro semillas muy pequeñas en forma oval. Están reunidas en verticilos situados en inflorescencias verticales que suelen aparecer de junio a julio. Otras características de la flor están en función de la variedad fruto es un tetraquenio (Vega *et al.*, 2010).

- Semillas

La semilla es rica en mucílago, fécula y aceite; tiene unos 2 mm de largo por 1,5 de ancho, es plana, ovalada y lustrosa, de color blancas, pardo grisáceas a gris oscuro y presentan manchas irregulares en su superficie (Vega *et al.*, 2010).

#### 1.5.4 Composición química y valor nutrimental

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).

La Tabla 9 muestra la composición de las semillas de chía y la correspondiente a los cinco cereales de mayor importancia a nivel mundial (arroz, cebada, avena, trigo, maíz). Puede verse que el contenido de proteínas, lípidos, fibra y energía de la semilla de chía es mayor que los presentes en los demás cultivos. Asimismo, si bien la chía es conocida principalmente como una importante fuente de ácidos grasos  $\Omega$ -3, también contiene otros compuestos de importancia a nivel nutricional (Ixtaina, 2010).

Tabla 11. Composición química correspondiente a diversos granos

Grano	Proteínas	Lípidos	Carbohidratos	Fibra	Cenizas
	%				
Trigo	13.7	2.5	71.1	12.2	1.8
Chia	19-23	30-35	9-41	18-30	4-6

Fuente: Ixtaina, 2010

#### 1.5.5 Ácidos grasos en la chía

Actualmente, se disponen en el mercado de cuatro fuentes de ácidos grasos  $\Omega$ -3. Las dos más importantes en volumen de producción son las asociadas al pescado y la semilla de lino, mientras que la fuentes minoritarias son la semilla de chía y las algas marinas.

El contenido de aceite presente en la semilla de chía es de alrededor de 33%, el cual presenta el mayor porcentaje de ácido  $\alpha$ -linolénico conocido hasta el momento (62 - 64%) (Ayerza, 1995). En la Figura 22 se puede observar que la chia posee el tenor más elevado (82,3%) de ácidos grasos esenciales (ácidos  $\alpha$ -linolénico y linoleico), seguido por el cártamo, el lino y el girasol con 75, 72 y 67%, respectivamente (Ixtaina, 2010).



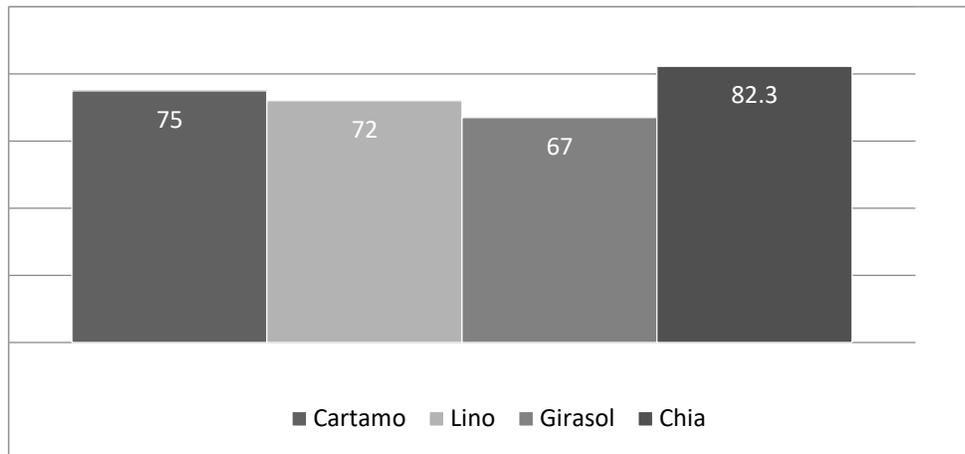


Figura 22. Contenido de ácidos grasos esenciales en diferentes fuentes (%)  
Fuente: Ixtaina, 2010.

Cabe señalar que los aceites de chía, lino y algas marinas -al ser especies vegetales- se diferencian principalmente del obtenido a partir del pescado ya que este último -al ser un recurso de origen animal- contiene cantidades apreciables de colesterol (521 mg/100g) (United States Department of Agriculture, 2002). Los efectos benéficos del pescado han recibido mucha atención; sin embargo, los ácidos grasos EPA y DHA son fácilmente peroxidados formando hidroperóxidos, cuyos productos de degradación secundaria son dañinos para las células (Sugihara *et al.*, 1994). El EPA y DHA se oxidan más rápidamente que los ácidos linoleico, dlinolénico y araquidónico, originando productos de oxidación con implicancias desde el punto de vista toxicológico (Freese & Mutanen, 1997).

La evidencia científica muestra que tanto EPA como DHA pueden ejercer efectos benéficos en cuanto a reducir el riesgo de enfermedades cardiovasculares, sólo si la protección contra el estrés oxidativo es suficiente para minimizar el daño a nivel tisular (Song *et al.*, 2000). Por otra parte, en lo que respecta al enriquecimiento de alimentos con  $\omega$ -3, la chía presenta la ventaja de no transmitir el característico “olor a pescado”, lo que la diferencia de las otras fuentes previamente mencionadas, con un menor contenido de sodio (Ayerza & Coates, 2005).

### 1.5.6 Proteínas de la chía

La chía posee un contenido de proteínas que oscila entre 19 y 23% (Tabla 9), el cual es mayor que el asociado a los cereales tradicionales, por otra parte, los aminoácidos de las proteínas de la chía se muestran en la Tabla 10. Como puede observarse, las proteínas de

chía presentan un buen balance de aminoácidos esenciales. Entre ellos, puede destacarse el contenido de lisina, así como porcentajes de metionina y cistina mayores que los presentes en las proteínas de otras semillas oleaginosas (Ting *et al.*, 1990).

Tabla 12. Análisis del amino ácido de la proteína de la semilla de Chía

Muestra de amino ácido	CHÍA (gr./16 gr. N)	Muestra de amino ácido	CHÍA (gr./16 gr. N)
Ácido Aspártico	7.64	Cistina	1.47
Treonina	3.43	Metionina	0.36
Serina	4.86	Isoleucina	3.21
Acido Glutámico	12.4	Leucina	5.89
Glicina	4.22	Tirosina	2.75
Alanina	4.31	Fenilalanina	4.73
Valina	5.1	Lisina	4.44
Arginina	8.9	Histidina	2.57
Prolina	4.4	<b>Total</b>	<b>80.64</b>

Fuente: Bushway *et al.*, 1981

### 1.5.7 Vitaminas y minerales

La semilla de chía es una buena fuente de vitaminas B (Tabla 11). Investigaciones recientes muestran que el bajo nivel de vitamina B en la sangre está asociado a un aumento en el riesgo de sufrir una enfermedad cardiocoronaria fatal y apoplejía (American Heart Association, 1999). El nivel de niacina es mayor que el presente en maíz, soja, arroz y cártamo, mientras que su valor de vitamina A es inferior al de maíz. Las concentraciones de tiamina y riboflavina son similares a las del arroz y el maíz, aunque menores que las de soja y de cártamo (Ayerza & Coates, 2005).

Tabla 13. Contenido de vitaminas en la chia

Niacina	Rivoflavina	Tiamina	Vitamina A
(µg/g semilla)	(µg/g semilla)	(µg/g semilla)	(µg/g semilla)
82.50 + 2.50	2.13 + 0.21	14.42 + 1.16	43.0 + 0

Fuente: (Ting *et al.*, 1990)

Con respecto al contenido de minerales, las semillas de chía son una excelente fuente de calcio, fósforo, magnesio, potasio hierro, zinc y cobre (Tabla 12), las semillas de chía presentan un contenido 6 veces mayor de calcio, el doble de fósforo y 4,6 veces más de potasio que los cereales (United States Department of Agriculture (USDA), 2002). Los niveles



de hierro en las semillas de chía son muy elevados, representado valores poco frecuentes en semillas (Bushway *et al.*, 1981).

Tabla 14. Contenido de minerales en la semilla de chía

Elemento	Muestra de CHÍA Ppm mg/100gr.	% RDA de 1 Muestra de 1 oz
Ca	8700	870 30
K	8900	980 ---
Mg	4660	466 38
P	9220	922 33
Al	442	44.2 ---
Cu	24.5	2.45 ---
Mn	58.5	5.85 ---
Mo	1.9	0.19 ---
Zn	74	7 ---

Fuente: Bushway *et al.*, 1981

### 1.5.8 Fibra dietaría

El análisis comparativo del contenido de fibra de las semillas de chía (18- 30%) respecto al de otros cereales, permite apreciar que la chía tiene más contenido de fibra dietaría que la cebada, trigo, avena, maíz y arroz (Tabla 9). El contenido de fibra en la harina residual (luego de la extracción de aceite) de chía representa alrededor de un 40%, de la cual un 5% corresponde a fibra soluble, denominada mucílago. Las semillas de chía al ser sumergidas en agua, quedan envueltas por un material de aspecto gelatinoso conocido como mucílago, el cual es de interés no sólo desde el punto de vista nutricional sino de importancia como agente espesante en la industria alimentaria (Lin *et al.*, 1994).

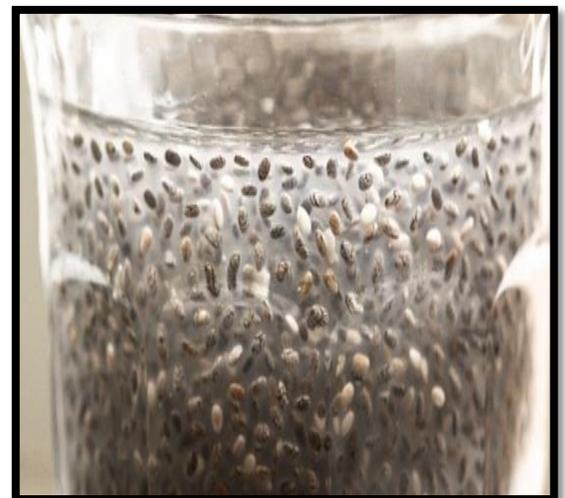


Figura 23 Mucilago de chía  
Fuente: Food News, 2017



### 1.5.9 Antioxidantes

La Tabla 13 muestra los compuestos polifenólicos presentes en extractos hidrolizados y no hidrolizados obtenidos a partir de la semilla de chía (Taga *et al.*, 1984).

Vázquez-Ovando *et al* (2009) obtuvieron una fracción de harina de chía rica en fibra y evaluaron su actividad antioxidante, la cual fue de 488,8 mmol equivalentes Trolox (TE)/g, valor similar al informado para el salvado de sorgo con alto contenido de taninos (Awika *et al.*, 2003), mayor que el de algunos granos de trigo (Iqbal *et al.*, 2005) y la mitad que el informado para el vino tinto, el que presenta uno de los niveles más altos de actividad antioxidante (Saura-Calixto y Goñi, 2006). La elevada actividad antioxidante es atribuible a la presencia de los compuestos polifenólicos, principalmente los ácidos cafeico y clorogénico (Taga *et al.*, 1984) y la quercetina, la cual es uno de los compuestos más potentes y estables para los cuales se ha evaluado la actividad antioxidante (Huang y col., 2005).

Tabla 15. Concentración de antioxidantes en extracto de semilla de chía

Compuesto	Concentración (mol/kg. de semilla de CHÍA)
<b>I. NO HIDROLIZADOS</b>	
Flavonoles	---
Acido cinámico	---
Ácido cafeico	$6.6 \times 10^{-3}$
Ácido clorogénico	$7.1 \times 10^{-3}$
<b>II. HIDROLIZADOS</b>	
Flavonoles	---
Mycetin	$31.1 \times 10^{-3}$
Quercetin	$0.2 \times 10^{-3}$
Kaempfenol	$1.1 \times 10^{-3}$
Acido cinámico	---
Ácido cafeico	$13.5 \times 10^{-3}$

Fuente: Taga *et al.*, 1984

### 1.6 Factores anti-nutricionales

Las semillas, como ya se ha mencionado previamente, contienen carbohidratos, proteínas, lípidos, y algunos micronutrientes como vitaminas y minerales, disponibles para la alimentación directa e indirecta del hombre; razón por la cual durante muchos años han constituido la fuente principal para el suministro de energía y proteína humana, especialmente en los países pobres; sin embargo, algunas semillas, presentan en su composición sustancias anti-nutricionales. Por tanto, el conocimiento relacionado con la naturaleza y comportamiento de los factores anti-nutricionales, conduce a un mejor aprovechamiento del gran potencial nutricional de las semillas (Chaparro *et al.*, 2009).

El término anti-nutrientes se utiliza para calificar a aquellos compuestos que afectan el valor nutricional de algunos alimentos, especialmente semillas, pues dificultan o inhiben la asimilación de nutrientes (proteínas y minerales) que provienen de los alimentos; desde el punto de vista bioquímico estos factores son de naturaleza variada y pueden llegar a ser tóxicos o causar efectos fisiológicos poco deseables; los factores anti-nutricionales son sustancias naturales no fibrosas, generadas por el metabolismo secundario de las plantas como mecanismo de defensa a situaciones estresantes, un ejemplo de estos son los taninos, los cuales son sintetizados durante el desarrollo de la semilla y la planta las utiliza como fuente de aminoácidos aunque su principal función parece ser la defensa de la planta frente a hongos, insectos y nematodos (Duffus & Slaughter, 1985).

### 1.6.1 Taninos

Taninos Son compuestos polifenólicos de un amplio peso molecular que habitualmente se dividen en hidrolizables y condensados. Estos son capaces de unirse a enzimas, proteínas, polisacáridos, ácidos nucleicos, esteroides, saponinas, y formar complejos con el hierro del alimento, dificultando la digestión de los nutrientes (Smithard, 2002; De Lange, 2000; Caldas & Blair, 2004). Aunque hay diferencias químicas entre ellos, todos son compuestos fenólicos y pueden precipitar la proteína. La capacidad de ligar proteínas por los taninos, se ha considerado como un elemento importante para predecir sus efectos en sistemas biológicos (; Oloyo, 2004; Carulla & Pabón, 2004).

### 1.6.2 Ácido Fítico

El ácido fítico y sus sales derivadas constituyen la mayor reserva de fósforo de las semillas de cereales y leguminosas (Wyatt & Triana-Tejas, 1994). Desde el punto de vista nutricional, el interés del ácido fítico se debe principalmente a su capacidad de formar complejos con minerales esenciales (Cu, Zn, Fe, K, Mg y Ca) (Wyatt & Triana-Tejas 1994; Zhou,1995; Martínez *et al.*, 2002), lo que disminuye la absorción intestinal y la biodisponibilidad de estos minerales para los animales monogástricos, incluyendo al ser humano, debido a que estos no están provistos de suficiente actividad de fosfatasa endógena (fitasa) que sean capaces de liberar los minerales de la estructura del fitato. Además, los fitatos interaccionan con residuos básicos de proteínas formando complejos, como proteína-fitato y proteínafitatomineral, por lo que se paralizan muchas reacciones enzimáticas a nivel digestivo (Duffus & Slaughter, 1985; Mazza, 2000).



Sin embargo, se ha demostrado que durante el procesamiento de los alimentos y la digestión, la cantidad final de ácido fitico disminuye significativamente como consecuencia de su hidrólisis enzimática o química (Zhou, 1995; Khan *et al.*, 1998; Centeno *et al.*, 2001).

### 1.6.3 Inhibidores de tripsina

Los inhibidores de tripsina son proteínas que están presentes en cantidades considerables en las semillas, y es conocido que afectan la digestibilidad de las proteínas porque reducen la actividad de las proteasas dado que, al formar complejos con ellas, no dejan que estas actúen causando hipertrofia/hiperplasia pancreática y la secreción incrementada de enzimas pancreáticas. Además, producen nódulos acinares y depresión del crecimiento en animales monogástricos (Sánchez-Moreno *et al.*, 1999; Belmar & Nava, 2000). Generalmente los inhibidores de tripsina son proteínas de bajo peso molecular, por lo tanto, ellas pasan fácilmente de la semilla al medio de hidratación (Bishnoi & Khetarpaul, 1994). Tanto el tratamiento térmico como la cocción normal y la cocción a presión ocasionan una reducción significativa en el contenido de dichos factores (Makkar *et al.*, 2007; Udedibie & Carlini, 1998); ésta reducción puede ser producida por la naturaleza termolábil de estos antinutrientes (Grewal & Jood, 2006).

Como se pudo observar en este capítulo, las semillas de chía y amaranto contienen una gran cantidad de nutrientes, considerándose por ello, súper alimentos; por otra parte se dio a conocer la importancia de la harina de trigo en el proceso de panificación y que aunque esta tenga una baja calidad nutrimental, no se puede prescindir totalmente de esta materia prima, por lo que en esta investigación se pretende elaborar una base para pizza a partir de harinas de chía y amaranto para mejorar su calidad nutrimental.



## CAPITULO II: DESARROLLO EXPERIMENTAL

### 2.1 Objetivos

#### 2.1.1 Objetivo general

Desarrollar una formulación de base para pizza a partir de harina de amaranto, chía y trigo con buenas características sensoriales para mejorar su calidad nutrimental.

#### 2.1.2 Objetivos particulares

- **Objetivo particular 1**

Analizar química, nutrimental, antinutrimental y como alimento funcional las harinas de chía, amaranto y trigo que se usarán como materia prima para comprobar si se complementan entre sí.

- **Objetivo particular 2**

Establecer las mejores formulaciones para elaborar una base para pizza con distintos porcentajes de harinas de chía y amaranto que permitan obtener buenas características sensoriales de la masa así como del producto final.

- **Objetivo particular 3**

Seleccionar la mejor formulación de base para pizza elaborada con chía y amaranto mediante una prueba sensorial de preferencia.

- **Objetivo particular 4**

Evaluar la composición química (análisis químico proximal), calidad nutrimental (digestibilidad *in vitro*, triptófano, fibra dietética, PER, digestibilidad aparente), propiedades como alimento funcional (fenoles totales y capacidad antioxidante) y antinutrimental (taninos, ácido fítico e inhibidores de tripsina) de la formulación seleccionada para compararla con una base para pizza 100% de trigo y saber si mejoró su calidad nutrimental.

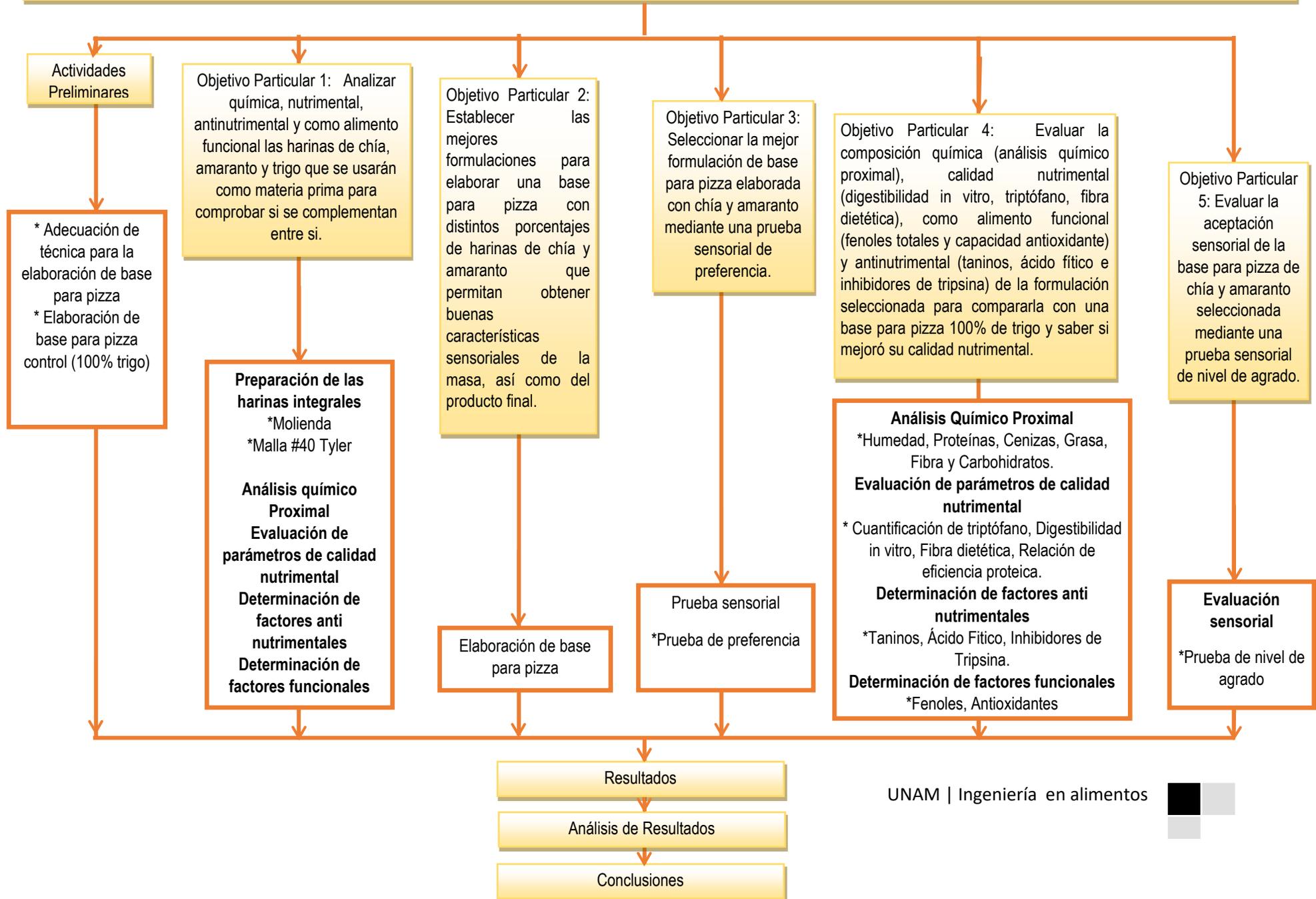
- **Objetivo particular 5**

Evaluar la aceptación sensorial de la base para pizza de chía y amaranto seleccionada mediante una prueba sensorial de nivel de agrado.



## 2.2 Cuadro metodológico

Objetivo general: Desarrollar una formulación de base para pizza a partir de harina de amaranto y chía con buenas características sensoriales para mejorar su calidad nutrimental.



## 2.3 Metodología

### 2.3.1 Material biológico

Para el desarrollo de este proyecto fueron utilizadas semilla de amaranto de la especie (*Amaranthus hypochondriacus* L.) variedad Tulyehualco cosecha 2013, semilla de chía (*Salvia hispanica* L.) cosecha 2017 y harina refinada de trigo marca Tres estrellas®, adquirida en un centro comercial.

### 2.3.2 Preparación de la muestra

Se llevó a cabo la molienda y criomolienda de las semillas de amaranto y chía respectivamente, utilizando un molino para café KRUPS GX4100; y el producto obtenido se tamizó con una malla #40 serie Tyler, esta harina fue utilizada para su análisis y la elaboración del producto por lo que se mantuvieron guardadas en frascos de vidrio cerrados a 4°C hasta su posterior utilización.

### 2.3.3 Análisis Químico Proximal

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

- Determinación de humedad.

Técnica 925.09: Secado por estufa (A.O.A.C., 2005).

**Fundamento:** Se calienta la muestra bajo condiciones establecidas y se hace uso de la pérdida de peso para calcular el contenido de humedad (agua libre) de la muestra (Hart, 1991; Nielsen, 2003).

**Método:** Se pesaron las muestras en cajas de aluminio, las cuales habían sido puestas a peso constante previamente, posteriormente se dejó secar la muestra en estufa con circulación forzada de aire BLUE M C-4850- Q (Figura 24), hasta que esta registró un peso constante, las cajas se manipularon con pinzas. Se retiró de la estufa, se dejó en el desecador y se pesó tan pronto como se equilibró con la temperatura ambiente aproximadamente 10 minutos.



**Calculo del % de humedad:**

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

Donde:

$W_1$ = Peso de la muestra (g)

$W_2$ = Peso de la muestra húmeda (g)

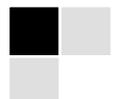
$W_3$ = Peso de la muestra seca (g)



Figura 24 Estufa con circulación forzada de aire BLUE M C-4850- Q

- Determinación de extracto etéreo  
Técnica 920.39: Método de Soxhlet (A.O.A.C., 2005).

**Fundamento:** Se extraen las grasas, de un modo semi-continuo, con un disolvente orgánico. Se calienta y volatiliza el disolvente; a continuación este se condensa por encima de la muestra. El disolvente gotea sobre la muestra y la empapa para extraer las grasas. El contenido de grasas se mide por la pérdida de peso de la muestra, o bien por el peso de la grasa extraída (Nielsen, 2003).



**Método:** Para este método se utilizó Hexano, que fue el reactivo que extrajo el extracto etéreo. 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 (Figura 25), y se colocaron ambos dentro del equipo. Debajo de la muestra se colocó un matraz con el éter, se puso a trabajar el equipo entre 2 y 4 h. 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.

**Calculo del % de grasa extraíble:**

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

Donde:

$W_1$ = Peso de la muestra (g)

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

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



Figura 25 Extracción etérea por soxhlet

- Determinación de proteínas

*Técnica 954.01: Método de Micro Kjeldahl (A.O.A.C., 2005)*

**Fundamento:** El método de Kjeldahl mide el contenido de nitrógeno en una muestra, este puede ser dividido en tres partes: (1) digestión, (2) destilación y (3) valoración. En la etapa de digestión, el nitrógeno orgánico es convertido en amonio, en presencia de un catalizador, en la etapa de destilación, se alcaliniza con NaOH la muestra digerida y el nitrógeno se desprende en forma de  $NH_3$ , por destilación. Este  $NH_3$  se atrapa en una solución de ácido bórico. La cantidad de nitrógeno amónico en esta disolución se cuantifica mediante un análisis volumétrico frente a una solución de HCl valorada. El



contenido de proteína se puede calcular, presuponiendo una proporción entre la proteína y el nitrógeno (Nielsen, 2003).

**Método:** Se introdujo la muestra en un tubo de digestión Kjeldhal, con sulfato cúprico, sulfato de potasio, y ácido sulfúrico concentrado. Se calentó el tubo a fuego lento hasta que la muestra paso de color oscuro a un líquido transparente con una coloración azul verdosa, se dejó enfriar. Se hizo reaccionar con hidróxido de sodio (NaOH) al 40%. Por otro lado, en un pequeño matraz se adiciono 50 ml, de ácido bórico al 4% y 3 gotas de fenolftaleína. Ambos matraces se colocaron en el destilador micro Kjeldahl (Figura 26) y se esperó a que la coloración del matraz pequeño cambio de rosa a transparente. Posteriormente se tituló con HCl, y se calculó el total de proteína que contiene nuestra muestra mediante la siguiente fórmula.

Calculo de % de proteína:

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

$$\%Proteina = (F)(\%Nitrogeno\ total)$$

Donde:

W= Peso de la muestra (g)

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

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

N=Normalidad del HCl

F= Factor de conversión de nitrógeno en proteína utilizando para trigo 5.83, amaranto 5.87 y chíá 6.25 (Martínez-Manrique y Jiménez-Vera, 2016).



Figura 26. Destilador micro Kjeldahl



- Determinación de cenizas por el método de Kleem  
Técnica 923.03: Método de Kleeml (A.O.A.C., 2005)

**Fundamento:** Este método tiene como principio la incineración para destruir toda la materia orgánica que contenga la muestra. El contenido de cenizas es el residuo resultante después de su incineración en condiciones determinadas, indica el contenido de minerales presentes en la muestra (Hart, 1991).

**Método:** Se introdujo la muestra en los crisoles de incineración, previamente a peso constante, posteriormente se colocó la crisoles en un mechero hasta que las llamas se extinguieron y dejó de salir humo, en este punto se metió el crisol a la mufla (Figura 27), la incineración se dio por terminada cuando el residuo era prácticamente blanco. Finalmente se pesó el crisol tan pronto como se equilibre con el medio ambiente.

**Calculo de % de cenizas:**

$$\%Cenizas = \frac{(P_1 - P_2)}{(P - P_1)} * 100$$

Donde:

P= Peso de la capsula con muestra (g)

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

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



Figura 27 Mufla



- Determinación de fibra cruda

Técnica 989.03: Método de Wendee (A.O.A.C., 2005)

**Fundamento:** Este método se basa en la digestión ácida y alcalina de la muestra, obteniéndose un residuo de fibra cruda y sales, posteriormente con la calcinación es posible determinar la fibra cruda (Hart, 1991).

**Método:** El método consistió en someter la muestra seca y desengrasada a una primera digestión ácida, posteriormente a una digestión alcalina que una vez filtrado (Figura 28) se obtuvo un residuo de fibra cruda y sales, para poder determinar el porcentaje de fibra cruda se sometió el residuo a una calcinación (989.03, A.O.A.C.).

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

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)

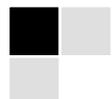


Figura 28 Filtración con succión por vacío

- Determinación de carbohidratos por diferencia

El contenido de los carbohidratos se determinó por diferencia de los demás componentes.

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



### 2.3.4 Elaboración de base para pizza

La elaboración de la base para pizza se basó en la formulación mostrada en la Tabla 16.

Tabla 16 Formulación de una base para pizza

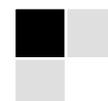
Ingrediente	%
<b>Harina de Trigo</b>	63
<b>Agua</b>	31.4
<b>Aceite de oliva</b>	3.47
<b>Azúcar</b>	0.95
<b>Sal</b>	0.95
<b>Levadura</b>	0.25

Con base en la formulación original (Tabla 16) utilizada en la elaboración de base para pizza se propusieron las siguientes formulaciones (Tabla 17) mezclando harina de trigo, harina de amaranto y harina de chía, a causa de la insuficiente funcionalidad de las semillas de amaranto y chía para formar la red de gluten, se decidió agregar 10 % de gluten de trigo, porque en proyectos previos (Cabrera, 2007; Torres, 2014; Díaz, 2014 & Cruz, 2015) se determinó esta cantidad como lo más viable para la elaboración de productos a base de harina integral de amaranto, dichas formulaciones permitían el correcto procesamiento durante el amasado, manteniendo constante la cantidad del resto de los ingredientes.

Tabla 17 Formulaciones propuestas para elaborar base para pizza a partir de harina integral de chía y amaranto

Formulación	Harina de trigo (%)	Harina de amaranto (%)	Harina de chía (%)	Gluten (%)
<b>1</b>	50	20	20	10
<b>2</b>	30	30	30	10
<b>3</b>	10	40	40	10

Una vez propuestas las formulaciones se procedió a la elaboración de base para pizza de acuerdo al diagrama de proceso mostrado en la Figura 29.



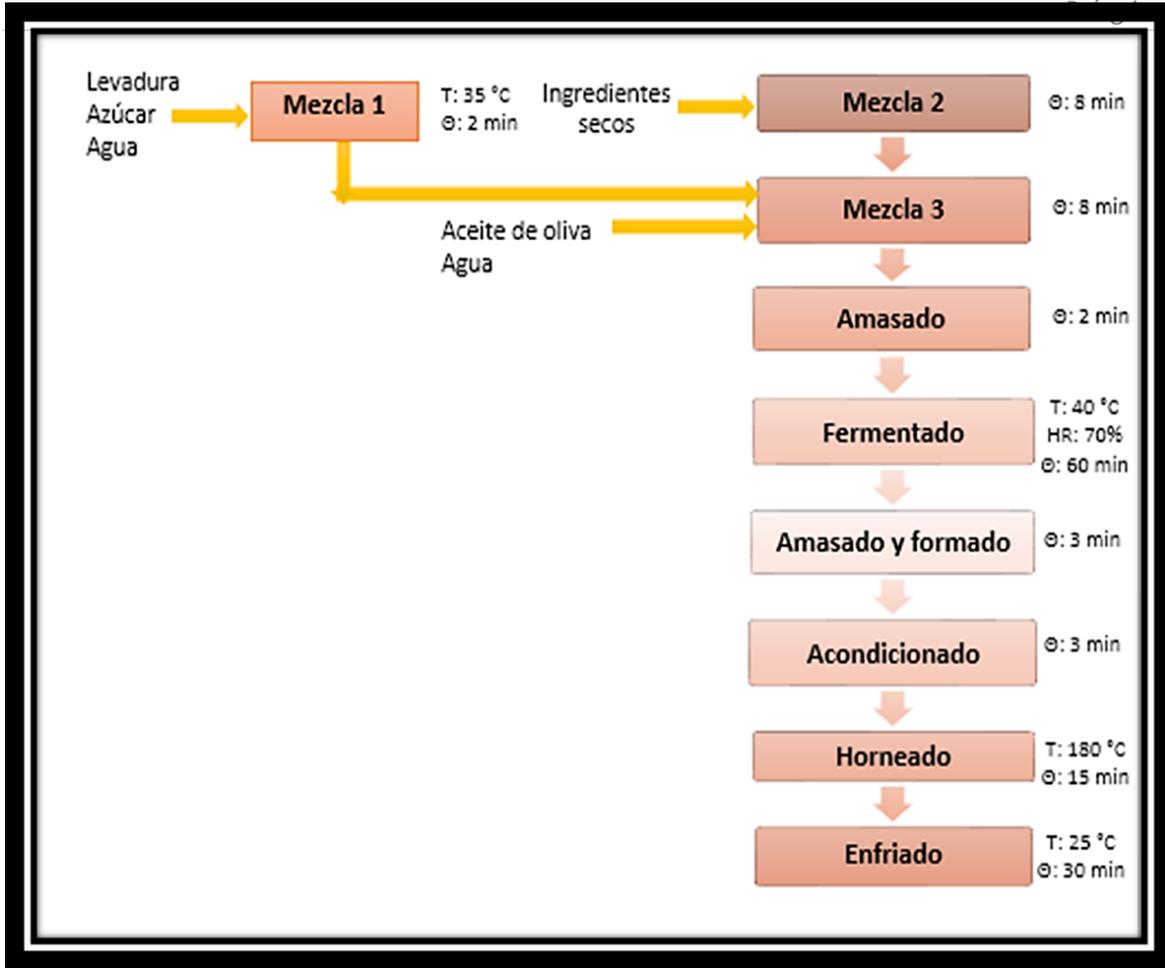
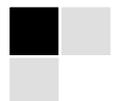


Figura 29 Diagrama de proceso para la elaboración de una base para pizza.

Para la elaboración de base para pizza se utilizó el método de panificación directa. Se pesó la sal, azúcar y levadura en una balanza analítica Sartorius Type 1872, por otra parte la harina de trigo se pesó en una balanza TORO REY L-EQ, el agua y aceite fueron medidos en probetas; posteriormente se realizó el primer mezclado (levadura con agua y poca azúcar) a temperatura de 35 °C durante aproximadamente 2 min, se prosiguió con el segundo mezclado en la batidora Hamilton Beach 63221, (Harina de trigo, sal, azúcar) durante 8 minutos a una velocidad 2, se detuvo la batidora y se agregó la levadura previamente activada, agua y aceite de oliva, se mezcló durante 2 min, posteriormente el amasado se realizó durante 8 minutos, la masa obtenida se colocó en la fermentadora ROBOT COOL IN., a las condiciones (HR: 70 %, T°:70°C) durante 60 minutos, al término se realizó el amasado y formado de la base para pizza, el acondicionamiento consistió en realizarle pequeños agujeros para evitar burbujas de aire indeseables, posteriormente se horneó en un horno convencional ROBOT COOL INC., a una temperatura de 180°C por 15 minutos y finalmente se enfrió a temperatura ambiente durante 30 minutos.



### 2.3.5 Evaluación sensorial

- Prueba de preferencia

Las pruebas de preferencia permiten que los consumidores seleccionen entre varias muestras, indicando si prefieren una muestra sobre otra o si no tienen preferencia. En dichas pruebas se les presentan a los consumidores dos o más muestras y se les pide cual es la muestra de su preferencia. Si hay más de dos muestras se puede solicitar a los consumidores que ordenen su preferencia de mayor a menor. Son pruebas de fácil realización y la pregunta es comprendida por todos los consumidores sin importar edad o preparación (Ramírez-Navas, 2012).

Esta prueba se realizó (Figura 30) a las tres formulaciones propuestas (ver Tabla 15) y se aplicó a 100 jueces no entrenados elegidos al azar, con muestras codificadas pidiéndoles que calificaran cada muestra en base a un cuestionario (Anexo 1).



Figura 30 Prueba sensorial de preferencia

- Prueba de nivel de agrado

Las pruebas de nivel de agrado también llamadas hedónicas se emplean para determinar el grado de aceptación de un producto por parte de los consumidores según su tipo permiten medir cuanto agrada o desagrada un producto (Ramírez-Navas, 2012).

Se realizó esta prueba (Figura 31) a la formulación seleccionada en la prueba de preferencia y se aplicó a 100 jueces no entrenados elegidos al azar, los resultados fueron reportados en un cuestionario de escala no estructurada (Anexo 2)



Figura 31 Prueba de nivel de agrado.

### 2.3.6 Análisis Químico Proximal

Se realizó un análisis químico proximal a la base para pizza control (100% Harina de trigo) elaborada en el Laboratorio de Bioquímica y Fisiología de Granos y a la base para pizza seleccionada en la prueba sensorial de preferencia, para su posterior comparación. Estas fueron troceadas y molidas utilizando un molino para café KRUPS GX4100, posteriormente fueron empleados los métodos de la A.O.A.C. (2002) mencionados anteriormente.

### 2.3.7 Evaluación de la calidad nutrimental de la base para pizza

#### ▪ 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. En este caso se utilizó una hidrólisis enzimática y se desarrollará el color con  $p$ -dimetilaminobenzaldehído (DMAB) y nitrito de sodio como contraste (Rama *et al.*, 1974).

#### Reactivos

- ✓ Buffer de fosfatos
- ✓ Pepsina 0.3%
- ✓ Pancreatina 0.4%
- ✓ DMAB 0.5%
- ✓ Nitrito de sodio 0.2 %
- ✓ Solución estándar de triptófano al 0.5 mg/ml



Figura 32 Determinación de triptófano

#### Procedimiento

1. Pesar 0.5 g de muestra
2. Agregar 5 mL de pepsina; agitar e incubar por 3 horas a temperatura ambiente
3. Adicionarle 5 mL de NaOH 0.1 N y 5 mL de pancreatinina, agitar e incubar por 24 horas.
4. Aforar a 25 mL con agua con agua destilada y filtrar.
5. Tomar 2 mL y adicionarle 3.75 ml de HCL concentrado y de DMAB, así como 0.25 ml de  $\text{NaNO}_2$  y reposar 15 min.
6. Leer a  $\lambda = 590 \text{ nm}$
7. Realizar una curva patrón estándar de 0 a 10  $\mu\text{g}$  de triptófano, obtener ordenada al origen y pendiente. Para posteriormente despejar la concentración con los datos de absorbancia
- 8.



### ▪ Digestibilidad *in vitro*

La digestibilidad es una forma de medir el aprovechamiento de un alimento, es decir, la facilidad con que es convertido en el aparato digestivo en sustancias útiles para la nutrición (FAO, 2018).

La digestibilidad *in vitro* se llevó a cabo utilizando un sistema multienzimático para determinar la digestibilidad de las proteínas por medio de proteasas que son las enzimas más activas. En 1977 Hsu y sus colaboradores encontraron que el pH de una proteína en suspensión después de los 20 minutos de digestión con una solución multienzimática; tienen una gran correlación con la digestibilidad *in vivo* de ratas, la ecuación de la regresión obtenida experimentalmente fue:

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

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

#### Reactivos

- ✓ HCl 0.1 N
- ✓ NaOH 0.1 N
- ✓ Solución enzimática A
- ✓ Solución enzimática B
- ✓ Caseína liofilizada



Figura 33 Digestibilidad *in vitro*

#### Procedimiento

- 1.- Se pesa 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 (Figura 33)
- 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 enzimática A, se adicionó 1 mL de la solución enzimática B y al mismo tiempo se transfirió a un baño de 55 °C.
- 8.- Exactamente a los 19 minutos de añadida la solución enzimática A transferir a un baño de 37°C.
- 9.- A los 20 minutos de añadida la solución enzimática A medir el pH
- 10.- El pH del control de caseína debe ser de 6.42 +/- 0.05

#### ▪ Fibra dietética

Se mide el contenido de fibra dietética de los alimentos usando una combinación de métodos enzimáticos-químicos y gravimétricos (Cunnif *et al.*, 1994).

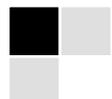
La muestra es secada, desengrasada y gelatinizada con la enzima termoestable  $\alpha$ -amilasa, posteriormente la digestión con proteasa y amiloglucosidasa para la remoción de proteínas y almidón. El etanol es adicionado para precipitar la fibra dietética soluble. El residuo es entonces filtrado y lavado con etanol y acetona El total de fibra dietética es el peso del residuo menos el peso de proteína y cenizas (Ciprian-Carreón, 2005).

#### Reactivos

- ✓ Buffer de fosfato
- ✓ Solución de amilasa
- ✓ Proteasa
- ✓ Amiloglucosidasa
- ✓ Etanol 95 %
- ✓ Etanol 78%
- ✓ HCl 0.325 N
- ✓ NaOH 0.275 N

#### Procedimiento

- 1.- Pesar 1 g de muestra en un matraz de 500 mL y adicionar 50 mL de buffer de fosfato 0.08 M, ajustar el pH a 6 +/- 0.02.
- 2.- Adicionar 0.1 mL de solución de amilasa, cubrir con papel aluminio, colocar en un baño a ebullición durante 15 minutos agitando constantemente y enfriar.
- 3.- Ajustar a pH 7.5 +/- 0.2 adicionando 10 mL de NaOH.
- 4.- Adicionar 5 mg de proteasa, cubrir el matraz con papel aluminio, colocarlos en un baño a 60 °C por 30 minutos con agitación continua y enfriar.
5. Adicionar 10 mL de HCl, ajustar el pH a 4-4.6 y adicionar 0.1 mL de amiloglucosidasa, incubar a 60 °C por 30 minutos y con agitación continua
- 6.- Se adiciono 280 mL de etanol 95 % precalentado a 60 °C
- 7.- Se dejó en reposo una hora



- 8.- Humedecer y distribuir la cama de celita con etanol 78%. Aplicar la succión y transferir el precipitado de la digestión enzimática
- 9.-Realizar lavados
- 10.-Secar el contenido el residuo en un crisol toda la noche, enfriar y pesar
- 11.-Analizar el contenido de proteínas
- 12.- Analizar el contenido de cenizas
- 13.- Calcular el residuo restando el peso de crisol, cenizas y proteína.

### Cálculos

$$\% \text{ Fibra dietetica} = \frac{R - P - C - B}{PM} * 100$$

Donde:

- R: Peso del residuo de la muestra (mg)
- P: Peso de proteína de la muestra (mg)
- C: Peso de cenizas de la muestra (mg)
- B: Blanco
- PM: Peso de la muestra

#### ▪ Relación de eficiencia proteica

Con el fin de evaluar la calidad proteica de la base para pizza seleccionada previamente mediante la prueba de preferencia, se llevó a cabo la prueba de la Relación de Eficiencia Proteica (REP) más conocido por sus siglas en ingles PER (Protein Efficiency Ratio) (960.48, A.O.A.C), que representa el cociente entre los gramos de peso ganado de los animales en estudio dividido por los gramos de proteína ingerida. Para ello fue necesario elaborar una dieta isoproteica e isocalórica con la base para pizza, y la dieta de referencia de caseína, las cuales se elaboraron en forma de pellets. Las dietas se prepararon de acuerdo a la formulación establecida por la A.O.A.C, (1990).

Se utilizaron 12 ratas Winstar de 21 días de nacidas cuyos pesos oscilaban entre 36 y 47 g, las cuales fueron divididas en dos lotes de 6 ratas cada uno, un lote de ratas fue alimentado con una dieta de caseína como proteína control. Las ratas fueron colocadas en forma de culebra japonesa (este método distribuye los pesos en orden ascendente y se van haciendo lotes de seis en seis de izquierda a derecha y regresa de derecha a izquierda para una distribución homogénea), en condiciones de temperatura de 25 °C, humedad relativa de 48% y periodos de luz de 12 horas.



Cada tercer día se registró el peso ganado y la cantidad de alimento consumido. El ensayo tuvo una duración de 28 días, al terminar dicho tiempo se realizaron los siguientes cálculos:

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

$$PER \text{ ajustado} = PER \text{ exp} * \frac{PER \text{ caseína ref}}{PER \text{ caseína exp}}$$

Donde:

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

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

F= % de proteína en la dieta/100

PER exp= Valor de PER obtenido en el bioensayo

PER caseína ref.: Valor de caseína de referencia (2.5)

PER caseína exp.: Valor PER de la caseína obtenido del bioensayo

Los valores de digestibilidad aparente hacen referencia a la fracción de un determinado alimento o dieta que desaparece durante su paso a través del conducto gastrointestinal, suponiendo así que el proceso de absorción interviene también en la determinación del valor nutritivo (Church, 1993).

La digestibilidad aparente de la proteína, que se define como la proporción de nitrógeno ingerido que es absorbido por el animal, se determinó midiendo el nitrógeno ingerido y el de las heces secas y molidas (por Kjeldahl) de cada rata en la última semana del ensayo del PER (28 días) y se realizaron los respectivos cálculos (A.O.A.C., 2005).

$$Da = \frac{N \text{ absorbido}}{N \text{ ingerido}} * 100$$

### 2.3.8 Factores anti nutrimentales

#### Taninos

La determinación de taninos se basó en la extracción de los taninos hidrolizables y condensados (fenoles totales) mediante dimetil formamida al 75 % y la posterior reducción del ion férrico debido a los iones polifenoles con la subsiguiente formación de un complejo colorido en condiciones alcalinas, cuantificado espectrofotométricamente a 525 nm (ISO 9648, 1988).



Reactivos

- ✓ Solución de dimetil formamida al 75 % (DMF)
- ✓ Solución estándar de ácido tánico
- ✓ Solución de citrato férrico de amonio
- ✓ Hidróxido de amonio

Procedimiento

1. Pesar 1 g de muestra.
2. Adicionar DMF al 75 %.
3. Agitar durante 1 hora, y dejar reposar durante 15 minutos.
4. Centrifugar a 5000 rpm durante 20 minutos.
5. Tomar 1mL de muestra del sobrenadante, ajustar el volumen a 6 mL con agua destilada, 1 mL de citrato férrico (17-20 %), 1 mL de amoniaco.
6. Leer la absorbancia a 525 nm

Cálculos

- 1.- Realizar la curva patrón de ácido tánico, posteriormente obtener ordenada de origen (b) y pendiente (m).

$$X = \left( \frac{\text{Absorbancia} - b}{m} \right) / 1000$$

Donde:

X: g de ácido fitico

b: ordenada de origen

m: pendiente

- 2.- Calcular el porcentaje de taninos mediante la siguiente ecuación

$$\%Taninos = \frac{X}{PM} * 100$$

Donde:

X: g de ácido fitico

PM: Peso de la muestra



## 🌈 Ácido fítico

Para la determinación de ácido fítico, el extracto de la muestra se calienta con una solución de ácido férrico para conocer el contenido de hierro. La disminución del hierro fue determinada colorimétricamente con 2,2-bipiridina en el sobrenadante y es la medida del contenido de ácido fítico (Haug *et al.*, 1983).

### Reactivos

- ✓ Ácido fítico
- ✓ Ácido clorhídrico 0.2N
- ✓ Sulfato férrico de amonio
- ✓ 2,2-Bipiridina
- ✓ Ácido tioglicólico

### Procedimiento

- 1.- Pesar 0.1g de muestra y adicionar 20 mL de HCl 0.2 N, agitar durante 20 minutos, centrifugar durante 15 minutos.
- 2.- Tomar 0.5 mL del extracto y colocarlo en un tubo de ensaye.
- 3.- Adicionar 1 mL de sulfato férrico de amonio 0.2 %.
- 4.- Tapar el tubo y calentarlo a 95 +/- 2°C durante 30 minutos.
- 5.- Enfriar los tubos de ensaye.
- 6.- Una vez que se encuentran a temperatura ambiente adicionar 2 mL de 2,2-Bipiridina a cada tubo y agitar.
- 7.-A los 30 segundos exactamente de adicionar la 2,2-Bipiridina, leer la absorbancia a 519 nm.

### Cálculos

- 1.- Graficar µg de P del ácido fítico/mL vs. Absorbancia, realizar la regresión lineal y obtener la ecuación de la recta ( $y = mx + b$ ), y sustituir en la siguiente ecuación

$$P = \frac{x * E}{T}$$

Donde:

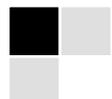
$x$ : valor obtenido de la ecuación despejada

$E$ : equivalente a 660.08 g (1 mol de ácido fítico)

$T$ : equivalente a 185.82 g (6 moles de fosfato)

$P$ : µg de fosfato del ácido fítico/ml

- 2.- Determinar el porcentaje de ácido fítico



$$\% \text{ Acido fitico} = \frac{P}{M} * 100$$

Donde:

P:  $\mu\text{g}$  de fosfato del ácido fítico/mL

M: muestra (g)/20 mL HCl

### Inhibidores de Tripsina

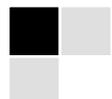
Para la determinación de inhibidores de tripsina se utilizó la técnica que se basa en poner en contacto el extracto acuoso o diluido de una muestra con una solución estándar de tripsina, posteriormente se determina la actividad proteolítica remanente utilizando un sustrato sintético (bezoil-arginina-p-nitroanilide) (BAPNA), el cual producirá coloración, que es inversamente proporcional al contenido de inhibidores de tripsina y que se lee en el espectrofotómetro a una  $\lambda = 410 \text{ nm}$  (Kakade *et al.*, 1974)

#### Reactivos

- ✓ Solución amortiguadora de TRIS 0.05N, pH 8.2
- ✓ Solución BAPNA a 37°C
- ✓ Solución estándar de tripsina a 37 °C
- ✓ Ácido acético al 30 %
- ✓ HCl 0.001N
- ✓ NaOH 0.01N

#### Procedimiento

1. A 1 g de muestra molida y desengrasada, adicionarle NaOH 0.01N; se ajusta el pH a 9.6, agitar por un tiempo de 2 horas con 30 min a 300 rpm. Después se deja en reposo por 30 min y centrifugar 5 minutos a 5000 rpm.
2. Se toman porciones de 0, 0.6, 1, 1.4, y 1.8 mL del extracto anterior ajustando el volumen a 2.0 mL con agua destilada.
3. Adicionar 2 mL de solución estándar de tripsina y agitar. Se mantiene en contacto inhibidor de tripsina-tripsina por 10 min en un baño de 37 °C.
4. Adicionar 5mL de solución BAPNA cada 30 segundos a los cinco tubos. Se mantiene dicha mezcla de reacción por 10 minutos exactamente.
5. Adicionar 1mL de ácido acético al 30 %, para detener la reacción. Si al adicionar el ácido acético al tubo de reacción, este se enturbia, será necesario filtrar, para ello es necesario dejar el tubo en reposo por 5 min. El filtrado deber ser transparente.
6. La lectura en el espectro se realiza a  $\lambda 410 \text{ nm}$ .



## Cálculos

- 1.- Se grafican (x) los mL de extracto vs (y) UTI/ml para calcular la regresión lineal.
- 2.-La r debe ser mayor a 0.9 y si es así, se sustituye el valor de la ordenada al origen (b) en la siguiente ecuación.

$$B * Factor * \frac{Vol. aforado muestra}{mg de muestra} * \frac{UTI}{mg de muestra}$$

Donde:

B: Ordenada al origen

Factor Factor de dilución

### 2.3.9 Factores funcionales

#### 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 Transferencia de Electrones, con un aporte marginal de Transferencia de Átomos de Hidrógeno (Martínez, 2007; Da Silva, 2012; Londoño,2012).

#### Reactivos

- ✓ Solución de DPPH
- ✓ HCl 1%
- ✓ Metanol-HCl 1%
- ✓ Metanol absoluto

#### Preparación de la extracción

- 1.- Pesar 0.1 g de muestra previamente desengrasada
- 2.- Diluir con 1 mL de Metanol-HCl 1% y hervir 10 min en baño maría
- 3.- Enfriar y centrifugar 9000 rpm durante 10 min
- 4.- Obtener el sobrenadante, colocarlo en tubos eppendorf, colocarlos a 65 °C en bloque de calentamiento hasta su total evaporación
- 5.- Una vez evaporados obtener una pastilla, y disolverla en 1 mL de agua desionizada, agitar y centrifugar a 9000 rpm por 10 min. Obtener el extracto.



### Determinación de poder antioxidante

- 1.- Tomar 500 µL del extracto, agregar 500 µL de solución DPPH [120 µM] y dejarlos reposar por 30 min en oscuridad absoluta.
- 2.- Leer a 518 nm en el espectrofotómetro previamente calibrado con agua
- 3.- Calibrar con metanol
- 4.- Después leer METANOL + DPPH [120 µM] 500 µL de cada uno y dejarlos reposar 30 min como control negativo y obtener 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.

### **Determinación de fenoles**

Se basó 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 determinada 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, 1976; Ranganna. 1977; Valadez, 1990)

### Reactivos

- ✓ HCL 1%
- ✓ METANOL-HCL 1%
- ✓ Folín-Ciocalteu
- ✓ Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>
- ✓ Solución estándar de ácido gálico



Preparación de la extracción

- 1.- Pesar 0.1 g de muestra desengrasada
- 2.- Diluir con 1 mL de metanol-HCl al 1%
- 3.- Hervir 10 minutos a baño maría en tubos eppendorf con rosca (para que no se abran)
- 4.-Dejar enfriar y centrifugar a 9000 rpm durante 10 minutos
- 5.- Obtener el sobrenadante y colocarlo en tubos eppendorf de punta (fondo de punta).
- 6.- Colocarlos a 65 °C en bloque de calentamiento (abiertos) hasta su total evaporación.
- 7.- Una vez evaporados obtenemos una pastillita, redissolverla en 1 ml de agua destilada y agitar.
- 8.- Centrifugar a 9000 rpm durante 10 minutos.
- 9.- Obtener el extracto con el que se trabajará.

Determinación de fenoles

- 1.- Del extracto obtenido tomar 400 µL
- 2.- Agregar 3750 µL de agua destilada
- 3.- Agregar 250 µL de Folín-Ciocalteu
- 4.- Agitar y reposar por 5 minutos
- 5.- Agregar 500 µL de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>
- 6.- Agitar y reposar por 15 minutos
- 7.- Leer absorbancia a 760 nm
- 8.- Realizar los cálculos para la determinación de la cantidad de compuestos fenólicos

Cálculos

- 1.- Realizar la curva patrón de ácido gálico, posteriormente obtener ordenada de origen (b) y pendiente (m).
- 2.- Sustituir en la siguiente ecuación

$$X = \frac{\text{Absorbancia} - b}{m}$$

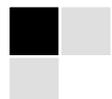
Donde:

m= Pendiente

b=Ordenada de origen

X= Fenoles en 400 µL

- 3.- Calcular el contenido de fenoles en 1000 µL
- 4.- Calcular el contenido de fenoles en 1 g de muestra (Y)



$$\text{Fenoles: } \frac{Y * E}{PM} * 10 = \frac{mgEAG}{g \text{ muestra}}$$

Donde:

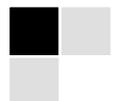
Y: Fenoles en 1 g de muestra

Equivalencia: 6 equivalentes de Ácido Gálico

PM: Peso Molecular del ácido galico (170.2 µg)

### 2.3.10 Análisis estadístico

Las pruebas se realizaron por triplicado; calculando su media, desviación estándar y coeficiente de variación. Para las pruebas sensoriales se determinó la frecuencia de votos asignados y el promedio. Se analizaron las medias con la prueba de rango múltiple t-student con un nivel de significación de 0.05 utilizando el programa estadístico Origin V. 4.0.



## CAPITULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1 Análisis químico proximal de la materia prima

Se determinó la composición química de las harinas integrales de amaranto y chía, así como de la harina refinada de trigo marca Tres estrellas® (Tabla 18), las cuales se usaron como materia prima en este trabajo.

Tabla 18. Análisis químico proximal de harina de trigo refinada marca Tres estrellas, harina integral de amaranto y harina integral de chía utilizadas como materia prima

Muestra	Humedad (%)	Proteína (%)	Grasa (%)	Cenizas (%)	Fibra (%)	Carbohidratos (%)
Harina de trigo tres estrellas®	12.06 ± 0.1 <sup>a*</sup>	8.94 ± 0.015 <sup>a</sup>	1.1 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.49 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.72 ± 0.01 <sup>a</sup>	76.68 <sup>a</sup>
Harina de chía	7.16 ± 0.11 <sup>b</sup>	19.98 ± 0.03 <sup>b</sup>	28.59 ± 0.35 <sup>b</sup>	4.76 ± 0.05 <sup>b</sup>	33.06 ± 1.09 <sup>b</sup>	6.45 <sup>b</sup>
Harina de amaranto	11.38 ± 0.09 <sup>c</sup>	10.36 ± 0.24 <sup>c</sup>	4.24 ± 0.09 <sup>c</sup>	2.61 ± 0.06 <sup>c</sup>	6.6 ± 0.42 <sup>c</sup>	64.81 <sup>c</sup>

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

Al realizar este análisis se observó que el contenido de proteína tanto en la harina integral de amaranto como en la harina integral de chía fue mayor y presentó diferencia estadísticamente significativa con respecto a la harina refinada de trigo. Esto es importante porque las proteínas de chía y amaranto tienen alto valor biológico debido a que a chía contiene aminoácidos esenciales como la leucina, isoleucina y valina entre 42.2-42.9% del total de aminoácidos presentes en el grano (Timilsena *et al.*, 2016). En cuanto al amaranto presenta un buen equilibrio a nivel de aminoácidos ya que contiene lisina el cual es un aminoácido esencial en la alimentación humana y que no suele encontrarse (o en poca cantidad) en la mayoría de los cereales; los niveles de lisina son superiores a los de todos los cereales incluyendo el trigo (Chagaray, 2005).

Por otra parte se observó que el contenido de grasa en las harinas integrales de chía y amaranto presentó una diferencia estadísticamente significativa ( $P \leq 0.05$ ) con respecto



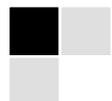
a la harina refinada de trigo, lo cual resulta en un buen complemento ya que la chía contiene altos niveles de ácidos grasos poliinsaturados, cuyos principales componentes son: ácido linoleico (17%-26%) y ácido linolénico (50%-57%) (Justo *et al.*, 2007). Los ácidos grasos poliinsaturados contribuyen tanto a la prevención como al tratamiento de diferentes patologías, especialmente en inflamaciones, debido a la presencia de propiedades antiinflamatorias (Jiménes *et al.*, 2013; Rosamond, 2002), de igual forma dichos ácidos grasos juegan un papel significativo en la salud humana, al ser de gran importancia en el desarrollo del cerebro y la retina (Silva, 2015). Así mismo el amaranto contiene ácidos grasos insaturados (más del 75 %) y es especialmente rico en ácido linoleico y ácido oleico (Murray *et al.*, 2005). Además, se ha reportado que el consumo de amaranto disminuye el colesterol, los triglicéridos, y mejora el metabolismo (Contreras *et al.*, 2011).

Además, se encontró que las harinas integrales contenían más del doble de cenizas en comparación con la harina refinada de trigo. La chía se destaca por poseer una cantidad importante de minerales 714 mg/100 g de calcio (Ca) en semillas enteras y 1180 mg en harinas parcialmente desengrasadas, 16 mg/100g de hierro, 390 mg/100g de magnesio, 700 mg/100g de potasio y 1057 mg/100 g de fósforo (Di Sarpio *et al.*, 2008).

El contenido de fibra cruda del amaranto fue aproximadamente seis veces mayor que en la harina refinada de trigo, siendo importante, ya que es recomendable tener una dieta rica en fibra, la cual puede ser proporcionada por el consumo de amaranto (Murray *et al.*, 2005). Por otra parte, el contenido de fibra en la harina integral de chía resultó ser treinta y cinco veces mayor que en la harina refinada de trigo lo cual resulta ser favorable ya que un porcentaje pertenece a fibra soluble, denominado mucílago.

La disminución en cuanto a proteína, grasa, cenizas y fibra en la harina de trigo resulta normal ya que en el procesamiento que conlleva la obtención de esta, el grano de trigo es sometido a una molienda donde se retira el pericarpio y el germen, partes anatómicas del grano donde se localiza gran cantidad de lípidos, fibra, vitaminas y los minerales en los cereales (Rosado *et al.*, 1999), dejando así al endospermo en donde se localizan los almidones obteniendo un producto blanco y fino con un bajo valor nutricional (Montoya, 2016). En cuanto a los resultados obtenidos para las harinas integrales de chía y amaranto, es importante su cuantificación debido a que su composición química varía en función de factores abióticos como son: suministro de agua, concentración de oxígeno, temperatura del suelo, luz, viabilidad de la semilla, época de cosecha, etcétera, sobre las cuales no tenemos control (Jiménez-Vera *et al.*, 2018).

Considerando lo antes mencionado, las semillas de amaranto y chía pueden ser utilizadas perfectamente en este proyecto como complemento nutricional para la harina refinada de trigo en la elaboración de base para pizza.



### 3.2 Evaluación de la calidad nutrimental a la materia prima

Se evaluó el contenido de triptófano, digestibilidad *in vitro* y fibra dietética (Tabla 19) a las harinas integrales de amaranto y chía, así como a la harina refinada de trigo marca Tres estrellas® con el fin de determinar la calidad nutrimental de las mismas y de esta manera observar si dichas materias primas se pueden complementar entre sí en un producto a modo de asegurar un producto más nutritivo.

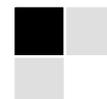
Tabla 19. Evaluación nutrimental de la harina de trigo refinada marca Tres estrellas, harina integral de amaranto y harina integral de chía utilizadas como materia prima

Muestra	Triptófano (g Trp/100 g de proteína)	Digestibilidad <i>in vitro</i> (%)	Fibra dietética (%)
Harina de trigo Tres Estrellas®	1.05 0.006 <sup>a*</sup>	79.09 ± 0.34 <sup>a</sup>	7 ± 0.32 <sup>a</sup>
Harina integral de Chía	1.35 ± 0.02 <sup>b</sup>	89.7 ± 1.29 <sup>b</sup>	60.75 ± 2.89 <sup>b</sup>
Harina integral de Amaranto	1.65 ± 0.08 <sup>c</sup>	85.18 ± 1.30 <sup>b</sup>	14.03 ± 0.37 <sup>c</sup>

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

En la cuantificación de triptófano se observa una diferencia estadísticamente significativa ( $P \leq 0.05$ ) entre las tres muestras, teniendo niveles mayores en las harinas de amaranto y chía, lo cual es favorable ya que el triptófano regula varios de los procesos humanos básicos al propiciar la síntesis de serotonina que como neurotransmisor ayuda a la transmisión del impulso nervioso, de igual manera favorece la síntesis de melatonina, hormona reguladora del sueño, además de ser precursor de Vitamina B3 la cual actúa en el metabolismo celular formando parte del coenzima NAD y NADP. (Estruch, 2003).

En cuanto a los resultados de digestibilidad *in vitro* se observó una diferencia estadísticamente significativa ( $P \leq 0.05$ ) entre las harinas, obteniendo valores cercanos al 90% de digestibilidad en las harinas integrales de chía y amaranto, sin embargo en la



harina de trigo se obtuvo un resultado de casi el 80% de digestibilidad lo cual significa que es más difícil digerir las proteínas de la harina de trigo que las de la chía y el amaranto, además de que estas últimas contienen aminoácidos esenciales, lo cual nos lleva a sugerir que las proteínas de las harinas integrales de chía y amaranto poseen un valor biológico mayor en comparación con la harina refinada de trigo (Prieto,2015).

Por otra parte, el contenido de fibra dietética mostró diferencia estadísticamente significativa ( $P \leq 0.05$ ) entre las diferentes muestras, la harina integral de amaranto presentó el doble de contenido de fibra dietética en comparación con la harina refinada de trigo, mientras que la harina de chía obtuvo ocho veces más de fibra en comparación con la harina refinada de trigo. La fibra dietética promueve efectos beneficiosos fisiológicos como el ser laxante y/o atenuar los niveles de colesterol en sangre y glucosa en sangre (Escudero, 2006), por lo que la adición de las harinas integrales en la base para pizza además de aportar componentes químicos de suma importancia, también aportara componentes nutrimentales que ayudan a la función del organismo.

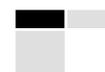
### 3.3 Evaluación de la materia prima como alimento funcional

Se evaluó el contenido de fenoles y la capacidad antioxidante (Tabla 20) de las materias primas a utilizar con el fin de observar la funcionalidad entre las distintas muestras y verificar que al adicionar harinas integrales de chía y amaranto al producto, se obtenga un alimento funcional que contenga compuestos con efectos benéficos para la salud, mejorando o reduciendo el riesgo de padecer enfermedades.

Tabla 20. Evaluación de la funcionalidad en la harina de trigo refinada marca Tres estrellas, harina integral de amaranto y harina integral de chía utilizadas como materia prima.

Muestra	Fenoles (mgEAG/g mtra)	Capacidad antioxidante (%)
Harina de trigo Tres Estrellas®	0.31 ± 0.005 <sup>a*</sup>	7.03 ± 0.2 <sup>a</sup>
Harina integral de chía	36.55 ± 0.070 <sup>b</sup>	87.29 ± 0.03 <sup>b</sup>
Harina integral de amaranto	13.07 ± 0.042 <sup>c</sup>	61.84 ± 0.07 <sup>c</sup>

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



Se observó una diferencia estadísticamente significativa ( $P \leq 0.05$ ) en el contenido de fenoles teniendo treinta y seis veces más de compuestos fenólicos en la harina integral de chía que en la harina refinada de trigo, mientras que la harina integral de amaranto resulto ser aproximadamente doce veces mayor, esto debido al porcentaje de grasa contenido en las semillas, por ende la presencia de estos compuestos antioxidantes es de vital importancia ya que ayuda a evitar la oxidación lipídica, dichos compuestos aportan múltiples beneficios a la salud como son reducir el riesgo de enfermedades cardiovasculares y de cáncer (González, 2010). En cuanto la capacidad antioxidante se observó diferencia estadísticamente significativa ( $P \leq 0.05$ ) entre las muestras, ya que en la harina de chía fue ochenta veces mayor en comparación con la harina refinada de trigo, mientras que la harina integral de amaranto resultó ser aproximadamente cincuenta veces mayor que la harina refinada de trigo. La capacidad antioxidante ayuda a retrasar el envejecimiento celular, a prevenir las enfermedades degenerativas de la edad como el cáncer, las enfermedades cardiovasculares, cataratas, declinación del sistema inmunológico y disfunción cerebral (Okuyama *et al.*, 1997), por lo que la adición de estas materias primas podría ayudar a la obtención de un alimento funcional.

### 3.4 Evaluación de factores anti-nutrimientales en la materia prima.

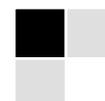
Se evaluaron los factores anti-nutricionales, taninos, ácido fítico e inhibidores de tripsina en las harinas (Tabla 21), con el fin de conocer los constituyentes que podrían interferir en la absorción de los nutrientes que aporta el producto.

Tabla 21 Evaluación de factores anti-nutrimientales en la harina de trigo refinada marca Tres estrellas, harina integral de amaranto y harina integral de chía utilizadas como materia prima

Harina	Taninos (%)	Ácido fítico (%)	Inhibidores de tripsina(UTI/mg de muestra)
Trigo	$0.057 \pm 0.006^{a*}$	ND <sup>**</sup>	ND
Chia	$0.2950 \pm 0.007^b$	$2.25 \pm 0.12^a$	$2.73 \pm 0.1^a$
Amaranto	$0.048 \pm 0.028^c$	$1.71 \pm 0.07^b$	$1.05 \pm 0.025^b$

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

\*\* No detectado



La presencia de factores anti-nutrimientales en las harinas integrales se hace notar en fracciones pequeñas, ya que al procesar las semillas en su forma global, es decir, con todos sus componentes, permanecen sustancias naturales no fibrosas generadas por el metabolismo secundario de las propias semillas como un mecanismo de defensa ante el ataque de mohos, dichas sustancias pueden intervenir en la absorción de nutrientes reduciendo el consumo e impidiendo la digestión y utilización de los mismos (Chaparro, 2009). Por el contrario la harina refinada de trigo presentó valores casi despreciables, a causa del refinamiento el cual elimina las partes superficiales del grano en las cuales se encuentran dichas sustancias.

Es importante tomar en cuenta la presencia de estas sustancias en las semillas, ya que si bien se ha demostrado que durante la cocción se reduce, inactiva y/o destruyen dichas sustancias, podrían intervenir en la absorción de nutrientes provenientes del producto (base para pizza), por lo cual se recomienda un análisis de estos factores al finalizar el proceso.

Tomando en cuenta lo anterior se puede decir que las harinas integrales de amaranto y chíá son un complemento funcional y nutrimental de la harina refinada de trigo, ya que esta carece de proteínas que representen un buen valor biológico, de ácidos grasos esenciales y fibra. Además que las harinas integrales aportan propiedades funcionales como son la capacidad antioxidante que ayuda a prevenir enfermedades. Por lo que en conjunto la mezcla de estas harinas resultará en un producto con alta calidad nutrimental y con propiedades funcionales.

### 3.5 Elaboración de base para pizza

Para el desarrollo de la base para pizza se utilizó un método de panificación directo y se plantearon diferentes tipos de formulaciones (Tabla 23) adicionando harinas integrales de amaranto y chíá, así como harina refinada de trigo.

El porcentaje de ingredientes como son agua, aceite de oliva, sal, azúcar y levadura se mantuvo constante, es decir no fueron variados en las formulaciones propuestas (Tabla 22), ya que el objetivo era variar el porcentaje de harinas integrales así como de harina refinada de trigo, con el objetivo de determinar el efecto de la adición de dichas harinas integrales en el producto final (base para pizza).

En primer lugar se elaboró una base para pizza compuesta de 100% harina refinada de trigo marca Tres estrellas®, la cual fue utilizada como control de las condiciones de proceso en el Laboratorio de Bioquímica y Fisiología de Granos en la Unidad de Investigación Multidisciplinaria, con el fin de compararlo con la base para pizza complementada con harina integral de amaranto y chíá, posteriormente se realizaron distintas formulaciones con gluten, harina de trigo refinada, las harinas integrales de



amaranto y chía, las cuales representaron un 63 % de la formulación total; fueron elegidas dichas formulaciones ya que permitieron realizar el proceso de panificación y que presentaron buenas características organolépticas.

Tabla 22 Formulaciones realizadas para la elaboración de base para pizza

Formulaciones (%)				
		1	2	3
<b>Ingredientes</b>			%	
Harina de trigo		50	30	10
Harina de amaranto		20	30	40
Harina de chía	63	20	30	40
Gluten		10	10	10
Agua		31.4		
Levadura		0.25		
Aceite de oliva		3.47		
Sal		0.95		
Azúcar		0.95		

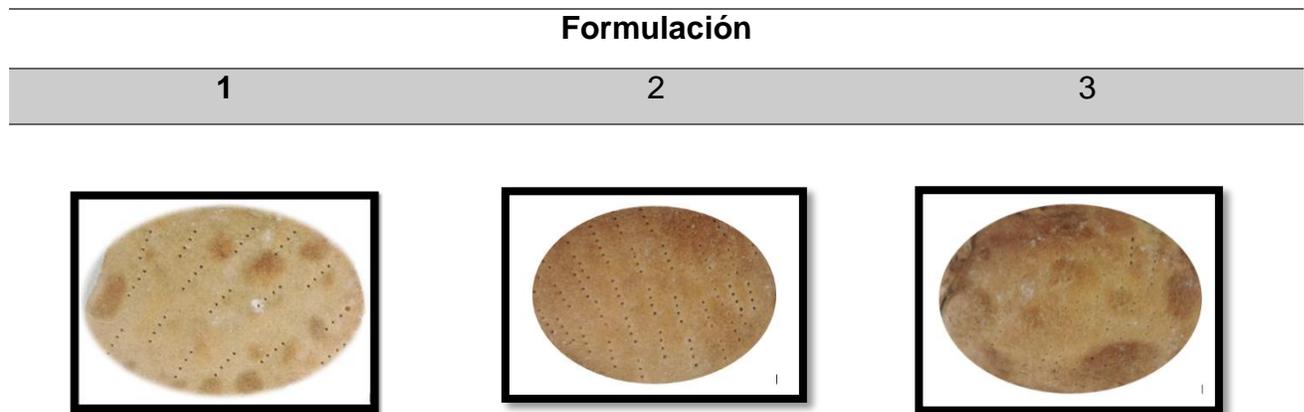
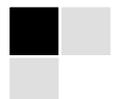


Figura 34 Formulaciones evaluadas



### 3.6 Prueba sensorial de preferencia

Se realizó un análisis sensorial de preferencia a las bases para pizza elaboradas con las formulaciones ya mencionadas a cien jueces no entrenados (Tabla 23 y Anexo 3). La base para pizza realizada con 20% de harinas integrales mostró mejores puntuaciones en comparación con las formulaciones realizadas con 30% y 40% de harinas integrales presentando una diferencia estadísticamente significativa ( $P \leq 0.05$ ). La formulación con la adición de 20% de harinas integrales de chí y amaranto le fue asignada la puntuación más alta por el 53% de los jueces mientras que las formulaciones con 30% y 40% fueron aceptadas por el 28% y 19% de los jueces respectivamente. La opinión de los jueces fue descrita con comentarios como “buen sabor” y “buena consistencia”, lo cual resulta favorable por ser un producto innovador. Por lo tanto la formulación elegida fue la elaborada con 50% de harina de trigo, 20% de harina de chí, 20% de harina de amaranto y 10% de gluten a la cual se le realizaron pruebas para determinar su calidad nutrimental y funcional.

Tabla 23 Resultados de prueba de preferencia aplicada a las bases para pizza desarrolladas con distintas formulaciones

Formulación	Puntuación	Número de jueces que asignaron la puntuación más elevada
Trigo:Amaranto:Chia:Gluten (50:20:20:10)	235 <sup>a*</sup>	53 <sup>a</sup>
Trigo:Amaranto:Chia:Gluten (30:30:30:10)	187 <sup>b</sup>	28 <sup>b</sup>
Trigo:Amaranto:Chia:Gluten (10:40:40:10)	176 <sup>b</sup>	19 <sup>c</sup>

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

### 3.7 Análisis químico proximal de la base para pizza control y seleccionada.

Se realizó el análisis químico proximal (Tabla 24) a la base para pizza control elaborada con el 100% de harina integral de trigo, así como a la formulación elegida con 20% de harinas integrales de chí y amaranto, con el fin de conocer la composición química de ambos productos y definir si hubo cambios en los componentes químicos al realizar la adición de chí y amaranto.

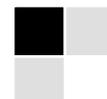


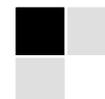
Tabla 24 Análisis químico proximal de la base para pizza control y la base para pizza realizada con la formulación seleccionada

Muestra	Humedad (%)	Proteína (%)	Grasa (%)	Cenizas (%)	Fibra (%)	Carbohidratos (%)
<b>Control base p / pizza 100% trigo</b>	10.87 ± 0.09 <sup>a*</sup>	9.71 ± 0.02 <sup>a</sup>	5.85 ± 0.004 <sup>a</sup>	1.95 ± 0.004 <sup>a</sup>	2.40 ± 0.02 <sup>a</sup>	69.54 <sup>a</sup>
<b>Formulación 50:20:20:10 (trigo chíá amaranto y gluten)</b>	15.28 ± 0.21 <sup>b</sup>	13.29 ± 0.02 <sup>b</sup>	5.21 ± 0.003 <sup>a</sup>	2.52 ± 0.07 <sup>b</sup>	9.61 ± 0.02 <sup>b</sup>	54.96 <sup>b</sup>

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

La base para pizza realizada con la formulación seleccionada presentó diferencia estadísticamente significativa ( $P \leq 0.05$ ) en la mayoría de los componentes con respecto a la base para pizza control. El contenido de proteína en la formulación seleccionada fue aproximadamente tres veces mayor que en la pizza control, esto resulta favorecedor ya que la proteína del producto es constituida por gran cantidad de aminoácidos esenciales, a causa de las proteínas contenidas en la semilla de amaranto las cuales aportan cantidades importantes de lisina, triptófano y algunos aminoácidos azufrados. El patrón de aminoácidos de la proteína de amaranto es similar al de la FAO/OMS (Página 27), lo cual sugiere que es una proteína de alto valor biológico, dicho patrón indica que la leucina es el aminoácido limitante (Bressani, 2006). De igual manera el valor biológico de las proteínas de chíá es bueno, debido a que se ha encontrado un aporte de lisina relativamente alto, la cisteína y metionina se pueden comparar favorablemente con otras semillas. Los aminoácidos de la chíá no tienen factores limitantes en una dieta para adultos, lo cual significa que ésta puede ser incorporada en la dieta humana y ser mezclada con otros granos, a fin de producir una fuente equilibrada en proteínas (Ayerza & Coates, 2005).

Con respecto al contenido de cenizas la formulación elegida presentó diferencia estadísticamente significativa ( $P \leq 0.05$ ) al comprarla con la base para pizza control, aportando el grano de amaranto cantidades importantes de potasio, calcio, fósforo, hierro, zinc, magnesio (Jiménez Sanz, 2011), de igual manera la chíá aporta minerales como son calcio, potasio, hierro, magnesio, zinc y cobre. Además las semillas de chíá tienen un contenido de calcio nueve veces mayor que el trigo, igualmente las semillas



de chía aportan seis veces más de calcio, de cuatro a seis veces más de potasio y el doble de fósforo que la leche de vaca (Silva, 2015).

El contenido de fibra cruda fue aproximadamente seis veces mayor en la formulación elegida lo cual resulta benéfico en el producto ya que la fibra ayuda a la regulación de la flora gastrointestinal, su consumo resulta ser una alternativa beneficiosa en la salud al mejorar la formación del bolo fecal y permitir una correcta evacuación de las heces, ayudando a prevenir enfermedades como el cáncer de colon o la obesidad, controlando a su vez los elevados niveles de glucosa y colesterol en la sangre (Beltrán *et al.*, s.f.; Capitani, 2013).

Por otra parte, el contenido de grasa no presentó diferencia estadísticamente significativa ( $P \leq 0.05$ ) asumiendo que la adición de 20% de semillas de chía no fue suficiente para incrementar el porcentaje de este componente en el producto, sin embargo un contenido de grasa bajo en el producto hace notar que dicho alimento por sí solo no contribuye a una dieta alta en grasas, la cual se ha demostrado que además de favorecer el aumento del tejido adiposo y el incremento del peso corporal, induce alteraciones metabólicas (Sáinz, *et al.*, 2015).

El análisis químico proximal, demostró que la adición de las harinas integrales de chía y amaranto contribuyó a elevar los componentes más importantes como son proteínas, cenizas y fibra, la adición de estas semillas no solo elevó el contenido si no que la calidad biológica de los mismos es mejor, como se mencionó anteriormente.

### 3.8 Evaluación de la calidad nutrimental a la base para pizza

Se evaluó la calidad nutrimental de la base para pizza mediante la valoración del contenido de triptófano, digestibilidad *in vitro* y fibra dietética (Tabla 26), dichas pruebas fueron realizadas tanto a la base para pizza control como a la base para pizza elaborada con la formulación 20% de harinas integrales de chía y amaranto, con el fin de realizar la comparación entre ambos productos. Por otra parte se evaluó la digestibilidad *in vivo* y relación de eficiencia proteica (PER) a la base para pizza elaborada con la formulación seleccionada utilizando una dieta a base de caseína como proteína control (Tabla 24).



Tabla 25 Evaluación de la calidad nutrimental a la base para pizza control y la base para pizza realizada con la formulación seleccionada

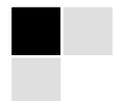
Muestra	Triptófano (g Trp/100 g de proteína)	Digestibilidad <i>in vitro</i> (%)	Fibra dietética (%)
Control	0.39 ± 0.0141 <sup>a</sup>	89.7 ± 1.29 <sup>a*</sup>	4.51 ± 0.07 <sup>a</sup>
Formulación 50:20:20:10 (trigo chía amaranto y gluten)	0.77 ± 0.354 <sup>b</sup>	90.36 ± 1.30 <sup>a</sup>	15.25 ± 0.79 <sup>b</sup>

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

Se observaron diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0.05$ ) en el contenido de triptófano entre la base para pizza elaborada con formulación seleccionada y la base para pizza elaborada únicamente con harina refinada de trigo, el cual es un aminoácido esencial de vital importancia lo cual es favorable ya que el triptófano es el menos común de los aminoácidos esenciales, a pesar de que existen un gran número de funciones y efectos de este aminoácido, como son principalmente la existencia de los metabolitos que genera, como la serotonina, melatonina y niacina, los cuales juegan papeles regulatorios importantes en procesos metabólicos. La serotonina es un neurotransmisor, con un importante papel regulador en el sistema nervioso central; la melatonina es una hormona con un importante papel en la regulación del ciclo circadiano (AFMO,2009).

La digestibilidad *in vitro* no mostró diferencia estadísticamente significativa ( $P \leq 0.05$ ) entre la base para pizza elaborada con formulación seleccionada y la base para pizza elaborada únicamente con harina refinada de trigo mostrando valores de 90.31 % en la formulación elegida, lo cual significa que se aprovecha la mayor parte de la proteína contenida en el alimento por tanto al consumir el producto se estará aprovechando la proteína y los aminoácidos esenciales contenidos en ella.

En cuanto al contenido de fibra dietética se observaron diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0.05$ ), ya que la formulación seleccionada presentó un contenido de fibra dietética casi once veces mayor en comparación con el control, esto resulta ser benéfico ya que se ha demostrado que la fibra dietética juega un papel importante en la prevención de varias enfermedades, y que las dietas con un alto contenido de fibra tienen un efecto positivo en la salud ya que su consumo se ha relacionado con una menor incidencia de varios tipos de cáncer, enfermedades coronarias, diabetes y problemas digestivos. El consumo de fibra ha adquirido importancia en los últimos



años, obligando a la industria alimentaria desarrollar nuevos productos, más saludable y con un alto contenido de fibra dietética (Baena & García, 2012)

 Relación de eficiencia proteica y digestibilidad aparente

Al realizar la prueba de Relación de Eficiencia Proteica se puede estimar la calidad proteica del producto, esta se expresa en el aumento de peso de un animal en crecimiento por gramo de proteína ingerida, ya sea en valor absoluto, o en % con respecto a la caseína debido a que la proteína de la leche ha sido considerada como la mejor proteína, de modo que la calidad de otras proteínas puede compararse en su contenido de aminoácidos esenciales (Joseph *et al.*, 1962; Cuj *et al.*, 2017; World Health Organization, 2007).

Tabla 26 Evaluación de la digestibilidad in vivo y relación de eficiencia proteica a la base para pizza seleccionada.

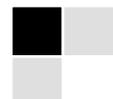
	PER	PER ajustado	Digestibilidad aparente
<b>Caseína</b>	2.14 ± 0.179 <sup>a</sup>	-	96.4 <sup>a</sup>
<b>Pizza</b>	1.15 ± 0.21 <sup>b</sup>	1.32	88.21 <sup>b</sup>

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

En la Tabla 27 se puede observar que los valores de PER mostraron diferencias estadísticamente significativa (P≤0.05) obteniendo valores mayores en un 60 % para caseína con respecto a la base para pizza seleccionada, lo cual indica un menor consumo de dieta de la formulación seleccionada, esto podría deberse a que, el contenido de fibras solubles e insolubles es alto (15.25 %) por lo que hace que los animales tengan una mayor sensación de saciedad, lo que resulta en un menor consumo (De la Cruz-Garduño, 2018).

Sin embargo, se han reportado valores de Relación de eficiencia proteica (PER) para el gluten de trigo de 0.4 (León Sanz, 2005) al compararlo con respecto a la formulación seleccionada se puede observar que esta es mayor en casi 30% lo cual resulta benéfico para el producto, comprobando así que dicha formulación contiene mejor calidad proteica que una formulación realizada con únicamente trigo.

Por otra parte la digestibilidad es un factor que condiciona la utilización de las proteínas alimenticias, modificándolas en forma variable. La digestibilidad será igual a 100 cuando el nitrógeno ingerido sea totalmente absorbido, por otra parte, el contenido en nitrógeno en las heces representa la cantidad no absorbida, es decir la proporción de proteínas que por sus características físicas o propiedades químicas resistieron el ataque de las enzimas proteolíticas (Suarez *et al.*, 2006).



En la Tabla 27 se muestran los valores obtenidos de digestibilidad aparente observándose diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre las dietas con caseína y las dietas elaboradas con la formulación seleccionada, si bien es sabido que las proteínas de origen animal tienen valores de digestibilidad más altos en comparación con las proteínas de origen vegetal que reportan valores menores al 85 %, sin embargo la formulación seleccionada presentó niveles cercanos al 90% por lo que se puede asumir que además de contener aminoácidos esenciales, las proteínas que conforman este producto se aprovecharán en casi todo su porcentaje lo cual será benéfico para el consumidor ya que dicha base para pizza se puede complementar con toppings que contengan proteínas de origen animal elevando así la calidad nutricional de este producto.

### 3.9 Evaluación de la base para pizza como alimento funcional

Se evaluó la funcionalidad del producto control y del elaborado con 20% de harinas integrales de chía y amaranto (Tabla 28) y de esta manera realizar la comparación entre ambos productos.

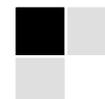
Tabla 27 Evaluación de factores anti-nutrientales a la base para pizza control y a la base para pizza elaborada con 20 % de harinas integrales de chía y amaranto

Muestra	Fenoles (mgEAG/g mtra)	Capacidad antioxidante (%)
Control base p /pizza base 100% trigo	5.71 ± 0.09 <sup>a*</sup>	ND <sup>**</sup>
Formulación 50 :20 : 20 : 10	23.78 ± 0.314 <sup>b</sup>	64.12 ± 0.82

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

\*\*ND No detectado

Se observó diferencia estadísticamente significativa ( $P \leq 0.05$ ) en el contenido de compuestos fenólicos, los flavonoides son parte de este grupo de compuestos, y se ha demostrado en varios modelos animales que algunos flavonoides inhiben la inflamación crónica a través de diversos mecanismos (Rahman *et al.*, 2006). Dichos compuestos han mostrado actividad antioxidante y de barrido de radicales, así como la capacidad de regular diversas actividades celulares (Muñoz- Velazquez *et al.*, 2012).



En cuanto a la capacidad antioxidante se observaron diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0.05$ ) ya que en la base para pizza control no se detectaron estos compuestos mientras que en la base para pizza realizada con la formulación seleccionada presentó 64.12% de inhibición de radicales libres; la actividad antioxidante en gran parte resulta ser gracias a la presencia de flavonoles que en el caso de la chía y el amaranto podrían ser miricetina, quercetina, kaempferol y algunos ácidos cinámicos como el cafeico y el clorogénico que se ha demostrado que poseen actividad antioxidante en estas semillas (Taga *et al.*, 1984).

### 3.10 Evaluación de factores anti-nutrimientales de la base para pizza

Se evaluaron los factores anti nutrimientales taninos (ácido fitico, inhibidores de tripsina) a la base para pizza control y la realizada con 20% de harinas integrales de amaranto y chía (Tabla 25) con el fin de realizar la comparación entre ambos productos.

Tabla 28 Evaluación de factores anti-nutrimientales a la base para pizza control y a la base para pizza elaborada con 20 % de harinas integrales de chía y amaranto

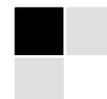
Muestra	Taninos (%)	Ácido fitico (%)	Inhibidores de tripsina (UTI/mg de muestra)
Control	0.047 ± 0.0021	ND	ND**
Formulación 50:20:20:10 (trigo chia amaranto y gluten)	ND	0.53 ± 0.0191	ND

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

\*\*ND No detectado

Se observó en ambas formulación el contenido de factores antinutrimientales, se encontró que en la base para pizza control existía un 0.04% de taninos siendo un porcentaje casi despreciable que no interfiere con la absorción de compuestos químicos en el cuerpo, mientras que en la formulación elegida se encontró un 0.53% de ácido fitico, mientras que taninos e inhibidores de tripsina no fueron detectados, lo cual resulta favorecedor ya que dichas sustancias no intervendrán en lo absoluto en la absorción de nutrientes que contiene el producto.

El que los factores antinutricionales hayan resultado despreciables en el producto es favorable ya que los taninos causan una reducción en el crecimiento por la baja asimilación de las proteínas y los carbohidratos, debido a que forma con éstos,



sustancias resistentes a las enzimas (Liener, 1994). También, decrecen la tasa de crecimiento y la biodisponibilidad de minerales debido a la formación de complejos insolubles que son difíciles de asimilar por el organismo (Frossard *et al.*, 2000; Guzmán-Maldonado *et al.*, 2000). La ingestión excesiva de inhibidores de tripsina interrumpe el proceso digestivo y puede ocasionar reacciones fisiológicas indeseables. Estos compuestos inhiben la actividad de la tripsina lo cual influye sobre la secreción de otras enzimas pancreáticas, como en el aumento de producción la colecistiquina, que conlleva a una hipertrofia pancreática (Grant *et al.*, 1995). Por lo tanto, fue de suma importancia la reducción de estos factores antinutricionales ya que, aunque son un método de defensa de la planta contra plagas, su presencia es indeseable en productos destinados a la alimentación.

### 3.11 Prueba de nivel de agrado

Después de la evaluar la composición química, calidad nutrimental y funcional, así como los factores anti-nutrimientales, se realizó una prueba de nivel de agrado a cien jueces no entrenados para observar el nivel de aceptación del producto, dicha prueba fue realizada a la base para pizza elegida preparada con toppings (queso mozzarella, salsa de tomate y peperonni) y sin la adición de los mismos (Tabla 26) Anexo 4.

Tabla 29 Prueba de nivel de agrado

	Sin Toppings	Con Toppings
Calificación	6.38	8.34

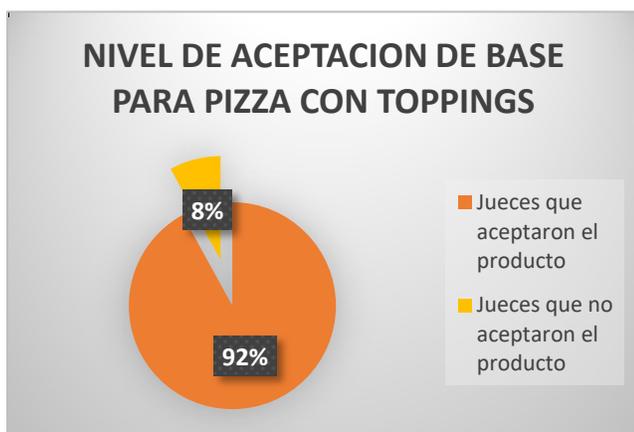


Figura 35- Nivel de aceptación de base para pizza

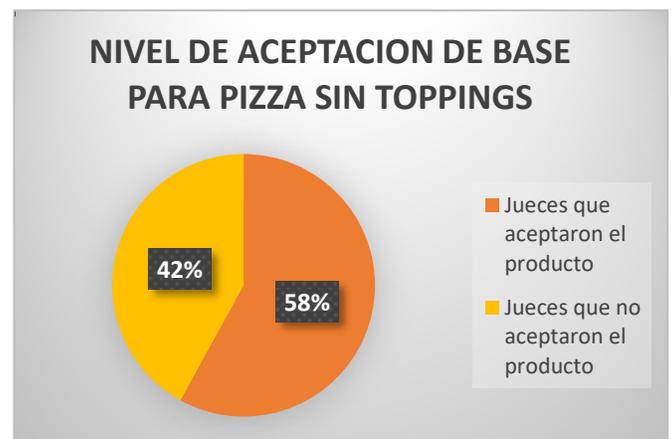


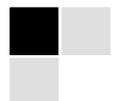
Figura 36. Nivel de aceptación de base para pizza con toppings

Se observó que la base para pizza obtuvo una calificación de 6.38 en una escala del 1 al 10 (Tabla 30) con lo cual se puede asimilar que si bien no es una calificación reprobatoria tampoco es muy alta, el nivel de aceptación del producto fue del 58% (Figura 35) ya que más de la mitad de los jueces brindaron una calificación aprobatoria, lo anterior debido a que los jueces no encontraban sabor alguno en el producto, por su parte añadirle toppings a la base para pizza elaborada con chíá y amaranto, elevó la calificación casi dos puntos siendo una calificación alta y bastante aceptable para ser un producto innovador, el nivel de agrado al añadirle toppings a la base fue del 92% (Figura 36) ya que la gran mayoría de los jueces brindaron una calificación aprobatoria al producto.

Determinando así que la base para pizza realizada con 20% chíá, 20% amaranto, 50% trigo y 10% gluten (Figura 37) además de poseer una mejor calidad nutrimental en comparación con una base para pizza hecha de 100% trigo, es un producto que tiene la posibilidad de tener éxito en el mercado, sobre todo ahora que la tendencia de las personas en cuidar su salud ha crecido, ya cumple con las características requeridas por los consumidores, siendo así una manera más nutritiva y saludable de comer pizza.



Figura 37 Base para pizza



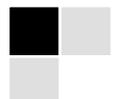
## CONCLUSIONES

- El análisis químico proximal de las harinas demostró que las harinas integrales de amaranto y chía contenían una mayor cantidad de componentes químicos como proteínas, grasa, cenizas y fibra en comparación con la harina refinada de trigo marca Tres estrellas®, por lo que ambas harinas integrales resultan ser un excelente complemento en el desarrollo de una base para pizza para mejorar su calidad nutrimental.
- Se logró elaborar una base para pizza con un contenido de hasta 40% de harinas integrales de chía y amaranto respectivamente, con buenas características físicas y sensoriales.
- La formulación seleccionada mediante la prueba sensorial de preferencia como la mejor fue la elaborada con 50% de harina refinada de trigo, 20% de harina integral de amaranto, 20% de harina integral de chía y 10% de gluten.
- La formulación seleccionada para elaborar la base para pizza con chía y amaranto presentó mejor calidad nutrimental y funcional en comparación con una base para pizza control elaborada 100% de trigo, ya que el contenido de proteínas, cenizas, grasa y fibra fue mayor, de igual manera el contenido de triptófano y fibra dietética, así como la concentración de fenoles y su capacidad antioxidantes.
- Los valores obtenidos tanto en la Relación de eficiencia proteica como en la digestibilidad *in vivo* demostraron que la calidad proteica del producto es mejor que la del trigo.
- La base para pizza elaborada con la formulación seleccionada de chía y amaranto sin “toppings” fue percibida sin sabor característico por parte de los consumidores que la evaluaron mediante una prueba sensorial de nivel de agrado como se deseaba, mientras que al ponerle los “toppings” se obtuvo una muy buena aceptación del 92% y una calificación de 8.34 en una escala de 1 a 10.



## RECOMENDACIONES

- Para determinar la inocuidad del producto se recomienda la realización de un análisis microbiológico, ofreciéndose así seguridad alimentaria.
- Realizar un perfil de ácidos grasos para comprobar la calidad de la grasa contenida en el producto
- Se recomienda realizar un estudio de mercado a detalle con el fin de determinar la viabilidad con la que el producto se podría comercializar en base a la opinión de los consumidores y su disponibilidad de adquisición



## ANEXOS

### ANEXO 1

#### PRUEBA SENSORIAL DE PREFERENCIA

Edad:

Sexo: H M

Fecha:

\*NOTA: Tome agua antes de iniciar la prueba y posteriormente entre degustación consuma una porción de galleta y agua.

INSTRUCCIONES: Pruebe las muestras y ordene según su preferencia, otorgándole un valor del 1 al 3, considerando que 1= es la que menos me gusta y 3= es la que más me gusta. No se permiten empates. En el espacio de abajo explique brevemente por que tomo esa decisión.

Muestras	2401	0410	2109
Valor			

¿Por qué?

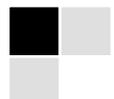
---



---

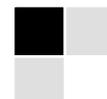


---



## ANEXO 2

JUEZ	2401	410	2109	JUEZ	2401	410	2109	JUEZ	2401	410	2109
1	2	3	1	40	2	1	3	79	3	2	1
2	3	2	1	41	2	1	3	80	3	1	2
3	3	1	2	42	3	1	2	81	2	3	1
4	1	3	2	43	3	1	2	82	3	2	1
5	3	2	1	44	1	3	2	83	3	2	1
6	1	3	2	45	3	2	1	84	3	2	1
7	3	1	2	46	1	2	3	85	3	1	2
8	3	1	2	47	3	2	1	86	1	2	3
9	2	3	1	48	3	1	2	87	1	3	2
10	2	3	1	49	2	3	1	88	3	2	1
11	2	3	1	50	3	2	1	89	3	1	2
12	2	3	1	51	2	3	1	90	3	1	2
13	2	1	3	52	3	2	1	91	3	1	2
14	2	1	3	53	3	1	2	92	2	3	1
15	2	3	1	54	3	2	1	93	3	2	1
16	2	1	3	55	2	1	3	94	3	2	1
17	3	1	2	56	1	3	2	95	3	1	2
18	3	1	2	57	2	1	3	96	3	2	1
19	1	3	2	58	1	3	2	97	2	3	1
20	3	1	2	59	3	1	2	98	2	1	3
21	3	1	2	60	3	1	2	99	3	1	2
22	1	3	2	61	2	1	3	100	1	3	2
23	1	3	2	62	1	2	3				
24	2	1	3	63	2	3	1				
25	2	1	3	64	3	2	1				
26	2	1	3	65	3	1	2				
27	3	1	2	66	3	2	1				
28	1	3	2	67	3	2	1				
29	2	1	3	68	3	1	2				
30	2	3	1	69	3	2	1				
31	3	2	1	70	3	2	1				
32	2	3	1	71	3	2	1				
33	3	1	2	72	2	1	1				
34	2	1	3	73	1	3	2				
35	3	2	1	74	3	1	2				
36	3	1	2	75	3	2	1				
37	1	2	3	76	3	2	1				
38	1	3	2	77	3	2	1				
39	3	2	1	78	1	3	2				



ANEXO 3

**PRUEBA SENSORIAL DE NIVEL DE AGRADO**

Edad: \_\_\_\_\_

Sexo: F M

Fecha: \_\_\_\_\_

\*NOTA: Tome agua antes de iniciar la prueba

INSTRUCCIONES: Pruebe la base para pizza y sobre la línea indique con una "X" su nivel de agrado hacia el producto. En el espacio de abajo indique brevemente por que tomo esta decisión.

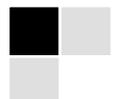
Escala

Disgusta mucho

Es indiferente

Gusta mucho

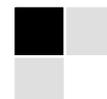
¿Porqué? \_\_\_\_\_



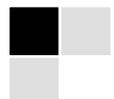
## ANEXO 4

JUEZ	CALIFICACION	JUEZ	CALIFICACION	JUEZ	CALIFICACION
1	7	40	3	80	8.5
2	10	41	5	81	9.3
3	10	42	7	82	4.2
4	5.8	43	8	83	2.1
5	6.6	44	7	84	7.3
6	8.2	45	4.6	85	6.4
7	9.2	46	4.4	86	8
8	5	47	6.8	87	9.2
9	4.5	48	4.2	88	4
10	2.8	49	5.5	89	5.3
11	5.3	50	3.3	90	5.8
12	7.2	51	3.2	91	6.3
13	7.8	52	4.5	92	6.7
14	8	53	9.3	93	10
15	6.7	54	4.5	94	7.1
16	6	55	5.9	95	8.6
17	2.8	56	4	96	7.4
18	2.5	57	7.7	97	9.3
19	5.3	58	9	98	5.4
20	9	59	7.5	99	4
21	10	60	2.8	100	10
22	5.1	61	2.1		
23	8.3	62	4.5		
24	5.4	63	9		
25	8.5	64	3.5		
26	8.7	65	6.3		
27	1.5	66	5.9		
28	2.7	67	6.5		
29	5.4	68	6.5		
30	5.5	69	6		
31	8.5	70	4		
32	4.1	71	4.2		
33	10	72	7.8		
34	10	73	2		
35	2	74	10		
36	3	75	6.7		
37	5.7	76	7.4		
38	7	77	8.8		

## ANEXO 5



JUEZ	CALIFICACION	JUEZ	CALIFICACION	JUEZ	CALIFICACION
1	9	40	9	80	10
2	9	41	9.7	81	8
3	8	42	10	82	7.7
4	8	43	10	83	10
5	8.3	44	9.4	84	9
6	8	45	8.7	85	10
7	10	46	10	86	9.6
8	8	47	9	87	8.3
9	9	48	9.3	88	10
10	10	49	7	89	9.2
11	8	50	8	90	8
12	10	51	7.5	91	8.5
13	9	52	8	92	7.1
14	7	53	10	93	5
15	10	54	9.6	94	5
16	9	55	9.7	95	5
17	8	56	8	96	5
18	7	57	8	97	5
19	7.6	58	7.7	98	5
20	9.6	59	9	99	5
21	9.5	60	10	100	5
22	7	61	9		
23	8	62	9		
24	10	63	8		
25	9	64	9		
26	8.5	65	10		
27	9	66	9		
28	7	67	7		
29	9	68	8		
30	9	69	9		
31	8	70	10		
32	8	71	7		
33	8	72	9		
34	7	73	9		
35	7	74	7		
36	7	75	10		
37	7	76	9.5		
38	6	77	10		



## REFERENCIAS

- Abalone R., Cassinera A., Gaston A. & Lara M.A. (2004) Some physical properties of amaranth sedes. *Biosystems Engineering*, 89, (1): 109-117.
- Aleixandre, J. L. (1996). Procesos de Elaboración de Alimentos. Ed. U.P.V., Valencia. Vol. 3, No 5, pp. 307-313, 2002
- Alvarado, R.I.D. (2011). Caracterización de la semilla de chia (*Salvia hispanica* L.) y diseño de un producto funcional que la contiene como ingrediente. (Tesis doctoral) Universidad del Valle de Guatemala. 23: 43-49.
- Amazon, (2017). Recuperado el 13 de octubre del 2018, de: <https://www.amazon.com/Love-Lies-Bleeding-Amaranthus-Caudatus-Seeds/dp/B077D6TWYB>
- American Heart Association (1999). Functional foods: position of ADA. *Journal of the American Dietetic Association* 99: 1278-1285.
- American Institute of Baking. (1993). Tecnología aplicada a la panificación: tortillas, pizzas y panes planos. AIB, Kansas.
- Ancient-Origing, (2018). Recuperado el 13 de octubre del 2018, de: <https://www.ancient-origins.es/noticias-historia-arqueologia/investigadores-espa%C3%B1oles-sit%C3%BA-el-origen-la-agricultura-siria-hace-al-menos-10500-%C3%B1os-003924>
- Antama, (2016). Recuperado el 13 de octubre del 2018, de: <http://fundacion-antama.org/descubren-que-el-gen-que-determina-la-floracion-en-el-trigo-y-la-cebada-tambien-determina-el-crecimiento-de-la-raiz/>
- Asghar, A., Anjum, F. M., Butt, M. S., Tariq, M. W. & Hussain, S. (2007). Rheological and storage effect of hydrophilic gums on the quality of frozen dough pizza. *Food Science and Technology Research*. 13 (2): 96-102.
- A.O.A.C. (1990). Official methods of Analysis of Association of Official Analytical Chemists, Eds Howintz W., Washington (Método 960.48).



- A.O.A.C. (2002). Official methods of Analysis of Association of Official Analytical Chemists, Cunnif, Published by AOAC International Edition, USA. (Métodos empleados: 925.09, 923.03, 920.39, 954.01 y 989.03).
- Asociación Francesa de Medicina Ortomolecular <<AFMO>>. (2009). Triptófano : aminoácido esencial Uso terapéutico. Los informes de la AFMO, 33, 6.
- Awika J., Rooney L., Wu X., Prior R. & Cisneros-Zevallos L. (2003). Screening methods to measure antioxidant activity of sorghum (*Sorghum bicolor*) and sorghum products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51: 6657–6662.
- Ayerza R. (Jr) (1995). Oil Content and Fatty Acid Composition of Chia (*Salvia hispanica L.*) from Five Northwestern Locations in Argentina. *Journal of the American Oil Chemists´ Society* 72: 1079-1081.
- Ayerza R. & Coates W. (2006). Chia. Rediscovering a Forgotten Crop of the Aztecs (1st ed.). The University of Arizona Press, Tucson, USA, 197 p.
- Badui, S. (2013). Química de los alimentos (5a. ed). México: Pearson.
- Baena, L. M., & García, N. (2012). Obtención y caracterización de fibra dietaria a partir de cascarilla de las semillas tostadas de *Theobroma Cacao L.* de una industria chocolatera colombiana (Doctoral dissertation, Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Tecnologías. Química Industrial).
- Barón, M. (2010). Plan de negocio para la creación de un restaurante de servicio domiciliario de pizza gourmet nutritiva a los colegios ubicados en la UPZ Guaymaral y la UPZ de la academia. Recuperado el 18 de noviembre del, 2018 de: <http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/economia/tesis357.pdf>.
- Barrales, J.S., et al. (2014). Memoria del Congreso Nacional del Amaranto 2014. México: UACH.
- Belmar, R., & Nava, R. (2000). Factores antinutricionales en la alimentación de animales monogástricos . Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Yucatán y Centro Regional Universitario Península de Yucatán. Universidad Autónoma Chapingo.[México: FMVZ-UADY y CRUPY-UACH].
- Beltrán Orozco, M., Salgado Cruz, M. & Cedillo López, D. (s.f.). Estudio de las propiedades funcionales de de la semilla de chíá (*Salvia hispánica L.*) y de la fibra



dietaria obtenida de la misma. Recuperado el 21 de noviembre del 2018 de: [http://www.alkos.cl/files/file\\_descargas/286\\_949\\_fibra\\_dietaria\\_de\\_chia.pdf](http://www.alkos.cl/files/file_descargas/286_949_fibra_dietaria_de_chia.pdf)

- Bendaña, G. (2012) Agua, agricultura y seguridad alimentaria en las zonas secas de Nicaragua. Primera edición. Nicaragua: 138-142
- Betschart, A. A., Irving, D. W., Shepherd, A. D., & Saunders, R. M. (1981). Amaranthus cruentus: milling characteristics, distribution of nutrients within seed components, and the effects of temperature on nutritional quality. *Journal of Food Science*, 46(4), 1181-1187.
- Bishnoi S & Khetrapaul N. (1994). Protein digestibility of vegetable and field peas (*Pisum sativum*) varietal differences and effect of domestic processing and cooking methods. *Plant Food and Human Nutrition* 46: 71–6
- Blanco, A., Montero, M. & Fernández, M. (2006). Tabla de composición de alimentos de Costa Rica: macronutrientes y fibra dietética. Instituto Costarricense de Investigación y Enseñanza en Nutrición y Salud, San José.
- Bloksma, A.H., (1990). Rheology of the breadmaking process. *Cereal Foods World* 35: 228-236
- Bogdan, J. D. (2003). Cereales y productos derivados química y tecnología. Zaragoza, Editorial Acribia.
- Bordés, R., Martínez, M., García, E. & Guisado, R. (s.f.) El Proceso Inflamatorio. Universidad de Granada. Granada, España.
- Bourgeois, C. M. & Larpent, J. P. (1995). Microbiología Alimentaria II: Fermentaciones Alimentarias. Ed. Acribia, Zaragoza
- Bressani R. (1989) The proteins of grain amaranth. *Food Reviews International*, vol. 5, num. 1, pp.13-38.
- Bressani, R. (2006). Estudios sobre la industrialización del grano de amaranto: caracterización química y nutricional de productos intermedios y finales del procesamiento. Proyecto FODECYT, (23-2002)

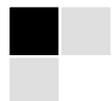


- Bunzel, M., Ralph, J., Lu, F., Hatfield, R. D., & Steinhart, H. (2004). Lignins and ferulate– coniferyl alcohol cross-coupling products in cereal grains. *Journal of agricultural and food chemistry*, 52(21), 6496-6502.
- Bushway A.A., Belyea P.R. & Bushway R.J. (1981). Chia seed as a source of oil, polysaccharide and protein. *Journal Food Science* 46: 1349–1350.
- Busilacchi, H., Qüesta T., & Zuliani, S. (2015). La chía como una nueva alternativa productiva para la región pampeana. *Agromensajes*. 41(2):37- 46.
- Caamaño Galarza, D. A. (2015). La alimentación en las enfermedades neurodegenerativas el rol de carbohidratos, gluten y grasas (Bachelor's thesis, Quito: USFQ, 2015).
- Caldas, V. & Blair, M. (2004). Cuantificación de taninos condensados e identificación de QTLs asociados a su acumulación en fríjol común (*Phaseolus vulgaris L.*). En : Taller sobre taninos en la nutrición de rumiantes en Colombia. En: Memorias de taninos en la nutrición de rumiantes en Colombia. Bogotá, 43.
- Cabrera, A. (2007). Desarrollo de una formulación de pasta para sopa tipo tallarin a base de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*) con alta calidad nutrimental. Tesis de licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, México.
- Callejo, M. J. (2002). Industrias de Cereales y Derivados. Ed. AMV-Mundi-Prensa, Madrid.
- Calvel, R. (1983). La Panadería Moderna. Ed. AméricaLee, Buenos Aires.
- Calzetta R.A., Aguerre Jr. & Suarez C. (2004) Analysis of the sorptional characteristics of amaranth starch. *Journal of Food Engineering*, 42, (1):51-57.
- Campbell, G.M., C.D. Rielly, P.J. Fryer & P.A. Sadd. (1991). The measurement of bubble size distributions in an opaque food fluid. *Transactions of the Institution of Chemical Engineers* 69: 67-76.
- CANIMOLT, (2007). Cámara Nacional de la Industria Molinera de trigo. Recuperado el 13 de Octubre del 2018, de <http://www.canimolt.org>.
- Carulla, J., & Pabón, M. L. (2004). Un sistema in vitro para evaluar los efectos de los taninos en la degradación de la proteína bajo condiciones ruminales y abomasales.



Taninos en la nutrición de rumiantes en Colombia. Memorias de taller sobre taninos. CIAT-ETH. sl: Hess HD y Gómez J, 15-19.

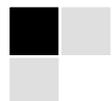
- Capitani, M. I. (2013) Caracterización y funcionalidad de subproductos de chía (*Salvia hispanica* L.) aplicación en tecnología de alimentos. Facultad Ciencias Exactas Departamento de Química, 1-230.
- Ceprobol (Centro de promoción Bolivia) (2006) Sistema de promoción y aseguramiento en comercialización para productos agrícolas. Ceprobol IICD. Perfil Sectorial.
- Cauvain, S.P. & Young, L.S. (1998). Technology of Breadmaking. Ed. Blackie Academic & Professional, London.
- Centeno, C.; et al. Effect of several germination condition on total P., phytate P. phytase, and acid phosphatase activities and inositol phosphate esters in rye and barley. En: *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Vol.49, No. 3 (2001): p. 208 - 215.
- Chagaray, A. (2005). Estudio de factibilidad del cultivo del amaranto. Dirección Provincial de Programación y Desarrollo, Ministerio de Producción y Desarrollo, Provincia de Catamarca, Argentina.
- Chaparro Acuña, S. P., Aristizábal Torres, I. D., & Gil González, J. H. (2009). Composición y factores antinutricionales de las semillas del género *Mucuna*. *Revista Facultad Nacional de Agronomía-Medellín*, 62(1).
- Chaparro, D. C., Porrilla, Y., & de Dios Elizalde, A. (2009). Factores antinutricionales en semillas. 7(1), 45-54.
- Church, D.C. (1993). El Rumiante, Fisiología digestiva y nutrición. Editorial Acribia. Zaragoza España
- Cienradios, (2007). Recuperado el 13 de octubre del 2018 de: <https://mitreyelcampo.cienradios.com/trigo-los-roes-son-muy-daninos/>
- Ciprián-Carreón, R. A. (2005). Evaluación del tamaño de partícula y nivel de fibra en el concentrado para cuyes (*Cavia porcellus* L.) en crecimiento (No. L02 C5-T). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima (Peru). Escuela de Post Grado, Especialidad en Nutrición.
- Coates, W. (2012) Chía el increíble supernutriente. Editorial Edaf. Madrid, España: 17-22.



- Contreras, I., Rosas, G., Sacramento, C., Trejo, A. & Servín, A. (2009). Guatemala, mercado potencial del amaranto natural. México: IPN.
- Cruz, H. (2015). Elaboracion de un bagel a base de trigo y amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*) con alta calidad nutrimental. Tesis de licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, México.
- Cuj, M., de Richardson, J. D., Mazariegos, M., Corrales, W. P., Fisher, E. A., & Roman, A. V. (2017). Determinación de la ganancia de peso, calidad proteica y digestibilidad de ocho dietas a base de dos leguminosas, maní (*Arachis hypogaea* L.) y ajonjolí (*Sesamum indicum* L.) en ratas Wistar. *Revista Científica de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia*, 27(1), 21-31.
- Cunniff, P. M., Fossey, S. A., Auerbach, M. A., & Song, J. W. (1994). Mechanical properties of major ampulate gland silk fibers extracted from *Nephila clavipes* spiders. In ACS symposium series.
- Cytcereales, (2016). Recuperado el 13 de octubre del 2018 de: <http://cytcereales.blogspot.com/2013/07/grano-de-trigo-estructura.html>
- Czerwinski, M., Horvitz, E., & Wilhite, S. (2004, April). A diary study of task switching and interruptions. In Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems (pp. 175-182). ACM.
- Daniel, C., & Triboi, E. (2000). Effects of temperature and nitrogen nutrition on the grain composition of winter wheat: effects on gliadin content and composition. *Journal of Cereal Science*, 32(1), 45-56.
- David, A. D., & Bogdan, J. D. (2004). Cereales y Productos derivados 1º edición España. Editorial Acribia.
- De la cruz-Garduño, M. (2018). Efecto del deterioro de chíá (*Salvia hispanica* L.) sobre su calidad nutrimental (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México, México; CDMX.
- De lange, C., Nyachoti, C. & Verstegen, M. The significance of antinutritional factors in feedstuffs for monogastric animals. (s.l.): s.f. Citado por: MOUGHAN, P., VERSTEGEN, M. y VISSERREYNEVELD, M. (Eds). *Feed Evaluation Principles and Practice*. Amstelveen, (2000): p. 169 – 188



- Díaz, A. (2014). Desarrollo de una formulacion para elaborar una dona de trigo horneada complementada con amaranto. Tesis de licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, México.
- Díaz-Jiménez, J. D. (2016). Desarrollo de una masa para pizza enriquecida con fibra, proveniente del salvado de arroz generado como subproducto durante el procesamiento del grano de arroz entero (Tesis doctoral). Universidad de Costa Rica. Costa Rica.
- Di Sarpio, O., Bueno, M., Busilacchi, H., & Severin, C. (2008). Chía : Importante Antioxidante Vegetal. *Revista Agromensajes de La Facultad de Ciencias*
- Dobraszczyk, B. J., Campbell, G. M. & Gan, Z. (2001). Breadmaking processes. *Cereales y Productos Derivados: Química y Tecnología*. Zaragoza, Editorial Acribia, S.A.: 226-227.
- Duffus, C. & Slaughter, C. (1985) Las semillas y sus usos. México: A.G.T., p.10-11, 18-21, 32-35, 102-107, 122.
- Dupont, F. M. & Altenbach, S. B. (2003). Molecular and bio- chemical impacts of environmental factors on wheat grain development and protein synthesis. *Journal of Cereal Science*, 38, 133-146.
- eBay, (2017). Recuperado el 13 de octubre del 2018 de: <https://www.ebay.es/itm/50G-SEMILLAS-NT-de-TRIGO-Triticum-Aestivum-semillas-GERMINADAS-CEREALES-/253145315751>
- El conocedor, (2017). Recuperado el 15 de octubre del 2018 de: <http://revistaelconocedor.com/la-pizza-en-mexico/>
- Erilemoine, (2019). Recuperado el 18 de abril del 2019 de: <https://enrilemoine.com/2011/09/14/masa-para-pizza-sin-necesidad-de-amasar/>
- Escudero Álvarez, E., & González Sánchez, P. (2006). La fibra dietética. *Nutrición hospitalaria*, 21, 61-72.



- Estruch. (2003). Triptofano: Aminoácido amigo. Recuperado el 22 de noviembre del 2018 de: <file:///C:/Users/Valentin/Downloads/Dialnet-Triptofano-4956301>
- FAO (1990). *Informe sobre la utilización de cultivos andinos*. Quito, Ecuador, FAO.
- FAO/OMS/ONU (1985) Energy and protein requirements Report of a Joint FAO/WHO/ONU Expert Consultation. Ginebra, Organización Mundial de la Salud.
- Fidantsi, A. & Doxastakis, G. (2001) Emulsifying and foaming properties of amaranth seed treatments on the chemical composition of two amaranth species: oil, sugars, fibres, minerals and vitamins. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86, (1): 82-89.
- Freese R. & Mutanen M. (1997).  $\alpha$ -Linolenic acid and marine long-chain n-3 fatty acids differ only slightly in their effects on hemostatic factors in healthy subjects. *The American Journal of Clinical Nutrition* 66:591-598.
- Frossard, E., Bucher, M., Macher, F., Mozafar, A. & Hurrell, R. (2000). Potential for increasing the content and bioavailability of Fe, Zn, and Ca in plants for human nutrition. *Journal of Science and Food Agriculture*, 80, 861-879.
- Gan, Z.; Angold R. E., Williams M.R., Ellis P.R., Vaughan J.G. & Galliard, T. (1990). The microstructure and gas retention of bread dough. *Journal of Cereal Science* 12: 15-24
- Garay, A. V. A., Valencia, P. R., Cortes-Espinoza, L., de la Olán, M., Escobedo-López, D., & Rangel, E. E. (2014). La rentabilidad del cultivo de amaranto (*Amaranthus* spp.) en la región centro de México. *Ciencia ergo-sum*, 21(1), 47-54.
- García, E. (2011). Tesis de Lic. Producción y comercialización de amaranto en México. México: UNAM.
- García, E., Fernández, Gonzáles, J. M., J. L., & Gago, L. (2007). Técnicas analíticas para la detección de gluten en alimentos.



- Garcia, L. A., Alfaro, M. A., & Bressani, R. (1987). Digestibility and nutritional value of crude oil from three amaranth species. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 64(3), 371-375.
- Gómez-Pallarés, M., León, A. E. y Rosell, C. M. (2007). Trigo. En A. E., León y C. M., Rosell, De tales harinas tales panes. Granos, harinas y productos de panificación en Iberoamérica (Capítulo 1, págs. 17-72). Córdoba, Argentina: Ediciones Báez
- González Jiménez, F. E. (2010). Caracterización de compuestos fenólicos presentes en la semilla y aceite de chía (*Salvia Hispanica L.*) Mediante electroforesis capilar (Doctoral dissertation).
- Goristein S., Pawelzik E., Delgado-Licon E., Haruenkit R., Weisz M. & Trakhtenberg S. (2002) Characterisation of pseudocereal and cereal proteins by protein and amino acid analyses. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 82, (8): 886-891.
- Grant, G., Dorward, P.M., Buchan, W.C., Amour, J.C. & Pusztai, A., (1995). Consumption of diets containing raw soya beans (*Glycine max*), kidney beans (*Phaseolus vulgaris*), cowpeas (*Vigna unguiculata*) or lupin seeds (*Lupinus angustifolius*) by rats for up to 700 days Effects on body composition and organ weights. *British Journal of Nutrition*, 73, 17–29.
- Grewal, A., & Jood, S. (2006). Effect of processing treatments on nutritional and antinutritional contents of green gram. *Journal of Food Biochemistry*, 30(5), 535-546.
- Guéguen, J. & Cerletti, P. (1994). Proteins of some legumes seeds: Soybean, pea, fababean and lupin. In: *New and Developing Sources of Food Proteins*. Hudson, F.
- Guinet, R. & Godon, B. (1996). La Panificación. Ed. Montagud, Barcelona.
- Guzmán-Maldonado, S., Acosta-Gallegos, J. & Paredes-López, O. (2000). Protein and mineral content of a novel collection of wild and weedy common bean (*Phaseolus Vulgaris L.*). *Journal of Science and Food Agriculture*, 80, 1874-1881.
- Hart F. L. & Fisher H.J.. (1991). Analisis moderno de los alimentos. España: Acribia.



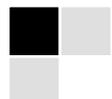
- Haug, W., & Lantzsch, H. (1983). Sensitive method for the rapid determination of phytate in cereals and products. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 34: 14232-14261.
- Hernández Gómez, J. A., & Miranda Colín, S. (2008). Caracterización morfológica de chíá (*Salvia hispánica L.*). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 31(2).
- Hernández, G. (2007) Proteínas de chíá (*Salvia hispánica L.*): Estudio para valorar sus propiedades como formadoras de películas. Tesis de Licenciatura. Facultad de Química. UNAM: 7, 10, 11.
- Hosney, C. (1991). Principios de la ciencia y tecnología de los cereales. Zaragoza: Acribia,S.A.
- Hosney, R. C. (1994). Principles of cereal science and technology (No. Ed. 2). American Association of Cereal Chemists (AACC).
- Hsu, H., Vavak, D.L., Satterlee L. D. & Miller, G. A. (1977). A multienzyme technique for estimating protein digestibility. *Journal Food Science and Technology*, 42(5), 1269-1273
- Huang, D., Ou, B., & Prior, R. L. (2005). The chemistry behind antioxidant capacity assays. *Journal of agricultural and food chemistry*, 53(6), 1841-1856.
- Humanes, J.P. (1994). Pastelería y Panadería. Ed. McGrawHill Interamericana, Madrid.
- Iqbal S., Bhangar M. & Anwar, F. (2005). Antioxidant properties and components of some commercially available varieties of rice bran in Pakistan. *Food Chemistry* 93: 265–272.
- Islam, M. N., & Gracia, F. (2013). Los antioxidantes para la salud óptima. *Rev médcient*, 26(2), 3-9.
- ISO 9648. (1988). Determinación del contenido de taninos en sorgo. *International Organization of Standardizations ISO/DIS 9648*, 175-215.



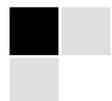
- Ixtaina, V. Y. (2010). Caracterización de la semilla y el aceite de chía (*Salvia hispánica L.*) obtenido mediante distintos procesos: aplicación en tecnología de alimentos (Doctoral dissertation, Facultad de Ciencias Exactas).
- Jiménez P, P., Masson S, L. & Quitral R, V. (2013). Composición química de semillas de chía, linaza y rosa mosqueta y su aporte en ácidos grasos omega-3. Recuperado el 21 de noviembre del 2018, de <http://www.scielo.cl/pdf/rchnut/v40n2/art10.pdf>
- Jiménez Sanz, M., Sola Villafranca, J. M., Pérez Ruiz, C., Turienzo Llata, M. J., Larrañaga Lavin, G., Santamaría, M., ... & Fernández Del Moral Pinilla, S. (2011). Estudio del estado nutricional de los ancianos de Cantabria. *Nutrición Hospitalaria*, 26(2), 345-354.
- Jiménez-Vera, V., Ortiz Quintero, L. A., & Martínez-Manrique, E. Desarrollo de una Formulación para Elaborar un Bollo para Hamburguesa Complementado con Harina Integral de Amaranto (*Amaranthus Hypochondriacus L.*). *Aportaciones a las Ciencias Alimentarias*, 64.
- Joseph, A. A., Tasker, P. K., Kantha, J., Narayana Rao, M., Swaminathan, M., Sankaran, A. N. & Subrahmanyam, V. (1962). La utilización neta de proteínas y la relación de eficiencia proteica de sesame proteínas suplementadas con lisina a los niveles presentes en el patrón de proteína de referencia de la FAO y la leche. *Análisis de Bioquímica y Medicina Experimental*, 22(5), 113-116.
- Justo Bautista, M., et al. Desarrollo de pan integral con soya, chía, linaza y ácido fólico como alimento funcional para la mujer. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 2007, 57, (1): 78.
- Kakade, M., Rackis, J., McGhee, J., & Puski, G. (1974). Determination of trypsin inhibitor activity of soy product: A collaborative analysis of an improved procedure
- Kamal, A. H. M., Kim, K. H., Shin, D. H., Seo, H. S., Shin, K. H., Park, C. S., ... & Woo, S. H. (2009). Proteomics profile of pre-harvest sprouting wheat by using MALDI-TOF mass spectrometry. *Plant Omics*, 2(3), 110.
- Kamel, B.S. 1993. *Advances in Baking Technology*. Ed. VCH, New York.
- Kent, N. L. (1987). *Tecnología de los cereales*. Zaragoza, España: Acribia.



- Kent, N.L. and A.D. Evers, (1994). Bread-baking technology. En: Kent's technology of cereals. 4ta Edición. Pergamon, Oxford, Inglaterra. 191-217.
- Khan, N.; Zaman, R. y Elahi, M. Effect of processing on the phytic acid content of bengal gramas (*Cicer arietinum*) products. En: *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. Vol.36, No. 1 (1988): p.274 – 276
- Kokelaar, J.J. & Prins, A. (1995). Surface rheological properties of bread dough components in relation to gas bubble stability. *Journal of Cereal Science* 22: 53- 61.
- Komoni, (2018). Recuperado el 18 de abril del 2019 de: <https://komoni.chemisax.com/egipto-y-los-comedores-de-pan/>
- Klausen, K., Mortensen, A. G., Laursen, B., Haselmann, K. F., Jespersen, B. M., & Fomsgaard, I. S. (2010). Phenolic compounds in different barley varieties: identification by tandem mass spectrometry (QStar) and NMR; quantification by liquid chromatography triple quadrupole-linear ion trap mass spectrometry (Q-Trap). *Natural product communications*, 5(3).
- León Sanz, M. (2005). *Proteínas en nutrición artificial*. Madrid: Edkamed.
- León, A. E., Rosell, C. M., Gómez Pallarés, M., Brites, C., Haros, M., Trigo, M. J., & Collar, C. (2007). *De tales harinas, tales panes. Granos, harinas y productos de panificación en Iberoamérica*. ISEKI-Food.
- Liener, I. E. (1994). Implications of antinutritional components in soybeans foods. *Critical Review of Food Science and Nutrition*, 34, 31–67.
- Lin K.Y., Daniel J.D. & Whistler R.L. (1994). Structure of chia seed polysaccharide exudate. *Carbohydrate Polym* 23: 13-18.
- Lorenz, K., & Hwang, Y. S. (1985). *Lipids in amaranths*. Nutrition reports international (USA).
- Mabile, F., Grill, J. & Abecassis, J. (2001). Mechanical properties of wheat seed coats. *Cereal Chemistry*, 78, 231-235.



- Mahajan, A. & Dua, S. (2002) Salts and pH induced changes in functional properties of Amaranth (*Amaranthus tricolor* L.) seed meal. *Cereal Chemistry*, 79, (6): 834-837.
- Makkar, H. P., Siddhuraju, P., & Becker, K. (2007). Plant secondary metabolites (pp. 101-106). Totowa, NJ, USA:: Humana Press.
- Mapes, C. (2010). El amaranto (*Amaranthus spp.*) planta originaria de México. Academia, ciencia y cultura, *AAPAUNAM*, 4, 217-222.
- Marcone, M.F. (1999) Evidence confirm the existence of a 7S globulin-like storage protein in *Amaranthus hypochondriacus* seed. *Food Chemistry*, 65, (4): 533-542.
- Martínez Domínguez, B., Ibáñez Gómez, M., & Rincón León, F. (2002). Acido fítico: aspectos nutricionales e implicaciones analíticas. Archivos latinoamericanos de nutrición, 52(3), 219-231.
- Matz, S.A. (1999). *Ingredients for Bakers*. Ed. Pan-Tech. International, Texas.
- Mazza, G. (2000). *Alimentos funcionales: aspectos bioquímicos y de procesado*. Zaragoza, España : Acribia, 2.000. p. 292-307.
- McRitchie, F., (2016). Seventy years of research into breadmaking quality. *Journal of Cereal Science* 70: 123-131.
- Mesas, J. M., & Alegre, M. T. (2002). El pan y su proceso de elaboración the bread and its processing o pan eo seu proceso de elaboración. *CYTA-Journal of Food*, 3(5), 307-313.
- Mikhaylenko, G. G., Czuchajowska, Z., Baik, B. K., & Kidwell, K. K. (2000). Environmental influences on flour composition, dough rheology, and baking quality of spring wheat. *Cereal chemistry*, 77(4), 507-511.
- Milenio, 2016. Recuperado el 9 de octubre del 2018 de: <http://www.milenio.com/estilo/mexico-es-el-2do-pais-con-mas-consumo-de-pizza-en-el-mundo>



- Miralbés, C. (2000). *Enzimas en Panadería*. Ed. Montagud, Barcelona
- Montalvo-Castro, I. (2008). *Plan de negocios para la creación de un restaurante de comida tradicional italiana (Tesis doctoral)*. Pontificia universidad javeriana. Colombia.
- Monteros, C. *et al.*, INIAP – ALEGRIA: Primera Variedad Mejorada de Amaranto para la Sierra Ecuatoriana., Boletín divulgativo N° 246., QuitoEcuador., 1994., 24.
- Montoya, J. L., Rodríguez-Barona, S., & Giraldo, G. G. (2016). Características fisicoquímicas de la harina de plátano (musa paradisiaca) dominico harton y harina de trigo comercial con tendencias funcionales/physico-chemical features of the flour of plantain (musa paradisiaca) dominico harton and comercial wheat flour with functional trends. *Vitae*, 23, S396.
- Morales-Guerrero, J. C., Vázquez-Mata, N., & Bressani-Castignoli, R. (2014). El amaranto. Características físicas, químicas, toxicológicas y funcionales y aporte nutricional. Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán, México
- Mujica A., Berti M. & Izquierdo J. (1997) El cultivo del amaranto (*Amaranthus spp.*): producción, mejoramiento genético y utilización. Peru, Universidad Nacional del Altiplano, Peru-Universidad de Concepcion, Chile-Oficina Regional de la FAO para America Latina y el Caribe
- Muñoz, L. A., Cobos, A., Diaz, O., & Aguilera, J. M. (2012). Chia seeds: Microstructure, mucilage extraction and hydration. *Journal of food Engineering*, 108(1), 216-224.
- Muñoz-Velázquez, Erika Elizabeth, Rivas-Díaz, Karla, Loarca-Piña, Ma. Guadalupe Flavia, Mendoza-Díaz, Sandra, Reynoso-Camacho, Rosalía, & Ramos-Gómez, Minerva. (2012). Comparación del contenido fenólico, capacidad antioxidante y actividad antiinflamatoria de infusiones herbales comerciales. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3(3), 481-495. Recuperado en 26 de noviembre de 2018, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342012000300006&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342012000300006&lng=es&tlng=es)



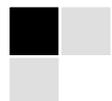
- Nielsen Suzanne. (2009). Analisis de los alimentos. España: Acribia.
- OEIDRUS, (2016). Oficina Estatal de Informacion para el Desarrollo Sustentable Recuperado el 13 de Octubre del 2018, de <http://www.oeidrus-bc.gob.mx/sispro/trigobc/Produccion/Mundial/Nacional2.pdf>.
- OEIDRUS, Baja california., (2015). El cultivo del trigo. Recuperado el 13 de Octubre de 2018, de <http://www.oeidrus-bc.gob.mx/sispro/trigobc/Descargas/ElCultivoTrigo.pdf>
- Okuyama, H., Zhang, H. L., Nagatsu, A., & Watanabe, T. (1997). Antioxidative compounds isolated from safflower (*Carthamus tinctorius* L.) oil cake. *Chemical and pharmaceutical bulletin*, 45(12), 1910-1914.
- Oloyo, R. A. (2004). Chemical and nutrition quality changes in germinating seeds of *Cajanus cajan* L. *Food Chemistry*, v. 85, p. 497-502.
- Oropeza & Rodríguez. (2001). Tesis de Lic. Estudio socioeconómico de amaranto (*amaranthus hypochondriacus*) en el pueblo de Santiago Tulyehualco, D.F. México: UNAM.
- Ospina, M. J. (2002). Características físico mecánicas y análisis de calidad de granos (Vol.I). Colombia, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Paredes L.O., Barba de la Rosa A.P., Hernandez L.D. & Carabez T. (1990) Amaranto. Características alimentarias y aprovechamiento agroindustrial Washington, DC, EUA, Secretaria General de la Organización de los Estados Americanos-Programa Regional de Desarrollo Cientifico y Tecnologico.
- Pedersen, B., Kalinowski, L. S., & Eggum, B. O. (1987). The nutritive value of amaranth grain (*Amaranthus caudatus*). *Plant foods for human nutrition*, 36(4), 309-324.
- Pérez, N., Mayor, G. & Navarro, V.J. (2001). Procesos de Pastelería y Panadería. Ed. Acribia, Zaragoza.
- Perlmutter, D., & Loberg, K.(2014) Cerebro de pan. Nueva York, NY: Grijalvo Vital.



- Pfaf, (2017). Recuperado el 13 de octubre del 2018 de: <https://pfaf.org/user/Plant.aspx?LatinName=Salvia+Hispanica>
- Philippe, S., Saulnier, L., & Guillon, F. (2006). Arabinoxylan and (1→ 3),(1→ 4)-β-glucan deposition in cell walls during wheat endosperm development. *Planta*, 224(2), 449.
- Prasad, K. and L. J. Weigle. (1976). Association of seed coat factors with resistance to *Rhizoctonia solani* in *Phaseolus vulgaris*. *Phytopathology* 66: 342-345.
- Prieto (2015). Proteínas en los alimentos. Recuperado el 22 de noviembre del 2018 de: [https://portal.uah.es/portal/page/portal/universidad\\_mayores/descarga\\_material\\_docente/material\\_ciencias\\_naturales/documentos/proteinas\\_nutricion.pdf](https://portal.uah.es/portal/page/portal/universidad_mayores/descarga_material_docente/material_ciencias_naturales/documentos/proteinas_nutricion.pdf)
- Prolea, (2016). Recuperado el 13 de octubre del 2018 de: <http://prolea.com.mx/chiahistoria.php?leng=ESP>
- Quaglia, G. (1991). *Ciencia y Tecnología de la Panificación*. Ed. Acribia, Zaragoza
- Quali. (2018). Recuperado el 13 de octubre del 2018 de: <https://quali.com.mx/historia.php>
- Rahman, I., Biswas, S. K., & Kirkham, P. A. (2006). Regulation of inflammation and redox signaling by dietary polyphenols. *Biochemical pharmacology*, 72(11), 1439-1452.
- Raina, A. & Datta, A. (1992) Molecular cloning of a gene encoding a seed-specific protein with nutritionally balanced amino acid composition from *Amaranthus*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America Plant Biology*, 89, (24): 11774-11778.
- Rama, R. M., Tara, R., Krishnan, C., (1974). Colorimetric estimation of tryptophan content of pulses. *Journal Food Science and Technology*. 11, 213-216
- Ramírez-Navas, J. S. (2012). Análisis sensorial: pruebas orientadas al consumidor. *Revista ReCiTeIA*.
- Ranganna, S. (1977). *Manual of Analysis of Fruit and Vegetables Products*. Mc-Graw Hill. New Delhi. 634 p.



- Reyes, S. (2005). Tesis de Maestría. El huauhtli en la cultura náhuatl. México: UNAM.
- Rimache, A. M. (2008). Cultivo del Trigo, Cebada y Avena. 1ª edición. Empresa Editora Macro. E.I.R.L.pp. 9-16.
- Ripped recetas, (2015). Recuperado el 18 de abril del 2019 de: <https://www.pinterest.es/pin/214484000976201114/?autologin=true>
- Ritchie, S., Swanson, S. J. y Gilroy, S. (2000). Physiology of the aleurone layer and starchy endosperm during grain development and early seedling growth: new insights from cell and molecular biology. *Seed Science Research*, 10, 193-212.
- Rosado, J. L., Rivera, J., López, G., Solano, L., Rodríguez, G., Casanueva, E., ... & Maulen, I. (1999). Desarrollo y evaluación de suplementos alimenticios para el Programa de Educación, Salud y Alimentación. *salud pública de México*, 41, 153-162
- Rosamond, W. D. (2002). Dietary fiber and prevention of cardiovascular disease. *Journal of the American College Cardiology*, 57–59
- Ruralnet, (2014). Recuperado el 13 de octubre del 2018 de: <https://ruralnet.com.ar/enfermedades-en-trigo-una-de-las-campanas-mas-complicadas-de-los-ultimos-anos/>
- Sáinz, N., Barrenetxe, J., Moreno-Aliaga, M. J., & Martínez, J. A. (2015). Leptin resistance and diet-induced obesity: central and peripheral actions of leptin. *Metabolism*, 64(1), 35- 46.
- Sánchez-Marroquín, A. (1980) Potencialidad agroindustrial del amaranto. México, Centro de Estudios Económicos y Sociales del Tercer Mundo, AC. pp. 145-236.
- Sánchez-Moreno, C., Larrauri, J. A., & Saura-Calixto, F. (1999). Free radical scavenging capacity and inhibition of lipid oxidation of wines, grape juices and related polyphenolic constituents. *Food Research International*, 32(6), 407-412.
- Saura-Calixto, F. & Goñi, I. (2006). Antioxidant capacity of the Spanish Mediterranean diet. *Food Chemistry* 94: 442–447.



- Sciarini, L. S., Steffolani, M. E., & León, A. E. (2016). El rol del gluten en la panificación y el desafío de prescindir de su aporte en la elaboración de pan. *Agriscientia*, 33(2), 61-74.
- Segura-nieto M. & Jiménez-Flores R. (1999). Genetic modifications of plant seed storage proteins for food production. In: *Molecular Biotechnology for Plant Food Production*. Technomic Publishing Co. Inc. USA. pp. 411-474.
- Serna-Saldívar, S. R. O. (2009). *Química, almacenamiento e industrialización de los cereales*. D.F. México: AGT Editor.
- Shewry, P. R., & Halford, N. G. (2002). Cereal seed storage proteins: structures, properties and role in grain utilization. *Journal of experimental botany*, 53(370), 947-958.
- SIAP. 2016. Recuperado el 9 de Octubre del 2018, de <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricolapor-estado>.
- Silva Sánchez, C. A. (2015). Evaluación técnica comercial del aprovechamiento de la semilla de chía (*Salvia hispánica L.*) para la elaboración de productos alternos (Bachelor's thesis, Quito: Universidad de las Américas, 2015.).
- Smithard, R. (2002) Secondary plant metabolites in poultry nutrition. En: McNab, J. y Boorman, K. (Eds). *Poultry Feedstuffs: Supply, Composition and Nutritive Value*. Wallingford Inglaterra : CABI Publishing, p. 237-278.
- Someicca, (2014). Recuperado el 13 de octubre del 2018 de: <http://someicca.com.mx/wp-content/uploads/La-importancia-del-Amaranthus-hypochondriacus-y-la-industria-alimentaria.pdf>
- Song, J.H., Fujimoto, K. & Miyazawa, T. (2000). Polyunsaturated (n-3) fatty acids susceptible to peroxidation are increased in plasma and tissue lipids of rats fed docosahexaenoic acid-containing oils. *Journal of Nutrition*, 130: 3028-3033.
- Stallknecht, G. F., & Schulz-Schaeffer, J. R. (1993). *Amaranth rediscovered*. New Crops. Wiley, New York, 211-218.



- Suárez López, M. M., Kizlansky, A. & López, L. B. (2006). Evaluación de la calidad de las proteínas en los alimentos calculando el score de aminoácidos corregido por digestibilidad. Cátedra de Nutrición Normal. Escuela de Nutrición. Facultad de Medicina. Universidad de Buenos Aires. Argentina., 1, 5
- Sugihara, N., Tsuruta, Y., Date, Y., Furuno, K. & Kohashi, K. (1994). High peroxidative susceptibility of fish oil polyunsaturated fatty acid in cultured rat hepatocytes. *Toxicology and applied pharmacology*. 126:124-128.
- Sumar, K.L. (1993) La kiwicha y su cultivo. Cusco, Peru, Centro Bartolome de las casas.
- Taga, M.S., Miller, E.E. & Pratt, D.E. (1984). Chia seeds as a source of natural lipid antioxidants. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 61, 928-931.
- Tapia, M. (1997) Cultivos andinos subexplotados y su aporte a la alimentación 2ª ed. Santiago de Chile, Oficina Regional de la FAO para America Latina y el Caribe.
- Tejero Aparicio, F. (1992). Panadería española. Montagud,.
- Timilsena, Y. P., Adhikari, R., Barrow, C. J., & Adhikari, B. (2016). Physicochemical and functional properties of protein isolate produced from Australian chia seeds. *Food chemistry*, 212, 648-656.
- Ting, I.P., Brown, J.H., Naqvi, J., Kumamoto, J. & Matsumura, M. (1990). Chia: a potential oil crop for arid zones. Proceedings of the First International Conference on New Industrial Crops and Products. Eds. HH Naqvi, A Estilai and IP Ting. *Association for the Advancement of Industrial Crops*, Riverside, USA, pp. 197-202.
- Tosi, E.A., Re, E., Lucero, H. & Masciarelli, R. (2011) Dietary fiber obtained from amaranth (*Amaranthus cruentus*) grain by differential milling. *Food chemistry*, 73, (4): 441-443.
- TRIPOD, (2018). Recuperado el 13 de octubre del 2018 de: [http://members.tripod.com/lucrecia\\_alvarez/calidad\\_panadera.htm](http://members.tripod.com/lucrecia_alvarez/calidad_panadera.htm)



- Udedibie, A. B., & Carlini, C. R. (1998). Brazilian *Mucuna pruriens* seeds (velvet bean) lack hemagglutinating activity. *Journal of agricultural and food chemistry*, 46(4), 1450-1452.
- United States Department of Agriculture - USDA (2002). Nutrient Database for Standard Reference. Release 15, Nutrient. Data Laboratory, Beltsville Research Center, US Department of Agriculture, Pennsylvania, USA.
- Valadez M., E. M.L. Ortega, A. Carballo y L. Fucikovsky.(1990). Flavonoides de la testa del frijol como inhibidores de dos bacterias fitopatógenas. *Agrociencia, Serie Protección Vegetal*. Vol.1 (2): 75-91.
- Vázquez-Ovando, A., Rosado-Rubio, G., Chel-Guerrero, L. & Betancur-Ancona, D. (2009). Physicochemical properties of a fibrous fraction from chia (*Salvia hispanica* L.). *LWT – Journal of Food Science and Technology*,42: 168 – 173.
- Vega, S., Gutierréz, T., Coronado, M., Pérez, J. & Ramírez, L. (2010). Adición de aceite de chía (*Salvia hispanica* L.) como fuente de ácidos grasos omega-3 en chorizo. Departamento de Producción Agrícola y Animal de la División de Ciencias Biológicas y de la Salud de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco: 100-108.
- Villarreal Ruiz, M. (2014). Efectos de la producción del trigo (*triticum aestivum* l.) en el mundo, México y en la región 5 manantiales (Tesis doctoral). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. México.
- Wang, M., Van Vliet, T. & Hamer, R. J. (2002). Interaction of water extractable pentosanos with gluten protein: effect on dough properties and gluten quality. *Journal of Cereal Science*, 36, 25-37.
- Wardlaw, C. M. & Wrigley, C. M. (1994). Heat tolerance in temperate cereals: An overview. *Australian Journal of Plant Physiology*, 21,695-703.
- Weegels, P. L., Hamer, R. J., & Schofield, J. 1. (1996). Functional properties of wheat glutenin. *Journal of Cereal Science*, 23(1), 1-17.
- Wieser, H. (2007). Chemistry of gluten proteins. *Food Microbiology*, 24, 115-119.



- World Health Organization, Food and Agriculture Organization of the United Nations, United Nations University. (2007). Protein and amino acid requirements in human nutrition (Technical Report Series 935).
- Wordpress, (2014). Recuperado el 13 de octubre del 2018 de: <https://trabajoinformatica1516.wordpress.com/morfologia-y-fisiologia/>
- Wyatt C. J., Triana-Tejas. 1994. Soluble and insoluble Fe, Zn, Ca y phytates in foods commonly consumed in Northern Mexico. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 42:2204-2209.
- Yazio (2018). Recuperado el 15 de octubre del 2018 de :<https://www.yazio.com/es/alimentos/pizza-de-queso.html>
- Zhou J. R., Erdman J. W. Jr. 1995. Phytic acid in health and disease C. R. C. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 35:495-508
- Zúñiga Arévalo, A. C., & Córdova Guevara, R. A. (2017). Elaboración de masa de pizza, calzone y foccacia con base en tres verduras: zanahoria, remolacha y calabaza (Bachelor's thesis).
- Zúñiga Sáez, H. (2014). Monografía: Biología de la chía (Salvia hispánica L.). Recuperado el 21 de noviembre del 2018, de: <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/148778>.

