



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

**Elaboración de un Croissant complementado
con harina integral de amaranto**

T E S I S

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

PRESENTA

MARTHA PÉREZ MATIAS

Asesor: Dr. Martínez Manrique Enrique

Co-asesora: I.A. Jiménez Vera Verónica

CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO, 2021



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
ASUNTO: VOTO APROBATORIO



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

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

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

Elaboración de un Croissant complementado con harina integral de amaranto.

Que presenta la pasante: Martha Pérez Matias

Con número de cuenta: 414087578 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 17 de Febrero de 2020.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Dra. María del Carmen Valderrama Bravo	
VOCAL	M. en C. Sandra Margarita Rueda Enriquez	
SECRETARIO	Dr. Enrique Martínez Manrique	
1er. SUPLENTE	I.A. Verónica Romero Arreola	
2do. SUPLENTE	Dra. Alma Adela Lira Vargas	

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

LMCF/cga*



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

PIAPI-1841-FESC



Cuando hay una carrera, todos corren para ganar, pero sólo uno recibe el premio. Así que corran para ganar.

1 Corintios 9:24

לאל תודה

Dedicatorias

A **Dios**, por permitirme llegar a uno de los momentos más importantes de mi vida, con el que soñé desde que era pequeña, por guiar mi camino, por su infinita gracia, amor y misericordia hacia mí, quien ha sido mi refugio y mi fortaleza en los momentos de debilidad e incertidumbre, yo sé que TÚ mueves montañas, eres el Dios que hace posible lo imposible y que cumple sus promesas.

A mis padres, **Nahu Pérez Pérez** y **Amalia Matías Cetrok** por ser ambos el motivo, la inspiración y el apoyo, por su cuidado y motivación incondicional, por ser mis mentores, por todo lo que han sembrado en mí, gracias por ayudarme a llegar a este punto de mi vida para realizarme académica y profesionalmente, el logro también es de ustedes.

A mi **Madre** en especial ¡Gracias infinitas mami! Eres el mayor ejemplo del abrazo y la gracia de Jesús que he conocido, la definición de amor y sacrificio. Sigues aquí, en cada paso que doy, en cada decisión que tomo, tus consejos y amor siempre están presentes, mi compañera y amiga, cada segundo que vivo tú lo vives conmigo, es para ti cada meta cumplida, me siento muy orgullosa y bendecida de tenerte, te amo con el alma y eternamente.

A mi hermano **Johanán**, gracias hermano por tu apoyo, por entenderme, por tus consejos, por escucharme y por todas las historias que hemos recabado a lo largo de estos años juntos, por esa luz tuya que ilumina a todas las demás personas, eres también inspiración, agradezco a Dios tener un hermano como tú, que Dios te bendiga y sea contigo siempre, te amo.

A la familia **Pérez Pérez** y **Matías Cetrok**, a mis abuelos, tíos y primos, ustedes fueron motivación para mí y estuvieron en mis pensamientos cuando ya no podía más, gracias por preocuparse por mí en la distancia, todos son parte importante para mí.

A la familia **Paredes Gutiérrez**, que son la familia que me ayudó y me cuidó cuando llegué a un lugar sin conocer, quienes me abrieron las puertas de su casa, Doña Deme (Curi), Male, Ofe, Don Facundo, no tengo como agradecer sus consejos, apoyo y compañía, agradezco a Dios por sus vidas y por poner a personas como ustedes en mi camino, que Dios los bendiga ¡Muchas Gracias!

A mis amigos y también colegas, por todos los buenos momentos, por hacer más amena esta etapa, por el apoyo académico y personal, me llevo muy buenos recuerdos de todos, sin nombrar a alguien en especial ustedes saben quiénes son, los quiero mucho (Los rayos y mis amigos de la generación 39).

A mis asesores, al **Dr. Enrique Martínez** e **I.A. Verónica Jiménez**, gracias por compartir sus conocimientos conmigo, por brindarme su paciencia durante la realización de este proyecto, por su apoyo, guía y corrección de este trabajo cuando fue necesario, por su compromiso con el taller de cereales y con cada proyecto.

A mis sinodales, **Dra. María de Carmen Valderrama, M. en C. Sandra Margarita Rueda, I.A. Verónica Romero** y **Dra. Alma Adela Lira**, gracias por su ayuda y por tomarse el tiempo para revisar este trabajo.

A todas las personas que de alguna manera me han apoyado a lo largo de mi camino.

A mi querida **Universidad Nacional Autónoma de México**, por ser de lo mejor que me ha pasado, por darme un sentido de pertenencia e identidad único, me enorgullece que mi educación universitaria haya sido en la máxima casa de estudios de mi país, porque la UNAM me dio experiencias, anécdotas y muchas enseñanzas.

“Por mi raza hablará el espíritu”

ÍNDICE

	Página
RESUMEN	i
INTRODUCCIÓN	ii
CAPITULO I. ANTECEDENTES	
1.1 Trigo	1
1.1.1 Origen	1
1.1.2 Características botánicas y clasificación	2
1.1.3 Morfología de grano de trigo	3
1.1.4 Composición química	4
1.1.5 Harina de trigo y clasificación	5
1.1.6 Producción	7
1.2 Panificación	8
1.2.1 Origen y definición	8
1.2.2 Productos elaborados y clasificación	9
1.2.3 Pan dulce	10
1.2.3.1 Hojaldre	10
1.2.3.2 Definición y origen de Croissant	10
1.2.3.3 Ingredientes utilizados en la elaboración de Croissant	11
1.2.3.4 Consumo de Croissant en México	13
1.3 Súper alimentos	15
1.3.1 Definición	15
1.3.2 Ejemplo de súper alimentos	16
1.4 Amaranto	17
1.4.1 Origen	17
1.4.2 Características botánicas y clasificación	18
1.4.3 Composición química y valor nutrimental de la semilla de amaranto	19
1.4.4 Producción	21
1.4.5 Productos elaborados	22
1.4.6 Harina de amaranto	23
CAPITULO II. DESARROLLO EXPERIMENTAL	
2.1 Objetivos	24
2.1.1 Objetivo general	24
2.1.1.1 Objetivos particulares	24
2.2 Cuadro Metodológico	25
2.3 Metodología	26
2.3.1 Material Biológico	26
2.3.2 Preparación de la muestra	26
2.3.3 Análisis químico proximal a materia prima	26
2.3.3.1 Determinación de humedad	26

2.3.3.2	Determinación de extracto etéreo	27
2.3.3.3	Determinación de proteína	28
2.3.3.4	Determinación de cenizas	30
2.3.3.5	Determinación de fibra cruda	31
2.3.3.6	Determinación de carbohidratos	32
2.4	Elaboración de Croissant con harina de trigo	32
2.4.1	Diagrama de proceso	33
2.4.1.1	Descripción de diagrama de proceso	33
2.4.2	Preparación de formulaciones	39
2.5	Evaluación sensorial	39
2.5.1	Prueba de preferencia	39
2.5.2	Prueba de nivel de agrado	40
2.6	Análisis químico proximal de Croissants	41
2.7	Evaluación de la calidad nutrimental del Croissant (comercial, control y seleccionado)	41
2.7.1	Cuantificación de triptófano	41
2.7.2	Digestibilidad <i>in vitro</i>	42
2.7.3	Almidón total	44
2.7.4	Almidón digerible	45
2.8	Factores funcionales a Croissant (comercial, control y seleccionado)	46
2.8.1	Determinación de compuestos fenólicos	46
2.8.2	Determinación de capacidad antioxidante	48
2.8.3	Almidón resistente	49
2.8.4	Fibra dietética	51
2.9	Análisis estadístico	53

CAPITULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1	Análisis químico proximal de la materia prima	54
3.2	Evaluación de la calidad nutrimental de la materia prima	55
3.3	Evaluación de la materia prima como alimento funcional	57
3.4	Elaboración de distintas formulaciones para Croissant	60
3.5	Evaluación sensorial (prueba de preferencia)	61
3.6	Análisis químico proximal de Croissant (comercial, control y seleccionado)	61
3.7	Análisis de calidad nutrimental de Croissant (comercial, control y seleccionado)	62
3.7.1	Cuantificación de Triptófano	62
3.7.2	Digestibilidad <i>in vitro</i>	63
3.7.3	Almidón total	64
3.7.4	Almidón digerible	65
3.8	Evaluación del Croissant (comercial, control y seleccionado) como alimento funcional	65
3.8.1	Compuestos fenólicos	65
3.8.2	Capacidad antioxidante	66
3.8.3	Fibra Dietética	67
3.8.4	Almidón resistente	68
3.9	Evaluación sensorial (prueba nivel de agrado)	68

CONCLUSIONES	70
RECOMENDACIONES	71
REFERENCIAS	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Origen del trigo en Mesopotamia	1
2. Espiga de trigo	2
3. Diagrama esquemático del grano de trigo	4
4. Producción de trigo en México	8
5. Origen del pan en Egipto	9
6. Croissant	11
7. Razones del consumo de pan en México	14
8. Tipos de pan consumidos durante el desayuno	14
9. Tipos de pan consumidos durante la cena	15
10. Planta de amaranto	18
11. Corte longitudinal del grano de amaranto	19
12. Cuadro metodológico	25
13. Estufa con circulación forzada de aire BLUE M C-4850-Q	27
14. Extracción de grasa por Soxhlet	28
15. Destilador micro Kjeldahl para determinación de proteína	29
16. Mufla para determinación de cenizas	30
17. Filtración con succión de vacío para determinación de fibra	31
18. Diagrama de procesos para la elaboración de Croissant	33
19. Pesado de ingredientes	34
20. Ingredientes para elaboración de Croissant	34
21. Mezcla de levadura, agua, azúcar y harina.	34
22. Activación de levadura	34
23. Mezclado de ingredientes secos	35
24. Mezclado de ingredientes	35
25. Amasado 1	35
26. Fermentado de masa	36
27. Amasado 2	36

28. Extendido de masa	36
29. Empastado	36
30. Plegado	37
31. Plegado y extendido	37
32. Extendido	37
33. Formado de los triángulos	37
34. Corte del triángulo	38
35. Formado Croissants	38
36. Croissants	38
37. Fermentado 2	38
38. Horneado	38
39. Enfriado	39
40. Prueba sensorial de preferencia	40
41. Formato prueba sensorial de preferencia	40
42. Prueba de nivel de agrado	41
43. Formato prueba nivel de agrado	41
44. Determinación de triptófano	42
45. Digestibilidad in vitro	43
46. Croissants	69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Composición química del grano de trigo entero.	4
2. Composición de aminoácidos de la proteína de trigo (g/100 g de proteína).	5
3. Composición química proximal de la harina de trigo.	5
4. Tipos de harinas.	6
5. Comparación de contenido de proteínas del amaranto con otros cereales.	20
6. Contenido de aminoácidos en g/100 g de proteína.	21
7. Composición química proximal del amaranto.	21
8. Producción nacional de amaranto.	22
9. Composición química proximal de harina integral de amaranto.	23
10. Formulación a base de harina de trigo para elaboración de Croissants.	32
11. Formulaciones propuestas para elaborar Croissants con harina de trigo, harina integral de amaranto y gluten.	39
12. Análisis químico proximal de harina de trigo y harina integral de amaranto.	54
13. Resultados obtenidos de Triptófano en harina de trigo refinada marca Tres estrellas y harina integral de amaranto, utilizadas como materia prima.	55
14. Resultados obtenidos de Digestibilidad <i>in vitro</i> en harina de trigo refinada marca Tres estrellas y harina integral de amaranto, utilizadas como materia prima.	56
15. Resultados obtenidos de Almidón total en harina de trigo refinada marca Tres estrellas y harina integral de amaranto, utilizadas como materia prima.	56
16. Resultados obtenidos de Almidón digerible en harina de trigo refinada marca Tres estrellas y harina integral de amaranto, utilizadas como materia prima.	57
17. Resultados obtenidos de Fenoles en harina de trigo refinada marca Tres estrellas y harina integral de amaranto, utilizadas como materia prima.	57

18. Resultados obtenidos de capacidad antioxidante en harina de trigo refinada marca Tres estrellas y harina integral de amaranto, utilizadas como materia prima.	58
19. Resultados obtenidos de fibra dietética en harina de trigo refinada marca Tres estrellas y harina integral de amaranto, utilizadas como materia prima.	59
20. Resultados obtenidos de almidón resistente en harina de trigo refinada marca Tres estrellas y harina integral de amaranto, utilizadas como materia prima.	59
21. Formulaciones para elaboración de Croissants.	60
22. Resultados de la prueba sensorial de preferencia de Croissants con diferentes porcentajes de harina integral de amaranto.	61
23. Análisis químico proximal de Croissants comercial control y seleccionado.	62
24. Resultados obtenidos de Triptófano de los Croissants comercial, control y seleccionado.	63
25. Resultados obtenidos de Digestibilidad <i>in vitro</i> de los Croissants comercial, control y seleccionado.	64
26. Resultados obtenidos de Almidón total de los Croissants comercial, control y seleccionado.	64
27. Resultados obtenidos de Almidón digerible de los Croissants comercial, control y seleccionado.	65
28. Resultados obtenidos de Compuestos fenólicos de los Croissants comercial, control y seleccionado.	66
29. Resultados obtenidos de Capacidad antioxidante de los Croissants comercial, control y seleccionado.	67
30. Resultados obtenidos de Fibra dietética de los Croissants comercial, control y seleccionado.	67
31. Resultados obtenidos de Almidón resistente de los Croissants comercial, control y seleccionado.	68
32. Resultados de prueba de nivel de agrado aplicado a Croissants seleccionado en prueba de preferencia.	69

RESUMEN

El trigo es uno de los cereales que constituyen la materia prima de diversos alimentos tales como el pan, pastas, galletas, pan dulce, entre otros. Y entre ellos uno que gusta mucho y se consume de manera ordinaria es el Croissant. Sin embargo, dicho producto se considera de baja calidad nutrimental, debido en gran parte a que se encuentra elaborado a partir de harina refinada de trigo. Lo cual no ofrece proteínas y ácidos grasos que sean de buena calidad. Una alternativa para mejorar estos productos de trigo sería elaborarlos junto con otros granos de mejor calidad nutrimental como es el amaranto, es por ello que en este proyecto se propuso desarrollar una formulación para elaborar Croissants a partir de harina de amaranto y trigo, una alternativa más nutritiva y funcional adicionándole harina integral de amaranto ya que el amaranto posee un alto contenido de proteínas con aminoácidos esenciales, ácidos grasos esenciales, fibra y antioxidantes. Para realizar esta investigación se propusieron tres diferentes formulaciones con harina de trigo, amaranto y gluten en distintas proporciones (30, 50, 70%), con las cuales se elaboraron los Croissants, seleccionando una formulación en base a una prueba sensorial. A la formulación seleccionada se le realizaron pruebas químicas, (análisis químico proximal) de propiedades nutrimentales (cuantificación de triptófano, digestibilidad *in vitro*, almidón total y almidón digerible) y funcionales (compuestos fenólicos, capacidad antioxidante, almidón resistente y fibra dietética) y una prueba de nivel de agrado. Los resultados mostraron que la formulación seleccionada fue de 30% harina de amaranto, 60% harina de trigo y 10% de gluten, la cual presentó mejor calidad nutrimental que la formulación comercial y control elaborada con 100% harina de trigo, debido a que tuvo un mayor contenido de proteína y fibra en cuanto a la digestibilidad *in vitro* el resultado fue mayor en la formulación seleccionada en comparación con el comercial y el control, respecto a el almidón total y almidón digerible estos no presentaron diferencia estadísticamente significativa. Para las propiedades funcionales se obtuvieron valores mayores de fenoles, capacidad antioxidante y fibra dietética en la formulación seleccionada con respecto al comercial y control. Finalmente, el Croissant elaborado con la formulación seleccionada obtuvo 70.2% de aceptación y una calificación de 7.54 en una prueba sensorial de preferencia.

INTRODUCCIÓN

Los cereales en sus diversas formas son un componente esencial de la dieta, siendo fuente importante de hidratos de carbono, proteínas, fibra dietética y vitaminas (Katina *et al.*, 2005). El trigo es uno de los tres cereales más cultivados globalmente, junto con el maíz y el arroz, y el más consumido por el ser humano en la civilización occidental desde la antigüedad. El grano del trigo se utiliza para hacer harina, harina integral, sémola y malta, así como una gran variedad de productos alimenticios derivados de estos como por ejemplo el pan (León *et al.*, 2007). El consumo de pan y productos de panadería hechos a base de harina refinada de trigo suele ser la tendencia habitual, sin embargo, esta harina se caracteriza por un limitado valor nutricional (Isserliyska *et al.*, 2001). Esto es importante porque, se ha estimado que alrededor de dos mil millones de personas en el mundo sufren distintas formas de deficiencias nutricionales, especialmente en los países en desarrollo donde la diversidad de la dieta es limitada. Esto se debe a que el pan elaborado a base de harinas refinadas de trigo no cuenta con los nutrientes necesarios y de buena calidad nutrimental por lo que su alto consumo ha contribuido a que la gente hoy en día sufra de obesidad y sobrepeso. Es por eso que diferentes estudios han sido conducidos a mejorar el valor nutritivo del pan de trigo, y una de las recomendaciones es la adición de mezclas de diferentes semillas, granos de otros tipos de cereales o frutos secos (Bodroza-Solarov *et al.*, 2008). También, para superar dichas deficiencias y fomentar el consumo de alimentos más saludables, nutritivos y seguros, se han llevado a cabo intervenciones nutricionales, como son el uso de cereales en grano entero y harinas integrales, productos con un elevado aporte de fibra dietética (Bodroza-Solarov *et al.*, 2008; Sanz Penella *et al.*, 2009; Sanz Penella *et al.*, 2010). El bajo consumo de fibra se ha asociado con enfermedades coronarias, aterosclerosis y cáncer de colon, por lo que una mayor cantidad de esta en la dieta humana causaría una menor incidencia de estas enfermedades (Matia *et al.*, 2007; Sanz-Panella *et al.*, 2009) Asimismo, estudios epidemiológicos, confirman que el consumo de alimentos ricos en cereales y pseudocereales de grano entero ayuda a prevenir las enfermedades asociadas con el síndrome metabólico (Aleixandre y Miguel, 2008).

Por otra parte, en México existen una gran variedad de productos de panificación, entre ellos se encuentra el Croissant, cuyo nombre proviene del alemán Hornchorn, de Horn 'cuerno', nombre dado a unos bollos con forma de media luna hechos en las pastelerías de Viena a finales del siglo XVII para conmemorar una victoria sobre los turcos, cuyo símbolo nacional es la media luna. El Croissant es producto de pastelería y repostería de masa de hojaldre fermentada (FIAB, 2018). Dentro de los diversos productos obtenidos a partir del proceso de panificación, el Croissant se encuentra en segundo lugar en los tipos de pan más consumidos en México, después de la concha. Es Croissant es un tipo de pan muy consumido durante el desayuno y también en la cena (PROFECO, 2017). Es por esto que, en este trabajo se propone la elaboración de un Croissant.

Los pseudocereales son plantas cuyos granos son ricos en materia harinosa como los cereales, aptos para la fabricación de pan, pero que, a diferencia de estos, son dicotiledóneas y todos pertenecen a los géneros *Amaranthus* y *Chenopodium* (Buitrago y Torres, 2000). El grano de amaranto (*Amaranthus* spp.), es originario de Sud América y América Central. La calidad nutricional del grano de amaranto se considera superior a la de los cereales, tales como el trigo, cebada o arroz (Oszvald *et al.*, 2009). Posee un alto contenido proteico y equilibrada composición en aminoácidos esenciales, por este motivo es considerado una fuente de proteínas de alta calidad para la dieta (Giuseppe *et al.*, 2009; Oszvald *et al.*, 2009). Además, es rico en almidón, grasa, fibra dietética, vitaminas (A, K, B6, C, E y B) y minerales como calcio, magnesio, fósforo, hierro, potasio, zinc, cobre y manganeso (Bodroza- Solarov *et al.*, 2008; Zapotoczny *et al.*, 2006). Por este motivo en las últimas décadas, el amaranto ha logrado captar un creciente interés como ingrediente funcional, en especial en procesos de panificación, puesto que es muy versátil para la transformación e industrialización (Mujica-Sánchez *et al.*, 1997; Zapotoczny *et al.*, 2006; Jacobsen *et al.*, 2002). Puede transformarse y utilizarse como cualquier cereal, aunque por falta de gluten, debe mezclarse con la harina de trigo en productos de panadería (Mujica-Sánchez *et al.*, 1997).

En este trabajo de investigación se pretende la adición de harina integral de amaranto y harina de trigo en diferentes proporciones en la formulación para elaborar un Croissant, para después seleccionar la mejor formulación mediante una prueba

sensorial de preferencia, posteriormente se evaluará la calidad nutrimental (digestibilidad *in vitro*, triptófano, almidón total, y almidón digerible) y funcional (fenoles, capacidad antioxidante, almidón resistente y fibra dietética) del producto seleccionado y se comparará con un producto comercial y uno control elaborado con 100% harina de trigo para definir si se mejoró su calidad nutrimental y funcional. Por último, se realizará una prueba de nivel de agrado a la formulación seleccionada para conocer su aceptación por el consumidor.

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1.1 Trigo

1.1.1 Origen

El trigo es una planta no perenne que pertenece a la familia de las gramíneas y produce un conjunto de frutos modificados que se fusionan en una espiga terminal y puede ser silvestre o cultivada. Su origen data de la civilización mesopotámica, entre los valles de los ríos Tigris y Éufrates en el Medio Oriente (Figura 1). Fueron los egipcios, quienes descubrieron la fermentación del trigo y lo utilizaron en la elaboración de alimentos.

De acuerdo con textos académicos, hace aproximadamente 8 milenios ocurrieron cruces y mutaciones en trigos silvestres, lo que ocasionó un tipo de planta con tres o más juegos de cromosomas (si son 4 es tetraploide), por lo que con estos componentes genómicos, esta gramínea comenzó a cultivarse; este acontecimiento es considerado la base de la revolución neolítica, ya que transformó la vida de la humanidad (Bonjean & Angus, 2001).

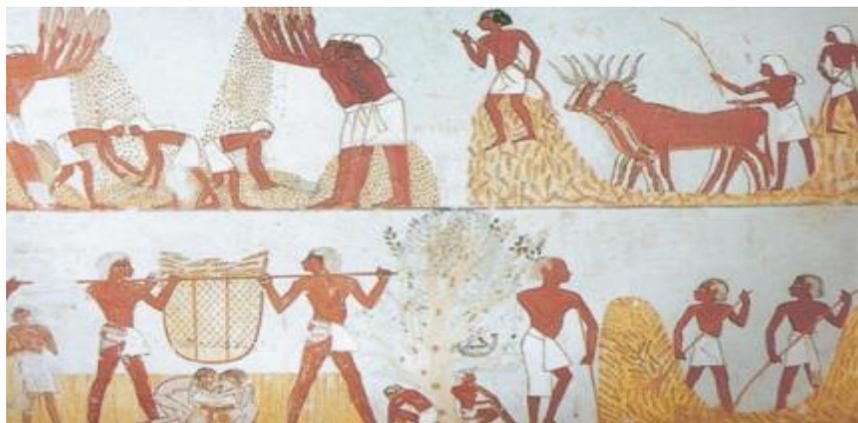


Figura 1. Origen del trigo en Mesopotamia

Fuente: Bascón, 2012

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

De sus granos molidos se saca la harina. Existen dos tipos de harina: a) Tipo A o panificable con tres grados de calidad (común o estándar, fina y extrafina), y b) Tipo B o sémolas (no panificables), en donde se incluyen las harinas para elaborar pastas y macarrones. El destino principal de la harina es la elaboración de pan y en menor medida la fabricación de pasteles, galletas y pastas (Bonjean & Angus, 2001).

1.1.2 Características botánicas y clasificación

El trigo pertenece a la familia de las gramíneas (*Poaceae*), siendo las variedades más cultivadas *Triticum durum* y *T. aestivum*. El trigo harinero hexaploide llamado *T. aestivum* es el cereal panificable más cultivado en el mundo (InfoAgro, 2015). La forma del grano de trigo es ovalada con extremos redondos, en uno de ellos sobresale el germen y en el otro hay un mechón de pelos finos. La altura de la planta varía entre treinta y 150 centímetros y cada planta tiene de cuatro a seis hojas (Figura 2) (SIAP, 2015).



Figura 2. Espiga de trigo
Fuente: Roybal, 2012

La taxonomía (Villar, 2015) del trigo es la siguiente:

- **Reino:** *Plantae*
- **División:** *Magmoliophyta*
- **Clase:** *Liliopsida*
- **Subclase:** *Commelinidae*

- **Orden:** *Poales*
- **Familia:** *Poaceae*
- **Género:** *Triticum*
- **Especie:** *T. vulgare*, *T. aestivum*
- **Nombre científico:** *Triticum vulgare L.*, *Triticum aestivum L.*

1.1.3 Morfología del grano de trigo

Desde el inicio de la civilización, el trigo es uno de los cereales más importantes en la alimentación humana. En general no se consume directamente; se usa en la elaboración de alimentos, sobre todo en la industria de la panificación, así como en la fabricación de pastas, galletas, bebidas y hasta en la producción de combustibles. Existen cinco variedades de trigo. Cuatro de ellas pueden utilizarse para la elaboración de pan; el quinto es el tipo cristalino, más utilizado para elaborar pastas (SIAP, 2015).

El trigo está formado por tres partes (Figura 3) principales: pericarpio, endospermo y germen (Juárez *et al.*, 2014).

- El pericarpio que está formado por la epidermis, el epicarpio y el endocarpio; contiene vitaminas, minerales y proteínas. Entre el pericarpio y el endospermo se encuentra la capa de aleurona que cumple un papel muy importante en el desarrollo del embrión durante la germinación.
- El endospermo, por su parte, es el depósito de alimento para el embrión y constituye el 82% del peso del grano. Está compuesto por almidón, proteínas y en menor proporción celulosas; además tiene una baja proporción de vitaminas y minerales.
- El germen de trigo es rico en vitaminas del grupo B y E, y también contiene grasas, proteínas y minerales.

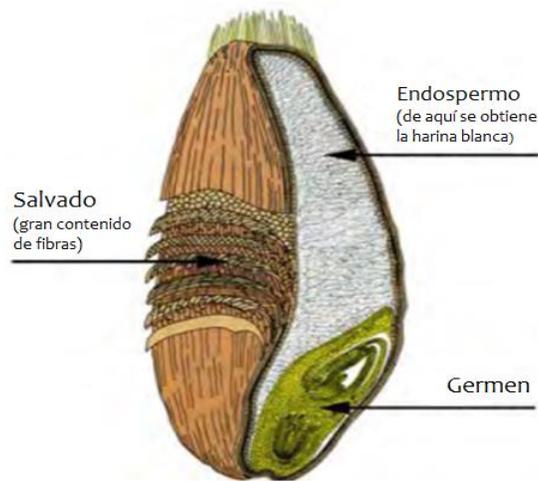


Figura 3. Diagrama esquemático del grano de trigo
Fuente: Foodwardturtle, 2015

1.1.4 Composición química

La composición química del grano de trigo cambia de acuerdo a la variedad, región, condiciones de cultivo y años de cosecha. También la calidad y cantidad de nutrientes dependen de la especie de trigo, lo que influirá en sus propiedades nutritivas y funcionales. En general, el grano maduro está compuesto por hidratos de carbón, compuestos nitrogenados, lípidos, minerales y agua, juntos con trazas de vitaminas, enzimas y otras sustancias (Tabla 1) (Juárez *et al.*, 2014).

Tabla 1. Composición química del grano de trigo entero

Humedad	Proteínas	Cenizas	Grasa	Fibra	CHOS
%	%	%	%	%	%
14	10-14	1.5	2.5	2.5	65

Fuente: Procesamiento de granos y semillas, 2016

El trigo contiene todos los aminoácidos esenciales, pero presenta deficiencia en algunos de ellos, principalmente la lisina y triptófano (Tabla 2).

El trigo tiene un digestibilidad del 95% y un valor biológico del 55%. El coeficiente de eficiencia proteica (respecto a un valor de 2.5 para caseína) muestra un valor para el trigo de 1.0 (Hernández, 2010).

Tabla 2. Composición de aminoácidos de la proteína de trigo (g/100 g de proteína)

Aminoácido	%
Histidina	2.0
Isoleucina	4.2
Leucina	6.8
Lisina	2.6
Metionina	3.7
Fenilalanina	8.2
Treonina	2.8
Triptófano	1.2
Valina	4.4

Fuente: Murray *et al.*, 2005

Existen dos tipos de trigos los panificables que corresponden a la especie *Triticum aestivum L.* y los trigos no panificables que corresponden al *Triticum durum* (NMX-FF.036-1996).

El trigo panificable (*Triticum aestivum L.*) es el que se utiliza en la elaboración de harinas para pan, galletas, tortillas y otros, el cual se identifica en cuatro grupos de acuerdo a las características de calidad del gluten (NMX-FF-036-1996).

1.1.5 Harina de trigo y clasificación

La harina es el polvo que se obtiene de la molienda del grano de trigo maduro, entero o quebrado, limpio 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. Contiene entre 65 y un 70% de almidones y del 9 al 14% de proteínas; siendo las más importantes la gliadina y la gluteína, además de contener otros componentes como celulosa, grasas y azúcar (Tabla 3) (CANIMOLT, 2015).

Tabla 3. Composición química proximal de la harina de trigo

Componente	%
Proteína	13.5
Grasa	1.4
Fibra cruda	0.3
Fibra dietética	2.8
Cenizas	0.6
Carbohidratos	82.9

Fuente: Hernández, 2010

La molienda de trigo consiste en separar el endospermo de las otras partes del grano. El trigo entero rinde más del 72% de harina blanca y el resto es un subproducto. En la molienda, el grano de trigo se somete a diversos tratamientos antes de convertirlo en harina (CANIMOLT, 2015).

Para clasificar las harinas de trigo se utilizan los siguientes valores (Tabla 4) (CANIMOLT, 2015).

Tabla 4. Tipos de harinas

Tipo de harina	Características	Usos
EXTRAFINA	W=270-330	Panes y bollería especial
	P/L=0.9-1.3	
	P=100-130; L=90-120	
	Gluten seco=9-12%	
	No.de Falling=320-380 seg.	
	Índice de Maltosa=2-2.4	
FINA	W=180-270	Panes especiales. Fermentación larga y proceso frío de bollería y panadería
	P/L=0.5-0.7	
	P=50-90; L=100-120	
	Gluten seco=0.9-11.5%	
	No.de Falling=320-380 seg.	
	Índice de Maltosa=1.8-2.2	
SEMIFINA	W=110-180	Para procesos medios y largos de fermentación. Croissant, hojaldres y biscochos.
	P/L=0.4-0.6	
	P=40-65; L=100-120	
	Gluten seco=8-11%	
	No.de Falling=27-330 seg.	
	Índice de Maltosa=1.8-2.2	
SUAVE	W=80-100	Para panificaciones muy rápidas y mecanizadas. Con una fermentación máxima de 90 min. También se puede usar para magdalenas y otros productos.
	P/L=0.2-0.3	
	P=30-40; L=60-75	
	Gluten seco=7-9%	
	No. De Falling=250-00seg.	
	Índice de Maltosa=1.6-8	

Fuente: CANIMOLT, 2015.

- W: Es la fuerza que tiene la harina.
- P/L: Indica 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 de mucha importancia 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, 2015).

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.

1.1.6 Producción

Los cereales de mayor producción mundial y en México se encuentran el maíz, arroz y trigo.

El trigo es el segundo grano de mayor producción a nivel mundial. Más del 60% de la producción mundial es utilizada para alimentación humana y su uso es cada vez más común en países en desarrollo de Asia y Latinoamérica (SAGARPA, 2011).

En México los principales estados productores de trigo son Sonora con 1, 791,704 ton, Baja California 396,717 ton, estados que se encuentran hacia el norte del país (Figura 4).

La región Noreste aporta en promedio el 55% de la producción nacional del cereal y el Bajío el 28%, lo que conjuntamente representa más de las tres cuartas partes del total nacional (OEIDRUS, 2016).

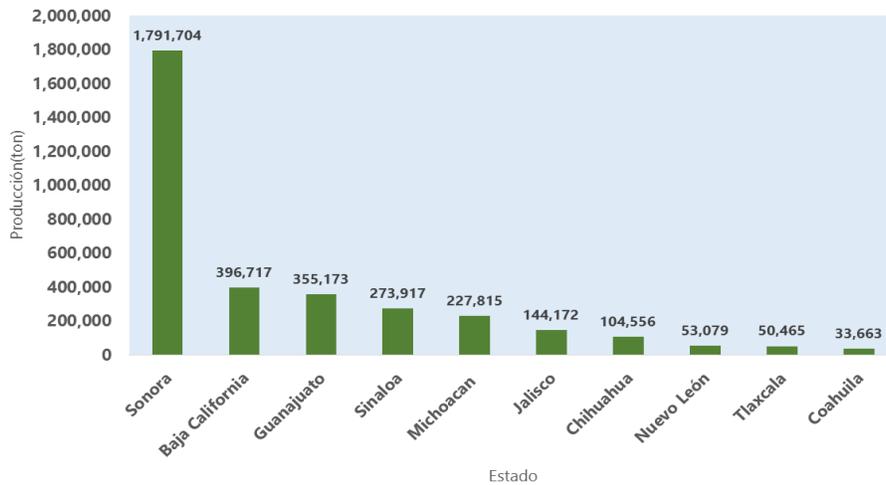


Figura 4. Producción de trigo en México
Fuente: CANIMOLT, 2015.

1.2 Panificación

1.2.1 Origen y definición

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 que fue en Egipto donde apareció el primer pan fermentado (Figura 5) 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 C.) sobre la fabricación de pan, que sugieren que fue en la civilización egipcia donde se utilizaron por primera vez los métodos bioquímicos de elaboración de estos alimentos fermentados (Mesas *et al.*, 2002).



Figura 5. Origen del pan en Egipto
Fuente: Aproinppa, 2012

Definición

El pan es el producto perecedero resultante de la cocción de una masa obtenida por la mezcla de harina de trigo, sal comestible y agua potable, fermentada por especies propias de la fermentación panaria, como *Saccharomyces cerevisiae* (Mesas *et al.*, 2002).

1.2.2 Productos elaborados y clasificación

Históricamente, el pan es el alimento mundial por antonomasia. Forma parte de la dieta básica tradicional en Europa, América, Oriente Medio y la India. Encabeza la pirámide de la recientemente galardonada dieta mediterránea como Patrimonio de la Humanidad, ejemplo a seguir de forma saludable de comer (Murcia, 2011).

Se clasifican de acuerdo a su composición en (NMX-F-516- 1992):

TIPO I: Pan Blanco, Bolillo y Telera

TIPO II: Pan de Harinas Integrales

TIPO III: Pan, Productos de Bollería

TIPO IV: Pan Dulce

- a) Panquelería
- b) Hojaldre y Feite
- c) Fritos

- d) Danés
- e) Soletas
- f) Polvorones
- g) Bisquet
- h) Bizcocho

TIPO V: Galletas

TIPO VI: Pastas secas

TIPO VII: Pastel

TIPO VIII: Pay o Tarta

TIPO IV: El Croissant se encuentra en el que pertenece a la clasificación de Pan Dulce ya que dentro de esta clasificación se encuentran los que son elaborados con pasta tipo hojaldre.

1.2.3 Pan dulce

Es 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).

1.2.3.1 Hojaldre

Son los productos cuyos ingredientes se elaboran masas no fermentadas, las cuales se laminan y alternan repetitivamente con capas de grasa comestible (NMX-F-516-1992).

1.2.3.2 Definición y origen de Croissant

Préstamo del francés croissant '(luna) creciente', derivado de croître 'crecer'. El término croissant traduce el alemán Hornchorn, de Horn 'cuerno', nombre dado a unos bollos con forma de media luna hechos en las pastelerías de Viena a finales del siglo XVII para conmemorar una victoria sobre los turcos, cuyo símbolo nacional es la media luna. El Croissant es producto de pastelería y repostería de masa de hojaldre

fermentada. Estas masas son trabajadas con aceites o grasas, con las que se producen hojas delgadas superpuestas. Croissant es un bollo dulce con forma de media luna, elaborado con masa de pan o pasta de hojaldre (Figura 6) (FIAB, 2018).



Figura 6. Croissant

Fuente: Gastronomía&Cía, 2016.

1.2.3.3 Ingredientes utilizados en la elaboración de Croissant

- **Harina de trigo**

La harina es el material más importante en todo el producto de panificación ya que afecta la funcionalidad y las características del producto terminado, dictamina parámetros de procesamiento y requerimientos de algunos otros ingredientes (Serna, 2013).

Componente estructural de la masa, este ingrediente es responsable de las características viscoelásticas de la misma y de su capacidad de retener el gas, así como de formar la estructura (Calaveras, 2000).

- **Agua**

Un ingrediente líquido es esencial para disolver el azúcar, la sal y la levadura. El agua hidrata la proteína de la harina, un paso preliminar para la formación del gluten. También hidrata el almidón para hacer posible la gelatinización del mismo durante el horneado (Calaveras, 2000).

- **Leche**

Después del agua, la leche es el líquido más importante en la panificación. El agua es indispensable para el desarrollo del gluten; así como la leche que contiene 88 a 91% de agua, cumple esa misma función. Además, la leche contribuye a mejorar la textura, el sabor, el color de la corteza, las cualidades de conservación y el valor alimenticio (Serna, 2013).

- **Levadura**

La levadura utilizada en panificación son mayormente en polvo la cual se encarga de fermentar los azúcares presentes (glucosa, fructuosa y maltosa) convirtiéndolos en dióxido de carbono, alcohol etílico y ácidos orgánicos. La producción de estos compuestos es importante en el acondicionamiento y leudado de la masa, además importen al pan recién horneado un aroma y sabor agradable (García, 1999).

- **Azúcar**

El azúcar tiene tres funciones básicas: impartir sabor y color y ser el principal sustrato regulador de la levadura. Los azúcares más utilizados son la sacarosa, edulcorantes invertidos y el jarabe de maíz. Estos carbohidratos imparten sabor al pan directa e indirectamente. Este último fenómeno debido a que la levadura produce un gran número de agentes saborizantes resultantes de la fermentación. Los azúcares son también responsables por el desarrollo del color típico del pan vía reacciones de Maillard, una vez que son expuestos a las altas temperaturas del horno (Serna, 2013).

- **Sal**

Su principal función es potencializar el sabor a la masa. El elevar la dosis en muchos casos es contraproducente ya que inhibe el trabajo de las células de levadura y por tanto frena la fermentación. La cantidad de sal influye también en la duración y estado de conservación, debido a su capacidad higroscópica, (capacidad de absorber agua), ya que la sal tiene a captar la humedad del aire introduciéndola en el producto (Hoseney, 1994).

- **Huevo**

El huevo otorga una especial característica a los panes: su esponjosidad; por lo tanto, mejoran su volumen debido a la expansión natural que presentan los huevos ante el calor. Además, la proteína del huevo (albumina) es útil al usar harinas débiles. También el huevo funciona como aglutinante que ayuda durante la fase de mezclado de la masa, aporta sabor y, cuando se usa en grandes cantidades, genera un color amarillento. El valor nutritivo del huevo es importante a la hora de consumir el pan. El huevo es muy usado en la panadería como abrillantador natural (Bakery, 2015).

- **Grasas**

Las grasas son uno de los ingredientes que con más frecuencia se emplean en la industria panificadora. Para el caso del pan, cuando la harina y el agua se mezclan, se obtiene una masa con características plásticas; las partículas del almidón finamente subdivididas son encapsuladas por una matriz proteica, el gluten. Si a la masa se añaden grasas emulsionantes se forma una sutil capa entre las partículas del almidón y la red del gluten, después el efecto aglomerante de los emulsionantes, transforma la superficie hidrófila de las proteínas en una superficie más lipófila: esta capacidad de los lípidos de aglomerar y por consiguiente de ligar las diferentes mallas de gluten, aumenta simultáneamente la posibilidad de estiramiento, la adición de emulsionantes confiere a la miga una estructura fina y homogénea ya que el gluten, al tener la posibilidad de estirarse sin romperse, retiene las burbujas de gas. Es decir, actúa como lubricante del gluten, haciéndolo más suave y elástico, aumentando con ello su capacidad de retención de gas. Al formar la película entre el gluten y el almidón, se impide la migración de humedad, favoreciendo que el producto sea más suave y fresco confiriendo una mayor vida de anaquel; favorece la formación de una corteza brillante de mejor aspecto, mejorará el sabor y el valor nutricional del pan (Calaveras, 2000).

1.2.3.4 Consumo de Croissant en México

El pan, desde que se comenzó a consumir hace miles de años, ha sido un alimento básico de gran parte de la Humanidad, en sus múltiples formas y elaboraciones. Del mismo

modo, a lo largo de la Historia, ha sufrido importantes cambios y modificaciones, tanto en sus ingredientes, como en su forma de elaboración.

Pese al cambio drástico en la forma de elaborar el pan, el más consumido sigue siendo el pan de día, que representa aproximadamente el 80 % del consumo. Estos porcentajes son para el consumo en los hogares, ya que las diferencias son más ajustadas, con un 55 % en el caso del pan fresco y un 45 % para las masas congeladas (Mundosabor, 2019).

Dentro de las razones principales por las cuales la gente consume pan tradicional o “recién hecho” se encuentran (Figura 7).

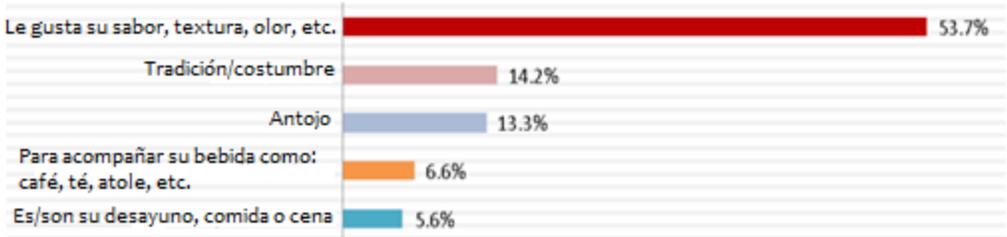


Figura 7. Razones del consumo de pan en México
Fuente: PROFECO, 2017

Dentro de los tipos de pan que más se consumen en México se encuentra principalmente la concha y en segundo lugar con un 10.9% se encuentra el cuerno (Figura 8).

Pan	%
Concha	22.8%
Cuerno	10.9%
Corbata de moño	6.2%
Rebanada de mantequilla	5.6%
Bisquet	5.5%
Oreja	5.5%
Cuadro de chocolate	4.7%
Donas	4.6%
Mantecada / panqué	2.8%
Beso	2.5%
Ojo de buey o de pancha	2.1%
Cocól	1.9%
Corneta	1.7%
Novia	1.6%

Figura 8. Tipos de pan consumidos durante el desayuno
Fuente: PROFECO, 2017

El cuerno es un tipo de pan muy consumido durante el desayuno y también en la cena con un 11.1 por ciento (Figura 9) y el 3.7 por ciento lo acostumbra entre comidas, 3.2 por ciento durante la comida y 3.1 por ciento lo come a cualquier hora.

Pan	%
Concha	22.2%
Cuerno	11.1%
Bisquet	6.0%
Donas	5.5%
Corbata de moño	5.4%
Rebanada de mantequilla	4.8%
Cuadro de chocolate	4.5%
Mantecada	3.3%
Beso	3.3%
Ojo de buey o de pancha	3.0%
Corneta	2.3%
Cocól	2.0%
Reja / pan de manteca	1.7%
Chino	1.5%
Nube	1.4%
Gerndarme / polvorón	1.4%
Hueso / pan de manteca	1.4%
Novia	1.3%

Figura 9. Tipos de pan consumidos durante la cena

Fuente: PROFECO, 2017

El cuernito es predilecto en su mayoría prefieren acompañarlo con leche, café, café con leche, chocolate o té; o bien con relleno dulces como mermeladas, chocolate, leche condensada o salados con carnes frías, queso o con vegetales.

1.3 Súper alimentos

1.3.1 Definición

Los Súper alimentos son productos de alto contenido en nutrientes. Y una excelente y eficaz forma de nutrir y desintoxicar nuestro organismo. Es decir, que utilizando cantidades muy pequeñas, podemos aportar a nuestro organismo grandes cantidades de nutrientes, vitaminas, minerales, antioxidantes, grasas saludables y enzimas. Son ideales para prevenir o tratar enfermedades, mantenerse en forma y con energía, desintoxicar el cuerpo, fortalecer el sistema inmunológico y prolongar la longevidad. Y son muy importantes dado que, al ser naturales, nuestro cuerpo los asimila mejor (FISIOTERAPIA, 2017).

El término “Superalimento” fue difundido por el Dr. Steven Pratt, esta palabra la utilizó 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 la salud, como por ejemplo el omega 3, ácidos grasos monoinsaturados y los polifenoles (Montero, 2010).

1.3.2 Ejemplo de súper alimentos (FISIOTERAPIA, 2017)

- Acai
- Aguacate
- Aloe vera
- Amaranto
- Apio
- Arándanos
- Brócoli
- Cebolla
- Espinaca
- Semillas de linaza
- Tomate
- Zanahoria

El amaranto es considerado un superalimento por su alto contenido ácidos grasos como el de omega 3, fibra y antioxidantes, es por esto que se consideró incluir al amaranto a la formulación del producto para mejorar su calidad nutricional, ya que es alto su nivel de consumo pero el aporte nutricional es de baja calidad.

1.4 Amaranto

1.4.1 Origen

Los estudios arqueobotánicos y las evidencias históricas confirman el origen americano de las especies productoras de amaranto (*Amaranthus spp.*). El amaranto o alegría es una fuente importante de proteína, calcio, hierro y otros compuestos, elementos necesarios para la alimentación humana. Puede ser utilizado en gran diversidad de productos, por ejemplo: sopas, panqués, cereal para desayuno, galletas, pastas, botanas, bebidas y confitería. El amaranto presenta además algunas propiedades para mantener la salud. Todas las especies del género *Amaranthus* que son utilizadas para la producción de grano son originarias de América.

Las evidencias arqueológicas encontradas confirman esto, ya que los habitantes de este continente utilizaron las hojas y semillas de este género desde la Prehistoria, mucho antes del proceso de domesticación de estas especies. Las excavaciones realizadas por Mac Neish en 1964 indican que los indígenas ya cultivaban estas plantas durante la fase Coxcatlán (5200 a 3400 a. C.), lo cual quiere decir que la domesticación del amaranto tuvo lugar en la misma época que la del maíz (Barros y Buenrostro, 1997) *Amaranthus cruentus L.*, especie para producción de grano, es originaria de América Central, probablemente de Guatemala y el sureste de México, donde se cultiva y se encuentra ampliamente distribuida.

Otra especie para producción de grano es *A. caudatus*, la cual es de día corto y se adapta mejor a las bajas temperaturas que las otras especies; es originaria de los Andes, de donde se extendió a otras zonas templadas y subtropicales. Igualmente, *A. hypochondriacus* se cultivaba desde el tiempo de los aztecas, actualmente se sigue cultivando y se encuentra ampliamente distribuida en México; también se cultiva en los

Himalayas, en Nepal, y en el sur de la India, donde se han formado centros secundarios de diversificación (Barros y Buenrostro, 1997).

1.4.2 Características botánicas y clasificación

Pertenece a un grupo de granos considerados como pseudocereales ya que tiene propiedades similares a las de los cereales, pero botánicamente no pertenece a esa familia.

El género *Amaranthus* incluye más de 60 especies que se cultivan en varias partes del mundo, como América Central y del Sur, India, África y China (Sanz *et al.*, 2013). Las más aprovechadas por el ser humano son (*Amaranthus caudatus*, *Amaranthus cruentus* y *Amaranthus hypochondriacus*).

El amaranto pertenece a la familia *Amaranthaceae*, un género de hierbas (Figura 10). Una sola mata puede producir más de 100,000 semillas (Ortega, 2012).



Figura 10. Planta de amaranto

Fuente: White, 2015

En cuanto a su taxonomía, el género fue descrito por Carlos Linneo y publicado en *Species Plantarum*.

- **Reino :** *Plantae*
- **División:** *Fenerógama*
- **Clase:** *Dicotiledoneae*
- **Subclase:** *Archyclamidaeae*
- **Orden:** *Centrospermales*
- **Familia:** *Amaranthaceae*

- **Género:** *Amaranthus*
- **Especie:** *Amaranthus caudatus*, *Amaranthus cruentus* y *Amaranthus hypochondriacus* (Salas, 2010).

El embrión de la semilla es campylotropous, es decir, circular, con sus extremos que encierra el perisperma. Por consiguiente, el embrión es grande y representa alrededor del 25% del peso del grano. La cubierta de la semilla es completamente lisa y fina.

La cubierta de la semilla y el embrión en conjunto constituyen el 26% de la semilla (Figura 11) (Murray *et al.*, 2005).

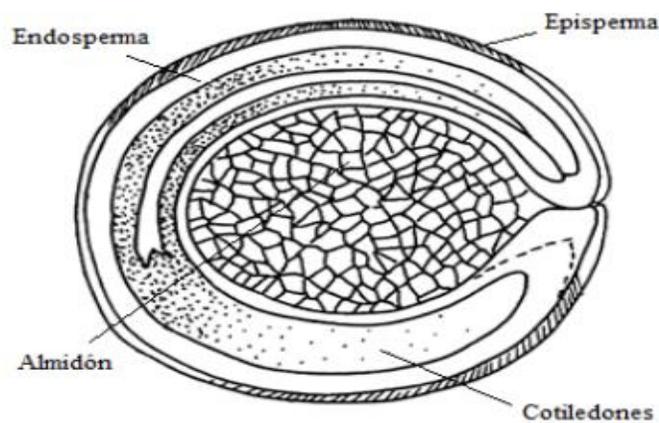


Figura 11. Corte longitudinal del grano de amaranto
Fuente: Nieto, 1998

El amaranto es un cultivo anual, altamente eficiente y de rápido crecimiento, que puede desarrollarse entre 0 a 3. 300 metros sobre el nivel del mar y prosperar en condiciones agronómicas adversas (sequía, altas y bajas temperaturas, suelos salinos, ácidos o alcalinos), adaptándose fácilmente a distintos ambientes.

Las semillas son extremadamente pequeñas, apenas más grande que las semillas de mostaza (0.9-1.7mm de diámetro) y 30-70 veces más pequeña que un grano típico de trigo y varían en color de crema, negro, amarillo o blanco (Murray *et al.*, 2005).

1.4.3 Composición química y valor nutrimental de la semilla de amaranto

El amaranto ha sido ampliamente estudiado, siendo una de las razones para ello su excelente composición nutricional, comparable con los cereales tiene un alto valor

nutricional asociado a la presencia de una alta concentración de proteínas y minerales; especialmente Ca, Mg y Fe, presenta un alto contenido de fibra (Montero *et al.*, 2015).

La calidad nutricional de las semillas de amaranto es mayor que de la mayoría de los granos de cereales (Tabla 5), debido a su alto contenido de proteínas, y a su contenido y composición de aminoácidos esenciales (Sanz *et al.*, 2013). Con un contenido de proteínas cercano al 16%, el grano de amaranto se compara muy favorablemente con el trigo, arroz, maíz y otros cereales de consumo habitual. Su proteína es excepcional en cuanto a su calidad por su alto contenido de lisina y, por lo tanto, un complemento nutricional óptimo para los cereales convencionales deficientes en ese aminoácido (Dyner *et al.*, 2007).

Tabla 5. Comparación de contenido de proteínas del amaranto con otros cereales

Cultivo	Proteína %
Amaranto	16.6
Trigo	14.0
Maíz	10.3
Arroz	8.5

Fuente: Murray *et al.*, 2005

La calidad de proteína se asemeja incluso a las proteínas de origen animal como las de la leche de vaca y huevo de gallina, además sus proteínas poseen un alto grado de digestibilidad.

Las proteínas de amaranto están constituidas principalmente por albuminas que conforman alrededor del 49 al 65% del total, seguidas en abundancia por las glutelinas, 22.4 al 42.3%, las globulinas, 13.7 al 18.1% y finalmente las prolaminas que conforman del 1 al 3.2% del total de las proteínas (Terán *et al.*, 2015).

Según criterios de la FAO, la OMS y otras instituciones internacionales, se considera al amaranto como un alimento de excelente calidad proteica, ya que se asemeja a la proteína ideal propuesta por la FAO y con una digestibilidad similar a la del pan blanco. Además de disminuir el colesterol y los triglicéridos, mejora el metabolismo de la glucosa y de los lípidos y aumentar la concentración de Ca y P en los huesos (Contreras *et al.*, 2011). En particular, el aminoácido esencial lisina, el cual se encuentra en baja cantidad en las proteínas de los cereales (Tabla 6), en el amaranto se presenta en

cantidades mayores con respecto a la que presentan estos granos. Como resultado de esto, el amaranto puede ser usado para complementar alimentos elaborados con maíz, trigo y arroz (Sánchez, 2010).

Tabla 6. Contenido de aminoácidos en g/100g de proteína

Aminoácido	%
Histidina	2.6
Isoleucina	3.7
Leucina	5.4
Lisina	5.3
Metionina	2.3
Fenilalanina	3.6
Treonina	3.5
Triptófano	1.5
Valina	4.3

Fuente: Murray et al., 2005

El contenido total de minerales es generalmente superior, específicamente calcio y magnesio y se caracteriza por aportar cantidades importantes de fibra dietética y lípidos (Tabla 7) (Sanz *et al.*, 2013).

Tabla 7. Composición química proximal del amaranto

Especie	Humedad %	Proteína %	Grasa %	Fibra Cruda %	Cenizas %	Carbohidratos %
<i>A. hypochondriacus</i>	11.1	17.9	7.7	2.2	4.1	57.0

Fuente: Murray *et al.*, 2005

Además el amaranto contiene vitaminas E y B, puede ser una fuente importante de niacina (para la producción de hormonas sexuales, del crecimiento y del metabolismo), y lisina (para la producción de anticuerpos, hormonas y enzimas), así como de fósforo (para la formación de hueso y la función renal) y de magnesio (para el metabolismo del azúcar en sangre y relajante del músculo liso), y puede servir como ayuda a la curación de herpes (Rastogi y Shukla, 2013).

1.4.4 Producción

En México las zonas de producción y cultivo de amaranto no han cambiado, se sigue llevando a cabo en el mismo lugar que en la época precolombina (Club planeta, 2015),

En nuestro país, la producción comercial de amaranto está localizada en cuatro regiones (Tabla 8) el estado de Puebla es el mayor productor de amaranto con el 51% de la producción total nacional. Le sigue Morelos, Tlaxcala, el Distrito Federal, el Estado de México y Guanajuato con el 22%, 18%, 9%, 6% y 2% respectivamente (Club planeta, 2015).

Destaca Puebla (Tabla 8) como principal productor por mayor superficie sembrada 1,967.00 ha y una producción de 2,143.40 ton; el rendimiento medio nacional es de 1.39 ton/ha, mientras que el rendimiento más alto se encuentra en el estado de México con 1.95 ton/ha.

En la actualidad, existe un renovado interés en su cultivo debido al potencial que presenta en la elaboración de nuevos productos alimenticios, sus beneficios nutricionales y sus ventajas agrícolas (Sánchez, 2010).

Tabla 8. Producción nacional de amaranto

Estado	Producción
Distrito Federal	161.1
México	305.83
Morelos	130
Oaxaca	68.71
Puebla	2,143.40
San Luis Potosí	17.34
Tlaxcala	1,791.35

Fuente: SIAP, 2016

1.4.5 Productos elaborados

El amaranto puede ser útil en la elaboración de panes en sustitución de 10% de harina de trigo, para mejorar la calidad nutritiva y el sabor, que se describe como muy parecido al de la nuez y fue preferido sobre el pan hecho con 100% harina de trigo (Lorenz, 1991).

Además se le puede emplear en una gran diversidad de productos, como sopas, panqués, cereal para desayuno, bollos, crepas, tostadas, tortillas, fritos, galletas, empanadas, pastas, botanas, bebidas y en confitería (Tehutli Amaranto, 2015).

1.4.6 Harina de amaranto

Durante los últimos años se ha comprobado a través de técnicas modernas, la calidad y el alto valor nutritivo del amaranto. Los análisis de la composición proximal de las harinas de las semillas de amaranto muestran que el contenido de proteína es alto (Tabla 9) (Mosquera *et al.*, 2012).

Tabla 9. Composición química proximal de harina integral de amaranto.

Humedad (%)	Proteína (%)	Grasa (%)	Fibra cruda (%)	Cenizas (%)	Carbohidratos (%)
10.1	17.8	3.2	5.1	2.1	61.7

Fuente: Mosquera *et al.*, 2012

Sin embargo, se sabe que el amaranto se cocina mejor cuando se utiliza una proporción menor en relación con otro grano (de 1:4 a 1:3). Esto limita el potencial del uso de amaranto como fuente de microelementos y vitaminas, lo que significa que debe emplearse en combinación con otros granos. Por ejemplo, se recomiendan las siguientes combinaciones:

- La harina de amaranto con ajonjolí y lentejas es una buena fuente de calcio, hierro y fósforo.
- La de harina de amaranto, ajonjolí y trigo sarraceno es la mejor fuente de magnesio.
- La harina de amaranto, triticale y trigo sarraceno constituyen juntos una buena fuente de vitamina E.

CAPÍTULO II. DESARROLLO EXPERIMENTAL

2.1 Objetivos

2.1.1 Objetivo general

Desarrollar una formulación para la elaboración de un croissant a partir de harina integral de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*) con la finalidad de mejorar su calidad nutrimental y funcional.

2.1.1.1 Objetivos particulares

Objetivo particular 1

Analizar la calidad química (análisis químico proximal), calidad nutrimental (cuantificación de triptófano, digestibilidad *in vitro*, almidón total y almidón digerible) y funcional (compuestos fenólicos, capacidad antioxidante, almidón resistente y fibra dietética) de las harinas de trigo y amaranto que se utilizan como materia prima para compararlas y ver si pueden complementarse.

Objetivo particular 2

Elaborar diferentes formulaciones para elaborar un croissant variando la cantidad de harinas de amaranto y trigo sin afectar sus características físicas (tamaño) y sensoriales (olor y textura) para seleccionar la mejor formulación mediante una prueba de preferencia.

Objetivo particular 3

Analizar la composición química (análisis químico proximal), calidad nutrimental (cuantificación de triptófano, digestibilidad *in vitro*, almidón total y almidón digerible) y funcional (compuestos fenólicos, capacidad antioxidante, almidón resistente y fibra dietética) del croissant elaborado con la formulación seleccionada para compararlo con un producto control y uno comercial.

Objetivo particular 4

Determinar la aceptación del Croissant elaborado con harina de amaranto por parte del consumidor mediante una prueba sensorial de nivel de agrado para conocer si es un producto que podría comercializarse.

2.2 Cuadro metodológico

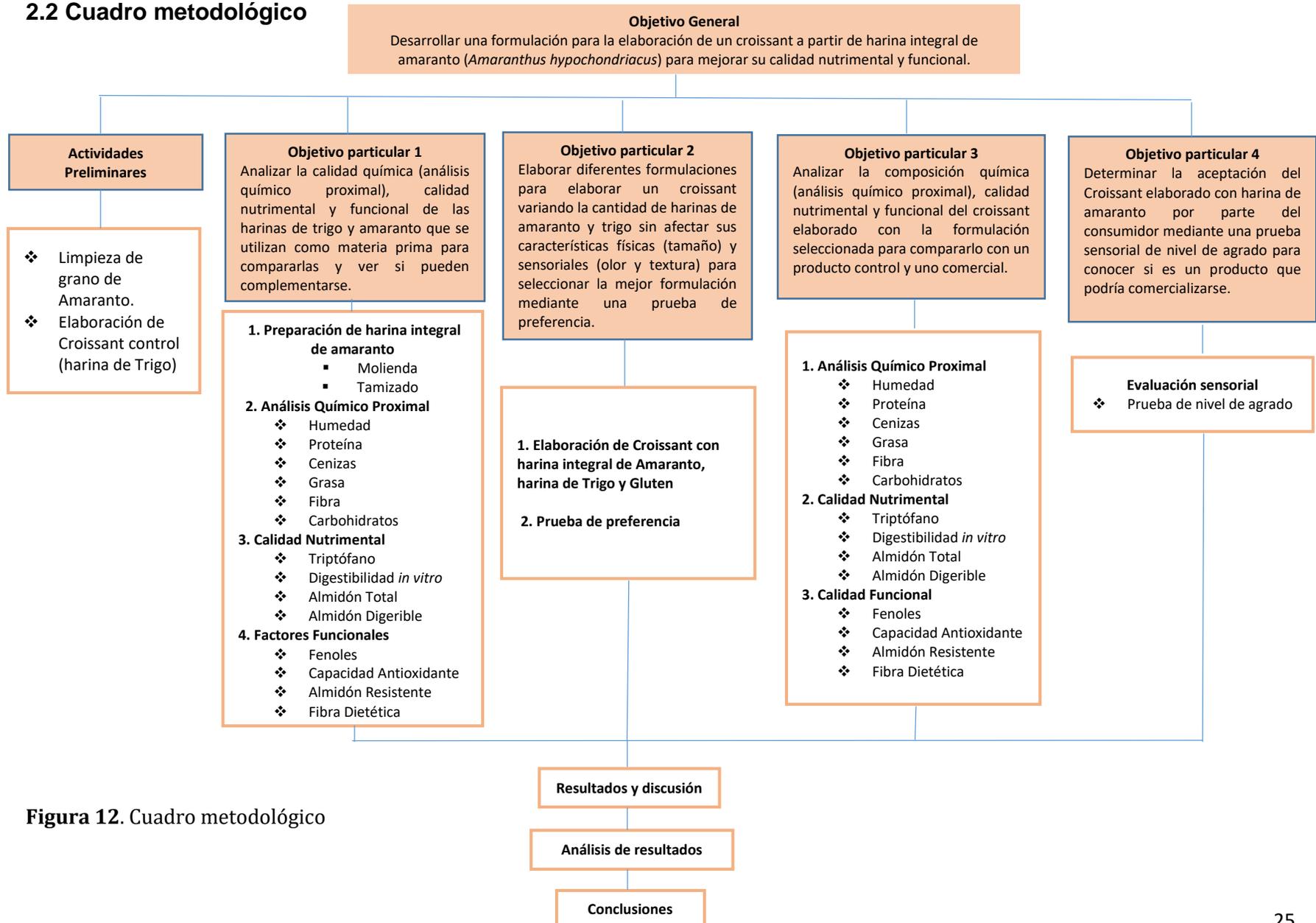


Figura 12. Cuadro metodológico

2.3 Metodología

2.3.1 Material Biológico

Para el desarrollo de este proyecto se utilizó la semilla de amaranto de la especie (*Amaranthus hypochondriacus L.*), variedad Tulyehualco cosecha 2016 y harina de trigo refinada de la marca Tres estrellas®, que fue adquirida en un centro comercial.

2.3.2 Preparación de la muestra

La semilla de amaranto fue molida en un molino para café, para la reducción de tamaño de partícula con una malla #40 USA serie Tyler, esta harina fue utilizada para el análisis químico proximal y nutrimental, así como para la elaboración del producto. La harina fue colocada en un frasco de vidrio con tapa para su almacenamiento a temperatura de refrigeración de 4°C hasta ser utilizada.

2.3.3 Análisis químico proximal

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

2.3.3.1 Determinación de humedad

Secado por estufa (925.09)

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

Método: El contenido de humedad se determinó por el método de secado por estufa, (Figura 13) el cual se basa en la eliminación de agua por efecto del calor aplicado a la muestra. Se calculó el contenido de humedad, por la pérdida de peso en la muestra debida a la evaporación del agua por calentamiento a 130°C hasta peso constante. El resultado se expresó como porcentaje de humedad.

$$\%Humedad = \left[\frac{W_2 - W_3}{W_1} \right] \times 100$$

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 13. Estufa con circulación forzada de aire BLUE M C-4850-Q

2.3.3.2 Determinación de extracto etéreo

Método de Soxhlet (920.39)

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

Método: Para este método se utilizó Hexano un disolvente orgánico, que fue el reactivo que extrajo el extracto etéreo. Se colocó la muestra en un papel dentro de un cartucho de extracción (Figura 14), y se colocaron ambos dentro del equipo. Debajo de la muestra se colocó un matraz con el hexano, se puso a trabajar entre 2 y 4 horas. Pasado el tiempo necesario, se evaporó el hexano, quedando en el matraz la grasa del alimento. La cantidad de grasa se obtuvo mediante una diferencia de peso del matraz vacío a peso constante y después del proceso.

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

Dónde:

W_1 : Peso de la muestra (g)

W_2 : Peso del matraz sin grasa (g)

W_3 : Peso del matraz con grasa (g)

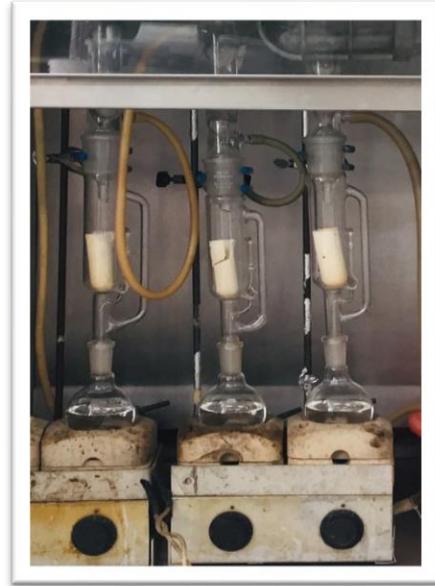


Figura 14. Extracción de grasa por Soxhlet

2.3.3.3 Determinación de proteína

Método de Micro Kjeldahl (954.01)

Fundamento: El método de Kjeldahl mide el contenido de nitrógeno en una muestra, este puede ser dividido en tres etapas: digestión, destilación y valoración. En la etapa de digestión, el nitrógeno orgánico es convertido en amonio, en presencia de un catalizador, en la etapa de destilación, se alcaliniza con NaOH la muestra digerida y el nitrógeno se desprende en forma de NH_3 , por destilación. Este NH_3 se atrapa en una solución de ácido bórico. La cantidad de nitrógeno amónico en esta disolución se cuantifica mediante un análisis volumétrico frente a una solución de HCl valorada. El contenido de proteína se puede calcular, presuponiendo una proporción entre la proteína y el nitrógeno (Nielsen, 2003).

Método: Se introdujo la muestra en un tubo de digestión Kjeldahl, con sulfato cúprico, sulfato de potasio y ácido sulfúrico concentrado. Se calentó el tubo a fuego lento hasta que la muestra paso de color oscuro a un líquido transparente con una coloración azul

verdosa, se dejó enfriar. Se hizo reaccionar con hidróxido de sodio (NaOH) al 40%. Por otro lado, en un pequeño matraz se adiciono 50 ml, de ácido bórico al 4% y 3 gotas de fenolftaleína. Ambos matraces se colocaron en el destilador micro Kjeldahl (Figura 15) y se esperó a que la coloración del matraz pequeño cambiara de rosa a transparente. Posteriormente se tituló con HCl, y se calculó el total de proteína que contiene la muestra. El resultado se expresó como porcentaje de proteína.

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

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

Dónde:

V_1 : Volumen de HCL gastado en la muestra (ml)

V_2 : Volumen de HCL gastado en el blanco (ml)

N: Normalidad del HCL (0.1)

W: Peso de la muestra (g)

F: Factor de conversión de nitrógeno a proteína (trigo 5.83 y amaranto 5.87)



Figura 15. Destilador micro Kjeldahl para determinación de proteína

2.3.3.4 Determinación de cenizas

Método de Kleem (923.03)

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

Método: Se introdujo la muestra en los crisoles de incineración, previamente a peso constante, posteriormente se colocaron los crisoles en un mechero hasta que las llamas en los crisoles se extinguieron y dejó de salir humo, en este punto se metió el crisol a la mufla (Figura 16), la incineración se dio por terminada cuando el residuo en el crisol era prácticamente blanco, finalmente se pesó el crisol una vez que se equilibre con la temperatura del medio ambiente. El resultado se expresó como porcentaje de cenizas totales.

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

Dónde:

W_1 : Peso de la muestra (g)

W_2 : Peso del crisol sin muestra (g)

W_3 : Peso del crisol con cenizas (g)



Figura 16. Mufla para determinación de cenizas

2.3.3.5 Determinación de fibra cruda

Método de Wendee (989.03)

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

Método: El método consistió en someter la muestra seca y desengrasada a una primera digestión ácida, posteriormente a una segunda alcalina, que una vez filtrado (Figura 17) se obtuvo un residuo de fibra cruda y sales que con calcinación posterior se determina la fibra cruda. El resultado se expresó como porcentaje de fibra cruda.

$$\% \text{Fibra cruda} = \left[\frac{(W_2 - W_1) - (W_4 - W_3)}{W_5} \right] * 100$$

Dónde:

W_1 : Peso del papel filtro (g)

W_2 : Peso del papel filtro con residuos secos (g)

W_3 : Peso del crisol vacío (g)

W_4 : Peso del crisol después de la incineración (g)

W_5 : Peso de la muestra previamente desengrasada (g)



Figura 17. Filtración con succión de vacío para determinación de fibra

2.3.3.6 Determinación de carbohidratos

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

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

2.4 Elaboración de Croissant con harina de trigo

La elaboración de Croissants se basó en una formulación que se muestra en la (Tabla 10). Propuesta y modificada por el Laboratorio de Bioquímica y Fisiología de Granos, antes de ser utilizada para este proyecto. Se siguió el diagrama de proceso (Figura 18) e igualmente para las diferentes formulaciones, solamente se sustituyó la harina de trigo por la de amaranto y gluten.

Tabla 10. Formulación a base de harina de trigo para elaboración de Croissants

INGREDIENTE	%
Harina de trigo	45.66
Agua	25.11
Leche	5.50
Azúcar	4.10
Sal	0.91
Levadura	1.36
Mantequilla	15.06
Huevo	2.30

2.4.1 Diagrama de proceso

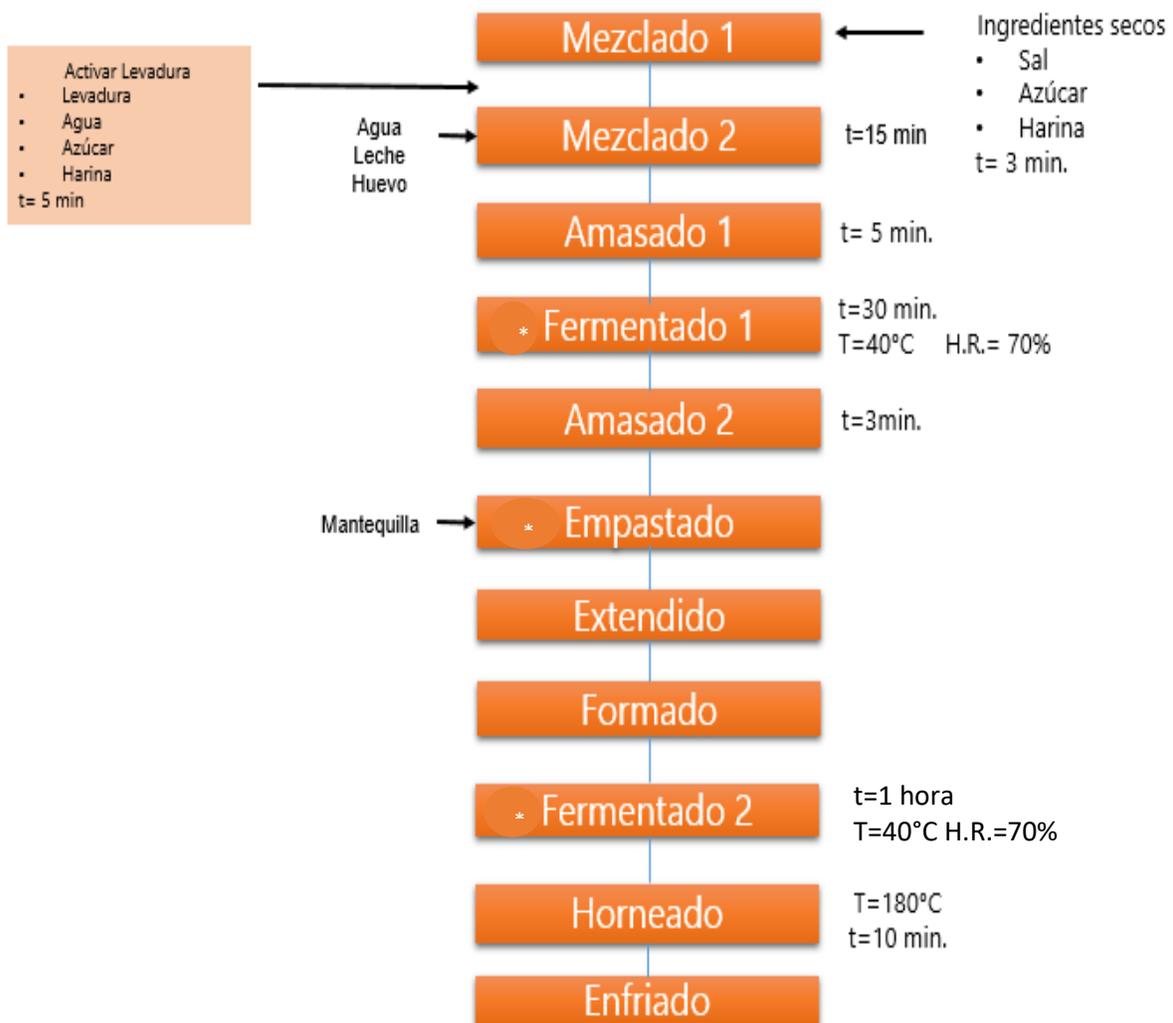


Figura 18. Diagrama de proceso para la elaboración de Croissant

2.4.1.1 Descripción de diagrama de proceso

Se pesaron todos los ingredientes en una balanza granataria Tor Rey L-EQ (Figura 19) Primero se pesaron los ingredientes secos, los cuales son: harina, azúcar, levadura y sal.

Posteriormente se miden los ingredientes húmedos que son: el agua, leche y el huevo, reservándolos para su posterior uso (Figura 20).



Figura 19. Pesado de ingredientes



Figura 20. Ingredientes para elaboración de Croissant

Activar levadura: Disolverla en un recipiente pequeño con un porcentaje de agua caliente y agregando una porción de la azúcar y harina, mezclándolos en forma manual hasta homogeneizar la mezcla (Figura 21) y al terminar se pone el recipiente en la fermentadora durante 5 minutos (Figura 22).



Figura 21. Mezcla de levadura, agua, azúcar y harina.



Figura 22. Activación de levadura

Mezclado 1: Se realizó el primer mezclado donde se integraron los ingredientes secos (sal, el resto de azúcar y harina). Se mezclan durante 3 min. (Figura 23).



Figura 23. Mezclado de ingredientes secos

Mezclado 2: A la mezcla anterior se le agrega la levadura y el resto de los ingredientes húmedos (la leche, agua y huevo) (Figura 24), se mezcla durante 15 min. hasta que se obtenga una masa bien integrada, suave y sin que se pegue en el recipiente.



Figura 24. Mezclado de ingredientes

Amasado 1: Se amasa la masa durante 5 minutos más de forma manual (Figura 25). Este amasado debe realizarse de forma intensa y continua.



Figura 25. Amasado 1

Fermentado 1: Posteriormente, para la primera fermentación, la masa se coloca en un recipiente y se le unta un poco de aceite sobre la superficie (Figura 26), y se coloca en la fermentadora por 30 minutos a 40°C y H.R. 70%.



Figura 26. Fermentado de masa

Amasado 2: Sacar de la fermentadora y sobre una superficie plana espolvorear un poco de harina para amasar la masa durante 3 min. (Figura 27).



Figura 27. Amasado 2

Empastado

<p>Esto se realiza poniendo un poco de harina sobre la superficie lisa y se extiende la masa con ayuda de un rodillo para formar un rectángulo (Figura 28).</p>	 <p>Figura 28. Extendido de masa</p>
<p>Posteriormente poner la mantequilla sobre una mitad del rectángulo, para después cubrir con la otra mitad de la masa (Figura 29).</p>	 <p>Figura 29. Empastado</p>

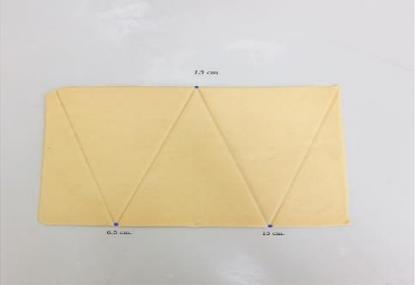
<p>Hacer un plegado en 3 partes, similar a un tríptico (Figura 30).</p>	 <p>Figura 30. Plegado</p>
<p>Con ayuda del rodillo volver a extender la masa (Figura 31). Se vuelve a hacer el plegado en 3 partes y posteriormente se vuelve a extender la masa (a esto se le llama empastado) y se repite 3 veces más.</p>	 <p>Figura 31. Plegado y extendido</p>

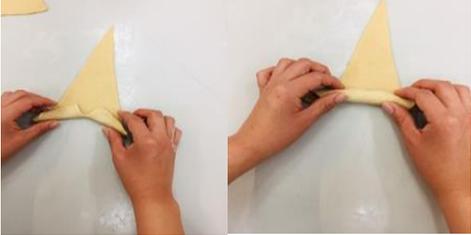
Extendido: Con ayuda del rodillo estirar la masa para formar un rectángulo de 28x26 cm. (Figura 32).



Figura 32. Extendido

Formado

<p>Se comienza el formado partiendo el rectángulo a la mitad por lo ancho y midiendo los lados para poder formar triángulos isósceles de 13x28 cm. (Figura 33).</p>	 <p>Figura 33. Formado de los triángulos</p>
---	---

<p>Se realiza un corte (2 cm) a cada triángulo con ayuda de algún objeto liso en cada base de los triángulos, y una ligera separación, que será por donde realizaremos el enrollado (Figura 34).</p>	 <p>Figura 34. Corte del triángulo</p>
<p>Tomamos cada extremo de la base del triángulo y enrollamos sin aplastar, cuidando que el pico del triángulo quede por la parte de abajo para darle forma de Croissant (Figura 35).</p>	 <p>Figura 35. Formado Croissants</p>
<p>Terminado el formado se pone cada Croissant en una charola con papel encerado (Figura 36).</p>	 <p>Figura 36. Croissants</p>

Fermentado 2: Se pone la charola con los Croissant en la fermentadora por 1 hora a 40°C, H.R. 70% (Figura 37).



Figura 37. Fermentado 2

Horneado: Una vez que se sacan de la fermentadora se barnizan con yema de huevo con ayuda de una brocha. Se hornean por 10 min. a 180 °C (Figura 38).



Figura 38. Horneado

Enfriado: Se sacan del horno para ponerlos sobre una superficie en donde tenga corrientes de aire para que se enfríen y estén a temperatura ambiente para poder ingerirlos (Figura 39).



Figura 39. Enfriado

2.4.2 Preparación de formulaciones

Se tomó de referencia la formulación de la Tabla 10 para proponer las siguientes formulaciones (Tabla 11) añadiendo harina integral de amaranto y gluten, manteniendo en la misma proporción los demás ingredientes (Agua, leche, azúcar, sal, levadura, mantequilla y huevo).

Tabla 11. Formulaciones propuestas para elaborar Croissants con harina de trigo, harina integral de amaranto y gluten.

Formulación	Harina de amaranto %	Harina de trigo %	Gluten %
1	70	20	10
2	50	40	10
3	30	60	10

2.5 Evaluación sensorial

2.5.1 Prueba de preferencia

En las pruebas de preferencia, a los consumidores se les presentan dos o más muestras y se les pide que indiquen cual es la muestra de su preferencia. Son pruebas de fácil realización (Ramírez, 2012).

La prueba se realizó para las 3 formulaciones propuestas (harina de amaranto 70%, harina de trigo 20%, gluten 10% / harina de amaranto 50%, harina de trigo 40%, gluten 10% / harina de amaranto 30%, harina de trigo 60%, gluten 10%) y se realizó con 100

jueces no entrenados elegidos al azar, con muestras que fueron codificadas (Figura 40), se les pidió que calificaran cada muestra en base a un cuestionario (Figura 41).

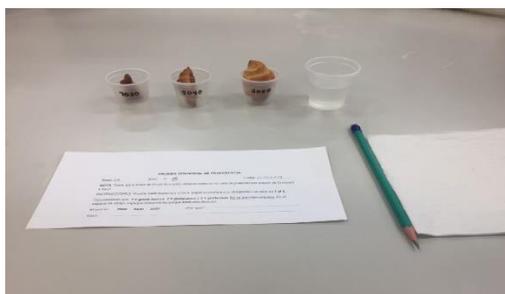


Figura 40. Prueba sensorial de preferencia

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 Croissant y agua.

INSTRUCCIONES: Pruebe cada muestra y ordene según su preferencia, otorgándole un valor de **1 al 3**.

Considerando que **1 = gusta menos** **2 = gusta poco** y **3 = gusta más**. No se permiten empates. En el espacio de abajo, explique brevemente porque tomo esa decisión.

Muestras	7020	5040	3060	¿Por qué?	_____
Valor	_____	_____	_____		_____

Figura 41. Formato prueba sensorial de preferencia

2.5.2 Prueba de nivel de agrado

Las pruebas de aceptación también se conocen como pruebas de nivel de agrado. Son un componente valioso y necesario de todos los programas sensoriales. Se emplean para determinar el grado de aceptación de un producto por parte de los consumidores y según su tipo estas pruebas permiten medir cuanto agrada o desagrade dicho producto (Ramírez, 2012).

La prueba se realizó a la formulación seleccionada en la prueba de preferencia y se realizó a 100 jueces no entrenados elegidos al azar (Figura 42), los resultados fueron reportados en un cuestionario de escala no estructurada (Figura 43).



Figura 42. Prueba de nivel de agrado

PRUBA SENSORIAL DE NIVEL DE AGRADO

Edad: _____ Sexo: **H M** Fecha: _____

NOTA: Tome agua antes de iniciar la prueba.

INSTRUCCIONES: Pruebe el Croissant y sobre la línea indique con una "X" su nivel de agrado hacia el producto. En el espacio de abajo explique brevemente porque tomo esa decisión.

Escala

Disgusta mucho Es indiferente Gusta Mucho

¿Por qué? _____ ¡GRACIAS!

Figura 43. Formato prueba nivel de arado

2.6 Análisis químico proximal de Croissants

Se realizó un análisis químico proximal a un Croissant comercial y un Croissant control (100% harina de trigo) elaborado en el laboratorio para su comparación con el Croissant seleccionado en la prueba sensorial de preferencia, siendo estos troceados y molidos en un molino para café KRUPS GX4100, posteriormente fueron empleados los métodos de la A.O.A.C (2005).

2.7 Evaluación de la calidad nutrimental del Croissant (comercial, control y seleccionado).

2.7.1 Cuantificación de triptófano

La cuantificación de triptófano (Figura 44) aplicada a sistemas biológicos completos como son los alimentos, presentan algunas dificultades como llevar a cabo la hidrólisis para liberar el triptófano del enlace peptídico, debido a que con aplicación de hidrólisis ácidas no se obtienen resultados satisfactorios. En este caso se utilizó una hidrólisis enzimática y se desarrollara el color con p-dimetilaminobenzaldehído (DMAB) y nitrito de sodio como contraste (Rama *et al.*, 1974).

Reactivos

- Buffer de fosfatos
- Pepsina
- Pancreatina
- DMAB 0.5%
- Nitrito de sodio
- Solución estándar de triptófano

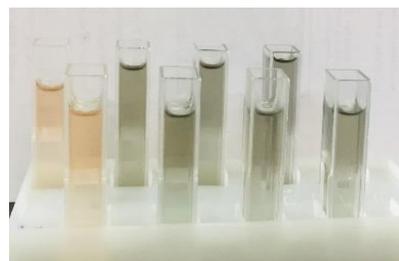


Figura 44. Determinación de triptófano

Procedimiento

1. Pesar muestra
2. Agregar pepsina; agitar e incubar por 3 horas.
3. Adicionarle NaOH y pancreatina, agitar e incubar por 24 horas.
4. Aforar con agua destilada
5. Tomar y adicionarle HCL concentrado y de DMAB, así como NaNO₂ y reposar.
6. Leer a $\lambda=590$ nm.
7. Realizar una curva patrón estándar de 0 a 10 μg de triptófano, obtener ordenada al origen y pendiente. Para posteriormente despejar la concentración con los datos de absorbancia.

2.7.2 Digestibilidad *in vitro*

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

La digestibilidad *in vitro* se llevó a cabo utilizando un sistema multienzimático (Figura 45) para determinar la digestibilidad de las proteínas por medio de proteasas que son las enzimas más activas.

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

Donde:

%D: Porcentaje de digestibilidad

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

Reactivos

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



Figura 45. Digestibilidad *in vitro*

Procedimiento:

1. Se pesa una muestra que contenga 10 mg de N₂.
2. Se utilizó como control cuantitativo la caseína liofilizada.
3. Se adicionó 10 ml de agua destilada.
4. Se equilibró el pH a 8 +/- 0.03 utilizando HCl o NaOH.
5. Se dejó una hora hidratando y en agitación en un baño de agua a 37°C
6. Transcurrida la hora se añade 1 ml de solución enzimática A mientras se agita.
7. Exactamente a los 10 minutos después de añadida la solución enzimática A, se adiciono 1 ml de la solución enzimática B y al mismo tiempo se transfirió a un baño de 55°C.
8. Exactamente a los 19 minutos de añadida la solución enzimática A transferir a un baño de 37°C.
9. A los 20 minutos de añadida la solución enzimática A medir pH.
10. El pH del control de caseína debe ser 6.42 +/- 0.05.

2.7.3 Almidón total

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

Reactivos

- Amiloglucosidasa from *Aspergillus*
- Buffer de Acetato de Sodio (0.4)
- Hidróxido de Potasio (2M)
- Reactivo de glucosa

Procedimiento

1. Pesar 50 mg de muestra y dispersarlo con 6 ml de KOH a temperatura ambiente y con agitación.
2. Adicionar Buffer de Acetato de Sodio 0.4M.
3. Adicionar enzima amiloglucosidasa.
4. Colocar en baño por 45 minutos.
5. Pasado este tiempo centrifugar a 5000 RPM.
6. Determinar glucosa, en el sobrenadante.
7. Leer la absorbancia a 505 nm en espectrofotómetro.

Cálculos

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

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

Donde:

m= Pendiente

b= Ordenada de origen

X = Almidón en 1000 μ L

3. Con este valor se realiza el cálculo con las siguientes ecuaciones para el porcentaje de almidón total.

$$X1 = \frac{(1000\mu l)(X)}{10\mu l} = \%$$

4. Calcular el contenido de almidón total para 10 μ l

$$X2 = \frac{(X1)(ml \text{ de sobrenadante})}{1 ml}$$

5. Calcular contenido de almidón total en 100 g

$$X3 = \frac{(X2)(100 g)}{(g \text{ de muestra})}$$

6. Calcular porcentaje de almidón total

$$\% \text{ Almidón Total} = \frac{(X3)}{10^6}$$

2.7.4 Almidón digerible

El contenido de almidón digerible se determinó por diferencia del almidón total menos el almidón resistente.

$$\% \text{ Almidón digerible} = (\text{Almidón total} - \text{Almidón resistente})$$

2.8 Factores funcionales de Croissant (comercial, control y seleccionado).

2.8.1 Determinación de compuestos fenólicos

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

Reactivos

- HCL 1%
- METANOL-HCL 1%
- Folín- Ciocalteu
- Na₂CO₃
- Solución estándar de ácido gálico

Preparación de la extracción

1. Pesar 0.1 g de muestra desengrasada.
2. Diluir con 1ml de metanol-HCL al 1%
3. Hervir 10 minutos a baño maría en tubos eppendorf de punta (fondo de punta).
4. Dejar enfriar y centrifugar a 9000 rpm durante 10 minutos.
5. Obtener el sobrenadante y colocarlo en tubos eppendorf de punta (fondo de punta).
6. Colocarlos a 65°C en bloque de calentamiento (abiertos) hasta su total evaporación.
7. Una vez evaporados obtenemos una pastillita, redisolviendola en 1ml de agua destilada y agitar.

8. Centrifugara 9000 rpm durante 10 min.
9. Obtener el extracto con el que se trabajará.

Determinación de fenoles

1. Del extracto obtenido tomar 400 μL
2. Agregar 3570 μL de agua destilada
3. Agregar 250 μL de Folín-Ciocalteu
4. Agitar y reposar por 5 minutos
5. Agregar 500 μL de Na_2CO_3
6. Agitar y reposar por 15 minutos
7. Leer absorbancia a 760 nm
8. Realizar los cálculos para la determinación de la cantidad de compuestos fenólicos

Cálculos

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

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

Donde:

m= Pendiente

b= Ordenada de origen

X = Fenoles en 400 μL

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

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

Donde:

Y: Fenoles en 1 g de muestra

Equivalencia: 6 equivalentes de Ácido Gálico

PM: Peso Molecular de ácido gálico (170.2 μ g)

2.8.2 Determinación de capacidad antioxidante

La prueba para determinar la capacidad antioxidante se basó en la estabilización de un radical libre (DPPH); dicha medición se realizó espectrofotométricamente siguiendo el decaimiento de la absorbancia a 580 nm. La reacción de estabilización se considera transcurre parcialmente mediante un mecanismo Transferencia de Electrones, con un aporte marginal de Transferencia de Átomos de Hidrogeno (Martínez, 2007; Londoño, 2012).

Reactivos

- Solución de DPPH
- HCL 1%
- Metanol-HCL 1%
- Metanol absoluto

Preparación de la extracción

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

Determinación de capacidad antioxidante

1. Tomar 500 µL del extracto, agregar 500 µL de solución DPPH y dejarlos reposar por 30 minutos en oscuridad absoluta.
2. Leer a 518 nm en el espectrofotómetro previamente calibrado con agua.
3. Calibrar con metanol.
4. Después leer METANOL + DPPH y dejarlos reposar 30 minutos como control negativo y obtener la lectura.

Cálculo

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

Donde:

Abs. Control negativo: Valor de absorbancia (Metanol + DPPH)

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

2.8.3 Almidón resistente

Se fundamenta en realizar una digestión enzimática en donde se cortan las cadenas de almidón y almidón unido a proteínas. Posteriormente se realiza un lavado con agua, etanol y acetona para eliminar la fibra soluble quedando solamente los residuos de fibra insoluble. Se realiza nuevamente otra digestión para liberar los monómeros de glucosa, que son cuantificados por un método enzimático-espectrofotométrico (Goñi, *et al.*, 1997).

Reactivos

- Pepsina
- α-amilasa pancreática
- Amiloglucosidasa
- Buffer de Acetato de Sodio (pH= 4.75)
- Hidróxido de Potasio

- Buffer KCl-HCl pH 1.5
- Buffer Tris-maleato pH 6.9
- Reactivo de glucosa

Procedimiento

1. Pesar 100 mg de la muestra y colocar en matraz con tapa.
2. Agregar Buffer KCl-HCl.
3. Agregar 0.2 ml de pepsina.
4. Mantener en agitación constante.
5. Adicionar Buffer Tris-maleato.
6. Posteriormente adicionar α -amilasa pancreática a 37°C.
7. Centrifugar y desechar los sobrenadantes.
8. Agregar KOH a temperatura ambiente con agitación constante.
9. Agregar Buffer de Acetato de Sodio, ajustar el pH 6.9.
10. Adicionar enzima amiloglucosidasa.
11. Colocar en baño por 45 minutos.
12. Pasado este tiempo centrifugar a 5000 RPM.
13. Determinar glucosa.
14. Leer la absorbancia a 505 nm en espectrofotómetro.

Cálculos

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

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

Donde:

m= Pendiente

b= Ordenada de origen

X = Almidón en 1000 μ L

3. Con este valor se realiza el cálculo con las siguientes ecuaciones para el porcentaje de almidón resistente.

$$X1 = \frac{(1000\mu l)(X)}{10\mu l} = \%$$

4. Calcular el contenido de almidón resistente en 10 μ l

$$X2 = \frac{(X1)(ml \text{ de sobrenadante})}{1 ml}$$

5. Calcular contenido de almidón resistente en 100 g

$$X3 = \frac{(X2)(100 g)}{(g \text{ de muestra})}$$

6. Calcular porcentaje de almidón resistente

$$\% \text{ Almidón resistente} = \frac{(X3)}{10^6}$$

2.8.4 Fibra dietética

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

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

Reactivos

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

Procedimiento

1. Pesar 1 g de muestra en un matraz de 500 ml y adicionar 50 ml de buffer de fosfato 0.08 M, ajustar el pH a 6 +/- 0.02.
2. Adicionar 0.1 ml de solución de amilasa, cubrir con papel aluminio, colocar en un baño a ebullición durante 15 minutos agitando constantemente y enfriar.
3. Ajustar a pH 7.5 +/- 0.2 adicionando 10 ml de NaOH.
4. Adicionar 5 mg de proteasa, cubrir el matraz con papel aluminio, colocarlos en un baño a 60°C por 30 minutos con agitación continua y enfriar.
5. Adicionar 10 ml de HCl, ajustar el pH a 4-4.6 y adicionar 0.1 ml de amiloglucosidasa, incubar a 60°C por 30 minutos y con agitación continua.
6. Se adiciono 280 ml de etanol 95% precalentado a 60°C.
7. Se dejó en reposo una hora.
8. Humedecer y distribuir la cama de celita con etanol 78%. Aplicar la succión y transferir el precipitado de la digestión enzimática.
9. Realizar lavados.
10. Secar el contenido el residuo en un crisol toda la noche, enfriar y pesar.
11. Analizar el contenido de proteínas.
12. Analizar el contenido de cenizas.
13. Calcular el residuo restando el peso de crisol, cenizas y proteína.

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

Donde:

R: Peso del residuo de la muestra (mg)

P: Peso de proteína de la muestra (mg)

C: Peso de cenizas de la muestra (mg)

B: Blanco

PM: Peso de la muestra

2.9 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 y el promedio. Se analizaron las medias con la prueba de rango múltiple t student con un nivel de significancia de 0.05 utilizando un programa estadístico Origin V. 4.0.

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis químico proximal de la materia prima

Se determinó la composición química de la materia prima, harina de trigo marca Tres estrellas® y harina integral de amaranto, mediante un análisis químico proximal (Tabla 12) para comparar su composición química.

Tabla 12. Análisis químico proximal de harina de trigo y harina integral de amaranto

MUESTRA	HUMEDAD %	PROTEÍNAS %	GRASA %	CENIZAS %	FIBRA %	CHOS %
H. TRIGO	9.45±0.46 ^a	9.05±0.40 ^a	1.69±0.56 ^a	0.75±0.067 ^a	0.931±0.15 ^a	78.13 ^a
H. AMARANTO	10.94±0.24 ^b	13.84±0.09 ^b	6.31±0.06 ^b	2.58±0.07 ^b	6.6±0.42 ^b	59.73 ^b

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

Se observa que todos los componentes químicos (humedad, proteína, grasa, cenizas, fibra, y carbohidratos) de la harina de trigo en comparación con la harina integral de amaranto, presentaron diferencias estadísticamente significativas ($\rho \leq 0.05$). El contenido de proteína en el amaranto fue mayor, pero no solo se enfatiza en la cantidad sino en la calidad, ya que se ha reportado que contiene más lisina y aminoácidos azufrados que el trigo (Murray *et al.*, 2005), además el valor biológico de las proteínas de amaranto es superior al presentado por el trigo y cercano al de la leche de vaca (75, 55 y 72 respectivamente) (Sosa, 2011).

El contenido de grasa del amaranto fue 4 veces mayor que el trigo, esto es importante porque el amaranto contiene ácidos grasos insaturados (más del 75%) y es especialmente rico en ácido linoleico y ácido oleico (Murray *et al.*, 2005). Además, se ha reportado que el amaranto disminuye el colesterol, los triglicéridos y mejora el metabolismo (Contreras *et al.*, 2011).

Así mismo, el grano de amaranto tuvo un porcentaje de fibra seis veces mayor que en el trigo, esto es importante porque se sabe que la fibra tiene grandes beneficios para la salud (Badui, 2013).

Los valores de cenizas fueron mayores en el grano de amaranto, lo cual puede representar un aumento en la concentración de minerales para el producto final pues se sabe que esta harina tiene altas cantidades de calcio y hierro (Sanz *et al.*, 2013). Estos resultados nos sugieren que el amaranto puede ser utilizado para complementar la harina de trigo en la formulación para elaborar Croissants y así mejorar su calidad nutrimental.

3.2 Evaluación de la calidad nutrimental de la materia prima

Se evaluó el contenido de triptófano, digestibilidad *in vitro*, almidón total y almidón digerible en las harinas de trigo y amaranto integral, con el fin de determinar la calidad nutrimental de estas y saber si pueden complementarse para que el producto sea de mejor calidad nutrimental.

Tabla 13. Resultados obtenidos de Triptófano en harina de trigo refinada marca Tres estrellas® y harina integral de amaranto, utilizadas como materia prima

Muestra	Triptófano (g Trp/100 g de proteína)
H. Trigo	1.05±0.006 ^a
H. Amaranto	1.65±0.08 ^b

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

En cuanto a la cuantificación de triptófano (Tabla 13) se observa diferencia estadísticamente significativa ($\rho \leq 0.05$) entre las muestras, teniendo un mayor contenido en la harina integral de amaranto, lo cual resulta favorable ya que el triptófano es un aminoácido esencial fundamental en nuestra dieta, ya que ayuda a producir vitamina B3 (niacina), necesaria para el metabolismo de las grasas y proteínas, también interviene en la mejora de la circulación de los vasos sanguíneos, el control del sueño y la actividad muscular (Estruch, 2003).

Tabla 14. Resultados obtenidos de Digestibilidad *in vitro* en harina de trigo refinada marca Tres estrellas® y harina integral de amaranto, utilizada como materia prima

Muestra	Digestibilidad <i>in vitro</i> (%)
H. Trigo	79.09±0.34 ^a
H. Amaranto	85.18±1.30 ^b

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

En cuanto a los resultados de digestibilidad *in vitro* (Tabla 14) se observó una diferencia estadísticamente significativa ($\rho \leq 0.05$) entre las muestras, obteniendo valores mayores de hasta 6 % mayor en la harina integral de amaranto, esto es importante porque esto indica una mejor hidrólisis y en consecuencia una mayor absorción en comparación con la digestibilidad de la harina de trigo (Prieto, 2015).

Tabla 15. Resultados obtenidos de Almidón total en harina de trigo refinada marca Tres estrellas® y harina integral de amaranto, utilizada como materia prima

Muestra	Almidón Total (%)
H. Trigo	76.41±1.27 ^a
H. Amaranto	51.01±7.82 ^b

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

En cuanto a los resultados de almidón total (Tabla 15) hubo diferencia estadísticamente significativa ($\rho \leq 0.05$) entre las muestras, la harina de amaranto presentó un menor porcentaje en comparación con la harina de trigo, esto es lo esperado pues se sabe que el amaranto tiene menor porcentaje de almidón que los cereales. (Englyst *et al.*, 1992).

Tabla 16. Resultados obtenidos de Almidón Digerible en harina de trigo refinada marca Tres estrellas® y harina integral de amaranto, utilizada como materia prima

Muestra	Almidón Digerible (%)
H. Trigo	59.3 ^a
H. Amaranto	39.61 ^b

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

En el contenido de almidón digerible (Tabla 16) hubo diferencia estadísticamente significativa ($\rho \leq 0.05$) entre las muestras, la harina integral de amaranto presento menor cantidad en comparación con la harina de trigo, como ya se ha mencionado antes la semilla de amaranto presenta bajos contenidos de almidón por lo que el menor contenido en la harina de amaranto resulta favorable ya que el índice glicémico se reducirá y es por esto que la combinación en diferentes proporciones con otras harinas como la harina de trigo para elaboración de productos de panificación resulta beneficioso (Englyst *et al.*, 1992).

3.3 Evaluación de la materia prima como alimento funcional

Se evaluó el contenido de fenoles, capacidad antioxidante, fibra dietética y almidón resistente a la harina de trigo y a la harina integral de amaranto, con el fin de determinar las propiedades funcionales de estas dos harinas.

Tabla 17. Resultados obtenidos de Fenoles en la harina de trigo refinada marca Tres estrellas® y harina integral de amaranto, utilizadas como materia prima.

Muestra	Fenoles (mgEAG/g mtra)
H. Trigo	0.31±0.005 ^a
H. Amaranto	13.07±0.04 ^b

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

Se observó una diferencia estadísticamente significativa ($\rho \leq 0.05$) entre las muestras en el contenido de fenoles (Tabla 17) teniendo 10 mg más de compuestos fenólicos la harina de amaranto, mientras que en la capacidad antioxidante se observó diferencia estadísticamente significativa ($\rho \leq 0.05$) entre las muestras siendo más de 50 % mayor en la harina integral de amaranto.

La presencia de fenoles es de vital importancia ya que ayuda a evitar la oxidación lipídica, dichos compuestos ayudan a reducir el riesgo de enfermedades cardiovasculares y de cáncer (González, 2010).

Tabla 18. Resultados obtenidos de capacidad antioxidante en la harina de trigo refinada marca Tres estrellas® y harina integral de amaranto, utilizadas como materia prima.

Muestra	Capacidad Antioxidante (%)
H. Trigo	7.03±0.2 ^a
H. Amaranto	61.84±0.07 ^b

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

Los compuestos fenólicos se relacionan fuertemente con la capacidad antioxidante, (Tabla 18) que mostró diferencia estadísticamente significativa ($\rho \leq 0.05$) entre las muestras, aunque no existe un único compuesto fenólico responsable de la actividad antioxidante. Una mayor capacidad antioxidante resulta favorable ya que ayuda a retrasar el envejecimiento celular y a prevenir enfermedades degenerativas de la edad como enfermedades cardiovasculares (Okuyama *et al.*, 1997).

Tabla 19. Resultados obtenidos de fibra dietética en la harina de trigo refinada marca Tres estrellas® y harina integral de amaranto, utilizadas como materia prima.

Muestra	Fibra Dietética (%)
H. Trigo	2.03±0.21 ^a
H. Amaranto	14.03±0.37 ^b

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

Por otra parte, el contenido de fibra dietética (Tabla 19) mostró diferencia estadísticamente significativa ($\rho \leq 0.05$) entre las muestras, la harina integral de amaranto presentó 12% más contenido de fibra dietética en comparación con la harina de trigo, lo cual resulta bueno ya que la fibra dietética promueve efectos fisiológicos benéficos como laxante además de atenuar los niveles de colesterol en la sangre e influir en la disminución de la posibilidad de que exista cáncer de colon (Escudero, 2006).

Tabla 20. Resultados obtenidos de almidón resistente en la harina de trigo refinada marca Tres estrellas® y harina integral de amaranto, utilizadas como materia prima.

Muestra	Almidón Resistente (%)
H. Trigo	17.11±0.14 ^a
H. Amaranto	11.4±1.47 ^b

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

En el contenido de almidón resistente (Tabla 20) existen diferencias estadísticamente significativas ($\rho \leq 0.05$) entre las harinas trabajadas presentando resultados con mayor contenido de almidón resistente la harina de trigo siendo 7% más que la harina de amaranto, debido a que el trigo es un cereal con alto contenido de almidón, sin embargo

el bajo contenido de almidón resistente en la harina de amaranto resulta favorable pues la pequeña ingesta puede favorecer la regulación del apetito ya que el almidón resistente cumple una función similar a la fibra dietética soluble (Escudero, 2006).

3.4 Elaboración de distintas formulaciones para Croissant

Se elaboró primero un Croissant 100% con harina de trigo marca Tres estrellas®, el cual se utilizó como control de las condiciones de elaboración en el Laboratorio de Bioquímica y Fisiología de Granos en la Unidad de Investigación Multidisciplinaria, comparando con un Croissant comercial, para que después se comparara con el Croissant con harina integral de amaranto.

Para la elaboración de Croissants se propusieron diferentes formulaciones a base de harina refinada de trigo y harina integral de amaranto.

Los ingredientes (Agua, leche, huevo, azúcar, sal, levadura, mantequilla) se mantuvieron en una proporción constante, solo se varió el porcentaje de la harina de trigo y harina integral de amaranto, donde las harinas representaron un 45.66% de la formulación total (Tabla 21).

Tabla 21. Formulaciones para la elaboración de Croissants

Formulaciones %				
Ingredientes %	Harina 100% Trigo	Harina Amaranto 70% Harina Trigo 20% Gluten 10%	Harina Amaranto 50% Harina Trigo 40% Gluten 10%	Harina Amaranto 30% Harina Trigo 60% Gluten 10%
Harina Amaranto		31.96	22.83	13.69
Harina Trigo	45.66	9.13	18.26	27.39
Gluten		4.56	4.56	4.56
Agua	25.11			
Mantequilla	15.06			
Leche	5.5			
Azúcar	4.1			
Huevo	2.3			
Levadura	1.36			
Sal	0.91			

3.5 Evaluación sensorial (prueba de preferencia)

Los resultados del análisis sensorial realizado a 100 jueces no entrenados mostraron que el Croissant elaborado con 30% de harina integral de amaranto tuvo mejores puntuaciones que los formulados con 50 y 70% y que presentaron diferencia estadísticamente significativa ($\rho \leq 0.05$) entre las tres formulaciones. Por lo que la formulación seleccionada fue la que contenía 30% harina de amaranto, 60% harina de trigo y 10% de gluten (Tabla 22).

Tabla 22. Resultados de la prueba sensorial de preferencia de Croissant con diferentes porcentajes de harina integral de amaranto

Formulaciones	3060	5040	7020
Puntaje	184 ^a	151 ^b	156 ^b

Letras diferentes muestran diferencia estadísticamente significativa ($\rho \leq 0.05$)

3.6 Análisis químico proximal de Croissant comercial, Croissant control y seleccionado.

El Croissant realizado con la formulación seleccionada presentó diferencia estadísticamente significativa ($\rho \leq 0.05$) en la mayoría de los componentes químicos analizados (Tabla 23) como la proteína, grasa y fibra con respecto al Croissant comercial y control.

El amaranto tuvo un efecto positivo sobre el contenido de proteína del Croissant seleccionado ya que se logró un incremento en el porcentaje de proteína estadísticamente significativo ($\rho \leq 0.05$) con respecto a los Croissants control y comercial. El aumento en el contenido de proteínas se debió a la harina de amaranto empleada (Montero, 2015). El alto contenido de proteínas resulta favorable, ya que la proteína del producto está constituida por aminoácidos esenciales, los cuales aportan cantidades importantes de lisina y aminoácidos azufrados, y la proteína del amaranto tiene un alto valor biológico (Bressani, 2012).

El porcentaje de grasa es más bajo en el Croissant elaborado con la formulación seleccionada, en comparación con el comercial y el control; el porcentaje de grasa contenido en el producto comercial es casi 14% más alto que el contenido de grasa en el producto control y 20 % más con el seleccionado, esto se puede deber a que no se conoce en su totalidad la composición química del Croissant comercial, aunque se reporta un dato en la etiqueta, no se sabe exactamente qué tipo de aditivos sean utilizados (Mataix, 2003). El que el porcentaje de grasa sea menor, en el producto seleccionado, es bueno porque el producto puede ser consumido por personas con enfermedades cardiovasculares, o con sobrepeso u obesidad.

El contenido de fibra fue mayor en la formulación seleccionada lo cual resulta benéfico para el producto ya que la fibra ayuda a la regulación de la flora gastrointestinal (Beltrán *et al.*, s.f.; Capitani, 2013). Solo en cenizas la formulación seleccionada no tiene diferencia estadísticamente significativa ($\rho \leq 0.05$) con el Croissant comercial y el control.

Tabla 23. Análisis químico proximal de Croissant comercial, control, seleccionado.

Muestra	Humedad (%)	Proteínas (%)	Grasa (%)	Cenizas (%)	Fibra (%)	CHOS (%)
Comercial	11.50±0.17 ^a	6.55±0.58 ^a	33.24±0.67 ^a	2.03±0.08 ^a	4.32±0.45 ^a	42.35 ^a
Control	20.30±0.56 ^b	8.3±0.46 ^b	19.73±0.22 ^b	2.49±0.01 ^b	3.86±0.13 ^a	45.32 ^a
F. Seleccionada (30,60,10)	25.58±0.78 ^c	11.71±0.58 ^c	13.02±0.35 ^c	2.15±0.09 ^{ab}	5.57±0.49 ^b	41.97 ^a

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

3.7 Análisis de calidad nutricional del Croissant (comercial, control y seleccionado)

3.7.1 Cuantificación de Triptófano

Los resultados obtenidos de Triptófano (Tabla 24), presentaron una diferencia estadísticamente significativa ($\rho \leq 0.05$) entre las muestras, la formulación seleccionada tuvo una disminución del 0.061% en comparación con la muestra comercial y 0.015%

en comparación con el control. La disminución del contenido de triptófano pudo deberse a que es un aminoácido esencial sensible al calor y pudo afectarse durante el proceso de horneado (180°C) del Croissant, además, el contenido de este aminoácido depende de la cosecha, factores climáticos y variedades del amaranto. Además, tomando en cuenta los requerimientos diarios de este aminoácido esencial en adultos, que según la FAO es de 8 mg Triptófano/g de proteína, el contenido de triptófano en el Croissant elaborado con harina integral de amaranto es un valor aceptable y dentro del rango requerido para consumo diario de este aminoácido presente en el producto (FAO/OMS/UNU, 1985; Collazos, 1995).

El triptófano es uno de los aminoácidos esenciales presentes en el grano de amaranto, en mayor proporción que en algunos otros cereales, regula los niveles serotonina, sirve como neurotransmisor cerebral precursora de la hormona melatonina, la cual regula el ciclo diario de vigilia-sueño, ayuda a que la serotonina controle el apetito, ejerciendo un efecto ansiolítico, antidepresivo y controla los niveles de insulina, dado que tiende a calmar nuestro sistema nervioso (Murray *et al.*, 2005).

Tabla 24. Resultados obtenidos de triptófano de Croissant comercial, control y seleccionado.

Muestra	Triptófano (g Trp/100 g de proteína)
M. Comercial	1.9±0.04 ^a
M. Control	1.75±0.07 ^a
F. Seleccionada (306010)	1.29±0.13 ^b

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

3.7.2 Digestibilidad *in vitro*

Se determinó la digestibilidad *in vitro* de los Croissant elaborados y los resultados (Tabla 25) mostraron que no hubo diferencia estadísticamente significativa entre las muestras ($\rho \leq 0.05$) del Croissant elaborado con la formulación seleccionada, el control y el comercial, lo cual significa que la mayor parte de la proteína contenida en el alimento se hidroliza y puede ser absorbida por el organismo y por lo tanto, al consumir

el producto se estarán aprovechando los aminoácidos esenciales presentes en el Croissant.

Tabla 25. Resultados obtenidos de Digestibilidad *in vitro* de los Croissants comercial, control y formulación seleccionada

Muestra	Digestibilidad <i>in vitro</i> %
M. Comercial	91.11±1.30 ^a
M. Control	90.36±1.30 ^a
F. Seleccionada (306010)	88.95±2.60 ^a

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

3.7.3 Almidón total

En cuanto a los resultados obtenidos de almidón total (Tabla 26), no presentaron diferencia estadísticamente significativa ($\rho \leq 0.05$) entre el Croissant comercial, el control elaborado con harina de trigo y la formulación seleccionada.

El contenido de este compuesto resulta favorable pues constituye una fuente de energía. Pero esta fuente de energía no es de fácil absorción como los monosacáridos aunque esto depende también, de la relación de almidón digerible y almidón resistente que contenga (Nutrinfo, 2000).

Tabla 26. Resultados obtenidos de Almidón total de los Croissants comercial, control y formulación seleccionada

Muestra	Almidón Total (%)
M. Comercial	62.89±0.06 ^a
M. Control	58.20±0.96 ^a
F. Seleccionada (306010)	54.92±0.16 ^a

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

3.7.4 Almidón digerible

En cuanto a los resultados obtenidos de almidón digerible (Tabla 27), no hubo diferencia estadísticamente significativa ($\rho \leq 0.05$) entre las muestras evaluadas. Esto es bueno para el producto, ya que la presencia de este tipo de almidón será una buena fuente de energía pero permitirá que la digestión y absorción de carbohidratos sea más lenta y su índice glucémico será más bajo, pues tras ingerir un alimento como el Croissant elaborado con harina integral de amaranto con bajo índice glucémico (IG), la glucosa se elevará lentamente sin producir picos de este compuesto en sangre, ni la liberación brusca de insulina, lo cual implica energía circulando en el organismo por más tiempo, lo que provoca más tiempo de saciedad, y por tanto, hay menos necesidad de comer porque se inhibe el hambre (Nutrinfo, 2000 ; Ayandi *et al.*, 2011).

Tabla 27. Resultados obtenidos de Almidón digerible de los Croissants comercial, control y formulación seleccionada

Muestra	Almidón Digerible (%)
M. Comercial	47.34 ^a
M. Control	47.1 ^a
F. Seleccionada (306010)	51.45 ^a

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

3.8 Evaluación del Croissant (comercial, control y seleccionado) como alimento funcional

3.8.1 Compuestos fenólicos

Se observó diferencia estadísticamente significativa ($\rho \leq 0.05$) entre las muestras en el contenido de compuestos fenólicos (Tabla 28). Este compuesto se encuentra mayormente en la formulación seleccionada, en una doble proporción en comparación con el Croissant comercial, esto se debe a que la formulación seleccionada contiene

harina integral de amaranto pues se mostró que la materia prima también contiene un alto contenido de fenoles. Los flavonoides pueden ser parte de este grupo de compuestos, y se ha demostrado en varios modelos animales que algunos flavonoides inhiben la inflamación crónica a través de diversos mecanismos (Rahman *et al.*, 2006). Dichos compuestos también han mostrado actividad antioxidante y de barrido de radicales, así como la capacidad de regular diversas actividades celulares (Muñoz *et al.*, 2012).

Tabla 28. Resultados obtenidos de Compuestos fenólicos de los Croissants comercial, control y formulación seleccionada.

Muestra	Fenoles (mgEAG/g mtra)
M. Comercial	1.55±0.01 ^a
M. Control	1.82±0.035 ^b
F. Seleccionada (306010)	3±0.14 ^c

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

3.8.2 Capacidad antioxidante

En cuanto a los resultados obtenidos de capacidad antioxidante, (Tabla 29) se observaron diferencias estadísticamente significativas ($\rho \leq 0.05$) entre las muestras, ya que la formulación seleccionada fue 40% mayor en comparación con el Croissant comercial y 52% mayor comparado con el control, estos resultados elevados de capacidad antioxidante presentes en la formulación seleccionada, en gran parte provienen del amaranto y podrían ser miricetina, quercetina, kaempferol y algunos ácidos cinámicos como el cafeico y el clorogénico que se ha demostrado que poseen actividad antioxidante en estas semillas (Taga, Miller, & Pratt *et al.*, 1994).

Tabla 29. Resultados obtenidos de Capacidad antioxidante de los Croissants comercial, control y formulación seleccionada.

Muestra	Capacidad Antioxidante (%)
M. Comercial	34.64±0.89 ^a
M. Control	23.65±0.14 ^b
F. Seleccionada (306010)	76.39±0.56 ^c

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

3.8.3 Fibra Dietética

El contenido de fibra (Tabla 30) mostró diferencia estadísticamente significativa ($\rho \leq 0.05$) entre las muestras, ya que la formulación seleccionada tuvo casi el doble de fibra dietética que la muestra comercial y un 3% más en comparación con el control, esto resulta ser un beneficio, ya que se ha demostrado que la fibra dietética juega un papel importante en la prevención de varias enfermedades, y las dietas con un alto contenido de fibra tienen un efecto positivo en la salud ya que el consumo se ha relacionado con una menor incidencia de varios tipos de cáncer, enfermedades coronarias, diabetes y problemas digestivos (Baena & García, 2012).

Tabla 30. Resultados obtenidos de Fibra dietética de los Croissants comercial, control y formulación seleccionada

Muestra	Fibra Dietética (%)
M. Comercial	8.73±0.07 ^a
M. Control	10.5±0.62 ^b
F. Seleccionada (306010)	13.6±1.31 ^c

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

3.8.4 Almidón resistente

En cuanto a los resultados obtenidos de almidón resistente (Tabla 31), mostraron diferencia estadísticamente significativa ($\rho \leq 0.05$) entre las muestras y la formulación elegida tuvo menor cantidad en comparación con el producto comercial y el control. Esto podría deberse a una posible retrogradación del almidón por someter al producto a elevadas temperaturas durante el horneado y luego dejarse enfriar fuera del horno a una temperatura más baja, añadiendo que también pudo ser porque la muestra comercial se deterioró más rápido debido al envejecimiento, provocando la retrogradación de la muestra esto posiblemente por su tiempo de almacenamiento (Matz, 1999).

Tabla 31. Resultados obtenidos de Almidón resistente de los Croissants comercial, control y formulación seleccionada

Muestra	Almidón Resistente (%)
M. Comercial	15.55±0.48 ^a
M. Control	11.1±0.41 ^b
F. Seleccionada (306010)	3.47±0.13 ^c

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

3.9 Evaluación sensorial (prueba nivel de agrado)

El análisis sensorial de nivel de agrado realizado a 100 jueces no entrenados (Tabla 32), mostro que el Croissant con 30% Harina de amaranto, 60% Harina de Trigo y 10% gluten fue aceptado por el 70.2 % de los consumidores otorgándole una calificación de 7.54.

Tabla 32. Resultados de prueba de nivel de agrado aplicado a Croissant seleccionado en prueba de preferencia.

	Número de jueces	Calificación	Porcentaje de aceptación
F. Seleccionada (30% H. amaranto, 60% H. Trigo y 10% gluten)	100	7.54	70.2

Determinando así que el Croissant elaborado con 30% harina de amaranto, 60% harina de trigo y 10% de gluten (Figura 48) además de poseer una mejor calidad nutrimental en comparación con un Croissant comercial y uno control elaborado con 100% harina de trigo, es un producto que tiene la posibilidad de tener éxito en el mercado ya que obtuvo un buen porcentaje de aceptación.



Figura 46. Croissants

CONCLUSIONES

- El análisis de la materia prima mostró que la harina integral de amaranto tiene mejor calidad química, nutrimental y funcional pues tuvo mayor contenido de proteínas, grasa, fibra y cenizas; digestibilidad *in vitro*; y fenoles, capacidad antioxidante y fibra dietética respectivamente en comparación con la harina de trigo. Por lo que la harina integral de amaranto será un buen complemento para mejorar la calidad del Croissant.
- Se pudo elaborar un Croissant con harina integral de amaranto en proporciones de hasta un 70%, adicionándole gluten vital, conservando buenas características sensoriales. Pero la formulación seleccionada como la mejor fue la que contenía 30% harina integral de amaranto, 60% harina de trigo y 10% de gluten.
- La formulación seleccionada presentó mejor calidad química, nutrimental y funcional en comparación con un Croissant control elaborado 100% con harina de trigo y uno comercial. Ya que el contenido de proteína, grasa y fibra fue mayor; así como el contenido de triptófano y fenoles y capacidad antioxidante respectivamente.
- El Croissant elaborado con la formulación seleccionada tuvo una aceptación del 70 % por parte del consumidor y una calificación de 7.54 en una escala del 1 al 10, por lo que se concluye que el producto tuvo una buena aceptación.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un análisis microbiológico para determinar la inocuidad del producto, ofreciendo al consumidor seguridad alimentaria.
- Es importante realizar un estudio de mercado más detallado, para determinar la opinión de los consumidores respecto a presentación, precio, etcétera, así como llevar a cabo un estudio de factibilidad financiera, para conocer si sería rentable su producción.

REFERENCIAS

- A.O.A.C. (2005). Official Methods of Analysis. 18th ed. Association of Official Analytical Chemists-International Gaithersburg, Maryland, USA.
- Aleixandre, A., Miguel, M. (2008). Dietary fiber in the prevention and treatment of metabolic síndrome. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 48:905-912.
- Aproinppa. (2012). Panadería y pastelería artesana (en línea). Consultado 6 de julio, 2019. Disponible en http://www.aproinppa.es/es/entorno/historia_panaderia
- Ayandi, F., Bliard, C., & Dole, P. (2011). Materials base don maie biopolymers: Effect of flour components on mechanical and termal behavior. *Starch-Starke*, 63(10), 604-615.
- Badui, S. (2013). *Química de los alimentos* (5^a. Ed) México: Pearson.
- Baena, L. M., & García, N. (2012). Obtención y caracterización de fibra dietaría a partir de cascarilla de las semillas tostadas de *Theobroma Cacao L.* de una industria chocolatera colombiana (Doctoral dissertation, Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Tecnologías. Química Industrial).
- Bakery. (2015). El mundo fantástico de la repostería (en línea). Fecha de consulta: Mayo de 2019. Disponible en: <http://sites.google.com/a/misena.edu.co/mr-bakery-and-pastry/ingredientes>
- Barros, C. & M. Buenrostro (1997), Amarantho. Fuente maravillosa de sabor y salud, México, Grijalbo, p. 158. Costea, M. y F. J. Tardif (2003), "The name of the amaranth: histories of meaning", *sida* 20(3):1073-1083.
- Bascón, J. (2012). El cuadernillo de sociales (en línea). Consultado 28 de junio, 2019. Disponible en http://juanbascon.blogspot.mx/2012_05_01archive.html
- Beltrán Orozco, M., Salgado Cruz, M., & Cedillo López, D. (s.f.). Estudio de las propiedades funcionales de la semilla de chíá (*Salvia hispánica L.*) y de la fibra dietaria obtenida de la misma. Recuperado el 21 de octubre de 2019 de: http://ww.alkos.cl/files/file_descargas/286_949_fibra_dietaria_de_chia.pdf
- Bodroza-Solarov, M., Filiocev, B., Kevresan, Z., Mandic, A., Simurina, O. (2008). Quality of bread supplemented with popped *Amaranthus cruentus* grain. *Journal of Food Process Engineering*. 31:602-618.

- Bonjean, A.P., and W.J. Angus (2001). *The World Wheat Book: a history of wheat breeding*. Lavoisier Publ., Paris. 1131 pp.
- Bressani, R. (2012). El amaranto y su potencial en la industria alimentaria. *Alimentos Hoy*. 7(7), 15-19.
- Buitrago, L. G., Torres, C. G. (2000). Respuesta de Cultivares de Quinoa en distintos ambientes andinos de Jujuy, Argentina. V Seminario de Integración Subregional. CRISCOS. Iquique, Chile.
- Calaveras, J. (2000). *Nuevo tratado de panificación y bollería*. España. Mundi Prensa. pp. 25-29.
- CANIMOLT. (2015). Trigo (en línea). Consultado 24 de junio de 2019. Disponible en <http://www.canimolt.org/trigo>
- Capitani, M. I. (2013). Caracterización y funcionalidad de subproductos de chía (*Salvia hispánica L.*) aplicación en tecnología de alimentos. Facultad de Ciencias Exactas Departamento de Química, 1-230.
- Caprián-Carreón, R. A. (2005). Evaluación del tamaño de partícula y nivel de fibra en el concentrado para cuyes (*Cavia porcellus L.*) en crecimiento (No. L02 C5-T). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima (Peru). Escuela de Post Grado, Especialidad en Nutrición.
- Club planeta. (2015). Origen del amaranto y su producción en México (en línea). Consultado 23 septiembre. Disponible en http://www.clubplaneta.com.mx/origen_del_amaranto_y_su_produccion
- Collazos, C., White, P.L. White, H. S., Vinas, T., & Alvistur, J. (1995). La composición de los alimentos peruanos.
- Contreras, E., Jaimez, J., Soto, J., Castaeda, A., & Añorve, J. (2011). Aumento del contenido proteico de una bebida a base de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*). *Revista chilena de nutrición*, 38(3), 322-330.
- Cunniff, P. M., Fossey, S. A., Auerbach, M. A., & Song, J. W. (1994) Mechanical properties of major ampulate gland silk fibers extracted from *Nephila clavipes* spiders. In ACS symposium series.
- Dyner, L., Drago, R., Piñeiro, A., Sánchez, H., Gonzáles, R., Villaamil, E., & Valencia, E. (2007). Composición y aporte potencial de hierro calcio y zinc de panes y fideos

elaborados con harinas de trigo y amaranto. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 57(1), 69-77.

Englyst, H. N., Kingman, S. M., & Cummings, J. H. (1992). Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. *European journal of clinical nutrition*, 46, S33-50.

Escudero Álvarez, E., & González Sánchez, P. (2006). La fibra dietética. *Nutrición Hospitalaria*, 21, 61-72.

Estruch. (2003) Triptofano: Aminoácido amigo. Recuperado el 22 de octubre de 2019 de: <file:///C:/Users/Valentin/Downloads/Dialnet-Triptofano-4956301>

FAO (2018). *Informe sobre la utilización de cultivos andinos*. Quinto Ecuador FAO.

FAO/OMS/UNU. (1985). Necesidades de energía y proteínas. OMS., Ginebra. Serie de informes técnicos No. 724.

FIAB (2018). InfoAlimenta. Fecha de consulta: Mayo de 2019. Disponible en: <http://infoalimenta.com/biblioteca-alimentos/46/67/croissant/>

FISIOTERAPIA. (2017). 49 SUPERALIMENTOS ¡una lista que cambiara tu vida! SUPER SALUD. Fecha de consulta: mayo 2019. Disponible en: <http://fisioterapia.com/salud/superalimentos-mejores-salud>

Foodwardturtle (2015). Trigo y harina: El preámbulo del Pan. Consultado Junio, 2019. Disponible en: <http://foodwardturtle.com/trigo-y-harinaelpreambulodel-pan/>

García, F. (1999). Papel de la fermentación en la fabricación del pan. "Cereales", v.173; pp.13-15.

Gastronomía&Cía. (2016). Como se hace el mejor Croissant (en línea). Consultado 1 de julio, 2019. Disponible en <https://gastronomiaycia.republica.com/2017/05/16/como-se-hace-el-mejor-crosissant-artesano-de-mantequilla/>

González Jiménez, F. E. (2010). Caracterización de compuestos fenólicos presentes en la semilla y aceite de chía (*Salvia Hispanica L.*) Mediante electroforesis capilar (Doctoral dissertation).

Goñi, I., Garcia-Diz, L., Maññas, E., & Saura-Calizto, F. (1997). Analysis of resistant starch: a method for foods and food products. *Food chemistry*. 56(4) 445-449.

- Guissepe, C., Coda, R., De angelis, M., Di Cagno, R., Carnevalli, P., Gobbetti, M. (2009). Long-term fungal inhibitory activity of wáter-soluble extract from *Amaranthus spp.* Seeds during storage of gluten-free and wheat flour breads. *International Journal of Food Microbiology*. 131,189-196.
- Hart F. L. & Fisher H. J. (1991). Análisis moderno de los alimentos. España: Acribia.
- Hernández, A. G. D. (2010). Tratado de nutrición: Composición y calidad nutritiva de los alimentos (Vol. 2). Ed. Médica Panamericana.
- Hoseney, C. (1994). Cereals. Science and Technology. España: Acribia. pp. 129-138.
- InfoAgro. (2015). El cultivo del trigo. En línea. Consultado 29 de Septiembre 2019. Disponible en <http://infoagro.com/herbaceos/cereales/trigo.htm>
- Isserlyska, D., Karadjov, G., & Angelov, A. (2001). Mineral compositions of Bulgarian heat bread. *European Food Research and Tecnology*. 213:244-245.
- Jacobsen, S-E.; Iteno, K.; Mujica, A. (2002). Amaranito como un cultivo nuevo en el norte de Europa. *Agronomia Tropical*. 52:109-119.
- Juárez, Z. N., Bárcenas, M., & Hernández, L. (2014). El grano de trigo: características generales y algunas problemáticas y soluciones a su almacenamiento. *Temas Selectos de Ingeniería en Alimentos*, 8(1), 79-93.
- Katina, K., Arendt, E., Liukkonen, K. H., Autio, K., Flander, L., & Poutanen, K. (2005). Potencial of sourdough for healthier cereal products. *Trends in Food Science and Technology*. 16: 104-112.
- León, A., Duran, E., Benedito De Barber, C. (2007). A new approach to study changes occurring in the dough. Baking process and durin bread storage. *Zeitschrift fur Lebensmitteluntersuchung und-Forschung A*. 204:316-320.
- Londoño, J. (2012). Antioxidantes: importancia biológica y métodos para medir su actividad. Corporación Universitaria Lasallista Capitulo 9.Parte III. Antioquia-Colombia.
- Lorenz, K. (1991). Lipids in amaranths. *Nutrition reports international (USA)*.
- Martinez Vazquez J. B. (2007). Evaluación de la actividad antioxidante de extractos organicos de semillas de *Heliocarpus terebinthinaceus*. Tesis de Licenciatura. Ingeniería en alimentos. Huajuapán de León, Oaxaca. Universidad Tecnológica de la Mixteca.

- Mataix, J. (2003). *Tabla de composición de alimentos* 4ª edición. Instituto de Nutrición y Tecnología de Alimentos. Universidad de Granada.
- Matia, M. P., Lecumberri Pascual, E., & Calle Pascual, A. L. (2007). Nutrition and metabolic síndrome. *Revista Española de Salud Pública*. 81:489-505.
- Matz, S. A. (1999). *Ingredients for Bakers*. Ed. Pan-Tech. International, Texas.
- Mesas, J. & Alegre, M. (2002). El Pan y su Proceso de Elaboración. *Ciencia y Tecnología alimentaria*. Vol. 3, No. 5., 307-313
- Montero, K., Rojas, R., & Molina, e. (2015). Evaluación de panes enriquecidos con amaranto para regímenes dietéticos. *Interciencia*, 40(7), 473-478.
- Montero, L. (2010). Los superalimentos, sabroso seguro de vida. *Revista Contenido*. 80-83.
- Mosquera, M., Pacheco, J., & Martinez, I. (2012). Diseño de una línea de producción para la elaboración de pan a partir de la harina de amaranto (*Amaranthus hybridus*) y harina de arroz (*Oryza sativa*) para celíacos. Tesis de grado. Universidad Politecnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador.
- Mujica- Sánchez, A., Berti Díaz, M. (1997). El cultivo del amaranto (*Amaranthus spp.*). Producción, mejoramiento genético y utilización. Cultivos Andinos FAO. *Oficial Regional de Producción Vegetal*. FAO.
- Mundosabor (2019). El mercado actual del pan. Fecha de consulta: agosto del 2019. Disponible en: <http://mundosabor.es/sabias-que/curiosidades/el-mercado-actual-del-pan.html>
- Muñoz, L. A., Cobos, A., Diaz, O., & Aguilera, J. M. (2012). Chia seeds: Microstructure, mucilage extraction and hydration. *Journal of food Engineering*, 108(1), 216-224.
- Murcia, J. (2011). El pan en la base de la dieta mediterránea. *Distribución y Consumo*, 21(115), 64-68.
- Murray, M., Pizzorno, J., & Pizzorno, L. (2005). *The encyclopedia of healing foods*. Simon and Schuster.
- Nielsen Suzanne. (2003). *Análisis de los alimentos*. España. Acribia.

- Nieto, C. (1998). *El cultivo de amaranto Amaranthus spp, una alternativa agronómica para Ecuador*. Departamento de comunicación social y relaciones públicas de la INIAP. Quito, Ecuador.
- NMX-F-516-1992. Alimentos. Productos de panificación. Clasificación y definiciones. Normas Mexicanas. Dirección general de normas.
- NMX-FF-036-1996. Productos alimenticios no industrializados. Cereales. Trigo (*Triticum Aestivum L.* y *Triticum Durum Desf.*) Especificaciones y métodos de prueba. Normas Mexicanas. Dirección general de normas.
- Nutrinfo. (2000). Tablas de índice glucémico. Fecha de consulta 23 octubre 2019. Disponible en: <http://www.fundacion-barcelo.com.ar/nutricion/documentos.pdf>
- OEIDRUS, (2016). Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Sustentable. Recuperado el 13 de Octubre de 2019, de <http://www.oeidrusc.gob.mx/sispro/trigobc/Produccion/Mundial/Nacional12.pdf>.
- Okutama, H., Zhang, H. L., Nagatsu, A., & Watanabe, T. (1997). Antioxidative compounds isolated from safflower (*Carthamus tinctorius L.*) oil cake. *Chemical and pharmaceutical bulletin*, 45(12), 1910-1914.
- Ortega, E. (2012). El amaranto-pequeñas semillas con fuerzas colosales (en línea). Consultado 21 Octubre de 2019. Disponible en http://www.el-pan-alegre.org/Guia_Amaranto.pdf
- Oszvald, M., Tamás, C., Rakszegi, M., Tomoskozi, S., Bekes, F., Tamás, L. (2009). Effects of incorporated amaranth albumins on the functional properties of wheat Dough. *Journal Society of Chemical Industry Food Agricultural*. 89882-889.
- Prieto (2015). Proteínas en los alimentos. Recuperado el 22 de octubre de 2019 de: http://portal.uah.es/portal/page/portal/universidad_mayores/descarga_materialdocente/material_ciencias_naturales/documentos/proteinasnutricion.pdf
- Procesamiento de granos y semillas. Instituto de Ciencias Agropecuarias, UAEH. (2016). Fecha de consulta: junio 2019. Disponible en <http://granosysemillas.bligoo.mx/>
- PROFECO, (2017). Encuesta sobre los hábitos de consumo de pan de dulce de harina de trigo. Consultado el 13 de agosto de 2019. Disponible en

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/279977/Encuesta_sobre_los_habitos_de_consumo_de_pan_de_dulce_de_harina_de_trigo.pdf

- Rahman, I., Biswas, S. K., & Kirkham, P. A. (2006). Regulation of inflammation and redox signaling by dietary polyphenols. *Biochemical pharmacology*, 72(11), 1439-1452.
- Rama, R. M., Tara, R., Krishnan, C., (1974). Colorimetric estimation of tryptophan content of pulses. *Journal Food Science and Technology*. 11, 213-216.
- Ramírez, J. (2012). Análisis sensorial: pruebas orientadas al consumidor. *Revista ReCiTeIA*.
- Rastogi, A. & S. Shukla (2013), "Amaranth: A new millenium crop of nutraceutical values", *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53:109-125.
- Roybal, M. (2012). Espiga trigo (en línea). Consultado 22 de junio, 2019. Disponible en <http://www.imagui.com/a/espiga-trigo-T7earrjeB>
- SAGARPA. (2011). Perspectiva de largo plazo para el sector agropecuario de México 2011-2020 (en línea). Consultado 12 de julio de 2019. Disponible en <http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Documents>
- Salas, J. (2010) Diseño de un túnel de enfriamiento para una máquina formadora de palanquetas de amaranto con chocolate. Tesis de licenciatura. Ingeniería Mecánica Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo, México.
- Sánchez, C. (2010). El amaranto. *Política de Estado para la Educación Superior*. 2(4).
- Sanz, P., Wronkowska, M., Soral, M., & Haros, M. (2013). Effect of whole amaranth flour on bread properties and nutritive value. *LWT- Food Science and Technology*, 50(2), 679-685.
- Sanz-Penella, J. M., Tamay-Ramos, J. A., Sanz, Y., & Haros, M. (2009). Phytate reduction in bran-enriched bread by phytase-producing bifidobacteria. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 57:10239-10244.
- Sanz-Penella, J.M.; Wronnkowska, M.; Soral-Smietana, M.; Collar, C.; Haros, M. (2010). Impacto f tha addition of resistant starch from modified pea starch on dough and bread performance. *European Food Research and Technology*. DOI: 10.1007/s00217-010-1294-7.

- Serna, S. (2013). Química, almacenamiento e industrialización de los cereales. 2da edición, A.G.T. Editor, S.A. México, D.F.
- SIAP. (2015). Bueno como el pan (en línea). Consultado 29 de junio, 2019. Disponible en <http://www.siap.gob.mx/trigo-grano/>
- SIAP. (2016). Del trigo al pan. Consultado junio 2019. Disponible en: <http://www.siap.gob.mx/siaprendes/contenidos/3/04-trigo/contexto-1.html>
- Sosa, M. (2011). Optimización de la aceptabilidad sensorial y global de productos elaborados con amaranto destinados a programas sociales nutricionales. Tesis de doctorado. Doctor en ciencias Exactas, área Ciencias Biológicas. Facultad de Ciencias Exactas, Argentina.
- Taga, M.S., Miller, E.E., & Pratt, D. E. (1994). Amaranto sedes as a source of natural lipid antioxidants. *Journal of the American Oil Chemists Society*. 61. 928-931.
- Tehutli Amaranto (2015). Catálogo de productos. Fecha de consulta Mayo 2019. Disponible en <http://tehutliamaranto.com/?page>
- Terán, W., Vilcacundo, R., & Carpio, C. (2015). Compuestos bioactivos derivados de amaranto y quinoa. Actualización en Nutrición, 16(1), 18-22.
- Valadez M., E. M.L. Ortega, A. Carballo & L. Fucikovsky. (1990). Flavonoides de la testa del frijol como inhibidores de dos bacterias fitopatógenas. *Agrociencia, Serie Protección Vegetal*. Vol. 1 (2): 75-91.
- Villar, L., (2015). Cultivo de trigo. Ministerio de agricultura y Ganadería. Compilación (en línea). Consultado 22 de Junio de 2019. Disponible en <http://bibliotecadeamag/Cultivo+de+Trigo.pdf>
- White, E. (2015). Curiosidades nutritivas (en línea). Consultado octubre 2019. Disponible en <http://www.curiosidadesnutritivas.com/2015/10pequeñas-semillas-grandes-beneficios-el.html>
- Zapotoczny, P., Markowski, M., Majewska, K., Ratajski, A. & Henryk, K. (2006). Effect of temperature on the physical, functional, and mechanical characteristics of hot-air-puffed amaranth seeds. *Journal of Food Engineering*. 76:469-476.