



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN

**Desarrollo de una base para pay con harina de
amaranto (*Amaranthus hypochondriacus L.*)
y chía (*Salvia hispanica L.*)**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERA
EN ALIMENTOS

P R E S E N T A:

BRENDA ESTHER BRACHO ALFARO

ASESOR: DR. ENRIQUE MARTÍNEZ MANRIQUE

COASESOR: I.A. VERONICA JIMÉNEZ VERA

CUAUTITLAN 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

U.N.A.M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLÁN

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.**

Desarrollo de una base para pay con harina de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus L.*) y chíca (*Salvia hispanica L.*).

Que presenta la pasante: **Brenda Esther Bracho Alfaro**

Con número de cuenta: **415095886** 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 29 de Abril de 2019.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Dra. Elsa Gutiérrez Cortez	
VOCAL	M. en C. Sandra Margarita Rueda Enríquez	
SECRETARIO	Dr. Enrique Martínez Manrique	
1er. SUPLENTE	Dra. María Olivia Noguez Córdova	
2do. SUPLENTE	I.A. Alberto Solís Díaz	

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

Agradecimientos

A Jehová Dios por darme la vida misma, las fuerzas para terminar esta etapa, a mi amada familia de sangre y espiritual, así como mis amigos; y si es tu voluntad aprovechar estos estudios para tu servicio.

A mi familia Alfaro, que sin ellos yo no estaría en este momento de mi vida. A cada uno por su amor, apoyo incondicional de todo tipo, que nunca dudaron en darme y ahora soy la mujer que soy.

A la familia Alfaro Díaz por no dudar de mí y por toda la confianza, amor y apoyo económico que me han brindado para lograrlo.

A mi madre amada Frida, que siempre me dio el ánimo necesario para continuar, nunca dudo de mí, siempre ha estado al pendiente y nunca ha dejado de luchar por todas sus hijas, eres mi mayor ejemplo.

A mis hermanas Zaira y Tami, por todo su cariño incondicional y aguante que me han enseñado, además de las personitas valiosas que han aportado a mi vida. Por ayudarme a iniciar y a cumplir esta etapa de mi vida.

A la Familia Neme Servín por sus cuidados y cariño demostrado esta parte de mis estudios, en especial a Salvador, por todo tu amor, paciencia y apoyo para concluir. Te Amo.

A Mary Duarte y Adriana Becerril por brindarme un hogar en conjunto estos años de mi carrera y apoyarme de distintas maneras.

A mis amigos de la universidad: Kenia, Ale Higuera, Andy pandy y Fidel, por acompañarme en esta etapa, por llorar, desesperar, enojar, reír, bailar, estudiar, vivir conmigo y en parte escribir este trabajo jaja, sin ustedes esto no hubiera sido lo mismo. Por ser buenos conmigo, fue que también pude terminar esta etapa de mi vida. Los quiero mucho.

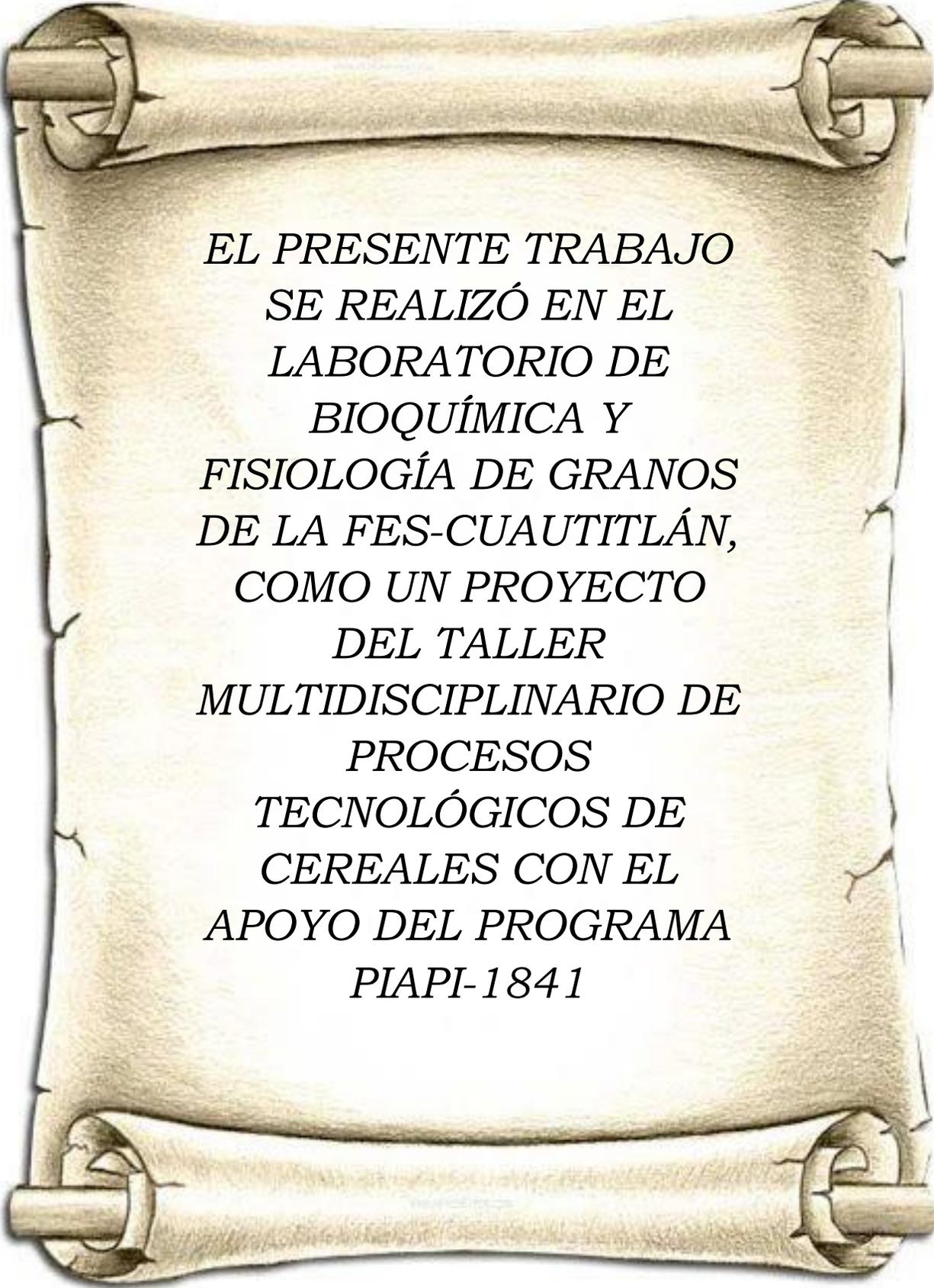
A mis asesores, el Dr. Enrique Martínez por su dirección, conocimiento y tiempo dedicado a este trabajo. Y a mi coasesora I.A. Verónica Jiménez por brindarme de sus conocimientos de toda clase y su trabajo dedicado a este proyecto.

A Ana compañera de trabajo de tesis y taller, por todo tu apoyo para realizar este proyecto y compartir esta etapa final de la carrera.

A mis sinodales que dedicaron de su tiempo para revisar este trabajo y aportar a la formación de él.

A la UNAM FES Cuautitlán, por darme los servicios de educación necesarios para mi formación profesional. Y a todos mis maestros a lo largo de la carrera que contribuyeron a ello.

Bren Alfaro.

A scroll with text on it. The scroll is unrolled, showing a central rectangular area with text. The scroll is made of a light brown, textured material, possibly parchment or paper, and is held together by four wooden rollers at the corners. The text is centered and reads:

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

ÍNDICE

Resumen	1
Introducción	2
1 Antecedentes.....	4
1.1 Trigo.....	4
1.1.1 Origen.....	4
1.1.2 Clasificación taxonómica, botánica y morfología de la planta	5
1.1.3 Estructura del grano	6
1.1.4 Composición química y valor nutritivo del grano de trigo	8
1.2 Harina de trigo.....	9
1.2.1 Clasificación de las harinas.....	10
1.2.2 Proteínas de la harina de trigo	11
1.2.3 El gluten	12
1.3 Panificación	13
1.3.1 Origen.....	13
1.3.2 Ingredientes de la panificación y su función.....	13
1.3.3 Productos de la panificación	15
1.3.4 Definición y clasificación del pan.....	15
1.4 Definición de pay.....	16
1.4.1 Aporte nutricional de un pay	16
1.5 Superalimentos.....	17
1.6 Amaranto	18
1.6.1 Origen.....	18
1.6.2 Clasificación taxonómica, botánica y morfología de la planta	19
1.6.3 Estructura del grano de amaranto	19
1.6.4 Calidad nutricional del amaranto	20
1.6.5 El amaranto en México.....	24
1.7 Chía.....	25

1.7.1	Origen.....	25
1.7.2	Clasificación taxonómica y botánica.....	25
1.7.3	Chía en México.....	26
1.7.4	Valor nutricional.....	27
1.8	Alimentación en México.....	28
1.9	Anti-nutrimientales.....	30
1.9.1	Taninos.....	30
1.9.2	Inhibidores de tripsina.....	30
1.9.3	Ácido fítico.....	31
1.10	Ingredientes Funcionales.....	31
1.10.1	Antioxidantes.....	31
1.10.2	Fenoles.....	32
1.10.3	Fibra dietética.....	32
2	Metodología.....	34
2.1	Objetivos.....	34
2.1.1	Objetivo General:.....	34
2.2	Cuadro metodológico.....	35
2.3	Materiales y métodos.....	36
2.3.1	Preparación de la muestra.....	36
2.3.2	Análisis químico proximal.....	36
2.3.3	Elaboración de la base para pay.....	42
2.3.4	Diagrama de proceso.....	43
2.3.5	Análisis nutrimentales y antinutrimientales realizados.....	45
2.3.6	Evaluación sensorial.....	53
2.3.7	Análisis estadístico.....	54
3	Resultados y discusión.....	55
3.1	Análisis químico proximal de harinas (materia prima).....	55
3.2	Factores nutrimentales en harinas.....	56
3.3	Factores Anti-nutrimientales de las harinas.....	57

3.4	Resultados de elaboración de base para pay.....	58
3.5	Resultados del análisis sensorial de preferencia	59
3.6	Resultados de análisis químico proximal (AQP) al producto final elegido	61
3.7	Factores nutrimentales en la base para pay control y en la formulación elegida.....	62
3.7.1	Relación de eficiencia proteica y digestibilidad " <i>in vivo</i> "	63
3.8	Factores anti-nutrimentales en la base control contra la base elegida	66
3.9	Prueba sensorial de nivel de agrado	67
	Conclusiones	69
	Recomendaciones	70
	Referencias.....	71
	Anexo	79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición química proximal del grano de trigo	8
Tabla 2. Tipos de harinas	10
Tabla 3. Proteínas presentes en las fracciones de Osborne	11
Tabla 4. Información nutrimental de una base para pay	17
Tabla 5. Composición química proximal del grano de la especie <i>Amaranthus hypochondriacus</i> en base seca.....	22
Tabla 6. Composición de aminoácidos de la proteína total de amaranto (g/100g de proteína)	23
Tabla 7. Composición química proximal de la semilla de chía.....	27
Tabla 8. Formulaciones para una base de pay	42
Tabla 9. Análisis químico proximal de las harinas de amaranto, chía y trigo.....	55
Tabla 10. Factores nutrimentales en harinas de amaranto, chía y trigo.	56
Tabla 11. Factores anti-nutrimentales en harinas de amaranto, chía y harina de trigo	57
Tabla 12. Diferentes formulaciones evaluadas	58
Tabla 13. Asignación de las claves según las formulaciones elegidas para la prueba de preferencia	60
Tabla 14. Análisis químico proximal de la base para pay control y de la formulación seleccionada	61
Tabla 15. Factores nutrimentales de la base para pay control y la formulación seleccionada	62
Tabla 16. Resultados de digestibilidad aparente y eficiencia proteica.....	64
Tabla 17. Factores anti-nutrimentales de la base para pay control y la formulación seleccionada	66
Tabla 18. Calificación y nivel de aceptación	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Alimentos que introdujeron los europeos a América	5
Figura 2. Dibujo de una espiga de trigo	6
Figura 3. Estructura del grano de trigo	8
Figura 4. Pay.....	16
Figura 5. Estructura morfológica del grano de amaranto.....	20
Figura 6. Planta de Chía	26
Figura 7. Cajas de humedad en estufa	37
Figura 8. Cajas de humedad en desecador.....	37
Figura 9. Equipo destilación soxlet	38
Figura 10. Digestión de proteínas.....	39
Figura 11. Equipo para determinar proteína cruda con equipo microkjeldahl	39
Figura 12. Determinación de fibra cruda.....	40
Figura 13. Crisoles en la mufla	41
Figura 14. Crisoles en el desecador	41
Figura 15. Mezclado 1	44
Figura 16. Mezclado 2	44
Figura 17. Moldeado.....	44
Figura 18. The Robot Cool Inc.®.....	44
Figura 19. Estructura química del radical libre metaestable DPPH.....	46
Figura 20. Resultados de la prueba sensorial de preferencia	60
Figura 21. Incremento en peso de ratas	65
Figura 22. Alimento total consumido por rata y por dieta	66
Figura 23. Porcentaje de cada calificación que asignaron los jueces	67

RESUMEN

La tendencia a consumir superalimentos y a incluirlos en productos ya existentes en los últimos años ha ido en aumento. En México el 62% de las personas consumen pan dulce frecuentemente y entre la gran variedad de estos productos se encuentra el pay, que es elaborado con harina de trigo refinada, lo cual lo hace un producto de baja calidad nutrimental; para mejorarla puede complementarse con harinas de amaranto y chía, considerados estos granos como superalimentos por su alto valor nutrimental. En México la mala alimentación mantiene los índices elevados de desnutrición y a la vez aumentan las manifestaciones de mala nutrición, pero por exceso que genera obesidad, provocando enfermedades crónicas como hipertensión, cardiovasculares, diabetes entre otras. Es por eso que en el presente trabajo se planteó desarrollar una formulación de una base para pay con harina de amaranto y chía con buenas características sensoriales para mejorar su calidad nutrimental. Se propusieron varias formulaciones combinando las harinas de trigo, chía y amaranto y se evaluaron durante el proceso, las que tuvieron mejores características sensoriales se eligieron para ser sometidas a una prueba sensorial de preferencia, la formulación seleccionada fue la que contenía 10, 50 y 20% de harinas de trigo, amaranto y chía respectivamente. A la base seleccionada se le realizaron una serie de análisis para comprobar su calidad nutrimental comparándola con la base control con 100% harina de trigo. El Análisis químico proximal mostró que la base seleccionada tuvo mayor cantidad de proteína, grasa, cenizas y fibra, que la base control. En las pruebas nutrimentales, la digestibilidad *in vitro* y el contenido de triptófano fue similar en la base seleccionada y la base control. La capacidad antioxidante de la base seleccionada fue de un valor de 77% mientras que la base control solo tuvo 1%. El contenido de fenoles fue similar en las dos formulaciones. La fibra dietética resultó ser 5 veces mayor en la base propuesta que en la base control. La relación de eficiencia proteica demostró que la calidad proteica de la base para pay estudiada fue mejor y aceptable, en comparación a productos elaborados con harinas refinadas de trigo. De la misma manera fueron objeto de estudio los compuestos antinutrimientales como taninos, ácido fítico e inhibidores de tripsina; resultando que ni en la base seleccionada, ni en la base control fueron detectables estos compuestos. Finalmente, la prueba de nivel de agrado realizada al producto seleccionado manifestó que el 82% de los consumidores la aceptan como una base de su agrado. Con base en los resultados obtenidos se puede decir que la base para pay elaborada con amaranto y chía tuvo mejor calidad nutrimental que la elaborada con 100% trigo y que el producto es sensorialmente aceptado por parte de posibles consumidores.

Palabras clave:

Amaranto, chía, calidad nutrimental, trigo, pay.

INTRODUCCIÓN

Los cereales son una fuente energética importante, debido al alto contenido de carbohidratos, de lo cual, deriva la importancia de los cereales en la alimentación; además, aportan cantidades bajas de otros nutrientes como proteínas, vitaminas y minerales (Gil, 2010). Estos granos son usados comúnmente en la dieta mexicana, y los más importantes son: maíz, trigo y arroz, por su densidad de siembra y consumo per cápita (Caballero, 2011)

El trigo es materia prima de diversos productos, sobre todo en la industria alimenticia, esto debido a sus características anatómicas, que permiten someter el grano a un proceso de molienda para poder obtener harina, sémola o salvado, de los que se obtendrán productos ya sea para consumo humano o animal (Hernández & Sastre, 1999). El trigo es importante en la industria y de él se derivan la mayoría de los productos de la panificación y pastas, dependiendo de la especie del trigo, será destinado a un proceso. El trigo suave y el duro generalmente son destinados para la manufactura de productos como; galletas, panes, pays, bocadillos, etc. Mientras que el trigo cristalino es molido a un tamaño de partícula más grueso a la cual se le denomina sémola, y se utiliza para fabricar sopas y pastas (Aguilar, 2016).

En México el 70% de la población consume pan frecuentemente ya sea por las mañanas o en la noche, y de ese porcentaje el 89% prefiere el pan dulce por gusto y en fechas especiales, debido a las costumbres y la cultura del país; además el consumo de productos de repostería como el pay incrementa día a día (Mercawise, 2017). Pero el uso de harinas refinadas para la elaboración de estos productos, los hace alimentos de baja calidad nutricional. Es por eso que, el consumo frecuente de estos productos, influyen en la mala nutrición en nuestro país, por un lado, los índices de desnutrición, y por otro, el aumento en obesidad. La FAO indica que una alimentación adecuada, entre otros puntos, tiene que cubrir todas las necesidades nutricionales desde el punto de vista de la cantidad y la calidad, al proporcionar todos los nutrientes esenciales (Martínez & Villezca, 2005).

Por lo que para mejorar su calidad nutrimental podemos complementar estos productos elaborados con harinas refinadas de trigo, con harinas de otros granos que aporten un mejor valor nutricional como el amaranto y la chía, que son granos con alto contenido de aminoácidos y ácidos grasos esenciales, altas cantidades de fibra, así como vitaminas y

minerales (Asociación Mexicana del Amaranto, 2003; Carrillo-Gómez, Gutiérrez-Cuevas, Muro-Valverde, Martínez-Horner & Torres-Burgarín, 2017).

Por este motivo este proyecto tiene como objetivo general el desarrollar una base para pay con harina de amaranto y chía, con buenas características sensoriales que mejoren su calidad nutrimental. Inicialmente se realizarán diversas formulaciones de una base para pay, tomando como control una formulación casera con 100% harina de trigo, para después sustituir un porcentaje de esta harina de trigo por harinas de amaranto y chía, se elegirá las que tengan mejores cualidades sensoriales para el proceso, para que, con una prueba sensorial de preferencia, se elija la formulación para estudio. Después se evaluará la calidad nutricional de la base seleccionada y al producto control mediante pruebas que se realizarán a nivel laboratorio, como un análisis químico proximal (AQP), factores nutrimentales (% de digestibilidad, cantidad de triptófano, fenoles, capacidad antioxidante y fibra dietética) y factores antinutrientales (contenido de taninos, ácido fítico e inhibidores de tripsina). Finalmente, el producto se someterá a una evaluación sensorial, con un grupo de jueces que determinarán su nivel de agrado.

1 ANTECEDENTES

1.1 TRIGO

1.1.1 Origen

El origen del actual trigo cultivado se encuentra en la región asiática comprendida entre los ríos Tigris y Eufrates, 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. Los egipcios, fueron quienes descubrieron la fermentación del trigo y lo utilizaron en la elaboración de alimentos. Las primeras formas de trigo, recolectadas por el hombre hace más de doce mil años fueron del tipo *Triticum monococcum* y *Triticum dicocccum*, caracterizadas fundamentalmente por producir un conjunto de frutos modificados que se fusionan con su sola semilla, en una espiga terminal, frágiles que se separan al madurar (Aykrod, 1970).

La historia documenta que la llegada del trigo a México fue un poco tardía, debido a que los viajes del viejo mundo a América eran largos y las provisiones se consumían y terminaban antes de llegar a su destino. Al parecer, los viajeros no se preocupaban por guardar algunas semillas para que fueran sembradas en México (CIBIOGEM, 2014).

Según el relato de los historiadores Andrés de Tapia y Francisco López de Gómora, el negro portugués, Juan Garrido, criado de Hernán Cortés fue el primero en sembrar y cosechar el trigo en México al encontrar tres granos mezclados en un costal de arroz. Solo germinó uno que dio 180 granos y de esa espiga se hicieron otras siembras que comenzaron a cultivarse en diferentes regiones de la Nueva España. Ya para 1534, a 13 años de consolidada la conquista, se levantaban importantes cosechas de trigo en las inmediaciones de Texcoco y Puebla (Villareal, 2000).

Existieron algunos otros alimentos, aparte del trigo (Figura 1), que fueron introducidos en América durante la época de la conquista, que van desde cereales, plantas y sus raíces, árboles y su fruto, animales de carne y carga (Azcoytia, 2013).

El cultivo del trigo, así como su transformación en harina y pan en la Nueva España, fue una necesidad imperiosa de los conquistadores, para satisfacer aquí viejas costumbres en su alimentación. También tuvieron la tarea de enseñar a los autóctonos la molienda y la elaboración del pan convirtiéndose en parte de la dieta americana desde entonces.



Figura 1. Alimentos que introdujeron los europeos a América
Fuente: Azcoytia, 2013

1.1.2 Clasificación taxonómica, botánica y morfología de la planta

El trigo pertenece a la familia de las gramíneas (*Poaceae*), siendo las variedades más cultivadas *Triticum durum* y *T. compactum*. El trigo harinero hexaploide llamado *T. aestivum* es el cereal panificable más cultivado en el mundo. Su clasificación botánica es la siguiente (Villareal, 2000):

REINO: Plantae

DIVISIÓN: Magnoliophyta

CLASE: Liliopsida

ORDEN: Cyperales

FAMILIA: Poaceae

GÉNERO: *Triticum* L.

ESPECIE: *aestivum* L.

El trigo posee una raíz fasciculada o raíz en cabellera, es decir, con numerosas ramificaciones, las cuales alcanzan una profundidad de 25 cm, llegando algunas de ellas hasta un metro de profundidad.

El tallo del trigo es una caña hueca con 6 nudos que se alargan hacia la parte superior, alcanzando entre 0.5 a 2 metros de altura, es poco ramificado.

Las hojas del trigo tienen una forma alargada, recta y con terminación en punta, con vaina, lígula y aurículas bien definidas.

La inflorescencia es una espiga (Figura 2) compuesta por un raquis (eje escalonado) o tallo central de entrenudos cortos, sobre el cual van puestas de 20 a 30 espiguillas en forma alterna y compacta, llevando cada una nueve flores, la mayoría de las cuales brotan, rodeadas por glumas.

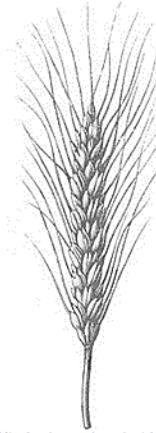


Figura 2. Dibujo de una espiga de trigo

Fuente: Botanical, 2006

Los granos son carióspsides que presentan forma ovalada con sus extremos redondeados. El germen sobresale de un extremo y en el otro hay un mechón de pelos finos. El resto del grano, el endospermo, es un depósito de alimento para el embrión, que representa el 82% del peso del grano. El pericarpio la testa, juntamente con la capa aleurona, conforman el salvado de trigo. El grano de trigo contiene una parte de la proteína que se llama gluten. El gluten facilita la elaboración de levaduras de alta calidad, que son necesarias en la panificación.

1.1.3 Estructura del grano

El grano de cereal o carióspside consta de tres grandes partes, cuya proporción varía, según la especie (Figura 3). Estas partes están protegidas con una cáscara (Martínez-Manrique & Jiménez-Vera, 2016):

- ❖ Pericarpio 7 a 10%.
- ❖ Endospermo 80 a 85%.
- ❖ Germen 3 a 8%.

1.1.3.1 Pericarpio:

Protege al grano contra el ataque de insectos y de las condiciones ambientales adversas. Consta de dos partes:

- ❖ Parte externa: constituida por tres tipos de capas:
 - Epicarpio: Es una capa que forma una película constituida por una pared de células rectangulares, delgadas y largas.

- Mesocarpio: Constituido por células alargadas en el sentido transversal del grano.
 - Endocarpio: Capa constituida por células de paredes delgadas.
- ❖ Parte interna: conformada por dos tipos de células.
- Células cruzadas: Agrupadas en capas de dos a cuatro células de paredes delgadas y ramificadas, con varios espacios intercelulares. Su función es evitar que el grano pierda peso, es decir, actúan como un protector de la humedad.
 - Células tubulares: Constituida por células largas, paralelas no ramificadas. Poseen un gran espacio intercelular. Sirven de medio de conducción y distribución del agua que se absorbe a través del embrión durante el proceso de germinación.

1.1.3.2 Endospermo:

Es el depósito de alimento para la nueva planta. Está compuesto principalmente por carbohidratos y en menor escala por proteínas. Conformado por:

- Capa de aleurona: Compuesta por una sola capa de células, a excepción de la avena con dos capas celulares, la cebada que tiene de dos a cuatro capas y el arroz que tiene seis.
- Endospermo corneo: constituido por proteínas y gránulos de almidón.
- Endospermo vítreo: Compuesto por paredes celulares, gránulos de almidón y proteínas.
- Endospermo harinoso: Se encuentra en la parte central del grano, su constitución es similar al endospermo vítreo, con gránulos de almidón más grandes.

1.1.3.3 Germen:

Es el responsable de generar una nueva planta al germinar la semilla. Contiene un alto contenido de nutrientes, principalmente grasas, proteínas, vitaminas, azúcares y minerales. Es la parte más susceptible del grano al ataque de microorganismos e insectos, lo que afecta la calidad del producto. Está conformado por el eje embrionario, que está integrado por la radícula y la plúmula, las cuales forman las raíces y la parte vegetativa de la planta (Martínez-Manrique & Jiménez-Vera, 2013).

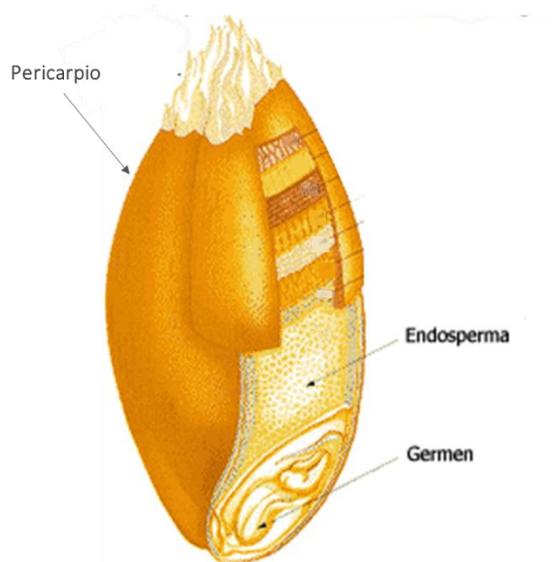


Figura 3. Estructura del grano de trigo
Fuente: (NZFMA, 2003)

1.1.4 Composición química y valor nutritivo del grano de trigo

Un grano completo y maduro de trigo posee hidratos de carbono, proteínas (incluyendo gluten), ácidos grasos, minerales como el zinc, calcio, hierro, magnesio, selenio, potasio, fósforo, yodo, azufre y cloro, fibra, enzimas y vitaminas A, E y del grupo B (B1 o Tiamina, B2 o Riboflavina, B3 o Niacina, B5 o Ácido pantoténico y B7 o Biotina) (Anónimo, 2012). En la tabla 1 se resume la composición química proximal del grano de trigo.

Tabla 1. Composición química proximal del grano de trigo

Trigo	
Humedad	14
Carbohidratos	56.9
Proteínas	12.7
Grasas	2.2
Minerales	1.6
Fibra	12.6

Fuente: Gil, 2010.

En el grano de trigo como en otros cereales el almidón se encuentra en el endospermo, en el trigo se encuentra en forma de gránulos grandes y simples alrededor de 25-40 μm . Su contenido de azúcares y oligosacáridos se encuentra distribuido entre el germen, el salvado, y el endospermo. En mayor proporción contiene a la sacarosa que puede ser de hasta el 1%. (Gil, 2010)

La fibra se localiza en las paredes celulares, formando la estructura del grano, y son constituyentes principales de las paredes celulares del endospermo y se llega a encontrar en las harinas cuando son integrales.

El contenido de proteína es variable, según la variedad y especie, ya que es una característica que se transmite genéticamente, y depende de las condiciones de cultivo, principalmente de la fertilidad del suelo y del rendimiento del grano. Las proteínas se localizan en diferentes partes del grano (endospermo, germen, pericarpio) y su distribución no es uniforme. En el endospermo es la fracción que aporta mayor porcentaje de proteínas. El grano de trigo, aunque cuenta con aminoácidos esenciales carece de algunos de ellos como la lisina. (Gil, 2010)

El trigo a diferencia de otros granos, no se consume en forma de grano entero por lo que debe ser sometido a una molienda para utilizarlo en forma de harina o de sémola, por lo que tenemos que definir lo que es una harina. (Hernández & Sastre, 1999)

1.2 HARINA DE TRIGO

La harina es el polvo que se obtiene de la molienda del grano de trigo maduro, entero o quebrado, limpio, sano y seco, en el que se elimina gran parte de la cascarilla (salvado) y el germen. El resto se tritura hasta obtener un grano de finura adecuada. (CANIMOLT, 2005). El trigo entero rinde más del 72% de harina blanca y el resto es un subproducto. En la molienda, hay varios grados de extracción. El 100 por 100 de extracción corresponde a una harina integral, y el 70-74 por 100 a una harina blanca comercial. La harina de menor grado de extracción contiene menos proteínas, grasa, cenizas, fibra, vitaminas y minerales, y por lo tanto más carbohidratos digeribles (principalmente almidón) que el grano en forma entera. (Hernández & Sastre, 1999)

La composición media de las harinas panificables oscila entre los siguientes valores (Mesas & Alegre, 2002):

- Humedad: 13 - 15%.
- Proteínas: 9 - 14% (85% gluten).
- Almidón: 68 - 72%.
- Cenizas: 0.5 - 0.65%.
- Grasa: 1 - 2%.
- Fibra: 2 - 3% (Salinas, 2013)

Del contenido de proteínas de la harina de trigo el 85 % lo componen las proteínas del gluten que son gliadinas y gluteninas, lo que la hace de baja calidad nutricional.

Las harinas de baja extracción o molienda fina, han perdido gran parte de sus nutrientes. Ahora los panaderos han promovido la tendencia a utilizar más productos altamente

refinados, debido a que la harina de trigo blanca tiene mejores cualidades para el horneado. Los comerciantes también prefieren el producto altamente refinado debido a que se almacena mejor (FAO, 2004).

1.2.1 Clasificación de las harinas

Para clasificar las harinas se utilizan los siguientes valores, que se miden con el Alveógrafo de Chopin

W. Es la fuerza que tiene la harina.

P/L. Índica el equilibrio de la harina y ayuda a saber qué tipo de trabajo panadero es más adecuado para cada harina.

Valor P. (Tenacidad). Es la absorción que tiene la harina sobre el agua.

Valor L. (Extensibilidad). Es la capacidad que tiene la harina para ser estirada cuando se mezcla con agua.

La absorción es un dato importante en panificación y depende de la calidad del gluten.

Falling Number. Es para medir indirectamente la actividad alfa-amilásica existente en la harina.

Maltosa. Es el azúcar existente en la harina sobre el que actúa la levadura para producir gas carbónico durante el proceso de fermentación (CANIMOLT, 2005).

Por consiguiente, es necesario relacionar todos los valores y no limitarse a uno solo, ya que puede darse el caso de que dos harinas tengan el mismo W, pero diferente P/L, y por lo tanto su comportamiento en panificación será muy distinto. En la tabla 2 se muestran el valor que deben tener, para poder clasificarlos dentro de ese tipo de harina y los diferentes productos que se pueden obtener según las características de cada harina.

Tabla 2. Tipos de harinas

HARINA EXTRAFINA		HARINA FINA	
Características	Usos	Características	Usos
W= 270 - 330	Panes y bollería especial, fina	W= 180 - 270	Panes especiales. Fermentación larga y proceso frío de bollería y panadería
P/L= 0.9 - 1.3		P/L= 0.5 - 0.7	
P= 100 - 130		P= 50 - 90	
L= 90 - 120		L= 100 - 120	
Gluten seco= 9-12%		Gluten seco= 0.9-11.5%	
No. De Falling= 320-380 seg.		No. De Falling= 320-380 seg.	
Índice de Maltosa= 2 - 2.4		Índice de Maltosa= 1.8 - 2.2	
HARINA SEMIFINA		HARINAS SUAVES	
Características	Usos	Características	Usos
W= 110 - 180	Para procesos medios y largos de fermentación. Croissant, hojaldres y biscochos	W= 80 - 110	Panificaciones muy rápidas-mecanizadas. Con fermentación máx. de 90 min. Para magdalenas y otras elaboraciones abischochadas
P/L= 0.4 - 0.6		P/L= 0.2 - 0.3	
P= 40 - 65		P= 30 - 40	
L= 100 - 120		L= 60 - 75	
Gluten seco= 8 - 11%		Gluten seco= 7 - 9%	
No. De Falling= 27 -330seg.		No. De Falling= 250-00seg.	
Índice de Maltosa= 1.8 - 2.2		Índice de Maltosa=1.6-8	

Fuente: CANIMOLT, 2005.

1.2.2 Proteínas de la harina de trigo

Las proteínas de la harina de trigo pueden clasificarse con base en: solubilidad y funcionalidad

Con base en su solubilidad: Esta clasificación fue desarrollada por Osborne consiste en una serie de extracciones consecutivas con: agua, solución de sal diluida, solución de alcohol y solución de ácidos o álcalis diluidos. Usando esta secuencia de separación, las proteínas se pueden clasificar en albúminas, globulinas, gliadinas y gluteninas respectivamente. La tabla 3, muestra las proteínas presentes en las diferentes fracciones, además su papel biológico y funcional (De la Vega, 2009).

Tabla 3. Proteínas presentes en las fracciones de Osborne

Fracción Osborne	Comportamiento en solubilidad	Composición	Papel biológico	Papel funcional
Albúminas	Extraíbles en agua	Proteínas no del gluten (principalmente monoméricas)	Proteínas estructurales y metabólicas	Variable
Globulinas	Extraíbles en sales diluidas	Proteínas no del gluten (principalmente monoméricas)	Proteínas estructurales y metabólicas	Variable
Gliadinas	Extraíbles en soluciones de alcohol	Proteínas del gluten (principalmente gliadinas monoméricas y polímeros de glutenina de bajo peso molecular)	Proteínas de almacenamiento de la semilla tipo prolaminas	Viscosidad a la masa/ extensibilidad
Gluteninas	Extraíbles en ácido acético diluido	Proteínas del gluten (principalmente polímeros de glutenina de alto peso molecular)	Proteínas de almacenamiento de la semilla tipo prolaminas	Elasticidad a la masa/ tenacidad
Residuo	Sin extraer	Proteínas del gluten (Polimeros de alto peso molecular) y proteínas no del gluten poliméricas (trincinas)	Proteínas de almacenamiento de la semilla tipo prolamina (gluten) y tipo globulinas (trincinas)	Variable

Fuente: De la Vega, 2009.

Las fracciones de Osborne no proporcionan una clara separación entre las proteínas para poder diferenciarlas bioquímicamente, genéticamente o en funcionalidad durante la elaboración de pan. Actualmente los nombres gliadinas y gluteninas son generalmente

usados para indicar la relación bioquímica/funcionalidad de las proteínas en lugar de la exclusiva solubilidad de la fracción de Osborne (De la Vega, 2009).

Con base a su funcionalidad: Las proteínas no pertenecientes al gluten representan entre un 15–20 % del total de las proteínas del trigo, principalmente se encuentran en las capas externas del grano de trigo y en bajas concentraciones en el endospermo. Estas proteínas son extraídas en soluciones de sales diluidas y por lo tanto se encuentran en las fracciones de Osborne de albúminas y globulinas. En su mayor parte son proteínas monoméricas, estructurales o fisiológicamente activas (enzimas). No obstante, a estas proteínas también pertenecen un grupo secundario de proteínas poliméricas de almacenamiento, llamadas triticinas, que pertenecen a la clase globulinas de las proteínas de almacenamiento de la semilla.

Las proteínas del gluten representan entre un 80–85 % del total de las proteínas del trigo, representan la mayor parte de las proteínas de almacenamiento. Pertenecen a la clase de prolaminas. Las proteínas del gluten se encuentran en el endospermo del grano de trigo maduro donde forman una matriz continua alrededor de los gránulos de almidón. Las proteínas de gluten son en gran parte insolubles en agua o en soluciones de sales diluidas. Pueden distinguirse dos grupos funcionalmente distintos de proteínas de gluten: gliadinas que son monoméricas y gluteninas que son poliméricas y estas últimas se subclasifican en extraíbles y no extraíbles. Las gliadinas y gluteninas se encuentran normalmente en una relación 50/50 en el trigo (De la Vega, 2009).

1.2.3 El gluten

Recibe el nombre de gluten debido a su capacidad para aglutinarse cuando se mezcla con agua dando una red o malla que recibe igualmente el nombre de gluten. Esta propiedad que poseen las proteínas del trigo y que (salvo raras excepciones como el centeno) no poseen las proteínas de otros cereales, es la que hace panificables las harinas de trigo y la que proporciona las características plásticas de la masa de pan (Mesas & Alegre, 2002).

Las proteínas del gluten son responsables, no sólo de estas propiedades de la masa, sino también de la habilidad de la masa para retener gas (CO₂), producido por las levaduras durante la fermentación. Esto permite que la red de gluten se expanda, resultando en una estructura liviana, porosa y desmenuzable, la cual es fijada por cocción (Álvarez, 2000).

1.3 PANIFICACIÓN

1.3.1 Origen

El pan constituye la base de la alimentación desde hace 7000 u 8000 años. 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 ser que fue en Egipto 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 (Mesas & Alegre, 2002).

1.3.2 Ingredientes de la panificación y su función

1.3.2.1 Harina:

La harina de trigo es la más extendida para la elaboración de pan, pero existen numerosos subtipos dependiendo principalmente de su contenido en proteínas y de la capacidad de estas para formar gluten, pero también en función de si las masas resultantes son más o menos tenaces o extensibles.

Harina de fuerza o fuerte: Harina elaborada a partir de trigos duros, ricos en gluten, de gran tenacidad, por cuya razón absorben más cantidad de líquido que ninguna otra clase. Soportan mejor la carga de huevos, azúcar y grasa y tienen gran tolerancia a las fermentaciones prolongadas. En consecuencia, son las indicadas para la elaboración de panes o productos de bollería ricos en elementos grasos y azúcares y que deban someterse a larga fermentación.

Harina de media fuerza o semi-fuerte: Suelen ser mezclas ya provenientes de fábrica. Son por tanto harinas ya equilibradas para la elaboración de masa de hojaldre y de fermentaciones medias, como croissants, buñuelos, todo tipo de bollería normal y hojaldrada. También a partir de harinas fuertes y flojas podemos hacer nosotros mismos las mezclas que consideremos más oportunas para llegar al mejor resultado final.

Harina floja: Contiene un elevado porcentaje de almidón y poca cantidad de gluten o un gluten poco activo, es de tacto suave y de color más blanco (Martín, 2010).

1.3.2.2 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. 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.

1.3.2.3 Sal:

Su objetivo principal es dar sabor al pan. 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.

1.3.2.4 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 CO₂. El CO₂ producido queda atrapado en la masa, lo cual la esponja y aumenta de volumen. A este fenómeno se le denomina levantamiento de la masa. 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 (Mesas & Alegre, 2002).

1.3.2.5 Azúcar:

- Endulzar. Es la principal función que se espera de los azúcares aportados a las masas fermentadas.
- Estabilizar y controlar la fermentación. Con la adición de pequeña cantidad de azúcares la fermentación se desarrolla más rápidamente, pero a medida que se va aumentando la dosificación la fermentación puede incluso paralizarse, debido al aumento progresivo de la presión osmótica. De tal forma que cuando se aumente la cantidad de azúcar más levadura hay que añadir.
- Alimento de la levadura. La sacarosa puede ser desdoblada en azúcares simples fermentables por la levadura. La dextrosa o glucosa adicional es directamente fermentable, por lo que añadida en pequeñas cantidades aportan una fuente de carbohidratos para iniciar y mantener la actividad de la levadura durante la fermentación.

- Proporcionar volumen a la pieza. Junto con el resto de ingredientes, en los productos de bollería ayudan a proporcionar la miga más suave y blanda y al desarrollo de la pieza en el horno.
- Aroma y sabor. El desarrollo con ciertos compuestos son los responsables del sabor y el aroma. Actúa como conservante. Con la mayor adicción de azúcares y sobre todo de aquellas masas batidas (magdalenas, bizcochos, etc.) se inhibe en gran medida la actuación de hongos en los productos.
- Colorido en la corteza. La reacción de los azúcares (glucosa, maltosa y fructuosa) y las proteínas con el calor y el vapor desprendido durante la cocción proporcionan el colorido de la corteza.
- Humectantes. Los azúcares prolongan la vida de las elaboraciones al retener más humedad (Martín, 2010).

1.3.3 Productos de la panificación

Los productos de estos se refieren a los obtenidos de las mezclas de harinas de cereales o harinas integrales o leguminosas, agua potable, fermentados o no, pueden contener: sal comestible, mantequilla, margarina, aceites comestibles hidrogenados o no, leudante, polvo de hornear, especias y otros ingredientes opcionales tales como, azúcares, mieles, frutas, jugos u otros productos comestibles similares, pueden emplear o no aditivos para alimentos; sometidos a proceso de horneado, cocción o fritura; con o sin relleno o con cobertura, pueden ser mantenidos a temperatura ambiente, en refrigeración o en congelación según el caso (CANIMOLT, 2005).

1.3.4 Definición y clasificación del pan

La NMX-F-516-1992 clasifica y define a los diferentes productos de panificación de acuerdo a su composición y tipo de proceso y/o fermentación, en los siguientes:

TIPO I: Pan Blanco, Bolillo y Telera

TIPO II: Pan de Harinas Integrales

TIPO III: Pan, Productos de Bollería

TIPO IV: Pan Dulce

TIPO V: Galletas

TIPO VI: Pastas secas

TIPO VII: Pastel

TIPO VIII: Pay o Tarta

El pay se encuentra en un tipo de pan diferente a los demás debido a que tiene características únicas y lo define como el producto elaborado con harina en cualquiera de sus tipos, azúcares, agua potable, sal yodada, adicionada o no de grasas y/o aceites

comestibles, con o sin levadura o leudante químico, ingredientes opcionales y aditivos alimentarios permitidos por la Secretaría de Salud (NMX-F-516-1992).

1.4 DEFINICIÓN DE PAY

Pay o Tarta es el producto elaborado con harina en cualquiera de sus tipos o galleta molida, azúcares, agua potable, sal yodatada, con o sin levadura o leudante químico, grasas y/o aceites comestibles, ingredientes opcionales y aditivos alimentarios permitidos por la Secretaría de Salud; con los que se elabora una pasta moldeada (Figura 4) en forma de corteza para contener un mínimo de 30 % de relleno dulce o salado. Éste puede ser cubierto o no, horneado, frito o congelado (NMX-F-516-1992).

Según Larousse (2018) el Pay es una preparación tradicional de la cocina anglosajona. La palabra designa en inglés una empanada, una tarta o una torta. El pay en el Reino Unido y en Estados Unidos, se sirven como entrante, como plato principal o como postre.



Figura 4. Pay

Fuente: Kitchen nine, 2018

El pay de postre se elabora de dos formas: cociendo frutas entre dos láminas de pasta o llenando una pasta pre-cocida o parcialmente cocida con una preparación ligada con huevo y se terminan de cocer en el horno (Larousse, 2018).

1.4.1 Aporte nutricional de un pay

Como se acaba de mencionar, el pay es un producto de la panificación por lo que uno de los principales ingredientes es la harina refinada de trigo la cual como analizamos unos párrafos antes, en el proceso de la molienda, el trigo pierde componentes que incrementan su valor nutricional, de igual formas la base se realiza con grasas que ayudan a que la textura sea suave y crujiente. Por otra parte el relleno igualmente está elaborado con altas concentraciones de azúcares, por lo que puede que aunque es de fácil acceso y

fácil consumo no sea la mejor opción si buscamos nutrinos. La tabla 4 muestra la información nutrimental de una base para pay comercial.

Tabla 4. Información nutrimental de una base para pay

Información nutrimental de una base para pay			
Porción		100 gr	
Calorías	502	Sodio	0,357 g
Grasas totales	28,6g	Potasio	0mg
Saturadas	16,7g	Carbohidratos totales	61,9g
Monoinsaturados	0g	Azucares	23.8g
Trans	0g	Proteínas	4.76g
Colesterol	0mg		
Vitamina A	0%	Calcio	0%
Vitamina C	0%	Hierro	0%

Fuente: Open food facts, 2018

Las calorías aproximadas de este pay es una cuarta parte de las calorías que se deberían ingerir en un día en la dieta de un consumidor, y las proteínas son muy bajas, mientras que las grasas saturadas que se encuentran en un pay llegan a ser más del doble en porcentaje que las proteínas, lo que nos deja ver que no es un alimento saludable, y podría catalogarse como un alimento chatarra.

Por este motivo proponemos la elaboración de una base para pay con harinas de calidad proteica provenientes de superalimentos como lo son el amaranto y la chía. Reduciendo el aporte de grasas saturadas e introduciendo grasas insaturadas, provenientes de la semilla de chía, así como todos sus beneficios antioxidantes, fibra dietética, entre otros.

1.5 SUPERALIMENTOS

El término "Superalimento" fue difundido por el Dr. Steven Pratt, el cual fue autor del *best-seller Superalimentos RX 14, alimentos que pueden cambiar tu vida*. Esta palabra la usó para referirse a alimentos que en su composición natural (sin agregados ni procesos químicos) contienen nutrientes importantes para conservar la salud y la longevidad, a comparación de otros en su mismo grupo de alimentos. Son particulares por ser bajos en calorías, ayudan a prevenir y combatir varias enfermedades, son ricos en antioxidantes, esto último debido a que reducen el impacto de radicales libres en el organismo y retrasan el envejecimiento celular. Son altos en fibra y otros compuestos, que se han demostrado contener beneficios extra para salud, como por ejemplo el omega 3, ácidos grasos monoinsaturados y los polifenoles.

La Dra. Aurora Serralde, define a un superalimento como aquel que por su composición, es el más representativo de su grupo de alimentos. Así también actúan en diversos procesos metabólicos que evitan la oxidación y el envejecimiento celular (Montero, 2010).

El amaranto y la chía son considerados superalimentos. Por un lado, la chía tiene alto contenido de ácidos grasos como el omega 3, fibra y antioxidantes (Carrillo-Gómez *et al.*, 2017). Por el otro, el amaranto es buena fuente de fibra, ácidos grasos monoinsaturados (omega 3 y 6) y escualeno, antioxidantes y calcio (Montero, 2010). Estos nutrimentos son indispensables en el buen funcionamiento celular y ayudan a prevenir enfermedades crónico-degenerativas como las cardiovasculares o el cáncer.

Por este motivo se pensó en integrar estos dos granos a la formulación de una base para pay para mejorar su calidad nutrimental, porque es un producto con alto nivel de consumo, pero con bajo valor nutricional.

1.6 AMARANTO

1.6.1 Origen

Fue cultivado y utilizado desde la época prehispánica por diferentes culturas del centro del país. Se estima que se aprovechaba desde hace 5,000 a 7,000 años aproximadamente. Entre los nahuas, se conocía como huatli tanto la planta como la semilla. La planta se utilizaba como verdura y en la preparación de tamales y tortillas. Con los granos preparaban una harina que servía de alimento en viajes o recorridos largos, y que, amasada con maíz molido y miel de maguey, denominado así tzoalli, elaboraban diversas figuras, como pequeñas estatuas de sus dioses (CONABIO, 2014).

Su importancia alimentaria y religiosa fue similar al maíz, el frijol, el chile, la calabaza y, junto con estos y otros productos, eran tributados desde distintas provincias al imperio Azteca. En la actualidad ha sido altamente revalorado por su contenido nutricional, sus ventajas agronómicas, al relativo fácil manejo para su procesamiento y usos en distintos ámbitos (Asociación Mexicana del Amaranto, 2003).

1.6.2 Clasificación taxonómica, botánica y morfología de la planta

Reino: Vegetal

División: Fanerogama

Tipo: Embryophyta siphonogama

Clase: Dicotiledoneae

Subclase: Archyclamidaeae

Orden: Centrospermales

Familia: Amaranthaceae

Género: *Amaranthus*

Especies: *hypochondriacus*.

Diferentes plantas que en México conocemos como amarantos, alegrías, bledos, quelites o quintoniles, pertenecen al género *Amaranthus* de la familia *Amaranthaceae*. Esta familia comprende cerca de 65 géneros y 900 especies de hierbas distribuidas en zonas tropicales y subtropicales del mundo y pocas en zonas templadas. El género *Amaranthus*, que en griego significa "imperecedero", incluye cerca de 70 especies, de las cuales 40 (60%) son nativas del Continente Americano y el resto de Australia, África, Asia y Europa. Pueden crecer de unos cuantos centímetros hasta cerca de 3 metros en las variantes cultivadas (CONABIO, 2014).

1.6.3 Estructura del grano de amaranto

El amaranto presenta un grano pequeño, de cerca de 0.9 a 1.7 mm. Las semillas son lisas, brillantes y de color amarillo crema o doradas, poseen notables propiedades nutricionales y se considera un pseudocereal (Roa-Acosta, González-Callejas & Calderón-Yonda, 2017). La figura 5 muestra en detalle dos cortes de la semilla donde se puede apreciar la distribución de las diferentes partes del grano.

El pericarpio es una capa de células pigmentadas y cumple la función de protección de la semilla. Está fuertemente asociada con el perisperma, no observándose paredes celulares entre ambas estructuras. El embrión está unido a las células de la gruesa pared del endospermo (Roa, 2015).

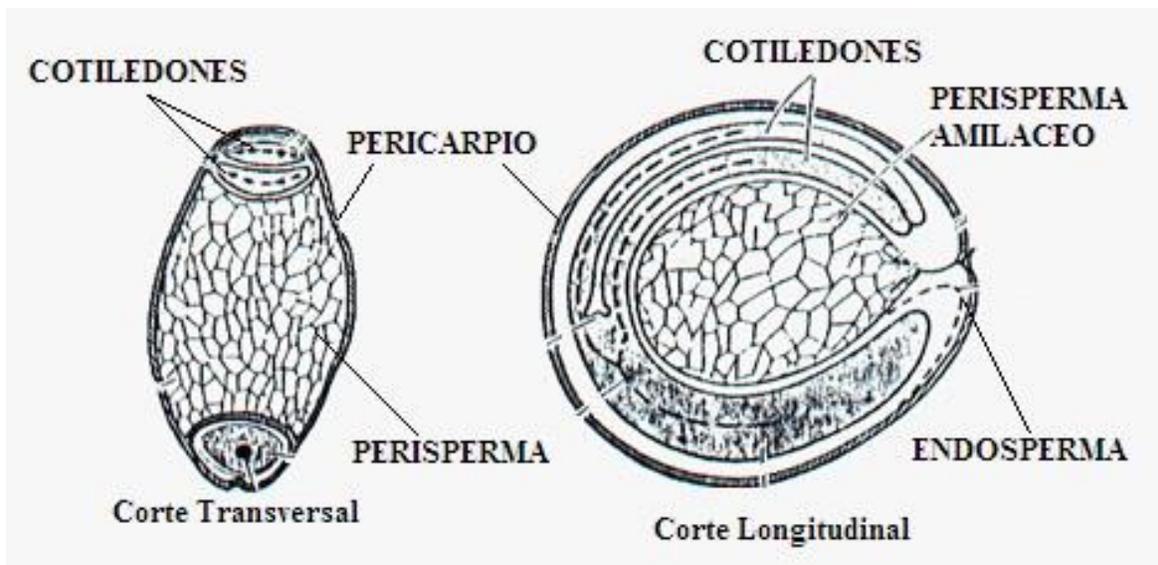


Figura 5. Estructura morfológica del grano de amaranto.

Fuente: Roa, 2015

El endospermo se consume durante el desarrollo del embrión hasta casi desaparecer en la semilla madura. La mayor porción del endospermo remanente está unida al pericarpio alrededor de la radícula y alrededor de las puntas de los cotiledones que es la parte más rica en proteínas. El embrión de forma anular, se localiza periféricamente al perisperma, sus células varían en forma y tamaño, conteniendo cuerpos esféricos incrustados en una matriz esponjosa.

Mientras que, el perisperma constituye el tejido de almacenamiento, sus células presentan pequeños gránulos poliédricos que contienen almidón formado por amilosa y amilopectina. Debido a la estructura y morfología del amaranto, es posible obtener diferentes fracciones con distinta composición, por medio de diferentes métodos de molienda, con el fin de diversificar el uso industrial del grano (Roa, 2015).

1.6.4 Calidad nutricional del amaranto

El amaranto se considera un importante complemento en las dietas a base de cereales, y especialmente benéfico en la alimentación de niños, mujeres embarazadas o en fase de lactancia, por su alto contenido en proteínas (16%) y además por ser rico en lisina, aminoácido esencial en la nutrición humana, escaso en los cereales comunes (Asociación Mexicana del Amaranto, 2003).

Según la FAO y la OMS, sobre un valor proteico ideal de 100, el amaranto posee 75, la leche vacuna 72, la soja 68, el trigo 60 y el maíz 44. Además, la digestibilidad de su grano es del 93%. Cuando se realizan mezclas de harina de amaranto con harina de maíz, la

combinación resulta excelente, llegando a índices cercanos a 100, porque el aminoácido que es deficiente en uno abunda en el otro. A su vez, el grano de amaranto no posee gluten, por lo que es un alimento apto para celíacos (Asociación Mexicana del Amaranto, 2003).

El componente principal en la semilla del amaranto es el almidón, representa entre 50 y 60% de su peso seco. El diámetro del gránulo de almidón oscila entre 1 y 3 micrones, mientras que los de maíz son hasta 10 veces más grandes y los de la papa pueden ser hasta 100 veces mayores. Estas dimensiones reducidas del gránulo de almidón del amaranto facilitan su digestión, que resulta de 2.4 a 5 veces más rápida que el almidón de maíz.

El amaranto, como la caña de azúcar y otras plantas tiene un mecanismo fotosintético particular conocido como de tipo C4. Este mecanismo lo hace eficiente en condiciones de altas temperaturas, baja disponibilidad de agua y suelos salinos, por lo que se considera podría ser un cultivo alternativo en zonas semiáridas o de baja precipitación.

El amaranto fue seleccionado por la NASA para alimentar a los astronautas por su alto valor nutritivo, por su aprovechamiento integral, por la brevedad de su ciclo de cultivo y por su capacidad de crecer en condiciones adversas. Por todo ello, fue calificado por la NASA como cultivo CELSS (Controlled Ecological Life Support System: la planta remueve el dióxido de carbono de la atmósfera y, al mismo tiempo, genera alimentos, oxígeno y agua para los astronautas). El amaranto pasó a ser cultivado en los viajes espaciales desde 1985. Ese año, el amaranto germinó y floreció en el espacio durante el vuelo orbital de la nave Atlantis. El propulsor de este hecho fue el Dr. Rodolfo Neri Vela, primer astronauta mexicano (Asociación Mexicana del Amaranto, 2003).

1.6.4.1 Composición proximal del grano de amaranto

Durante últimos años, se han publicado varios trabajos donde el objeto de estudio fue el grano de amaranto y han proporcionado amplia información relacionada con los componentes y valor nutrimental del grano de amaranto, en la tabla 5 indica el porcentaje de cada componente químico que contiene el *Amaranthus hypochondriacus* que utilizamos como materia prima en este trabajo.

Tabla 5. Composición química proximal del grano de la especie *Amaranthus hypochondriacus* en base seca.

Componente	<i>Amaranthus hypochondriacus</i>
Proteína	15.6%
Grasa	6.1%
Fibra	5%
Cenizas	3.3%
Carbohidratos	70%

Fuente: Paredes, Guevara & Bello, 2006.

Los granos de amaranto contienen del 6 al 10% de aceite, el cual se encuentra principalmente en el germen. Este es predominantemente un aceite insaturado (76%) alto en ácido linoleico, el cual es esencial para la nutrición humana. En un estudio se determinó que los principales ácidos grasos en el aceite de amaranto son el palmítico en un porcentaje promedio de 18%, el ácido oleico que juntamente con el ácido linoleico hacen un total de 75% del total de ácidos grasos, y el ácido linoleico presente en un 3% del total de ácidos grasos (Rodas & Bressani, 2009).

En análisis hechos por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América encontraron que el aceite de amaranto contiene un 7% de escualeno; esta cantidad es mucho más alta que la encontrada en otros aceites de origen vegetal (Paredes *et al.*, 2006). El escualeno es un hidrocarburo natural conocido inicialmente por su papel clave como intermediario en la biosíntesis del colesterol. Recibió su nombre debido a su presencia en el aceite de hígado de tiburón. También puede ser un potencializador para algunos fármacos destinados a reducir el colesterol, como las estatinas. El uso terapéutico primario del escualeno se ha propuesto para la complementación de tratamientos en varios cánceres (Ronco, 2009).

Los granos de amaranto poseen un alto contenido de lisina, la cual es un aminoácido esencial para la nutrición humana; el contenido de este aminoácido oscila en general entre 4.6 y 6.4 g/100g de proteína, y también cantidades importantes de otros aminoácidos esenciales como se hace notar en la tabla 6, comparado con los valores requeridos que una persona adulta debe ingerir según la FAO (Paredes *et al.*, 2006).

Tabla 6. Composición de aminoácidos de la proteína total de amaranto (g/100g de proteína).

Aminoácido	Amaranto	Patrón (FAO/WHO/ONU) (Adultos)
<i>Isoleucina</i>	4	1.3
<i>Leucina</i>	6.2	1.9
<i>Lisina</i>	6.1	1.6
<i>Metionina</i>	2.3	1.7 ^a
<i>Cisteína</i>	3.9	
<i>Fenilalanina</i>	4.8	1.9 ^b
<i>Tirosina</i>	4.3	
<i>Treonina</i>	4.6	0.9
<i>Valina</i>	4.4	1.3
<i>Triptófano</i>	1.3	0.5
<i>Histidina</i>	2.7	1.6
<i>Arginina</i>	8.1	--
<i>Alanina</i>	3.9	--
<i>Ácido aspártico</i>	8.1	--
<i>Ácido glutámico</i>	16.6	--
<i>Glicina</i>	8.4	--
<i>Prolina</i>	4.6	--
<i>Serina</i>	8	--

^a Suma de metionina y cisteína.

Fuente: Paredes *et al.*, 2006.

^b Suma de fenilalanina y tirosina.

1.6.4.2 El amaranto como alimento funcional

Los alimentos funcionales son definidos por Agustín Olano (2005), como aquellos que además de satisfacer las necesidades nutricionales básicas, proporcionan beneficios para la salud o reducen el riesgo de sufrir enfermedades (Olano & Juárez, 2005).

El amaranto es el producto de origen vegetal más completo, es una de las fuentes más importantes de proteínas, minerales y vitaminas naturales: A, B, C, B1, B2 y B3; además de ácido fólico y una gran variedad de aminoácidos esenciales como la lisina, importante en el desarrollo del cerebro. Su riqueza nutricional es comparada con la leche materna (INIAP, 2011).

Además, posee propiedades antihipertensivas, antioxidantes, antitrombóticas e inhibitoras de la tirosinasa, causante del llamado paño que aparece sobre el rostro de personas en edad de madurez. Algunos biopéptidos del amaranto tienen la propiedad de ayudar a bajar la presión sanguínea, los antihipertensivos; otros tienen la capacidad de

disolver los coágulos que pueden obstruir las arterias, llamados antitrombóticos (Soriano, 2013).

La fibra que contiene supera incluso a la de otros cereales comunes, altamente recomendado en pacientes con diabetes mellitus, obesidad, hipertensión arterial, estreñimiento y diverticulosis entre otros. (Asociación Mexicana del Amaranto, 2003).

Alto contenido de ácidos grasos, ayuda a la reducción del colesterol, pueden reducir las enfermedades cardiacas en diabéticos, reducir tumores cancerígenos, desórdenes mentales como la depresión, ayuda a la piel y a tener menor sensibilidad a los rayos UV (Coronado, Vega, Gutiérrez, García & Díaz, 2006).

Las cualidades nutritivas del amaranto no pueden ser aprovechadas con la ingesta directa del grano, ya que se necesitan cantidades más concentradas que las que podemos comer como grano entero, por ejemplo, mediante el consumo de productos elaborados con harina de amaranto (Soriano, 2013).

1.6.5 El amaranto en México

El amaranto en México es cultivado en los estados de Guerrero, México, Morelos, Tlaxcala, Puebla, Distrito Federal, Michoacán y Oaxaca. Se usa en golosinas, como complemento alimenticio, en productos dietéticos y tiene un importante potencial en la industria por sus tipos de aceites, almidones y proteínas. Se ha conservado y continúa siendo importante en la agricultura tradicional, sin embargo, algunas variedades corren el riesgo de desaparecer por su cultivo limitado, sostenido por pocos agricultores y estos de edad avanzada (CONABIO, 2014).

El interés internacional ha favorecido mayor atención hacia su cultivo. Su conocimiento, colecta, caracterización, mejoramiento en México, se ha impulsado desde la década de 1980 y se ha continuado, aunque no de manera sostenida, hasta el presente. Existen también iniciativas de la sociedad civil y del sector privado para impulsar su cultivo, difusión, comercialización. La superficie sembrada de amaranto en 2012 en México fue de 3,336 hectáreas con una producción de 4,278 toneladas (CONABIO, 2014).

La CONABIO ha impulsado un estudio del estado del conocimiento del amaranto, con énfasis en sus regiones de distribución y su diversidad, a cargo de la Dra. Cristina Mapes, del Jardín Botánico de la UNAM, y del Dr. Eduardo Espitia, del INIFAP-Campo Experimental Bajío, en el marco del proyecto "Generación y recopilación de información de las especies de las que México es centro de origen y diversidad genética".

1.7 CHÍA

1.7.1 Origen

Salvia hispanica es conocida comúnmente como chía, esta palabra es una adaptación al español del nahuatl, en donde se pronuncia chían o chien en plural, término que significa "semilla de la que se obtiene aceite" (Guiotto, 2014). Es una especie anual nativa de Centroamérica, de zonas montañosas del oeste y centro de México, así como de Guatemala (Xingú *et al.*, 2017).

Para los Aztecas y Mayas represento un grano importante, usado: en alimentación, preparación de pinturas, elaboración de medicinas y en uso ceremonial mediante ofrendas. Los numerosos usos culinarios, medicinales, artísticos y religiosos convirtieron al grano y su harina en las materias primas más usadas de la época de la conquista española, y entre otros granos formaba la base de la alimentación de esta época (Xingú *et al.*, 2017).

Varios de los cultivos que tuvieron gran importancia en las dietas precolombinas fueron prohibidos por los españoles debido a su estrecha asociación con los cultos religiosos, siendo reemplazados por especies exóticas (trigo, cebada, arroz, entre otras) demandadas por los conquistadores. Dentro los cuatro cultivos básicos la chía y el amaranto perdieron su importancia y casi desaparecen, sin embargo, lograron sobrevivir debido a la conservación de algunas tradiciones precolombinas por parte de pequeños grupos de descendientes de las naciones Nahuatl (Guiotto, 2014).

Las semillas de chía se han reintroducido en los últimos tiempos nuevamente a las dietas, con la finalidad de mejorar la salud humana, recomendándose por sus altos niveles de proteínas, antioxidantes, fibra dietética, vitaminas y minerales (Xingú *et al.*, 2017).

1.7.2 Clasificación taxonómica y botánica

Reino: Vegetal o Plantae

División: Magnoliophyta o Angiospermae

Clase: Magnoliopsida o Dicotyledoneae

Orden: Lamiales

Familia: Lamiaceae

Subfamilia: Nepetoideae

Género: *Salvia*

Especie: *hispanica*

Son hierbas anuales o arbustos perennes, que contienen aceites esenciales en los pelos glandulares de sus hojas y tallos, motivo por lo cual han sido domesticadas para ser utilizadas como condimentos y en la elaboración de perfumes.

Su planta tiene una altura entre un 1 y 1.5 metros, y sus tallos son ramificados, de sección cuadrangular con pubescencias cortas y blancas. Las hojas opuestas con bordes aserrados miden de 80 a 100 cm de longitud, y 40 a 60 mm de ancho. Sus flores de color azul intenso (Figura 6) se producen en espigas terminales. Las semillas son ovales, suaves, brillantes y miden entre 1.5 y 2 mm de longitud. Según la variedad, su color puede ser blanco o negro grisáceo con manchas irregulares que tienden a un color rojo oscuro (Guiotto, 2014)



Figura 6. Planta de Chía
Fuente: Cuyoaromas, 2016

1.7.3 Chía en México

La chía es nativa de Centroamérica, zonas montañosas del oeste, como del centro de México. Se encuentra de forma silvestre en bosques de encino o pinos y se distribuye en ambientes semicálidos y templados. La semilla de chía fue reintroducida como cultivo, debido a que se han reintroducido a las dietas, buscando mejorar la salud. Por lo que su producción, consumo y demanda en México ha incrementado (Xingú *et al.*, 2017).

La producción en México se concentra en Jalisco y Puebla y comienzan a probar nuevas zonas con potencial productivo. En Jalisco 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. En México se ha observado un incremento gradual en la superficie sembrada, en 2006, según el SIAP solo se cultivaron 15 ha y 2014, 16,721 ha, incrementándose en 111,473% (Xingú *et al.*, 2017).

1.7.4 Valor nutricional

La chía es una planta bianual de la familia de la menta, cultivada principalmente por sus semillas. Estas contienen grasas saludables de las cuales un 60% aproximadamente es omega 3 (ácido alfa-linolénico o ALA) y un 20% es omega 6 (ácido linolénico). Ambos ácidos grasos son necesarios para el cuerpo humano y su buena salud ya que estos no pueden ser sintetizados de forma artificial (Carrillo-Gómez *et al.*, 2017).

Además, las semillas de chía nos aportan entre un 15% y un 25% de proteínas, aportándonos 19 aminoácidos, grasa (entre un 30% y un 33%), carbohidratos (entre un 26% y un 41%) y son ricas en fibra dietética (18-30%) además de minerales entre los que destaca el calcio, y vitaminas (Tabla 7). Contienen además una gran cantidad de antioxidantes (Carrillo-Gómez *et al.*, 2017).

Tabla 7. Composición química proximal de la semilla de chía.

Chía	
Humedad	6.2
Proteína	19.9
Grasa	27.9
Cenizas	4.5
Carbohidratos	8.5
Fibra	33

Fuente: Jiménez, Masson & Quitral, 2013.

La chía es valorada principalmente por su aceite. Las diferencias entre los métodos de extracción del mismo determinan su rendimiento, contenido y calidad de los ácidos grasos, la fibra total, así como antioxidantes. Además, esta semilla contiene entre 25 y 40% de aceite, posee AG (Ácidos grasos) esenciales (no sintetizados por el organismo humano) tanto insaturados como saturados en proporción 4:1, es de destacar el α -linolénico con 64% (AG poliinsaturado esencial de la serie omega 3) y el linoleico 20% (omega 6). Los omega 3 son esencialmente ácidos grasos poliinsaturados (DHA: ácido docosahexaenoico y EPA: ácido eicosapentaenoico) que derivan del ácido α -linolénico, pero el grado de conversión es reducido, de ahí la importancia del consumo de alimentos como la chía como fuente directa de estos ácidos grasos por su alto contenido (Carrillo-Gómez *et al.*, 2017).

La chía contiene fibra dietética, la cual ayuda a regularizar el tránsito intestinal, reduce los lípidos, la glucemia en diabéticos, entre otros beneficios. Por ello se utiliza como apoyo en los tratamientos para la pérdida de peso. Un estudio reveló que el consumo de harina de chía por 12 semanas en personas con sobrepeso y obesidad favoreció significativa pero discretamente la reducción de peso, la circunferencia de la cintura y mejoró el perfil lipídico, básicamente disminuyó el colesterol total y el aumento de colesterol HDL (lipoproteína de alta densidad), pero sólo en los grupos que ingirieron harina de chía y que iniciaron con valores iniciales anormales (Carrillo-Gómez *et al.*, 2017).

En cuanto al contenido de aminoácidos (componentes esenciales de las proteínas), la chía cuenta con ácido glutámico, arginina, leucina, valina, serina, fenilalanina, entre otros; éstos colaboran en la formación de tejidos, enzimas, compuestos del organismo como la sangre, hormonas, anticuerpos y material genético (Carrillo-Gómez *et al.*, 2017).

1.7.4.1 La chía como alimento funcional

La chía tiene alto contenido de ácidos grasos como el omega 3 y 6, que son denominados ácidos grasos esenciales, los cuales ayudan a prevenir enfermedades cardiovasculares, a normalizar la tensión arterial elevada, a mantener la flexibilidad de las membranas celulares, reducen el nivel de colesterol, protegen el corazón, mejoran la salud del sistema nervioso e inmunológico, entre otros.

En cuanto a los antioxidantes la chía contiene ácido cafeico, clorogénico y cinámico; junto con flavonoides (miricetina, quercetina y kaempferol). Su función principal es eliminar los radicales libres que se producen como resultado de la oxidación celular. Un número limitado y controlado de estos elementos resulta beneficioso para el organismo, por el papel que desempeñan en el organismo dentro del sistema inmunológico, dado que son capaces de eliminar microorganismos patógenos. Cuando el número de radicales libres aumenta y se inestabiliza produce resultados negativos (Carrillo-Gómez *et al.*, 2017).

1.8 ALIMENTACIÓN EN MÉXICO

En México se mantienen índices elevados de desnutrición, mientras aumentan las manifestaciones de mala nutrición por exceso; esto de acuerdo a la información de la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición realizada por el Instituto Nacional de Salud Pública. Los resultados muestran que, en 2012, 2.8% de los niños menores de cinco años se clasificaron con bajo peso; 13.6% con baja talla y 1.6% desnutrición aguda. Por otro lado, la prevalencia de sobrepeso y obesidad en menores de cinco años ha registrado un ligero ascenso a lo largo del tiempo el 7.8% de los niños presenta sobrepeso y el 9.7%

obesidad. Y en edad escolar de 5 a 12 años la prevalencia nacional de sobrepeso y obesidad fue de 34.4% (Gutiérrez *et al.*, 2013)

Los resultados de la ENSANUT indicaron que en el país amplios grupos de población consumen dietas altas en maíz y frijol y otros alimentos ricos en inhibidores de la absorción de minerales. Los resultados, indican que existen patrones de consumo asociados al desarrollo socioeconómico y la urbanización (Martínez & Villezca, 2005). La desnutrición, afecta de un modo significativo a la región sur del país, y la obesidad, lo hace en el norte, los dos contrastes se extienden a lo largo de todo el territorio mexicano, poniendo de manifiesto la necesidad de aumentar los esfuerzos en promover una dieta saludable y equilibrada en la alimentación del mexicano, pero con especial hincapié a niños, niñas y adolescentes (UNICEF México, 2010).

Actualmente, México ocupa el primer lugar mundial en obesidad infantil y en adultos, superado sólo por los Estados Unidos. Problema que está presente no sólo en la infancia y la adolescencia, sino también en población en edad preescolar (UNICEF México, 2010).

El concepto de la FAO acerca de una alimentación adecuada involucra los siguientes elementos: 1) la oferta de alimentos debe ser adecuada, es decir, que los tipos de alimentos disponibles en el país, en los mercados locales y, en definitiva, en los hogares, deben ajustarse a la cultura alimentaria; 2) la oferta disponible debe cubrir todas las necesidades nutricionales desde el punto de vista de la cantidad (energía) y la calidad (proporcionar todos los nutrientes esenciales); 3) los alimentos deben ser inocuos (sin tóxicos o contaminantes) y 4) los alimentos deben ser de buena calidad (Martínez & Villezca, 2005).

La principal causa del problema son los malos hábitos en la alimentación, que acaban desembocando en una prevalencia del sobrepeso en un 70% en la edad adulta. A largo plazo, la obesidad favorece la aparición de enfermedades tales como diabetes, infartos, altos niveles de colesterol o insuficiencia renal, entre otros. Actualmente, la diabetes es el mayor problema al que se enfrenta el sistema nacional de salud, ya que es la principal causa de muerte en adultos, la primera causa de demanda de atención médica y la enfermedad que consume el mayor porcentaje de gasto en las instituciones públicas. La experiencia demuestra que una correcta alimentación previene los problemas de sobrepeso y obesidad (UNICEF México, 2010).

Por eso en este trabajo se propone un producto que ya es conocido y consumido en la dieta del mexicano, como el pay, que está dentro de los panes dulces, sustituyendo, las harinas refinadas con las que es realizado, con harinas integrales de semillas altamente

nutritivas, que aportan múltiples beneficios a nuestra salud, pero que son poco consumidos, por los pocos productos en los que se incluyen. De esta manera, se pretende contribuir a que, sigan consumiendo productos como el pay, pero con mejor aporte nutritivo.

1.9 ANTI-NUTRIMENTALES

Este término 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 que provienen de alimentos generalmente de origen vegetal (proteínas y minerales); desde el punto de vista bioquímico estos factores son de naturaleza variada y pueden llegar a causar efectos fisiológicos poco deseables por la disminución en la asimilación de nutrientes (Elizalde, Porrilla & Chaparro, 2009).

Los factores antinutricionales son sustancias naturales no fibrosas, generadas por el metabolismo secundario de las plantas como mecanismo de defensa a situaciones estresantes o contra el ataque de mohos, bacterias, insectos y aves; 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 (Elizalde *et al.*, 2009).

1.9.1 Taninos

Los taninos están presentes en más de 500 especies de plantas y se acumulan en las cortezas, raíces, frutos, hojas y semillas. Son una clase de los compuestos fenólicos, con un sabor astringente y amargo, solubles en agua, alcohol y acetona. Antes se utilizaban como colorantes de pieles y alimentos. Tienen la capacidad de precipitar las proteínas, lo que hace que las pieles sean resistentes a ataques microbianos y a la putrefacción. Se les considera también como antioxidantes, con capacidad de atrapar los radicales libres.

La mayoría de los animales no metabolizan los complejos que se forman entre proteínas y taninos, lo que hace que se reduzca el valor nutritivo del alimento; las interacciones de estos dos conjuntos se favorecen a temperaturas altas y en ciertas condiciones de pH y fuerza iónica (Badui, 2013).

1.9.2 Inhibidores de tripsina

Los inhibidores de proteasas están comúnmente en los alimentos, su función es inhibitoria de los sistemas enzimáticos de sus depredadores, los microorganismos e insectos. Una gran cantidad de alimentos de origen vegetal presentan estos inhibidores, como las semillas. Los inhibidores de proteasas más estudiados son los de tripsina, dado que es una

enzima digestiva de gran importancia en la digestión de monogástricos, como el hombre (Badui, 2013).

1.9.3 Ácido fítico

El ácido fítico se encuentra naturalmente en diferentes alimentos, principalmente cereales, como un complejo de fitato-mineral-proteína. Este compuesto tiende a disminuir la unión gastroferrina y la absorción del calcio, magnesio, fósforo, zinc y molibdeno en el intestino (Badui, 2013).

El ácido fítico forma complejos con minerales (calcio, hierro zinc) y/o proteínas. El fitato puede reaccionar con los grupos α -amino y ϵ -amino de la lisina, con el grupo imidazol de la histidina y con el grupo guanidilo de la arginina. Muchos de estos complejos son insolubles y biológicamente no disponibles para los seres humanos en condiciones fisiológicas normales. Además, son difícilmente atacados por las enzimas digestivas. Estos complejos fitato-proteínas provocan una disminución de la solubilidad y digestibilidad de las proteínas, así como la inhibición de enzimas digestivas como la pepsina, la tripsina y la α -amilasa. El ácido fítico es el principal factor responsable de la disminución en la biodisponibilidad del hierro (Gil, 2010).

1.10 INGREDIENTES FUNCIONALES

1.10.1 Antioxidantes

Los antioxidantes son sustancias existentes en algunos alimentos que actúan protegiendo al organismo de la acción de los radicales libres, causantes de los procesos de envejecimiento y de algunas otras enfermedades. Los radicales libres son moléculas con átomos que tienen un electrón desapareado, por lo que son muy reactivas. Estos radicales recorren el organismo intentando captar un electrón de las moléculas estables, con el fin de lograr su estabilidad electroquímica y con reacciones en cadena potencialmente destructoras de las células del cuerpo (Badui, 2010).

Los antioxidantes retrasan el proceso de envejecimiento combatiendo la degeneración y muerte de las células que provocan los radicales libres. La incapacidad del cuerpo humano para neutralizar a los radicales libres a los que está expuesto diariamente, obliga al hombre a recurrir a alimentos con propiedades antioxidantes con la capacidad de neutralizarlos (Gutiérrez, Ledesma, García & Grajales 2007).

Existen alimentos que contienen una gran variedad de fitonutrientes, muchos de los cuales tienen propiedades antioxidantes. Además de las bien conocidas vitaminas C y E y los carotenoides, existen otros compuestos como los flavonoides (Incluyendo flavonas,

isoflavonas, flavononas, antocianinas y catequinas) que son fuertes antioxidantes y que contribuyen significativamente a la capacidad antioxidante total (Gutiérrez *et al.*, 2007).

La chía contiene ácido cafeico, clorogénico y cinámico; junto con flavonoides (miricetina, quercetina y kaempferol) (Carrillo-Gómez *et al.*, 2017). En el amaranto se han encontrado fitoesteroles, antocianinas, fenoles, betacianinas, betaxantinas, nicotiflorina, isoquercetina, ácido *p*-hidroxibenzoico, ácido *p*-cumárico, vitamina C y beta caroteno (Algara, Gallegos & Reyes, 2016).

1.10.2 Fenoles

Los compuestos fenólicos son un gran grupo de antioxidantes naturales; fuentes importantes de estos son las frutas, vegetales y cereales. Según evidencias epidemiológicas consumir estas fuentes frecuentemente provocan una disminución de riesgo de enfermedades cardiovasculares, y ciertas formas de cáncer (Muñoz *et al.*, 2007).

Diferentes estudios han mostrado que los radicales libres presentes en el organismo humano causan daño oxidativo a diferentes moléculas, tales como lípidos, proteínas y ácidos nucleicos y tiene que ver con la iniciación de algunas enfermedades degenerativas. Estos componentes antioxidantes son capaces de neutralizar radicales libres, y pueden jugar un papel importante en la modulación de detoxificación enzimática, estimulación del sistema inmune, disminución de la agregación plaquetaria y modulación del metabolismo hormonal (Muñoz, Ramos-Escudero, Alvarado-Ortiz & Castañeda, 2007).

1.10.3 Fibra dietética

La fibra dietética está formada por polímeros de carbohidratos y polisacáridos no amiláceos que son los principales componentes de las paredes de las células vegetales. Éstos incluyen a la celulosa, las hemicelulosas y las pectinas, así como otros polisacáridos provenientes de vegetales y algas, como las gomas y los mucílagos. Otros componentes incluidos son los polisacáridos de reserva no digeribles, como la inulina y el almidón resistente (Gray, 2006).

Otras investigaciones también incluyen a los carbohidratos análogos no digeribles, que pasan a través del intestino delgado sin cambios. Ejemplos de éstos son el almidón resistente, las maltodextrinas resistentes, los fructooligosacáridos y los galactooligosacáridos, así como las celulosas modificadas y los polímeros de carbohidratos sintetizados, como la polidextrosa. La última definición propuesta por el Codex Alimentarius incluye polímeros de carbohidratos con un grado de polimerización

no menor a 3. Éstos pueden estar presentes naturalmente en los alimentos o pueden extraerse de materias primas alimentarias o sintetizarse (Gray, 2006).

La fibra dietética (carbohidratos no digeribles) que llegan al intestino grueso suavizan la consistencia de las heces, aumentan su peso y la frecuencia de la defecación. Cuando hay una mayor ingesta de fibra dietética, el peso de las heces tiende a ser mayor y el tiempo de tránsito más corto. Ambos factores pueden contribuir a la prevención de importantes trastornos del intestino grueso, como el estreñimiento, la diverticulitis y el cáncer. El consumo de fibra dietética se asocia inversamente con el índice de masa corporal. Hay algunas indicaciones acerca de que las fibras viscosas como las pectinas y la goma guar retrasan el vaciamiento gástrico y que los almidones de digestión lenta y el almidón resistente aumentan la saciedad (Gray, 2006).

Con base en los antecedentes anteriores, se propone elaborar un producto que se consume cotidianamente en la dieta del mexicano como es el pay, pero modificando sus ingredientes para mejorar su calidad nutricional, con granos como la Chía y el Amaranto que son ricos en nutrientes, además, al ser originarios de nuestro país, son accesibles y económicos.

2 METODOLOGÍA

2.1 Objetivos

2.1.1 Objetivo General:

Desarrollar una formulación de una base para pay con harina de amaranto y chía con buenas características sensoriales para mejorar su calidad nutrimental.

2.1.1.1 Objetivos particulares:

Objetivo Particular 1

Analizar químicamente las harinas de amaranto y chía utilizados como materia prima mediante un análisis químico proximal para comparar su calidad química.

Objetivo Particular 2

Establecer una formulación para elaborar una base para pay con diferentes porcentajes de harinas de chía y amaranto que permitan obtener buenas características sensoriales de la masa y del producto final.

Objetivo Particular 3

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

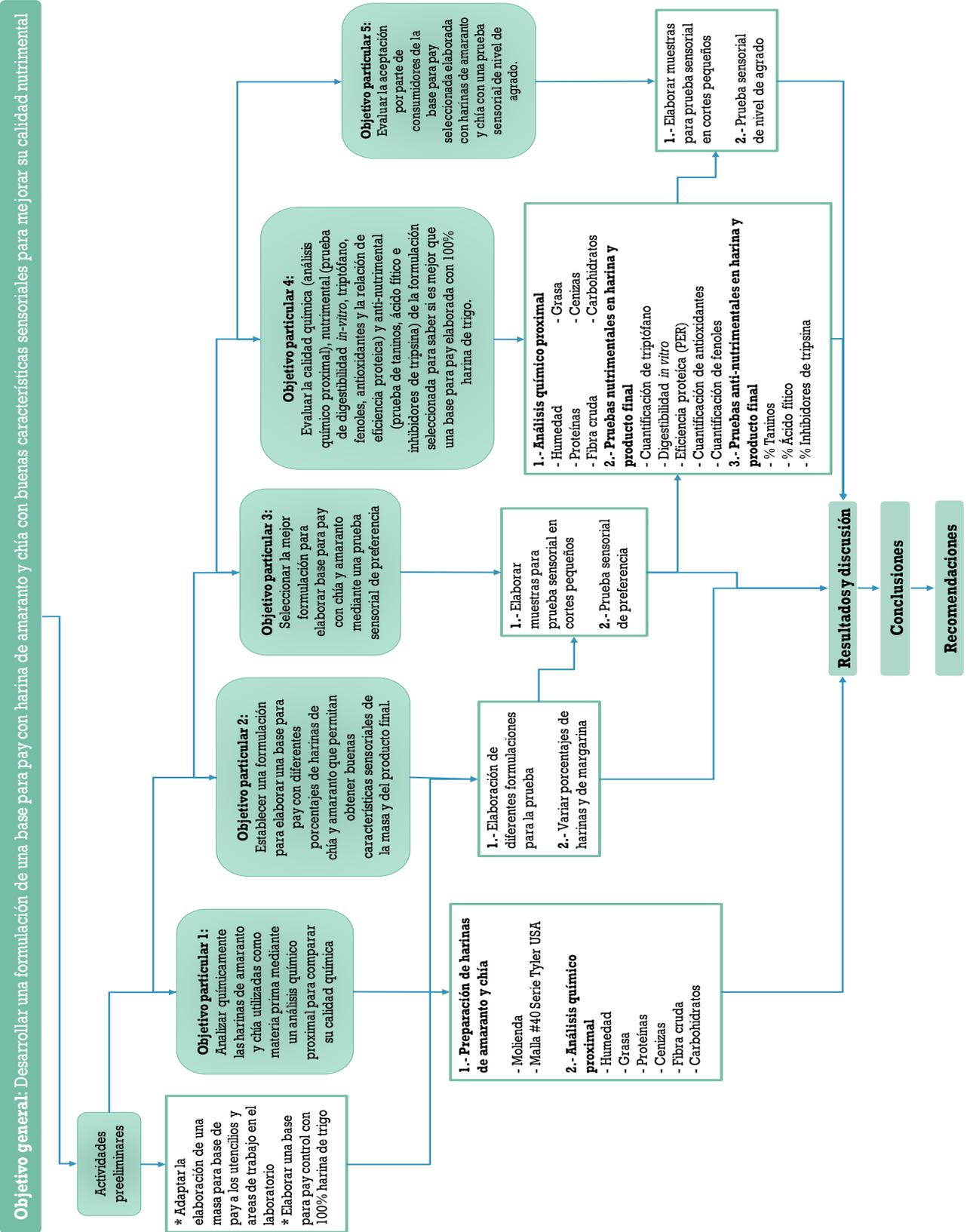
Objetivo Particular 4

Evaluar la calidad química (análisis químico proximal), nutrimental (prueba de digestibilidad *in-vitro* e *in vivo*, triptófano, fenoles, antioxidantes y la relación de eficiencia proteica) y anti-nutrimental (prueba de taninos, ácido fítico e inhibidores de tripsina) de la formulación seleccionada para saber si es mejor que una base para pay elaborada con 100% harina de trigo.

Objetivo Particular 5

Evaluar la aceptación por parte de consumidores de la base para pay seleccionada elaborada con harinas de amaranto y chía con una prueba sensorial de nivel de agrado.

2.2 CUADRO METODOLÓGICO



2.3 MATERIALES Y MÉTODOS

2.3.1 Preparación de la muestra

Se utilizaron semillas de amaranto (*Amaranthus hypochondricus L.*) cosecha 2013, variedad Tulyehualco, semillas de chíá (*Salvia hispanica L.*) del estado de Jalisco, cosecha 2017; las cuales se molieron en un molino para café marca Krups® y a continuación se hicieron pasar por una malla #40 USA serie Tyler, se colocaron en frascos de vidrio con tapa y se mantuvieron en refrigeración hasta su uso.

2.3.2 Análisis químico proximal

Se realizó un análisis químico proximal (A.O.A.C, 2005) a las materias primas (Harina de trigo, harina de amaranto, harina de chíá), posteriormente al producto, tanto al control (100% harina de trigo), como al producto elegido elaborado con chíá y amaranto.

2.3.2.1 Determinación de humedad

TÉCNICA 920.53: SECADO POR ESTUFA

FUNDAMENTO: Pérdida de peso de la muestra por evaporación del agua. El resultado se expresó como porcentaje de humedad (A.O.A.C, 2005).

Metodología:

1. Se pesaron 3 g de muestra triturada en cajas de aluminio a peso constante.
2. Se metieron a la estufa durante 1 hora (Figura 7) a una temperatura de 130 °C.
3. Pasado el tiempo se pasaron a un desecador las cajas de aluminio y se dejaron enfriar por 10 minutos (Figura 8).
4. Después se pesaron las cajas en la balanza analítica y se repitió la operación hasta llegar a peso constante.

Cálculos:

$$\% \text{ Humedad} = \left[\frac{W_2 - W_3}{W_1} \right] * 100 \text{ ec. ... (1)}$$

Dónde:

W_1 = Peso de la muestra (g)

W_2 = Peso de la muestra húmeda (g)

W_3 = Peso de la muestra seca (g)



Figura 7. Cajas de humedad en estufa



Figura 8. Cajas de humedad en desecador

2.3.2.2 Determinación de extracto etéreo

TÉCNICA 920.39: MÉTODO DE SOXLET

FUNDAMENTO: Extracción continua con un disolvente orgánico, el disolvente se calienta, se volatiliza y condensa goteando sobre la muestra la cual queda sumergida en el disolvente. El contenido de grasa se cuantifica por diferencia de peso. El resultado se expresó como porcentaje de grasa extraíble (A.O.A.C, 2005).

Metodología:

1. Se colocaron en pañuelos de forma envolvente, muestra seca obtenida de la determinación de humedad.
2. La muestra envuelta se colocó en cartuchos de celulosa y se montó el equipo de destilación (Figura 9) con un matraz bola a peso constante, se destiló durante 2 horas.
3. Una vez pasado el tiempo se vació el hexano, y se retiró el cartucho de celulosa.
4. Se espera a que termine de evaporarse el hexano y queda la grasa libre.
5. Se retiró el matraz, se colocó en una estufa a 110 °C por 1 hora, se dejó enfriar y se pesó hasta llegar a peso constante.

Cálculos:

$$\% \text{ Grasa extraíble} = \left(\frac{W_2 - W_3}{W_1} \right) * 100 \text{ ec. ... (2)}$$

Dónde:

W_1 = Peso de la muestra (g) antes de la desecación

W_2 = Peso del matraz sin grasa (g)

W_3 = Peso del matraz con grasa



Figura 9. Equipo destilación soxlet

2.3.2.3 Determinación de proteína

TÉCNICA 954.01: MÉTODO DE MICRO-KJELDAHL

FUNDAMENTO: El método Kjeldahl es la técnica para determinación de nitrógeno total. Donde en una combustión húmeda con H_2SO_4 y en presencia de un catalizador metálico se transforman las sustancias nitrogenadas en sulfato de amonio valorable con desprendimiento de CO_2 y formación de agua (digestión), para después realizar una destilación para obtener el NH_3 libre a partir de NH_4SO_4 agregando NaOH 40%. El destilado se hizo hacia una solución HBO_3 al 40% quedando atrapado el NH_3 para finalmente titular el exceso de ácido con HCL 0.1N (A.O.A.C, 2005).

Metodología:

1. Se pesó 0.1 g de muestra y se colocó en un matraz micro-kjeldahl, con 1.5 g de K_2SO_4 , 0.2 g de $CuSO_4$ con 2 mL de H_2SO_4 .
2. Se colocaron en una parrilla eléctrica para que se llevara a cabo la digestión, durante 1 hora (Figura 10).
3. Finalizado el tiempo se dejaron enfriar y se les colocó agua para evitar la cristalización.
4. Se agregó la solución en el destilador (Figura 11) y enseguida se vació el NaOH 40%.
5. La destilación iba dirigida a un matraz Erlenmeyer con 50 mL de HBO_3 al 40%, se dejó hasta que llegó a 100 mL y se retiró.
6. Después, se tituló con HCL 0.1 N, los mililitros gastados fueron los utilizados en la ecuación 3.

Cálculos:

$$\text{Nitrógeno total} = \frac{V * N * 0.014}{W} * 100 \text{ ec. ... (3)}$$

$$\% \text{ Proteína} = (\% \text{ Nitrogeno total})(F) \text{ ec. ... (4)}$$

Dónde:

V= Volumen de NaOH gastado en la muestra (mL)

N= Normalidad del NaOH

W= Peso de la muestra (g)

F= Factor de conversión de nitrógeno a proteína (5.83 Trigo, para la formulación seleccionada se calculó con el promedio de los factores de trigo-amaranto-chía = 5.98)



Figura 10. Digestión de proteínas

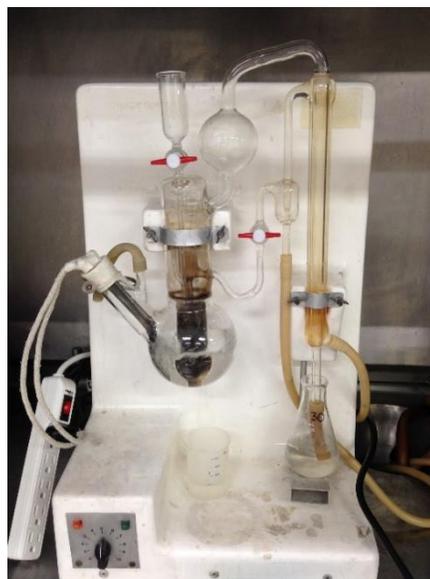


Figura 11. Equipo para determinar proteína cruda con equipo microkjeldahl

2.3.2.4 Determinación de fibra cruda

TÉCNICA 989.03: MÉTODO DE WENDEE

FUNDAMENTO: Es la digestión ácida y alcalina de la muestra obteniéndose un residuo de fibra cruda y sales que con calcinación posterior se obtiene la fibra cruda. Su determinación se basa en la simulación de la digestión en el organismo por tratamientos ácidos y alcalinos, separando los constituyentes solubles de los insolubles. La naturaleza química de la fibra cruda, aun cuando no está bien establecida, se considera constituida por celulosa, hemicelulosa y lignina (A.O.A.C, 2005).

Metodología:

1. Se pesó exactamente 0.5 g de muestra seca y libre de grasa.

2. Se colocó la muestra en un vaso de precipitados de 600 mL. Se adicionaron 200 mL de H₂SO₄ al 1.25 %, para después colocarlo en una parrilla, bajo un extractor de gases. Se dejó hervir durante 30 minutos.
3. Se agregaron 200 mL de NaOH al 2.5% y continuó calentándose por 30 minutos. Se giró el vaso periódicamente para evitar que los sólidos se adhieran a las paredes.
4. Se filtró la solución usando papel filtro, seco y pesado, el cual se colocó en un embudo Buchner (Figura 12).
5. Se realizaron lavados sucesivos con: agua caliente, hasta eliminar el álcali (utilizando papel pH para confirmarlo).
6. Se dejó secar a 110 °C hasta peso constante y luego se pesó.
7. Se pasó el papel filtro a un crisol de porcelana que se encontraba a peso constante y se incineró en la mufla a 500 °C.
8. Se dejó enfriar para después pesarlo. El resultado de la pérdida de peso fue el resultado de la fibra cruda (Ecuación 5).

Cálculos:

$$\% \text{Fibra cruda} = [(W_2 - W_1) - (W_4 - W_3) / W_5] * 100 \text{ ec. ... (5)}$$

Dónde:

W₁=Peso del papel filtro (g)

W₂= Peso del papel filtro con residuos secos (fibra) (g)

W₃= Peso del crisol vacío (g)

W₄= Peso del crisol después de la incineración (cenizas) (g)

W₅= Peso de la muestra (g)



Figura 12. Determinación de fibra cruda

2.3.2.5 DETERMINACIÓN DE CENIZAS

TÉCNICA 923.03: MÉTODO DE KLEMM (CENIZAS TOTALES)

FUNDAMENTO: Descomposición de la materia orgánica quedando solo materia inorgánica en la muestra. En este método toda la materia orgánica se oxida en ausencia de flama a una temperatura que fluctúa entre 550-600 °C; el material inorgánico que no se volatiliza a esta temperatura se conoce como ceniza. El residuo de incineración se calcula por diferencia de peso (A.O.A.C, 2005).

Metodología:

1. Se colocó 1 g de muestra en un crisol a peso constante.
2. El crisol se colocó a fuego directo y se dejó calcinar la muestra hasta que no saliera humo, y el color de la ceniza fuese negro.
3. Luego se colocó en la mufla de 550 a 600 °C durante 1 hora (Figura 13), pasado el tiempo se dejó enfriar 10 minutos en un desecador (Figura 14) y se pesó.
4. Se repitió el paso 3 hasta que llegara a peso constante, y se hicieron los siguientes cálculos (Ecuación 6).

Cálculos:

$$\% \text{ Cenizas} = [(W_3 - W_2)/W_1] * 100 \text{ ec. ... (6)}$$

Dónde:

W_1 = Peso de la muestra (g)

W_2 = Peso del crisol sin muestra (g)

W_3 = Peso del crisol con las cenizas (g)



Figura 13. Crisoles en la mufla



Figura 14. Crisoles en el desecador

2.3.2.6 DETERMINACIÓN DE CARBOHIDRATOS

La determinación de carbohidratos se realizó por diferencia.

2.3.3 Elaboración de la base para pay

Se tomó como base, una receta familiar para una base para pay. Se elaboró una muestra 100 % harina de trigo. Partiendo de esta se elaboró un diagrama de proceso que se estandarizó. Finalmente, de esta formulación base partieron las siguientes formulaciones en las que se variaron solamente los porcentajes de harinas y la margarina. En la tabla 8 se muestran las formulaciones de prueba que se realizaron.

Material y materia prima

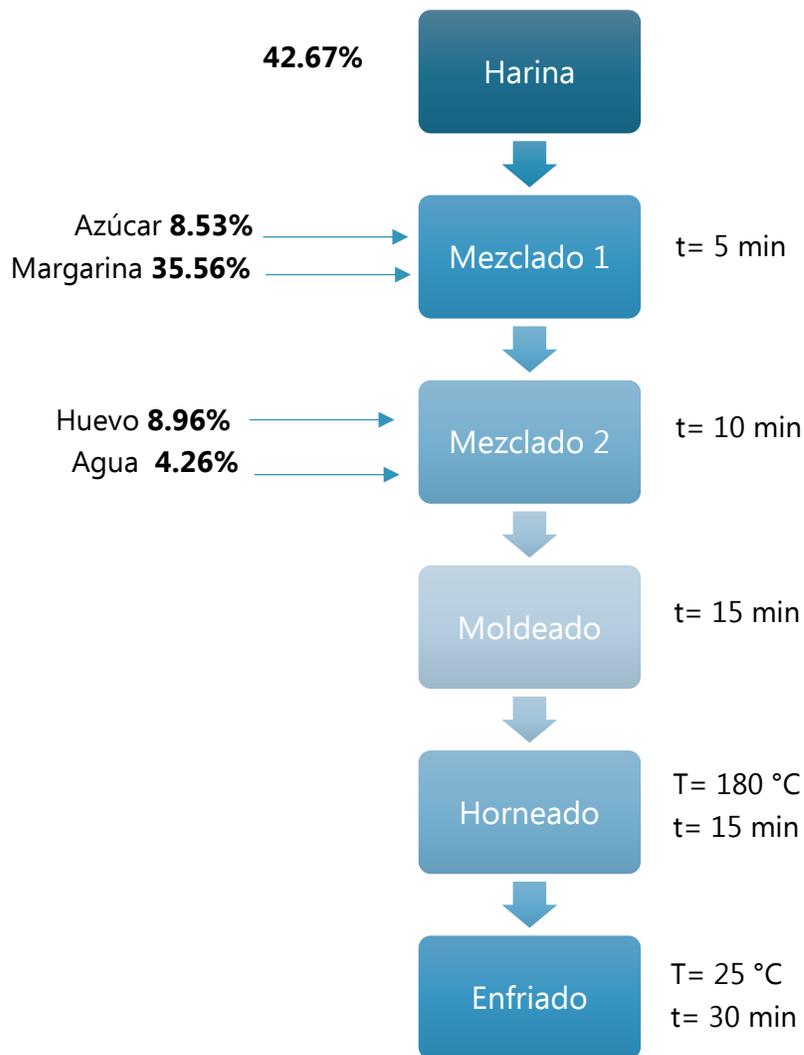
- Harina de trigo Tres Estrellas®
- Harina de amaranto
- Harina de chía
- Margarina Mi Pan®
- Huevo San Juan®
- Agua
- Azúcar
- Bowl de aluminio
- Moldes para base de pay
- Horno The Robot Cool Inc.®

Tabla 8. Formulaciones para una base de pay

FORMULACION TRADICIONAL (%)		FORMULACIONES PROPUESTAS (%)		
INGREDIENTE	Formulación Tradicional	Formulación 1	Formulación 2	Formulación 3
HARINA DE TRIGO	42.67	11	11	11
HARINA DE AMARANTO	0	27.5	22	19.3
HARINA DE CHÍA	0	11	16.5	19.3
GLUTEN	0	5.5	5.5	5.5
MARGARINA	35.56	23.1	23.1	23.1
HUEVO	8.96	11	11	11
AZUCAR	8.53	6.6	6.6	6.6
AGUA	4.26	4	4	4

Como se observa en la tabla 8 en las formulaciones solo se variaron los contenidos de harinas, sustituyendo la harina de trigo por harina de amaranto y chía, por lo tanto, para facilitar la distinción de las formulaciones se identificaron por el porcentaje de cada una de las tres harinas que contenía, teniendo en cuenta que el 100% es la suma de las tres harinas más el 10% de gluten que se mantuvo constante, resultando las formulaciones siguientes: 20-50-20-10, 20-40-30-10, 20-35-35-10 harinas de trigo, amaranto, chía y gluten respectivamente.

2.3.4 Diagrama de proceso



2.1.1.2 Descripción del diagrama de proceso

Se partió de la materia prima principal que es la harina, y una vez obtenida ella, se realizaron las siguientes operaciones unitarias durante el proceso que a continuación se explican.

Mezclado 1

En esta operación (Figura 15) se incorporaron los ingredientes secos, y también la margarina por medio de un amasado constante, durante 5 minutos. La función de la margarina es darle una textura más suave al producto final y ayuda al manejo y formado de la masa sin que se pegue en cualquier superficie.



Figura 15. Mezclado 1

Mezclado 2

En esta operación se incorporaron los ingredientes líquidos, el agua y el huevo (Figura 16). Durante 10 minutos se incorporaron hasta formar la masa. El agua ayudó a la formación del gluten y esto hizo que la masa adquiriera elasticidad y tenacidad para poder darle la forma en el molde.



Figura 16. Mezclado 2

Moldeado

Aquí se le da la forma de la base, en un molde en el que se colocó, se realizó de esta forma, hueca para después colocar un relleno. Aproximadamente 2 a 3 min por cada base pequeña, como se muestra en la figura 17.



Figura 17. Moldeado

Horneado

En el horneado (Figura 18), cuando la temperatura alcanza 70 °C, el almidón se gelatiniza permitiendo que el agua penetre en su estructura. Cuando la temperatura alcanza los 200 °C las reacciones conocidas como reacciones de Maillard tienen lugar entre los azúcares y los aminoácidos. Es en este punto donde el sabor emerge, y su olor también.



Figura 18. The Robot Cool Inc.®

2.3.5 Análisis nutrimentales y antinutrientales realizados

2.3.5.1 Determinación de triptófano

FUNDAMENTO: Hidrólisis enzimática, se libera el triptófano del enlace peptídico. Este aminoácido se cuantifica en proteínas puras o péptidos, mediante técnicas colorimétricas en el cual se desarrollará color con ρ -dimetilaminobenzaldehido (DMAB) y nitrito de sodio como contraste. La lectura se realiza mediante espectrofotometría a $\lambda = 590$ nm (Rama, Tara & Krishnan, 1974).

Metodología

1. Se pesó 1 g de muestra.
2. Se agregó 10 mL de pepsina; se dejó incubar a temperatura ambiente.
3. Se adicionaron 10 mL de NaOH 0.1 N y 10 mL de pancreatina, se incubó por 24 horas.
4. Se aforó a 50 mL con agua destilada y se filtró.
5. Se tomaron 2 mL y se adicionaron 7.5 mL de HCL concentrado y de DMAB, así como 0.5 mL de NaNO_2 .
6. Se leyó a $\lambda = 590$ nm.

Cálculos

Utilizando la siguiente fórmula:

$$\left(\frac{\text{Resultado}}{1\text{ml}}\right)\left(\frac{25\text{ml}}{0.5\text{g}}\right) * 100 = \text{mg de Trp en 100g de proteína ec. ... (7)}$$

2.3.5.2 Digestibilidad "in vitro"

Sistema multienzimático compuesto por tripsina, quimotripsina, peptidasa y proteasa. El coeficiente de correlación entre el pH a los 20 minutos y la digestibilidad aparente *in vitro*, es de 0.90, con un margen de error estimado de 2.23 (Herlich, 1990).

Metodología

1. Se pesó una muestra que contenga 10mg de N_2 .
2. Se adicionó 10 mL de agua destilada y se ajusta el pH a 8.
3. Se dejó una en agitación en un baño de agua a 37 °C.
4. Después de la hora se añadió 1 mL de solución (A).
5. Después se adicionó 1 mL de solución (B) a un baño de 55 °C.
6. A los 20 min se midió el pH.

Cálculos

Calcular el % de proteína digerida o % de digestibilidad de la siguiente forma

$$\% \text{ digestibilidad} = 234.84 - 22.56 (\text{lectura pH}) \dots (7)$$

Dónde:

Lectura pH= pH de la suspensión de proteína

2.3.5.3 Capacidad antioxidante

Este ensayo fue propuesto originalmente por Brand-Williams. El DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo) (Figura 15) es uno de los pocos radicales orgánicos estable, presenta una fuerte coloración violeta, es comercialmente disponible y no tiene que ser generado *in situ* como el ABTS (ácido 2,2'-azino-bis-(3-etilbenzotiazolin-6-sulfónico). El ensayo se fundamenta en la medición de la capacidad de un antioxidante para estabilizar el radical DPPH, esta medición puede hacerse espectrofotométricamente siguiendo el decaimiento de la absorbancia a 518 nm. La reacción de estabilización se considera que transcurre principalmente mediante un mecanismo Transferencia de Electrones (TE), con un aporte marginal de Transferencia de Átomos de Hidrógeno (TAH) (Londoño, 2012; Da Silva, 2012; Martínez, 2007).

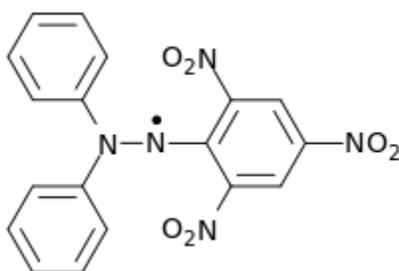


Figura 19. Estructura química del radical libre metaestable DPPH

Metodología

Obtención del extracto

- Se pesó 0.1 g de muestra.
- Se diluyó con 1 mL de metanol-HCL al 1%.
- Se dejó hervir 10 min.
- Se dejó enfriar, para después centrifugar.
- Se obtuvo el sobrenadante.
- Se colocaron a 65 °C.

- Una vez evaporados, se redisolviaron en 1 mL de agua desionizada y se agitó.
- Se finalizó con una centrifugación.

Determinación del poder antioxidante

1. Del extracto obtenido se tomaron 500 µL.
2. Se agregaron 500 µL de solución DPPH.
3. Se dejaron reposar en oscuridad absoluta.
4. Se leyó a 518 nm en espectrofotómetro.

Cálculos

Por formula:

$$\%CA = \left[\frac{\text{Abs. Control Negativo} * -\text{Abs. Muestra}}{\text{Abs. Control Negativo}} \right] x 100 \text{ ec. ... (9)}$$

Dónde:

*Abs. Control Negativo = Valor de absorbancia (Metanol + DPPH)

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

2.3.5.4 Fenoles totales

FUNDAMENTO: El ensayo Folin-Ciocalteu se utiliza como medida del contenido en compuestos fenólicos totales en productos vegetales. Se basa en que los compuestos fenólicos reaccionan 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 medimos para evaluar el contenido en polifenoles (Prasand & Weigle, 1976; Ranganna, 1977; Valadez, Ortega, Carballo & Fucikovsky, 1990)

Metodología

- Se preparó el extracto como en la determinación de capacidad antioxidante antes mencionada.
- Del extracto obtenido se tomaron 400 µL.
- Se agregan 3750 µL de agua destilada.
- Después se incorporaron 250 µL de Folin.

- Se agitó y reposaron por 5 minutos.
- Se agregaron 500 µL de Na₂CO₃.
- Se agitaron y después reposaron por 15 minutos.
- Se leyó la absorbancia a 760 nm.
- Se interpoló el resultado con la curva patrón establecida.
- Se realizaron los siguientes cálculos para la determinación de la cantidad de compuestos fenólicos.

Cálculos

Realizar la curva patrón con ácido gálico, donde obtendremos (b) ordenada al origen y la pendiente (m) y sustituir en:

$$X = \frac{\text{Absorbancia} - b}{m} \text{ ec. ... (10)}$$

El resultado es la cantidad de fenoles en 400 µL

Pasar a 100 µL, y calcular el contenido en 1 g de muestra (Y)

$$\text{Fenoles: } \frac{Y * E}{PM} * 10 = \frac{\text{mgEAG}}{\text{g muestra}} \text{ ec. ... (11)}$$

En donde:

Y: Fenoles en 1 g de muestra.

E: Equivalencia en 6 equivalentes de ácido gálico.

PM: Peso molecular del ácido gálico (170.2 µg).

2.3.5.5 Fibra dietética

Determinación de fibra dietética (AOAC 45.4.07)

FUNDAMENTO: Por este método se determina la fibra dietética total contenida en los alimentos usando un método enzimático – gravimétrico. La muestra es secada, desengrasada y gelatinizada con la enzima termoestable α-amilasa y posteriormente la digestión con proteasa y amiloglucosidasa para la remoción de proteínas y almidón. El etanol es adicionado para precipitar la fibra dietaría soluble. El residuo es entonces filtrado y lavado con etanol y acetona. Uno de los duplicados es analizado para proteína y el otro

es incinerado a 530 °C. El total de la fibra dietética es el peso del residuo menos el peso de la proteína, cenizas y blanco (CUNNIF, 1995).

Metodología

1. Se pesó 1 g de muestra.
2. Se le adicionó buffer de fosfato 0.08M pH 6.
3. Se le agregó 0.1 mL de solución de amilasa.
4. Se cubrió el matraz, después se puso en un baño a ebullición.
5. Se dejó enfriar a temperatura ambiente, y se ajustó el pH a 7.5 adicionando 10 mL de NaOH.
6. Se disolvieron 50 mg de proteasa en 1 mL de buffer fosfato y se le adicionaron a cada matraz 0.1 mL.
7. Se cubrieron los matraces y se pusieron en un baño a 60 °C.
8. Se dejaron enfriar a temperatura ambiente, se agregó 10 mL de HCL 0.325N y se ajustó el pH entre 4.0-4.6.
9. Se adicionó 0.1 mL de amiglucosidasa y se incubó a 60 °C por 30 min con agitación.
10. Se adicionaron 280 mL de etanol al 95%.
11. Se montaron dos filtrados para fibra con embudo y matraz, conectándolos al vacío y se les colocó un papel filtro a peso constante.
12. Se vació cuantitativamente el precipitado.
13. Se lavó el residuo de etanol 78%.
14. Después, también con etanol 95%.
15. Finalmente se lavó con acetona.
16. Se puso el papel filtro a secar durante la noche a 70 °C, luego se hizo lo requerido para llegar a peso constante.
17. De un papel se determinó proteína y del otro, cenizas.
18. Se corrigió el residuo restándole las cenizas y proteína correspondiente.

Cálculos

Peso del papel filtro = P1 – P2

Peso de cenizas= P3 – P1

$$B = R_{blanco} + P_{blanco} + A_{blanco} \text{ ec. ... (12)}$$

Donde:

B= Blanco

R blanco = promedio del peso del residuo del blanco (mg)

P blanco = promedio del peso de proteína del blanco (mg)

A blanco = promedio del peso de cenizas del blanco (mg)

$$\%FDT = \left(\frac{(R_{muestra} - P_{muestra} - A_{muestra} - B)}{PM} \right) * 100 \text{ ec. ... (13)}$$

Donde:

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

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

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

PM = Peso de la muestra (mg)

2.3.5.6 Relación de eficiencia proteica (PER)

Para evaluar la calidad proteica de la base para pay que se seleccionó, se realizó la prueba que por sus siglas en ingles se le conoce como PER (Protein Efficiency Ratio), determinado de acuerdo al método 960.48 AOAC (Herlich, 1990).

Fue el primer método adoptado como rutina de evaluación en la calidad proteica de los alimentos. El PER es un método estandarizado en el cual se realiza una dieta de estudio y una dieta control con caseína ambas contienen un 10% de proteína, con ratas destetadas por un periodo de 4 semanas (Gilani & Lee, 2003).

Los valores de PER fueron calculados dividiendo el peso ganado de las ratas en estudio (ratas Wistar machos y hembras de 21 días de nacidas) entre la cantidad de proteína consumida en este periodo de tiempo. Para lo que fue necesario elaborar una dieta isoproteica e isocalórica con la base para pay, y una dieta de referencia a base de caseína. Se utilizaron 12 ratas divididas en dos lotes, uno del pay y otro de caseína de 6 ratas cada uno. Las ratas fueron colocadas en forma de culebra japonesa, el cual distribuye el peso de los ratones 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. Se colocaron en condiciones de temperatura de 25 °C y periodos de luz de 12 horas (Ortiz, 2018).

Cada 3er día se registró el peso y la cantidad de alimento ingerido. El ensayo tuvo una duración de 28 días. La digestibilidad aparente de la proteína se determinó mediante la cuantificación de nitrógeno ingerido y el de las heces secas y molidas, con el método de Micro Kjeldahl, de cada rata en la última semana de ensayo (A.O.A.C., 2005).

2.3.5.7 Determinación de ácido fítico

FUNDAMENTO: El extracto de una muestra se calienta con una solución de ácido férrico para conocer el contenido de hierro. La disminución del hierro (determinada colorimétricamente con 2,2-bipiridina) en el sobrenadante es la medida del contenido de ácido fítico (Haug & Lantsch, 1983).

Metodología

1. Se pesó 0.1 g de muestra y se adicionó 20 mL de HCL, después se agitó durante 20 min., y se centrifugó durante 15 min.
2. Se tomaron 0.5 mL del extracto y se colocó en un tubo de ensaye.
3. Se adicionó 1 mL de sulfato férrico de amonio 0.2%.
4. Se tapó el tubo y se calentó a 95 °C durante 30 min.
5. Se dejaron enfriar los tubos de ensaye.
6. Una vez que se encuentran a temperatura ambiente se adicionaron 2 mL de 2,2-Bipiridina a cada tubo y se agitaron.
7. A los 30 segundos exactamente de haberle adicionado la 2,2-Bipiridina, se leyó la absorbancia a 519 nm.
8. Se realizaron los cálculos correspondientes.

Cálculos

- Determinar el porcentaje de Ácido Fítico

$$P = \frac{x * E}{T} \text{ ec. ... (14)}$$

$$\% \text{ác. fítico} = \frac{(P * 100\%)}{M} \text{ ec. ... (15)}$$

Dónde:

E= Equivalente a 660.08 g (1 mol de ácido fítico)

T= Equivalente a 185.82 (6 moles de P)

P=μg de P del ácido fítico/mL

2.3.5.8 Inhibidores de Tripsina

FUNDAMENTO: La técnica 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 benzoil-arginina-p-nitroanilida

(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).

Metodología

1. A 1 g de muestra, se le adicionó NaOH 0.01N; se ajustó el pH a 9.6, se agitó por un tiempo de 2 horas con 30 min a 300 rpm. Después se dejó en reposo por 30 min y se centrifugó 5 minutos a 5000 rpm.
2. Se tomaron 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. Se adicionó 5 mL de solución estándar de tripsina. Se mantuvo en contacto inhibidor de tripsina-tripsina por 10 minutos.
4. Se adicionaron 5 mL de solución BAPNA. Se mantuvo dicha mezcla de reacción por 10 minutos exactamente.
5. Se adicionó 1 mL de ácido acético al 30%, para detener la reacción.
6. Si al adicionar del ácido acético al tubo de reacción, este se enturbiaba, era necesario filtrar, para ello era necesario dejar el tubo en reposo por 5 minutos. El filtrado debía ser transparente.
7. La lectura en el espectro se realizó a $\lambda 410 \text{ nm}$.

Cálculos

$$B * Factor * \frac{\text{vol. aforo muestra}}{\text{mg de muestra}} = \frac{UTI}{\text{mg de muestra}} \text{ ec. ... (16)}$$

Dónde:

B= Ordenada al origen

Factor= Factor de dilución

2.3.5.9 Determinación de taninos

FUNDAMENTO: Se basa en la extracción de los taninos hidrolizables y condensados (fenoles totales) mediante dimetilformamida (DMF) al 75% y la posterior reducción del ión 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).

Metodología

Preparación de la muestra

1. Se pesó 1 g de muestra.
2. Se le adicionó DMF al 75 %.
3. Se agitó durante 1 hora, y se dejó reposar durante 15 minutos.
4. Se centrifugó a 5000 rpm durante 20 minutos.
5. Se tomó 1 mL de muestra del sobrenadante, y se ajustó el volumen a 6 mL con agua destilada, 1 mL de citrato férrico, 1 mL de amoníaco.
6. Se leyó la absorbancia a 525 nm y posteriormente se realizaron los cálculos correspondientes.

Cálculos:

$$\% \text{ Taninos} = \frac{x}{m} * 100 \text{ ec. ... (17)}$$

Dónde: x= valor obtenido (g)

m= peso de la muestra (g)

2.3.6 Evaluación sensorial

2.3.6.1 Prueba sensorial de preferencia

En las pruebas de preferencia, a los consumidores se les presentan dos o más muestras y se les pide que indiquen cuál es la muestra de su preferencia. Si hay más de dos muestras se puede solicitar a los consumidores que ordenen su preferencia (mayor a menor). Son pruebas de fácil realización y la pregunta es comprendida por los consumidores de todas las edades (Ramírez-Navas, 2012).

Esta prueba se realizó con degustaciones de tres formulaciones y se identificaron con un número: **1803** (20% harina de trigo, 50% de harina de amaranto, 20% harina de chíá, 10% gluten); **2432** (20% harina de trigo, 40% de harina de amaranto, 30% harina de chíá, 10% gluten); **1028** (20% harina de trigo, 35% de harina de amaranto, 35% harina de chíá, 10% gluten), se aplicó a 100 jueces no entrenados y elegidos al azar, con las muestras previamente identificadas pidiéndoles que llenaran el siguiente cuestionario y siguieran las instrucciones indicadas en el cuestionario (Anexo 1).

2.3.6.2 Prueba sensorial de nivel de agrado

Generalmente para el análisis sensorial se emplean escalas de intervalo con el objetivo de asegurar la validez de los métodos estadísticos paramétricos utilizados corrientemente en el procesamiento de los resultados, aunque las proporcionales se ajustan más al mecanismo de la percepción cuando se evalúan estímulos simples (Torricella, Zamora & Pullido, c2007). Las escalas de intervalo permiten ordenar muestras, de acuerdo a la

magnitud de una sola característica del producto o de acuerdo a la aceptabilidad o preferencia, además indican el grado de diferencia entre muestras (Watts, Ylimaki, Jeffery & Elias, 1989).

La prueba se realizó utilizando la formulación seleccionada en la prueba de preferencia y se aplicó a 103 jueces elegidos al azar, los datos fueron reportados en un cuestionario de escala no estructurada, mostrada en un cuestionario mostrado en el anexo1.

2.3.7 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.40

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL DE HARINAS (MATERIA PRIMA)

Los resultados del análisis químico proximal de las harinas se muestran en la tabla 9, este análisis se realizó para corroborar la composición química de las harinas (trigo, amaranto y chía) y la diferencia entre ellas.

Tabla 9. Análisis químico proximal de las harinas de amaranto, chía y trigo

Muestra	% Humedad	% Proteínas	% Grasa	% Cenizas	% Fibra	% CHO'S
Harina de Trigo	12.06 +/- 0.1 ^{a*}	8.94 +/-0.015 ^a	1.11 +/- 0.01 ^a	0.49 +/- 0.02 ^a	0.72 +/- 0.014 ^a	76.68 ^a
Harina de Amaranto	11.38 +/-0.09 ^a	10.36 +/-0.24 ^{ab}	4.24 +/-0.09 ^b	2.61 +/-0.06 ^b	6.6 +/-0.42 ^b	64.81 ^b
Harina de Chía	7.16 +/-0.11 ^b	19.98 +/-0.3 ^b	28.59 +/-0.35 ^c	4.76 +/-0.05 ^c	33.06 +/-1.09 ^c	6.45 ^c

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

Se puede observar que la mayoría de los componentes químicos de la harina de trigo, presentan valores con diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$) a las harinas de amaranto y chía. El contenido de proteína de la chía fue de más del doble que la de trigo, mientras que el amaranto solo fue un 10% mayor. Las cenizas resultaron ser 5 veces más altas las del amaranto y 9 veces más las de la chía en comparación con el trigo. La fibra es destacablemente 45 veces más grande en la harina de chía que en la de trigo y 9 veces mayor en amaranto. Finalmente, la grasa resultó ser 4 y 25 veces mayor en las harinas de amaranto y chía respectivamente, que la contenida en la harina refinada de trigo.

La composición química proximal en general de las harinas está dentro de los rangos publicados (Jiménez *et al.*, 2013; Mesas & Alegre, 2002; Paredes *et al.*, 2006). Sin embargo, el contenido de proteína en el amaranto es importante por sus propiedades nutricionales, como el alto contenido de aminoácidos esenciales, entre los que destacan la lisina, leucina, tirosina, triptófano entre otros. (Paredes *et al.*, 2006). En el caso de la chía el contenido de proteína coincide con lo reportado por Jiménez *et al.* (2013). Así como el amaranto, la chía es un pseudocereal que contiene aminoácidos esenciales, en mayor proporción la leucina, valina, lisina, fenilalanina, treonina entre otros (Carrillo-Gómez *et al.*, 2017).

También el alto contenido de grasa en la chía es destacable por su composición de ácidos grasos esenciales (Jiménez *et al.*, 2013). En el amaranto cerca del 70% de su contenido

graso corresponde al ácido linoleico, y ácido linolénico (Roa, 2015) y entre un 7 a 9.6% de escualeno (Rodas & Bressani, 2009).

El contenido de fibra en el amaranto supera el contenido de otros cereales comunes (Asociación Mexicana del Amaranto, 2003), y se recomienda para aumentar el consumo de fibra en la dieta. La chía de igual manera es un grano que aporta grandes cantidades de fibra del 18 al 35%, lo cual ayuda en diferentes funciones intestinales, a personas con diabetes, sobrepeso y obesidad (Carrillo-Gómez *et al.*, 2017).

Por lo tanto, los resultados de las harinas de amaranto y chía indican que aportan altas cantidades de compuestos químicos necesarios para la nutrición y estas harinas pueden ser utilizadas para incrementar el valor nutricional de los productos elaborados con harina de trigo.

3.2 FACTORES NUTRIMENTALES EN HARINAS

En la tabla 10 se presentan las pruebas nutrimentales que se realizaron a las harinas que se usaron como materia prima.

Tabla 10. Factores nutrimentales en harinas de amaranto, chía y trigo.

Muestra	Contenido de Triptófano ($\frac{mg \text{ de Trp}}{100g \text{ proteína}}$)	%Digestibilidad <i>in vitro</i>	Fenoles ($\frac{mgEAG}{gmuestra}$)	% Capacidad Antioxidante
Harina de trigo	1.05 +/-0.006 ^{a*}	79.09 +/-0.34 ^a	ND	ND
Harina de Amaranto	1.65 +/-0.08 ^b	85.18 +/-1.3 ^a	13.07 +/-0.04 ^a	61.84 +/-0.07 ^a
Harina de Chía	1.35 +/-0.02 ^c	89.7 +/-1.29 ^a	36.55 +/-0.07 ^b	67.29 +/-0.03 ^b

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

ND: No detectado.

Los resultados del contenido de triptófano presentan diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$) entre las tres harinas. Las harinas de amaranto y chía, son mayores en contenido de triptófano que la harina de trigo. En las tres harinas se presenta este aminoácido esencial. En el trabajo reportado por Astiz, Molfese & Seghezzeo, (2009) se ha localizado este aminoácido en el trigo, por lo que este grano no es deficiente de él. El contenido de este aminoácido depende de la cosecha, factores climáticos y variedades del trigo. Así también, el amaranto tiene un alto contenido de triptófano, por ejemplo, se ha reportado que el grano entero contiene 84 mg/g N (Boucher & Muchnik, 1995). Mientras que en chía se reportan 9.5 g/kg proteína (Vázquez-Ovando, Rosado-Rubio, Chel-Guerrero & Betancur-Anacona, 2010). Este aminoácido se caracteriza por ser un aminoácido aromático que se convierte en serotonina, estimulante del cerebro e

interviene en el funcionamiento del sistema nervioso central, por lo tanto, es ideal encontrarlo en nuestros alimentos (González-Torres, Téllez-Valencia, Sampedro & Nájera, 2007).

La digestibilidad no presentó diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$) entre las harinas de amaranto, chía y trigo. Aun así, la harina de chía y de amaranto, tienen un mayor porcentaje de digestibilidad que la de trigo.

El contenido de fenoles y la capacidad antioxidante, se encuentran ausentes en la harina de trigo, mientras que en las harinas de amaranto y chía se encuentran en altas cantidades. Los polifenoles son fitoquímicos ampliamente reconocidos como antioxidantes con múltiples beneficios para la salud (Badui, 2006).

3.3 FACTORES ANTI-NUTRIMENTALES DE LAS HARINAS

Los granos de amaranto y chía son pseudocereales que pueden presentar factores que provocan efectos negativos en la absorción de los nutrientes por lo que es necesario determinar su contenido (Tabla 11) (Ortiz, 2018).

Tabla 11. Factores anti-nutrientales en harinas de amaranto, chía y harina de trigo

Muestra	% Taninos	% Acido Fítico	% Inhibidores de tripsina
Harina de trigo	0.057 +/- 0.006 ^{a*}	ND	ND
Harina de Chía	0.29 +/-0.007 ^b	2.23 +/-0.12 ^a	2.78 +/-0.1 ^{a*}
Harina de Amaranto	0.04 +/-0.002 ^c	1.71 +/-0.07 ^b	1.05 +/-0.02 ^b

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

ND: No detectado.

Podemos observar en los resultados, que el porcentaje de taninos detectados en las harinas, presentan una diferencia significativa ($P \leq 0.05$) entre ellos, pero todos tuvieron valores menores al 1%, que son cantidades muy bajas de este compuesto. Estos compuestos son sintetizados en el desarrollo de la planta, realizando la función de defensa de la planta contra hongos, insectos, y de la depredación por herbívoros en general (Elizalde *et al.*, 2009; Valerio, 1994). En el proceso de molienda del grano de amaranto y chía, no se retiró el pericarpio, por esta razón es que pudieran encontrarse en las harinas estos compuestos y aumentar el valor resultante en comparación con el valor de harina de trigo.

El ácido fítico no fue detectable en harina de trigo, pero si en harina de amaranto y chía. El ácido fítico se encuentra naturalmente en los cereales, como uno de los constituyentes de reserva de fósforo y mioinositol. Como se mencionó antes este tiene la capacidad de

formar complejos con minerales esenciales y/o proteínas, lo que disminuye la absorción en el intestino y la biodisponibilidad de los minerales (Elizalde *et al.*, 2009).

El porcentaje resultante de inhibidores de tripsina, no fue detectable en harina de trigo, pero si en la harina de amaranto y chía. Los inhibidores de tripsina, como su nombre lo indica, compiten por la enzima tripsina e inhiben su actividad. Pero estos compuestos son termo lábiles, por lo que se espera que en el proceso de panificación al que se someterá, en este caso un horneado, estos compuestos disminuyan (Elizalde *et al.*, 2009).

3.4 RESULTADOS DE ELABORACIÓN DE BASE PARA PAY

En la tabla 12, se muestran las diferentes formulaciones que se realizaron para elaborar base para pay, en las que variaron las concentraciones de las harinas de trigo, amaranto y chía; así como de margarina. Se realizaron observaciones al momento de formar la masa en el proceso de elaboración y después de obtener el producto.

Tabla 12. Diferentes formulaciones evaluadas

Formulación	Resultado	Observaciones
20% Trigo 40% Amaranto 40% Chía 1 porción de margarina		Masa muy chiclosa y sabor a chía muy intenso. El moldeado se dificulta
20% Trigo 60% Amaranto 20% Chía 1 porción de margarina		Masa chiclosa pero el sabor mejoró, suelta grasa durante el horneado
20% Trigo 50% Amaranto 20% Chía 10% Gluten 1 porción de margarina		Masa menos chiclosa, sabor mejoró, mucha grasa
20% Trigo 40% Amaranto 30% Chía 10% Gluten ¾ porción de margarina		Buena formación de masa, grasa excesiva y sabor de chía muy presente
20% Trigo 40% Amaranto 30% Chía 10% Gluten ½ porción de margarina		Buena formación de masa y buen manejo pero sabor de chía presente

Tabla 12. Diferentes formulaciones evaluadas (*continuación*)

Formulación	Resultado	Observaciones
20% Trigo 50% Amaranto 20% Chía 10% Gluten ½ porción de margarina		Masa un poco seca al momento del moldeado
20% Trigo 35% Amaranto 35% Chía 10% Gluten ½ porción de margarina		Buena masa formada, buen moldeado aunque sabor presente de chía en el producto final

Por las observaciones realizadas podemos notar que las últimas 3 formulaciones fueron las que tuvieron mejores características organolépticas y sensoriales en el manejo de la masa. Algo interesante fue, que se logró reducir la cantidad de margarina agregada a la formulación original a la mitad, esto debido a la alta cantidad de grasa que se incorpora con la harina de chía, brindando suavidad y textura deseable en una base para pay. Con base en estos resultados se eligieron las siguientes formulaciones para realizar la prueba sensorial de preferencia:

- 20%HT, 40%HA, 30%HCh, 10%G*
- 20%HT, 50%HA, 20%HCh, 10%G
- 20%HT, 35%HA, 35%HCh, 10%G

*HT=Harina de trigo, HA=Harina de Amaranto, HCh=Harina de Chía, G=Gluten.

3.5 RESULTADOS DEL ANÁLISIS SENSORIAL DE PREFERENCIA

En la tabla 13 podemos observar el código asignado con relación al porcentaje de las harinas de las tres formulaciones seleccionadas anteriormente por tener las mejores características sensoriales durante el proceso de elaboración (Tabla 12). Los demás ingredientes mostrados en la tabla 8 de materiales y métodos se mantienen constantes incluyendo el contenido de gluten al 10%.

Tabla 13. Asignación de las claves según las formulaciones elegidas para la prueba de preferencia

Clave	Harina de Trigo	Harina de Amaranto	Harina de Chía	Contenido de margarina
1803	20%	50%	20%	50%
2432	20%	40%	30%	25%
1028	20%	35%	35%	75%

Los resultados de esta prueba de preferencia son los datos que se muestran en la figura 16. La formulación con el código 1803 fue la que obtuvo la mayor puntuación.

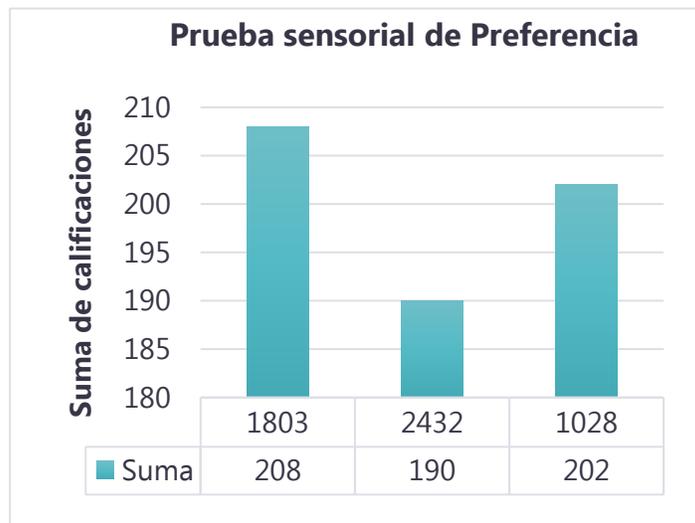


Figura 20. Resultados de la prueba sensorial de preferencia

Las formulaciones con las claves 1803 y 1028 no tuvieron diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$) entre ellas. Mientras que la formulación 2432 sí tuvo diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$) con 1803 y 1028.

El resultado final de la prueba sensorial de preferencia indicó que la formulación que fue de mayor agrado para los consumidores fue la de 20% harina de trigo, 50% harina de amaranto y 20% harina de chía. Esto es favorable ya que se pudo lograr que con un 70% de harina de amaranto y chía, 50% y 20% respectivamente, el producto pudiera ser del agrado de los consumidores.

3.6 RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL (AQP) AL PRODUCTO FINAL ELEGIDO

En la tabla 14 se muestran los resultados obtenidos en el análisis químico proximal de la base para pay control y la formulación seleccionada.

Tabla 14. Análisis químico proximal de la base para pay control y de la formulación seleccionada

Muestra	% Humedad	% Proteínas	% Grasa	% Cenizas	% Fibra cruda	% Carbohidratos
Base de pay control (100% Trigo)	9.86 \pm 0.1 ^{a*}	8.11 \pm 0.02 ^a	29.79 \pm 0.7 ^a	0.7 \pm 0.03 ^a	1.67 \pm 0.16 ^a	49.87 ^a
Base de pay seleccionado (20HT, 50HA, 20HCh)	3.9 \pm 0.2 ^b	14.68 \pm 0.47 ^b	29.38 \pm 0.66 ^a	1.77 \pm 0.02 ^b	10.93 \pm 0.21 ^b	39.34 ^b

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

Lo que se observó fue que existió diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$) entre los resultados del pay control hecho con 100% trigo y el pay seleccionado, en cuanto a la humedad, proteínas, cenizas, fibra y carbohidratos. Solo en el contenido de grasa no hubo diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$). Esto podría deberse a que el pay necesita mantener altos porcentaje de grasa para tener su suavidad que lo caracteriza. Lo favorable fue que un buen porcentaje fue aportado por las harinas de chía y amaranto. Como se mencionó anteriormente la harina de chía contiene ácidos grasos esenciales, como los conocidos omegas 3 y 6 (Carrillo-Gómez *et al.*, 2017).

El contenido proteico tuvo un incremento en la base para pay elaborado con harinas de amaranto y chía de casi el doble en comparación con la base control, lo que indica que es aportada por las harinas de amaranto y chía, que como ya se mencionó antes, tienen mayores concentraciones de proteína de alto valor biológico porque contienen aminoácidos esenciales como: Leucina, Valina, Lisina, Triptófano, entre otros (Carrillo-Gómez *et al.*, 2017).

Así también es destacable que el contenido de fibra cruda sea 10 veces mayor que el de la base control, esto es importante porque el contenido de fibra mejora la digestión (Escudero & González, 2006) estas altas cantidades de fibra son aportadas por la chía. Estas cantidades de fibra ayudan al sistema digestivo, barre con compuestos que en el caso de los diabéticos ayuda a que estos no se absorban en su sangre y disminuye el índice glicémico entre otros beneficios (Carrillo-Gómez *et al.*, 2017; Escudero & González, 2006).

Por lo tanto, se puede decir que se logró obtener un producto con altas cantidades de compuestos químicos necesarios para la nutrición y alimentación.

3.7 FACTORES NUTRIMENTALES EN LA BASE PARA PAY CONTROL Y EN LA FORMULACIÓN ELEGIDA

En la tabla 15 se muestran los resultados de los compuestos nutrimentales. Se observó que tanto el contenido de triptófano, como la digestibilidad *in vitro*, no presentan diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$) entre la base para pay control y la base seleccionada con harinas de amaranto y chía.

Tabla 15. Factores nutrimentales de la base para pay control y la formulación seleccionada

Muestra	Contenido de Triptófano ($\frac{mg \text{ de Typ}}{100g \text{ de proteína}}$)	%Digestibilidad <i>in vitro</i>	% Fibra dietética	Fenoles ($\frac{mgEAG}{g \text{ muestra}}$)	% Capacidad Antioxidante
Base de pay control (100% Trigo)	1.35 +/-0.2 ^{a*}	91.95 +/-1.30 ^a	5.15 +/-0.19 ^a	7.24 +/-0.36 ^a	1.06 +/-0.14 ^a
Base de pay seleccionado (20HT, 50HA, 20HCh)	1.31 +/-0.15 ^a	88.86 +/-1.30 ^a	24.41 +/-1.3 ^b	19.87 +/-0.38 ^b	77.21 +/-0.37 ^b

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

El triptófano se encuentra presente en la base seleccionada gracias al aporte de la combinación de las harinas de amaranto y chía, como reportó Boucher & Muchnik (1995) y Vázquez-Ovando *et al.* (2010). Aunque también está presente en el grano de trigo (Avanza & Añón, 2006).

Mientras que en la digestibilidad *in vitro* se obtuvieron valores muy favorables, ya que generalmente las proteínas de origen vegetal son inferiores en calidad debido a la presencia de algunos factores antinutricionales tales como fibras, taninos y fitatos, que podrían modificar la bio-utilización de los alimentos, haciendo difícil su absorción debido a la reducción de la digestión enzimática, especialmente de las proteínas y aminoácidos (Montero-Quintero, Moreno-Rojas, Molina, Segundo & Sánchez-Urdaneta, 2015). Pero se puede notar que no fue así ya que se obtuvieron altos valores de digestibilidad lo que demostró que la proteína del amaranto y la chía tuvieron una elevada bio-disponibilidad (Montero-Quintero *et al.*, 2015).

Mientras que la fibra dietética es casi 5 veces mayor que la base control debido al aporte de la chía y el amaranto. Un estudio realizado, en el que determinaron el contenido de

fibra dietética total en galletas de trigo obtuvieron 8.53% de fibra dietética (Pérez-Reyes, Salazar-García, Romero-Branzini, Islas-Rubio, & Ramírez-Wong, 2013), lo que demuestra que utilizar harinas de trigo, hace que el producto obtenga finalmente poco contenido de fibra. Mientras que en la base para pay se obtuvo buena cantidad de fibra dietética, la cual está compuesta por fibra soluble y fibra insoluble. La fibra soluble cuando está en contacto con el agua forma una red donde queda atrapada el agua, originándose soluciones de gran viscosidad. Los efectos derivados de la viscosidad de la fibra son los responsables de sus acciones sobre el metabolismo lipídico, hidrocarbonado y en parte su potencial anticarcinogénico. La fibra insoluble o poco soluble es capaz de retener el agua en su matriz estructural formando mezclas de baja viscosidad; esto produce un aumento de la masa fecal que acelera el tránsito intestinal (Escudero & González, 2006).

Los resultados en fenoles totales entre la base control contra la base seleccionada presentaron diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$). Los valores de la base seleccionada resultaron ser más del doble, que la base control 100% trigo. Los fenoles se encuentran casi en todos los alimentos de origen vegetal. Influyen en la calidad, aceptabilidad y estabilidad de los alimentos, ya que actúan como colorantes, antioxidantes y proporcionan sabor (Gimeno, 2004). Últimamente se ha estudiado a los compuestos fenólicos y han notado en varios estudios que, aparte de que suelen ser potentes antioxidantes, también se consideran antimicrobianos o anticancerígenos. Relacionan el consumirlos en la dieta diaria con la reducción de la mortalidad por enfermedades cardiovasculares y el cáncer (Aguilera, Martin-Cabrejas & González, 2015).

En cuanto a la capacidad antioxidante, la base de pay seleccionada está muy por encima de la base control, más de 77 veces. Los antioxidantes son capaces de retardar las reacciones de oxidación cuando se unen a radicales libres que comienzan reacciones en cadena que dañan las células (Badui, 2006) o por evitar la propagación de las especies reactivas de oxígeno, previniendo y/o reparando los daños que estas moléculas producen. Un trabajo de investigación reportó que se han realizado estudios epidemiológicos, donde han sugerido que las moléculas antioxidantes presentes en los alimentos, pueden prevenir el daño oxidativo derivados de estas reacciones y por tanto tienen un efecto preventivo frente a las enfermedades crónicas (Navarro-González, Periago & García-Alonso, 2017).

3.7.1 Relación de eficiencia proteica y digestibilidad "in vivo"

El valor nutritivo de una proteína depende, entre otras cosas, de su constitución de aminoácidos esenciales. A un alimento se le nombra como de alto valor biológico, cuando

contiene las porciones exactas de aminoácidos esenciales (son aquellos que no son producidos en el cuerpo y debemos obtenerlos de la dieta) para la construcción o síntesis de la proteína que representa el principal componente de la masa celular y de las estructuras de soporte en el organismo (Patiño, 2006).

La tabla 16, muestra la comparación de los resultados obtenidos de la digestibilidad aparente y la relación de eficiencia proteica ajustada, PER por sus siglas en inglés (Protein Efficiency Ratio), entre la base para pay seleccionada y el control (Caseína).

Tabla 16. Resultados de digestibilidad aparente y eficiencia proteica

	Digestibilidad aparente	PER ajustado
Caseína	96.40 +/- 1.24 ^a	2.49 ^a
Base de pay seleccionada	85.91 +/- 1.37 ^a	1.38 ^b

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

Los resultados de la digestibilidad aparente, no presentaron diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$), entre la dieta con caseína y la dieta de la base para pay seleccionada. Los factores que pueden afectar en la digestibilidad de la proteína son los factores antinutrimientales, el procesamiento del alimento y el almacenamiento (Queiroz, Goreti, Brunoro, Vieira & Passos, 2016). Lo que favoreció en este caso, fue el tratamiento térmico que se le dio mediante el horneado, lo que redujo la cantidad de compuestos antinutrimientales que se encontraron en las harinas de los granos de amaranto y chía (Tabla 11), favoreciendo entonces la hidrólisis y absorción de las proteínas.

El PER es un parámetro que se mide en una escala de 1 a 4. El valor control de referencia es el de caseína que es 2.5. Por acuerdo internacional las proteínas se ensayan a una concentración de 10% en la dieta con ratas, de 20 a 30 días de nacidas y dura 4 semanas (Mamani & Molina, 2016).

En un trabajo previo se evaluó la eficiencia proteica de un pan con harina de trigo, y se reportan valores de PER ajustado de -0.76 (Montero-Quintero *et al.*, 2015), esto indica que este pan no favoreció al crecimiento de la rata, al contrario, bajaron de peso y afectó su crecimiento, si se comparan estos resultados con la base de pay estudiada demuestra que la calidad proteica se mejoró y es aceptable, al sustituir la harina de trigo con harinas de chía y amaranto.

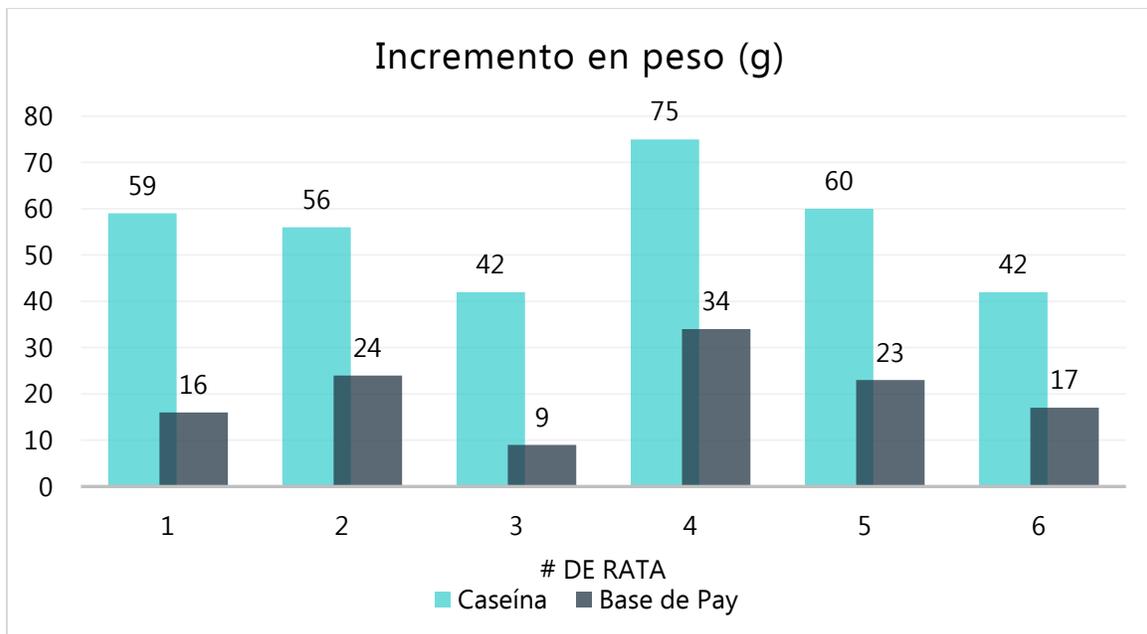


Figura 21. Incremento en peso de ratas

Aunque la base para pay no alcanzó valores tan altos en el incremento de peso en las ratas, como la caseína, es proporcional a lo consumido como se muestra en la figura 18. Esto es debido a que más allá de la calidad de la proteína, la cantidad de proteína ingerida interviene con el crecimiento corporal.

El consumo de la dieta está influida por los ingredientes, por ejemplo en la base para pay con amaranto y chía al contener altos valores de fibra, posiblemente hizo que la sensación de saciedad durara más tiempo. También puede influir que por ser ratas destetadas preferían el sabor a leche que infundía la caseína, por lo que el alto valor biológico de la proteína las hacía crecer en gran manera (De la Cruz-Garduño, 2018).

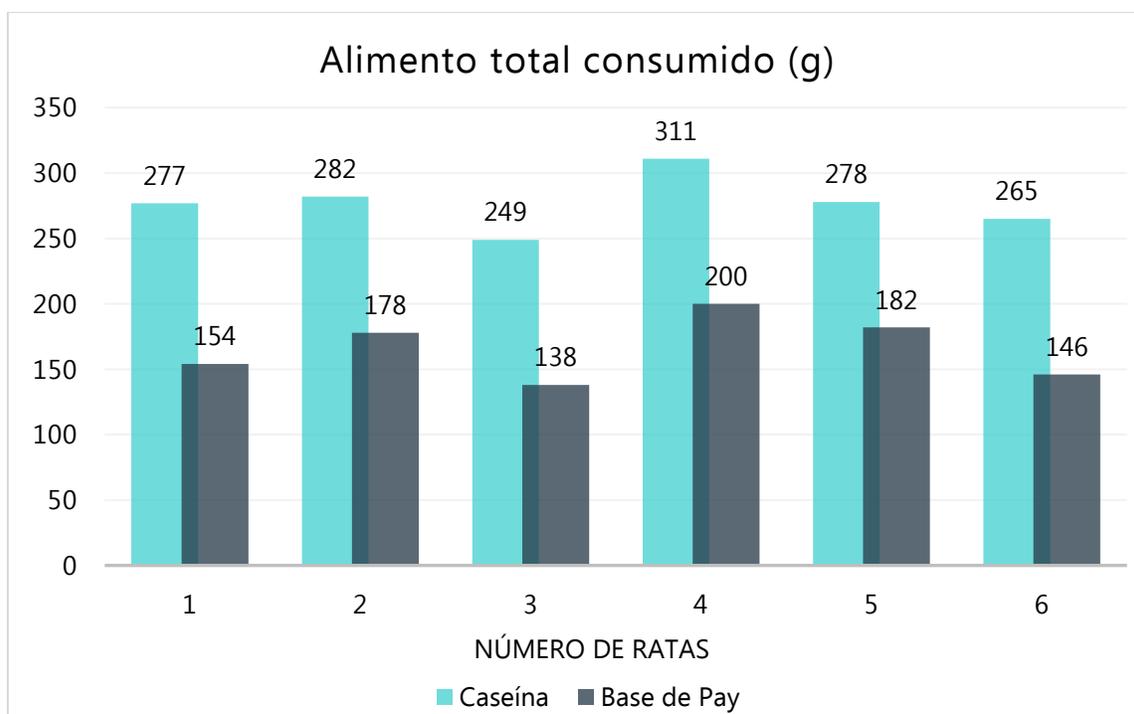


Figura 22. Alimento total consumido por rata y por dieta

3.8 FACTORES ANTI-NUTRIMENTALES EN LA BASE CONTROL CONTRA LA BASE ELEGIDA

En la tabla 17 se presentan los resultados de factores anti-nutrimientales presentes en las bases para pay control y seleccionada. Estos resultados evidencian el efecto que tuvo el someter a estos factores antes detectados en las harinas de amaranto y chíá, a un tratamiento térmico.

Tabla 17. Factores anti-nutrimientales de la base para pay control y la formulación seleccionada

Muestra	% Taninos	%Acido Fítico	%Inhibidores de tripsina
Base de pay control (100% Trigo)	ND	ND	ND
Base de pay seleccionado (20HT,50HA,20HCh)	ND	0.99 +/-0.07	ND

ND: No detectado.

Por lo que se muestra en la base control, no se detectaron estos factores. En un trabajo en el que se hicieron a galletas con harina de trigo y harinas de otras semillas y legumbres sí detectaron taninos aún después de un horneado, pero lo que no se detectaron fueron los inhibidores de tripsina (Olapade & Adeyemo, 2014). Algunas variedades de trigo

contienen taninos como el trigo rojo invernal (Garza, 2015), que debido a ciertos genes y tratamiento genético que se le da, el trigo contiene este factor. Pero la harina que utilizamos contenía en baja cantidad taninos como se mostró en la tabla 11.

En la base seleccionada realizada con las harinas en estudio, tampoco se presentaron valores detectables de taninos, ni de inhibidores de tripsina. Se detectó ácido fítico, pero el valor es menor a 1%. Por lo que se cumplió lo esperado que a pesar de que en las harinas lograron localizarse estos factores antinutrimientales, en la base después del horneado, estos ya no fueron detectables, ya que como menciona Elizalde *et al.* (2009) fueron eliminados en el horneado ya que son factores termolábiles.

3.9 PRUEBA SENSORIAL DE NIVEL DE AGRADO

En la figura 19 se muestran los porcentajes de cada calificación asignada por los 103 jueces elegidos al azar. A partir de 6, se consideró una calificación aprobatoria. Se obtuvo un 82% de aprobación de los jueces a la base para pay con harina de amaranto a un 50% y harina de chía a un 20%, dando un promedio de calificación al producto de 7.5 (Tabla 18).

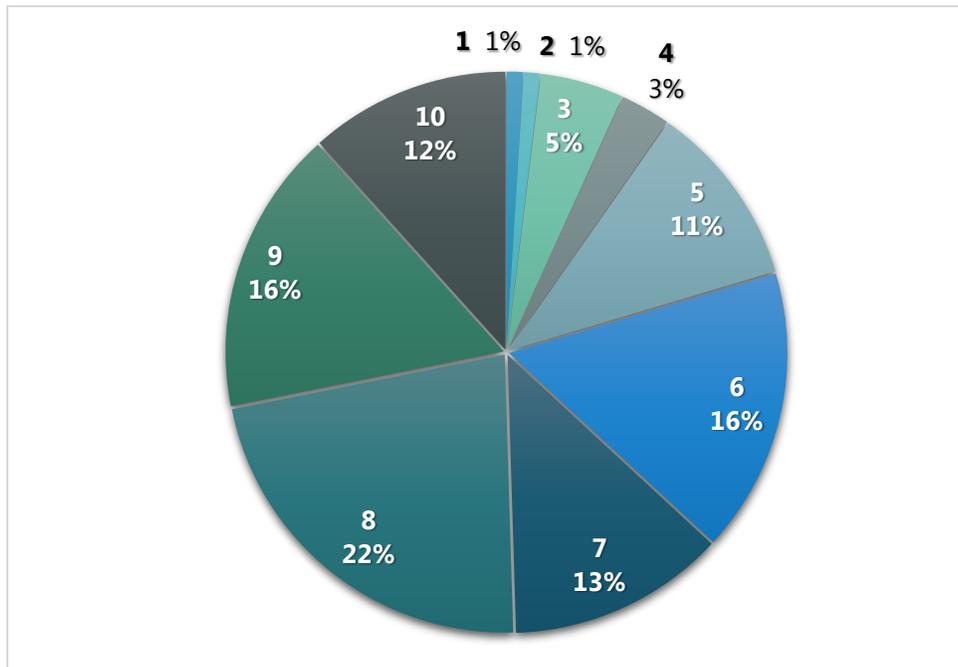


Figura 23. Porcentaje de cada calificación que asignaron los jueces

Es importante señalar que a pesar de que el producto se presentó sin un relleno, fue del agrado y aceptado por el 82% de los consumidores.

Tabla 18. Calificación y nivel de aceptación

Calificación promedio	% de aceptación
7.51	82%
+/- : 1.98	
C.V.: 26.36%	

Con base en los resultados obtenidos se puede decir que la base para pay elaborada con amaranto y chía tuvo mejor calidad nutricional que la elaborada con 100% trigo y que el producto es sensorialmente aceptado por parte de posibles consumidores.



CONCLUSIONES

- Se logró elaborar una formulación para una base de pay con máximo un 50% de harina de amaranto y 35% de harina de chía con buenas características físicas y sensoriales.
- La formulación que resultó tener mejores características físicas y sensoriales de la masa, así como la mayor preferencia en la prueba fue la que contenía 50% harina de amaranto, 20% de harina de chía, 20% harina de trigo y 10% de gluten, del total de la harina contenida en la formulación.
- La formulación seleccionada (20% harina de trigo, 50% harina de amaranto, 20% harina de chía y 10% gluten) para elaborar la base para pay con harinas de chía y amaranto presentó mejor calidad nutrimental y funcional en comparación con una base para pay control elaborada 100% de trigo, ya que tuvo un mayor contenido de proteínas, cenizas, grasa, fibra cruda, triptófano y mejor digestibilidad *in vivo* e *in vitro* y una mejor Eficiencia Proteica (PER); así como mayor cantidad de fibra dietética, concentración de fenoles y mayor capacidad antioxidantes.
- La base para pay elaborada con la formulación seleccionada de harinas de chía y amaranto, obtuvo una buena aceptación por parte de los consumidores y una calificación de 7.51 en una escala de 1 a 10.

RECOMENDACIONES

- Realizar un análisis microbiológico del producto final para asegurar su inocuidad, así como determinar su vida de anaquel.
- Realizar un perfil de ácidos grasos.
- Realizar un análisis de factibilidad financiera para saber la viabilidad económica del producto.
- Desarrollar un relleno para la base para pay que tenga buenas características nutricionales, y así obtener un pay con excelente calidad nutrimental.

REFERENCIAS

A.O.A.C. (2005). Official methods of Analysis of Association of Official Analytical Chemists, Cunnif, Published by AOAC International Edition, USA.

Aguilar, D. (2016) Elaboración de una pasta de sémola tipo Fettuccine enriquecida con chía blanca (*Salvia hispanica L.*) con alto valor nutricional. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México.

Aguilera, Y., Martin-Cabrejas, M. & González, E. (2015). Phenolic compounds in fruits and beverages consumed as part of the mediterranean diet: their role in prevention of chronic diseases. *Phytochemistry Reviews*. 15: 405-423.

Algara, P., Gallegos, J. & Reyes, J. (2016). El amaranto y sus efectos terapéuticos. *Tlatemoani*. 1: 55-73.

Álvarez, M. (2000). Mejoramiento de la calidad nutricional y panadera del trigo por ingeniería genética. Tesis para obtener el título de Doctor. Universidad Nacional de Rosario.

Anónimo. (2012). Trigo ¿Alimento saludable o perjudicial?. Fecha de consulta: Octubre 5, 2018. Disponible en: <https://www.ecoagricultor.com/trigo-alimento-saludable-perjudicial/>

Asociación Mexicana del Amaranto. (2003). Amaranto, el mejor alimento de origen vegetal. Beneficios y propiedades nutritivas. Fecha de consulta: Noviembre 10, 2018. Disponible en: <http://www.amaranto.com.mx/salud/propiedades/propiedades.htm>

Astiz, V., Molfese, E. & Seghezzo, M. (2009). Mejora en la calidad nutricional de panes a base de harina de trigo. *Laboratorio de Calidad Industrial de Granos*. 1: 1-9.

Avanza Ma. & Añón M. (2001). Propiedades funcionales de proteínas de amaranto Capacidad de gelificación. *Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecnología de Alimentos (CIDCA)*. 47: 116-121.

Avanza, M. & Añón, M. (2006). Efecto del tratamiento térmico en las propiedades fisicoquímicas de albúminas y globulinas de *Amaranthus hypochondriacus*. *Comunicaciones científicas y tecnológicas* 2006. 31.

Aykrod, W.R. (1970). El Trigo en la alimentación humana. Roma: FAO, 1970. 23-35.

Azcoytia, C. (2013). Historia de los alimentos que llevaron los europeos a América. Fecha de consulta: Octubre 15, 2018. Disponible en: <https://www.historiacocina.com/es/historia-de-los-alimentos-que-llevaron-los-europeos-a-america>

Badui, S. (2013). Química de los alimentos. México: Pearson.

Botanical. (2006). El Trigo. Fecha de consulta: 24 de octubre 2018. Disponible en: <https://www.botanical-online.com/trigo.htm>

Boucher, F. & Muchnik, J. (1995). Agroindustria rural. Recursos técnicos y Alimentación. Costa Rica: Sede Central IICA.

Caballero, M. (2011). Estudio de gran visión y factibilidad económica y financiera para el desarrollo de infraestructura de almacenamiento de distribución de granos y oleaginosas para el mediano y largo plazo a nivel nacional. Fecha de consulta: Noviembre 20, 2018. Disponible en:

http://www.sagarpa.mx/agronegocios/Documents/Estudios_promercado/GRANOS.pdf

CANIMOLT. (2005). Harina de trigo. Fecha de consulta: Octubre 9, 2018. Disponible en: <https://www.canimolt.org>

Carrillo-Gómez, C., Gutiérrez-Cuevas, M., Muro-Valverde, M., Martínez-Horner, R. & Torres-Burgarín, O. (2017). La chía como súper alimento y sus beneficios en la salud de la piel. *El Residente*. 12:18-24.

CIBIOGEM. (2014). Trigo. Fecha de consulta: Octubre 7, 2018 Disponible en: <https://www.conacyt.gob.mx/cibiogem/index.php/trigo>

CONABIO. (2014). Amaranto. Fecha de consulta: Noviembre 25, 2018 Disponible en: <https://www.biodiversidad.gob.mx/usos/alimentacion/amaranto.html>

Coronado, M., Vega, S., Gutiérrez, R., García, B. & Díaz, G. (2006). Los ácidos grasos omega 3 y omega 6: Nutrición, bioquímica y salud. *Revista de educación bioquímica*. 25: 72-79.

CUNNIF, P. (1995). *Official Methods of Analysis of AOAC International*, 16th edition, USA.

Cuyoaromas. (2016). Chía semilla entera. Fecha de consulta: Marzo 11, 2019. Disponible en: <http://www.cuyoaromas.com.ar/productos/chia-semilla-entera>

Da Silva M.C. & Selma R. P. (2012). Antioxidant activity and flavonoid content of *Clusia fluminensis*. Planch & Triana. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. 84(3): 609-616.

De la cruz-Garduño, M. (2018) Efecto del deterioro de chía (*Salvia hispánica* L.) sobre su calidad nutrimental. Tesis de Licenciatura. Química de alimentos. UNAM.

De la Vega, R. (2009). Proteínas de la harina de trigo: clasificación y propiedades funcionales. *Temas de Ciencia y Tecnología*. 13: 27 – 32.

Elizalde, A., Porrilla, Y. & Chaparro, D. (2009). Factores antinutricionales en semillas. *Fibra dietética definición, análisis, fisiología y salud*. Facultad de Ciencias Agropecuaria. 7(1): 45-54.

Escudero, E. & González, P. (2006). La fibra dietética. *Nutrición Hospitalaria*. Unidad de dietética y nutrición. 21(2): 61-72.

FAO. (2004). Cereales, raíces feculentas y otros alimentos con alto contenido de carbohidratos. Fecha de consulta: Octubre 10, 2018. Disponible en: <http://www.fao.org/3/w0073s/w0073s0u.htm>

Garza, A. (2015). El trigo. Fecha de consulta: Febrero 20, 2019. Disponible en: <http://www.ilustrados.com/tema/1269/Trigo.html>

Gil, Á. (2010). Cereales y productos derivados. En *Tratado de nutrición*. España: Médica Panamericana S.A. 2: 101-105

Gilani, G. & Lee, N. (2003). Quality. *Bureau of Nutritional Sciences*. 1: 4847-4854.

Gimeno, E. (2004). Compuestos fenólicos. Un análisis de sus beneficios para la salud. *OFFARM*. 23: 80-84.

González-Torres, L., Téllez-Valencia, A., Sampedro, J. & Nájera, H. (2007). Las proteínas en la nutrición. *Revista Salud Pública y Nutrición*. 8(2): 1-7.

Gray, J. (2006). *Fibra dietética definición, análisis, fisiología y salud*. Bélgica: International Life Sciences Institute (ILSI) Europe.

Guiotto, E. (2014) Aplicación de subproductos de chía (*Salvia hispanica L.*) y girasol (*Helianthus annuus L.*) en alimentos. Tesis Doctoral.

Gutiérrez, Á., Ledesma, L., García, I. & Grajales, O. (2007). Capacidad antioxidante total en alimentos convencionales y regionales de Chiapas, México. *Revista Cubana Salud Pública*. 33: 80-90.

Gutiérrez, J., Rivera-Dommarco, J., Shamah-Levy, T., Villalpando-Hernández, S., Franco, A., Cuevas-Nasu, L., Romero-Martínez, M. & Hernández-Ávila, M. (2013). Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2012. Resultados nacionales. 2a. ed. Cuernavaca, México: Instituto Nacional de Salud Pública (MX).

Haug, W. & Lantzsch, H., (1983). Sensitive method for the rapid determination of phytate in cereals and products. *Journal of the Science of Food Agriculture*. 34: 14232-14261

Herlich, K. (1990). *Official Methods of Analysis of the AOAC*. 15th edition, published by AOAC Inc, Arlington. 2:1020.

Hernández, M. & Sastre, A. (1999). *Tratado de nutrición*. Madrid: Díaz de Santos.

Hsu, H., Vavak, I., Satterlee & Miller, G. (1977). A multienzyme technique for estimating protein digestibility. *Journal Food Science and Technology*. 42(5): 1269-1273.

INIAP (2011) Manejo integrado de los cultivos de quinua, amaranto y ataco (Granos andinos). Módulo de capacitación. 2: 42.

ISO 9648; (1988). Determinación del contenido de taninos en sorgo. International Organization of Standardizations, ISO/DIS 9648. 175-215.

Jiménez P., Masson S. & Quitral R. (2013) Composición química de semillas de chía, linaza y rosa mosqueta y su aporte en ácidos grasos omega-3. *Revista Chilena de Nutrición [en línea]* 2013. Fecha de consulta: Enero 18, 2019. Disponible en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46928522010>> ISSN 0716-1549

Kadake, M., Rackis, J., McGhee, J., & Puski, G. (1974). Determination of trypsin inhibitor activity of soy product: A collaborative analysis of an improved procedure. *Cereal Chem*. 51: 376-381.

Kitchen nine (2018) Tarta de queso. Fecha de consulta: Octubre 20, 2018. Disponible en: <https://kitchen.nine.com.au/2016/05/16/13/50/new-york-cheesecake>

Larousse. (2018). *Diccionario gastronómico: Pie o pay*. , Arlington. . Fecha de consulta Octubre 7, 2018. Disponible en: <https://laroussecocina.mx/palabra/pie-o-pay/>

Londoño, J. (2012). Antioxidantes: Importancia biológica y métodos para medir su actividad. Corporación Universitaria Lasallista. Antioquia-Colombia. Capítulo 9. Parte III.

Mamani, E. & Molina, C. (2016). Calidad proteica y grado de satisfacción de la galleta elaborada a base de mezclas de harina de tarwi, cushuco, cañihua y gluten, puno, julio – octubre 2015. Tesis de Licenciatura.

Martín, P. (2010) A vueltas con el pan II. Fecha de consulta: 2018, Octubre 21. Disponible en: <https://www.hosteleriasalamanca.es/opinion/maria-pilar-martin/elaboracion-del-pan-por-pilar-galilea.php>

Martínez, I. & Villezca, P. (2005). La alimentación en México. *Ciencia UANL*. 8: 196-208.

Martínez, J. (2007). Evaluación de la actividad antioxidante de los extractos orgánicos de semillas de *Heliocarpus terebinthinaceus*. Tesis de Licenciatura. Ingeniería en Alimentos. Huajuapán de León, Oaxaca. Universidad Tecnológica de la Mixteca.

Martínez-Manrique, E. & Jiménez-Vera, V. (2013). Estructura y Morfología de los Cereales. Fecha de consulta: Octubre 9, 2018, de Universidad Nacional Autónoma de México Disponible en: http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/semillas/index.php?option=com_content&view=article&id=14&Itemid=18

Mercawise. (2017). Hábitos en el consumo de pan en México: La dulce costumbre de las familias. Fecha de consulta: Noviembre 20, 2018. Disponible en: <https://www.mercawise.com/blog/estudios-de-mercado/panaderias-consumo-pan-mexico/>

Mesas, J., & Alegre, M. (2002). El pan y su proceso de elaboración. Ciencia y Tecnología Alimentaria. 3: 307-313

Montero, L. (2010). Los superalimentos, sabroso seguro de vida. Revista Contenido. 80-83.

Montero-Quintero, K., Moreno-Rojas, R., Molina, E., Segundo, M., & Sánchez-Urdaneta, A. (2015). Evaluación de panes enriquecidos con amaranto para regímenes dietéticos. Interciencia. 40(7): 473-478.

Muñoz, A., Ramos-Escudero, D., Alvarado-Ortiz, C. & Castañeda, B. (2007). Evaluación de la capacidad antioxidante y contenido de compuestos fenólicos en recursos vegetales promisorios. Revista de la sociedad química de Perú. 73: 142-149.

Navarro-González, I., Periago, M. & García-Alonso, F. (2017). Estimación de la capacidad antioxidante de los alimentos ingeridos por la población española. Revista chilena de nutrición. 44(2): 183-188.

Normas Mexicanas (1992). NMX-F-521-1992 Productos de panificación. Clasificación y definiciones. Normas mexicanas. Dirección general de normas. Disponible en: <https://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-F-521-1992.PDF>

NZFMA (2003). Trigo - La estructura y características físicas. Asociación de molineros de harina de Nueva Zelanda. Fecha de consulta: Octubre 19, 2018. Disponible en: <http://www.flourinfo.co.nz/index.php/nzfma-knowledgebase/4-wheat/8-wheat-the-structure-a-physical-characteristics>

Olano, A. & Juárez, M. (2005) Alimentos funcionales, Introducción. Fundación Española de la ciencia y la tecnología. 7.

Olapade, A. & Adeyemo, M. (2014). Evaluation of cookies produced from blends of wheat, cassava and cowpea flours. *International Journal of Food Studies*. 3: 175-185.

Open food facts. (2018). Corteza de pan para pay. Fecha de consulta Enero 10, 2019, Disponible en: <https://mx.openfoodfacts.org/producto/0681131861472/corteza-de-pan-para-pay-great-value>

Ortiz, L. (2018). Elaboración de un bollo para hamburguesa complementado con harina integral de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus L.*). Tesis de Licenciatura.

Paredes, O., Guevara, F. & Bello, L. (2006) Los alimentos mágicos de las culturas indígenas mesoamericanas. Mexico. Editorial La ciencia para todos. 212: 93-101.

Patiño, J. (2006). Metabolismo, nutrición y shock. Colombia: Editorial Medica Panamericana.

Pérez-Reyes, F., Salazar-García, M., Romero-Branzini, A., Islas-Rubio, A. & Ramírez-Wong, B. (2013). Glycemic index and dietary fiber content of cookies elaborated with extruded wheat bran. *Plant foods human nutrition*. 60: 52-56.

Prasad, K. & Weigle, L. (1976). Association of seed coat factors with resistance to *Rhizoctonia solani* in *Phaseolus vulgaris*. *Phytopathology* 66: 342-345.

Queiroz, F., Goreti, M., Brunoro, N., Vieira, C. & Passos, F. (2016). Capability of in vitro digestibility methods to predict in vivo digestibility of vegetal and animal proteins. *Órgano Oficial de la Sociedad Latinoamericana de Nutrición*. 66: 5-16.

Rama, M., Tara, R. & Krishnan, C., (1974). Colorimetric estimation of tryptophan content of pulses. *Journal Food Science and Technology*. 11: 213-216.

Ramírez-Navas, J. (2012). Análisis sensorial: pruebas orientadas al consumidor. 12: 89-91.

Ranganna, S. (1977). *Manual of Analysis of Fruit and Vegetables Products*. Mc-Graw Hill. New Delhi. P. 634.

Roa, D. (2015) Métodos de molienda seca y húmeda en molino planetario para la obtención y caracterización de fracciones de amaranto y su aplicación como agente encapsulante. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires.

Roa-Acosta, D., González-Callejas, C. & Calderón-Yonda, Y. (2017). Seguimiento de la molienda abrasiva del grano de amaranto para la obtención de dos fracciones con potencial industrial. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. 1: 59-66.

Rodas, B. & Bressani, R. (2009) Contenido de aceite, ácidos grasos y escualeno en variedades crudas y procesadas de grano de amaranto. Centro de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Instituto de Investigaciones. Universidad del Valle de Guatemala, Guatemala. Órgano Oficial de la Sociedad Latinoamericana de Nutrición. 59(1).

Ronco, Á. (2009). Usos potenciales del Escualeno. *Tendencias en medicina*. 95-100.

Salinas, M. (2013). Estudio de la calidad panadera, sensorial y nutricional de panes elaborados con harina de trigo fortificada con sales de calcio e inulina Tesis Doctoral. Universidad Nacional De La Plata, Facultad De Ciencias Exactas, Buenos Aires.

Soriano, J. (2013). Proteína del amaranto posee propiedades antihipertensivas y antitrombóticas. Órgano informativo de la universidad autónoma metropolitana. 20: 28.

Torricella, R.G., Zamora, E. & Pulido, H. (2007) Evaluación sensorial: Aplicada a la investigación, desarrollo y control de la calidad en la industria alimentaria. 2a ed. Ciudad de La Habana, Cuba: Editorial Universitaria. 131.

UNICEF México. (2010). Salud y nutrición: El doble reto de la malnutrición y la obesidad. . Fecha de consulta: Enero 25, 2019. Disponible en: https://www.unicef.org/mexico/spanish/17047_17494.html

Valadez M., Ortega, E., Carballo, A. & Fucikovsky. (1990). Flavonoides de la testa del frijol como inhibidores de dos bacterias fitopatógenas. *Agrociencia, Serie Protección Vegetal*. 1(2): 75-91.

Valerio, S. (1994). Contenido de taninos y digestibilidad *in vitro* de algunos forrajes tropicales. *Agroforestería en las Américas*. 10-13.

Vázquez-Ovando, J., Rosado-Rubio, J., Chel-Guerrero, L. & Betancur-Ancona, D. (2010). Procesamiento en seco de harina de chía (*Salvia hispanica L.*): caracterización química de fibra y proteína. *CyTA: Journal of Food*. 8: 117-127

Villareal, M. (2000). Antecedentes históricos y técnicos del cultivo del trigo. En *Efectos de la producción del trigo en el mundo, México y en la región 5 manantiales*. México: Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro". 3-6.

Watts, B.M., Ylimaki, G.L., Jeffery, L.E. & Elias, L.G. (1989). Basic sensory methods for food evaluation. Ottawa, Ont., Canada: International Development Research Centre. 170.

Xingú, A., González, A., De la Cruz, E., Sangerman-Jarquín, D., Orozco, G., & Rubí, M. (2017). Chía (*Salvia hispanica* L.) situación actual y tendencias futuras. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 7: 619-1631.

ANEXO

El siguiente cuadro es el cuestionario que se entregó a los jueces para que después de haber probado las diferentes formulaciones dieran su opinión al respecto de cada formulación.

PRUEBA SENSORIAL DE PREFERENCIA				
Edad: _____	Sexo: H	M	Fecha: _____	
NOTA: Tome agua antes de iniciar la prueba, después tome entre cada degustación una porción de pay y agua.				
INSTRUCCIONES: Pruebe cada muestra y ordene según su preferencia, otorgándole un valor del 1 al 3, considerando que 1 = <i>menos gusta</i> y 3 = más gusta . No se permiten empates. En el espacio de a lado, explique brevemente su decisión.				
Muestras	1803	2432	1028	¿Por qué?
Valor	_____	_____	_____	_____

Las siguientes son las calificaciones que asignó cada persona encuestada:

Juez	1803	2432	1028												
1	1	3	2	22	2	1	3	43	1	3	2	64	3	2	1
2	1	3	2	23	1	2	3	44	3	2	1	65	3	1	2
3	1	2	3	24	2	3	1	45	2	1	3	66	1	3	2
4	3	2	1	25	3	2	1	46	1	3	2	67	3	1	2
5	1	2	3	26	2	3	1	47	2	1	3	68	3	1	2
6	2	1	3	27	2	1	3	48	1	2	3	69	1	2	3
7	1	2	3	28	3	2	1	49	1	3	2	70	1	2	3
8	3	1	2	29	2	1	3	50	1	2	3	71	2	1	3
9	3	2	1	30	1	2	3	51	1	3	2	72	3	1	2
10	2	1	3	31	2	1	3	52	3	1	2	73	2	3	1
11	1	3	2	32	3	1	2	53	3	2	1	74	2	1	3
12	2	3	1	33	3	1	2	54	2	3	1	75	3	2	1
13	2	3	1	34	2	1	3	55	3	2	1	76	1	2	3
14	1	3	2	35	3	2	1	56	1	2	3	77	3	2	1
15	2	1	3	36	2	1	3	57	2	3	1	78	3	1	2
16	1	2	3	37	1	3	2	58	1	3	2	79	3	1	2
17	3	1	2	38	1	3	2	59	1	2	3	80	3	1	2
18	3	2	1	39	2	3	1	60	3	2	1	81	2	1	3
19	3	2	1	40	1	2	3	61	2	1	3	82	3	2	1

20	2	3	1	41	3	2	1	62	3	2	1	83	2	1	3
21	3	1	2	42	2	3	1	63	1	2	3	84	1	2	3
Juez	1803	2432	1028												
85	2	1	3												
86	3	2	1												
87	3	1	2												
88	3	2	1												
89	2	1	3												
90	1	3	2												
91	3	1	2												
92	1	2	3												
93	3	2	1												
94	2	1	3												
95	3	1	2												
96	2	3	1												
97	3	1	2												
98	2	3	1												
99	2	3	1												
100	3	2	1												
Total	208	190	202												

A continuación se muestra el cuestionario entregado a los jueces que realizaron la prueba de nivel de agrado de la base para pay seleccionada en la prueba de preferencia.

<u>PRUEBA SENSORIAL DE NIVEL DE AGRADO</u>		
Edad: _____	Sexo: Hombre Mujer	Fecha: _____
NOTA: Tome agua antes de iniciar la prueba.		
INSTRUCCIONES: Pruebe la base de pay y sobre la línea indique con una "X" su nivel de agrado hacia el producto. En el espacio explique brevemente su decisión.		
Escala		

Disgusta mucho	Es indiferente	Gusta mucho
¿Por qué? _____		
<i>Gracias</i> ©		

De la misma manera se muestran las calificaciones que asigno cada juez a la base seleccionada:

Juez	Calificación	Juez	Calificación	Juez	Calificación
1	10	39	8.5	77	6.7
2	10	40	8.5	78	6.4
3	10	41	8.5	79	6.3
4	10	42	8.4	80	6.3
5	10	43	8.3	81	6.2
6	10	44	8.3	82	6.1
7	10	45	8.2	83	5.9
8	10	46	8.1	84	5.8
9	10	47	8	85	5.7
10	10	48	8	86	5.7
11	10	49	8	87	5.6
12	10	50	8	88	5.5
13	9.8	51	8	89	5.5
14	9.7	52	8	90	5.5
15	9.7	53	7.9	91	5.5
16	9.6	54	7.6	92	5.4
17	9.5	55	7.5	93	5.2
18	9.5	56	7.4	94	4.6
19	9.4	57	7.4	95	4.5
20	9.4	58	7.2	96	4
21	9.4	59	7.2	97	3.5
22	9.3	60	7.1	98	3.3
23	9.3	61	7	99	3.2
24	9.3	62	7	100	3
25	9.3	63	7	101	3
26	9.2	64	7	102	2.8
27	9.2	65	7	103	1
28	9.1	66	6.9	Promedio	7.5107
29	9	67	6.9		
30	8.8	68	6.9		
31	8.8	69	6.8		
32	8.8	70	6.8		
33	8.7	71	6.8		
34	8.7	72	6.8		
35	8.6	73	6.7		
36	8.5	74	6.7		
37	8.5	75	6.7		
38	8.5	76	6.7		