



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

**“Elaboración de un pan tipo danés complementado con
harina de amaranto”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERA EN ALIMENTOS

PRESENTA

Ramírez Zárate Stephany Nataly

Asesor: Dr. Martínez Manrique Enrique

Co-asesora: I.A. Jiménez Vera Verónica



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.

El presente trabajo se realizó en el Laboratorio de Bioquímica y Fisiología de Granos de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán con el apoyo del programa UNAM-DGPAP PAPIME Clave: 200522 y del programa de Cátedras de Investigación CI-2253 de la FESC.

AGRADECIMIENTOS

A la **Universidad Nacional Autónoma de México** por abrirme la puerta a la máxima casa de estudios y darme la oportunidad de formarme académicamente.

A la **Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán** por darme la oportunidad de adquirir los conocimientos en sus instalaciones y profesores, además de ser mi segunda casa, gracias brindarme momentos inolvidables, darme un sentido de pertenencia y de identidad, gracias por forjarme académica y personalmente, te extrañaré.

A mi asesor **Dr. Enrique Martínez Manrique** por compartirme su conocimiento, brindarme ayuda e interés en todo el proceso de mi trabajo, por su tiempo y procurar que todo estuviera en orden, infinitas gracias por el impulso y la dedicación que me brindó desde el taller, de igual manera agradezco el compañerismo y los buenos momentos que se vivieron en el Laboratorio que de alguna manera se convirtió en un lugar que definitivamente voy a extrañar.

A mi co-asesora **I.A. Verónica Jiménez Vera** por toda la paciencia, dedicación, ayuda y tiempo que me brindó durante toda mi estancia en el laboratorio, también agradezco su amistad, preocupación y todo lo que me enseñó además de los buenos momentos que pasamos juntas, gracias a usted este trabajo fue posible y definitivamente la extrañaré.

A mis **Sinodales**, muchas gracias por tomarse el tiempo de revisar y ayudarme a forjar mi proyecto, también agradezco la asesoría y los comentarios para mejorar mi aprendizaje.

A mi mamá **Patricia Zárate Castro**, no tengo palabras para agradecer todo lo que has hecho por mí, gracias por todo el apoyo, paciencia, amor y sobre todo gracias por ser un gran ejemplo no solo para mí, también para mis hermanas y por impulsarnos siempre a dar lo mejor de nosotras, gracias por cada sacrificio que hiciste por mí y mis hermanas a lo largo de nuestras vidas y nuestra educación, gracias por darnos fuerza para seguir adelante y superar cualquier obstáculo, gracias por siempre intentar darnos lo mejor y nunca

rendirte, y finalmente agradezco infinitamente que seas mi mamá porque eres la mejor mamá que me pudo tocar, te amo.

A toda mi hija **Amber Minué González Ramírez** por ser mi motor e impulsarme a siempre salir adelante, gracias por ayudarme y entender mis ausencias durante todo este proceso, gracias por ser una gran hija y por el amor que me das, te amo.

A mi compañero de vida **Jareth Abraham González Villa**, gracias principalmente por ser mi mejor amigo y siempre estar para mí, te agradezco por siempre estar pendiente de lo que necesito y brindarme tu ayuda siempre que puedes, gracias por preocuparte por mí, darme palabras de aliento e impulsarme a ser una mejor persona y ayudarme a crecer, eres de las personas más importantes de mi vida, gracias por ser el mejor papá para nuestra hija y por ser parte importante al acompañarme durante este proceso, te amo.

A mi prima **Sadra Vázquez Zárate** por siempre procurarme, darme un apoyo incondicional, por los consejos y motivarme a superarme.

A mis hermanas **Karla Ramírez Zárate** y **Fernanda García Zárate** por todo el apoyo que me han brindado y la preocupación por mi bienestar durante toda la vida y durante este proceso.

Gracias a mis abuelos **María Castro Alonso** y **Saúl Zárate Mariscal** por todo su apoyo y aunque no puedan vivir conmigo este proceso, este logro también es de ellos, gracias por la increíble familia que me dejaron y el hogar que me brindaron, gracias por el amor incondicional de abuelos que me dieron y de padres también, los extraño mucho.

A mi **Familia** en general que siempre me impulsaron y dieron palabras de aliento en cada logro que he tenido, los quiero mucho.

A mi compañera y amiga de la carrera **Aimeé Mondragón Hernández**, agradezco infinitamente toda tu ayuda y preocupación durante la carrera, gracias por ayudarme a

estudiar y con los trabajos de las materias, gracias por motivarme a seguir adelante en la carrera, gracias por las risas y los buenos momentos que vivimos, te quiero.

A mi compañera y amiga **Dessireé Vera Espino**, gracias por el apoyo mutuo en todos estos últimos semestres que logramos compartir juntas, agradezco toda tu ayuda y preocupación por mi, gracias por escucharme y estar conmigo cuando te necesito, gracias por ser una persona que siempre esta dispuesta a ayudar en lo que sea, te quiero mucho.

A mi amiga **Josselín Peralta Vargas** por compartir conmigo momentos inolvidables y formar parte importante de mi vida, gracias por tu apoyo y por el tiempo que me dedicaste, también por tus consejos y la compañía que me brindaste a lo largo de la carrera, te quiero.

A todas las personas que estuvieron involucradas en mi formación académica y me ayudaron durante este proceso, les agradezco de corazón.

“Por mi raza hablará el espíritu”

ÍNDICE

	Página
RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
CAPITULO I. ANTECEDENTES	5
1.1 Trigo	5
1.1.1 Historia y origen	5
1.1.2 Botánica y clasificación del trigo	6
1.1.3 Morfología de la planta	7
1.1.4 Composición química del grano de trigo	12
1.1.5 Proceso de molienda del trigo	16
1.2 Panificación	18
1.2.1 Definición de la panificación	19
1.2.2 Clasificación del pan	19
1.2.3 Definición y origen del pan Danés	20
1.2.4 Ingredientes del pan tipo Danés	21
1.3 Consumo del pan danés en México	24
1.3.1 Problemas de salud debido al consumo de harina de trigo	26
1.4 Alimento Funcional	29
1.5 Amaranto	30
1.5.1 Composición química del amaranto	31
1.5.2 El amaranto como alimento nutricional y funcional	32
1.5.3 Calidad química y nutrimental del amaranto	33
CAPÍTULO II. DESARROLLO EXPERIMENTAL	43
2.1 Objetivos	43
2.1.1 Objetivo General	43
2.1.2 Objetivos particulares	43
2.2 Cuadro metodológico	45
2.3 Metodología	46
2.3.1 Material biológico	46
2.3.2 Preparación de la muestra	46

2.3.3 Análisis químico proximal de las materias primas	47
2.3.4 Elaboración de pan dulce tipo danés	53
2.3.5 Evaluación sensorial	56
2.3.6 Análisis químico proximal de los productos	58
2.3.7 Evaluación de la calidad nutrimental de las muestras	58
2.3.8 Evaluación de factores funcionales de las muestras	61
CAPÍTULO III RESULTADOS Y DISCUSIÓN	71
3.1 Análisis químico proximal de la materia prima	71
3.2 Calidad nutrimental de la materia prima	72
3.3 Calidad funcional de la materia prima	73
3.4 Prueba sensorial de preferencia	74
3.5 Análisis químico proximal de los productos	75
3.6 Calidad funcional de los productos	77
3.7 Calidad nutrimental de los productos	79
3.8 Digestibilidad <i>in vivo</i> y Relación de eficiencia proteica (PER)	80
3.9 Prueba sensorial de nivel de agrado	81
CONCLUSIONES	83
CAPÍTULO IV REFERENCIAS	84
CAPÍTULO V ANEXOS	94

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Pintura de la recolección del trigo en el Neolítico	5
Figura 2. Partes de la planta de trigo	7
Figura 3. Partes del tallo de la planta de trigo	8
Figura 4. Hojas de la planta de trigo	9
Figura 5. Estructura de la espiga, espiguilla y flores del trigo	10
Figura 6. Partes del grano o fruto de trigo	10
Figura 7. Estructura del grano de trigo	11
Figura 8. Molienda del grano de trigo	17
Figura 9. Pan Bombón papel offset y litografiada	18
Figura 10. Masa danesa	20
Figura 11. Diferentes panes elaborados con masa danesa	21
Figura 12. Proceso de elaboración general de un pan tipo danés	24
Figura 13. Harina integral de trigo de la marca Tres Estrellas®	27
Figura 14. Alimento funcional	29
Figura 15. Principales especies de amaranto en México	30
Figura 16. Micrografías electrónicas de barrido x10 000 del almidón de amaranto	35
Figura 17. Estructura química del escualeno	36
Figura 18. Efecto de la temperatura de extrusión y humedad de alimentación sobre el contenido de fenoles totales en amaranto	39
Figura 19. Efecto de la temperatura de extrusión y humedad de alimentación sobre la actividad antioxidante (DPPH) en amaranto	41
Figura 20. Amaranto (<i>Amaranthus hypochondriacus</i> L.) utilizado y harina de trigo	46
Figura 21. Harina de amaranto (<i>A. hypochondriacus</i>) tamizada	46
Figura 22. Estufa con circulación forzada de aire BLUE M C-4850-Q	47
Figura 23. Destilador micro Kjeldhal para determinación de proteína	48
Figura 24. Extractor Soxhlet para determinación de grasa	50
Figura 25. Incineración de la muestra en crisoles de cerámica	51
Figura 26. Filtración con succión de vacío para determinación de fibra cruda	52
Figura 27. Proceso para la elaboración del pan dulce danés tipo jabón	54

Figura 28. Aplicación de la prueba sensorial de preferencia	57
Figura 29. Muestras de pan utilizadas para la prueba sensorial de nivel de agrado	58
Figura 30. Muestras en celdas para determinación de triptófano	59
Figura 31. Montaje para la determinación de digestibilidad <i>in vitro</i>	60
Figura 32. Muestras para la determinación de almidón total	61
Figura 33. Muestras en agitación para la determinación de almidón resistente	62
Figura 34. Filtración y baño a ebullición en la determinación de fibra dietética	64
Figura 35. Muestras a 65°C para la determinación de fenoles totales	65
Figura 36. Baño a ebullición en las muestras de capacidad antioxidante	67
Figura 37. Jaulas para ratas Wistar	69
Figura 38. Gráfica de pastel de la prueba sensorial de nivel de agrado	81

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. La taxonomía del trigo	6
Tabla 2. Composición química del grano de trigo	13
Tabla 3. Composición de aminoácidos de la proteína del trigo en grano	14
Tabla 4. Composición química en las distintas partes del grano de trigo	16
Tabla 5. Composición química de la harina de trigo y del grano de trigo	17
Tabla 6. Composición de aminoácidos de la proteína del trigo en harina	18
Tabla 7. Porcentajes de consumo en el desayuno de pan dulce recién hecho	25
Tabla 8. Consumo de pan anual en el mundo	26
Tabla 9. Taxonomía del amaranto	31
Tabla 10. Composición proximal del amaranto y los principales cereales	32
Tabla 11. Aminoácidos esenciales del amaranto	33
Tabla 12. Porcentaje de ácidos grasos y escualeno en el grano de amaranto	35
Tabla 13. Minerales presentes en el amaranto	37
Tabla 14. Compuestos tóxico y antinutrimientales del amaranto	37
Tabla 15. Vitaminas en el amaranto	37
Tabla 16. Fibra dietaria soluble e insoluble en amaranto sin procesar, inflado y extrudido	38
Tabla 17. Resultados de las pruebas de calidad proteica <i>in vivo</i>	41
Tabla 18. Formulación de un pan dulce tipo danés con harina de trigo y proporciones diferentes de harina de amaranto y gluten vital	53
Tabla 19. Pesos iniciales de las ratas en la determinación de PER	68
Tabla 20. Análisis químico proximal de la materia prima	71
Tabla 21. Calidad nutrimental de la materia prima	72
Tabla 22. Calidad funcional de la materia prima	73
Tabla 23. Resultados de la prueba de preferencia	74
Tabla 24. Análisis químico proximal de pan danés control y 50% harina de amaranto	75
Tabla 25. Calidad funcional del pan danés control y 50% harina de amaranto	77
Tabla 26. Calidad nutrimental del pan danés control y 50% harina de amaranto	79
Tabla 27. Resultados de la digestibilidad <i>in vivo</i> y PER	80
Tabla 28. Resultados de la prueba de nivel de agrado	81

RESUMEN

El pan dulce es uno de los productos preferidos del mexicano para el desayuno; en México se consumen alrededor de 33.5 kg de pan por persona al año de los cuales de 8 a 10 kg de este consumo corresponden al pan dulce y dentro de los 25 panes caseros recién hechos más consumidos en el desayuno se encuentra el pan danés, sin embargo, el pan se hace con harina de trigo refinada, la cual tiene un aporte nutritivo bajo, principalmente en proteínas, debido al proceso de molienda. Para poder mejorar la calidad nutritiva de los productos de panificación se ha propuesto el uso de harinas integrales de otros cereales y pseudocereales como el amaranto, ya que este tiene una cantidad alta en proteínas de calidad, así como ácidos grasos esenciales, escualeno, fibra dietética y antioxidantes. Por esta razón, en este proyecto se busca mejorar la calidad nutritiva del pan danés tradicional adicionándole harina integral de amaranto. Para lograrlo se propusieron 3 formulaciones variando la cantidad de harina de trigo, harina de amaranto y gluten vital, con las que se elaboraron los panes dulces tipo danés y se seleccionó la mejor formulación con una prueba sensorial de preferencia. A la formulación seleccionada se le realizaron pruebas químicas (Análisis Químico Proximal), nutrimentales (Digestibilidad *in vitro*, triptófano, almidón total, almidón digerible, PER, digestibilidad *in vivo* y funcionales (fenoles, capacidad antioxidante, almidón resistente y fibra dietética), además de una prueba sensorial de nivel de agrado. Los resultados mostraron que la mejor formulación fue con 50% amaranto, la cual presentó mejor composición química que la formulación tradicional elaborada 100% con harina de trigo refinada, porque tuvo un mayor contenido de proteínas, fibra, grasa y cenizas, de igual manera tuvo una mayor capacidad antioxidante, fenoles y fibra dietética. También, su calidad nutrimental fue mejor pues la calidad de su proteína y digestibilidad fueron buenas. Finalmente, el pan dulce tipos danés tuvo un 82% de aceptación por parte del consumidor y una calificación de 8 en la prueba sensorial de nivel de agrado. Con estos resultados se puede concluir que la harina de trigo y de amaranto se complementaron y por lo tanto se obtuvo un producto con mayor calidad nutrimental y funcional.

INTRODUCCIÓN

El trigo es uno de los cultivos más antiguos del planeta y es cultivado desde el comienzo de la agricultura, no se sabe con precisión su origen, sin embargo, si se sabe que, dentro de la historia de los cereales, el trigo y la civilización humana han estado muy vinculadas. Por tal motivo, constituye el cultivo más antiguo sembrado por el hombre en inmensas extensiones y en grandes cantidades constituye la base estratégica para la autosuficiencia económica de los países por ser un componente indispensable en la dieta humana (Divito y García, 2017). El grano de trigo es la materia prima utilizada para hacer harina, harina integral, sémola y malta, a su vez sirve para hacer una gran variedad de productos alimenticios que derivan de estos como por ejemplo el pan (Chaquilla *et al.*2018).

Según la «Reglamentación Técnico Sanitaria para la Fabricación, Circulación y Comercio del Pan y Panes Especiales» el pan y sus distintos tipos se definen de la siguiente manera “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*”. En México el consumo de pan es una tradición desde la época prehispánica, además, según la Cámara Nacional de la Industria Panificadora (CANAINPA), el consumo per cápita anual de pan es de 33.5 kg, del cual entre el 70 y 75% corresponden al pan blanco, y el 25 al 30% a pan dulce, galletas y pasteles (Secretaría de economía, 2017). Dentro de la encuesta realizada por PROFECO en 2017 se obtiene que el pan danés tipo almohada o jabón es uno de los primeros 25 panes casero recién hechos más consumidos durante el desayuno en México. El pan danés es un pan hecho a base de una masa laminada, esto quiere decir que la masa está elaborada con capas intercaladas de margarina, que es lo que le da una textura diferente al resto de los panes (Garduño, 2019).

La Organización Panamericana de la Salud advierte que los panes industrializados, tanto dulces como salados, mantienen exceso de todos los nutrientes críticos: grasas totales, grasas saturadas, azúcares y particularmente

sodio, el cual puede traer consigo padecimientos cardiovasculares, siendo estos la primera causa de muerte en el país, sin contar el coronavirus (INEGI, 2019). Por otro lado, los panes hechos a base de harina de trigo refinada, se caracteriza por un limitado valor nutricional (Matías *et al.*, 2018).

En los últimos años las investigaciones persiguen mejorar el valor nutritivo del pan de trigo con el uso de ingredientes más nutritivos; por tanto, se está promoviendo el uso de cereales y pseudocereales en grano y harinas integrales, así como la adición de mezclas de diferentes semillas, frutos secos y/o de productos con un elevado aporte de fibra dietética, ya que su presencia se relaciona con la regulación intestinal, incluyendo un aumento de la masa fecal y reducción del tiempo de tránsito intestinal de la misma (Montero *et.al.*, 2015). De igual forma tiene efectos sobre el colesterol en sangre y en la reducción de la absorción intestinal de glucosa, por lo que ayuda en la prevención y control de enfermedades cardiovasculares y metabólicas (Montero *et. al.*, 2015). Dentro de esos pseudocereales que pueden ser considerados se encuentra el amaranto el cual es una planta perteneciente a la familia *Amarantaceae*, género *Amaranthus*, distribuida en zonas tropicales y subtropicales (Algara *et al.*, 2016), el amaranto ha sido ampliamente estudiado, siendo una de las razones para ello su excelente composición nutricional, debido a una alta concentración de proteínas y minerales; especialmente Ca, Mg y Fe (Montero *et al.*, 2015), presenta un alto contenido de fibra, así como compuestos bioactivos tales como saponinas, fitoesteroles, escualeno y polifenoles (Mapes, 2015). Además, se han reportado bajas concentraciones de sustancias tóxicas y antinutricionales en esta especie, y no se ha detectado la presencia de metales pesados como Cd y Pb (Molina *et al.*, 2011). Esto le proporciona interés nutricional, ya que puede convertirse en una alternativa para mejorar la dieta, así como también se podría utilizar en la preparación alimentos funcionales. El amaranto puede ser empleado como una nueva fuente de nutrientes de bajo costo en materias primas de la industria agroalimentaria, especialmente en la elaboración de pan, permitiendo mejorar su valor nutricional del mismo y ofreciendo un alimento más nutritivo y funcional a la población (Montero *et al.* 2015).

Con base en lo antes expuesto, el objetivo del presente trabajo es desarrollar una formulación para la elaboración de un pan tipo danés complementado con harina de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*) mediante la variación de las proporciones de harina de amaranto y trigo para obtener un producto con mayor calidad nutrimental y funcional. Se propondrán tres diferentes formulaciones y con ayuda de una prueba sensorial de preferencia se seleccionará la mejor; a este producto se le realizarán pruebas químicas (Análisis Químico Proximal), nutrimentales (Digestibilidad *in vitro*, triptófano, almidón total, almidón digerible, PER y digestibilidad *in vivo*) y funcionales (Fenoles, capacidad antioxidante, almidón resistente y fibra dietética), así como una prueba sensorial de nivel de agrado, y se comparará con un producto control, es decir, elaborado 100% con trigo, para determinar si el amaranto sí logra complementar nutrimental y funcionalmente al pan tipo danés.

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1.1 Trigo

1.1.1 Historia y origen

El trigo es cultivado desde el comienzo de la agricultura. El trigo se cultiva desde hace miles de años en todo el mundo, existen vestigios de su presencia en civilizaciones como Egipto y Mesopotamia (actual Irak y Siria) en el oriente medio. El trigo llegó a nuestro país gracias a los colonizadores y se ubicó como uno de los principales cereales para la alimentación en la Nueva España, junto con el maíz (SENASICA, 2016). En la Figura 1 se presenta el cultivo del trigo en el neolítico, recordemos que el neolítico fue un fenómeno que marca el fin de la depredación como forma de vida y los inicios de la agricultura y la ganadería.



Figura 1. Pintura de la recolección del trigo en el Neolítico

Fuente:(AGRICULTORERS, 2016)

Actualmente constituye el cultivo más difundido en el mundo abarcando una superficie cosechada de 219 millones de hectáreas por año, seguido por el maíz (177 millones ha), el arroz (162 millones hectáreas) y la soja (108 millones de hectáreas). Estos cuatro cultivos cubren el 50% de la superficie cosechada mundial. Desde el punto de vista productivo, el trigo ocupa el cuarto lugar a nivel mundial luego de la caña de azúcar, el maíz y el arroz con cáscara (Dívito y García, 2017).

1.1.2 Botánica y clasificación del trigo

El trigo es una planta anual de crecimiento invierno primaveral, que, debido a su gran diversidad genética, puede crecer y reproducir en ambientes muy diferentes entre sí, pertenece a la familia de las Gramíneas (Poaceas), y tiene de una a varias flores por espiguilla, que se alternan en lugares opuestos en el raquis, formando una verdadera espiga (Induráin, 2010)

El género *Triticum* comprende alrededor de 30 tipos de trigo, con suficientes diferencias genéticas para ser consideradas especies distintas o subespecies. De ellas, solamente se han reconocido 16 especies y el resto son silvestres, pero dentro de los cultivados solo dos lo están en gran escala mundialmente. El trigo harinero y el trigo cristalino o duro son los tipos comerciales: el *Triticum aestivum* L. y *Triticum durum* respectivamente. El harinero (*Triticum aestivum*) cubre cerca de 90 % del área total sembrada con trigo mundialmente, mientras que el duro (*T. durum*) llamado también cristalino, cubre cerca de 9 % total del área triguera mundial, pero solamente aporta el 5 % de la producción mundial; para el resto de la producción hay especies del trigo de menor importancia, de las cuales el trigo ramificado (*T. compactum*) es el más importante (Ávila *et al.*, 2014)

En la Tabla 1 se muestra la clasificación taxonómica del trigo de la siguiente manera:

Tabla 1. La taxonomía del trigo

Reino	<i>Plantae</i>
División	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Liliopsida</i>
Orden	<i>Poale</i>
Familia	<i>Poaceae</i>
Género	<i>Triticum</i>

Fuente: Janeta, 2011

1.1.3 Morfología de la planta

Raíz: Cuando la semilla del trigo germina, emite la plúmula que dará origen a la parte visible o aérea de la planta, y emite también la radícula (raíz primaria o seminal), seguida por un sistema de raíces secundarias o permanentes que surgen en los nudos inferiores “corona” (Figura 2), este último grupo de raíces, son las encargadas de dar sostén a la planta tanto en el aspecto mecánico como en la absorción de agua y nutrientes del suelo hasta que el trigo completa su ciclo vegetativo (Loayza, 2014).

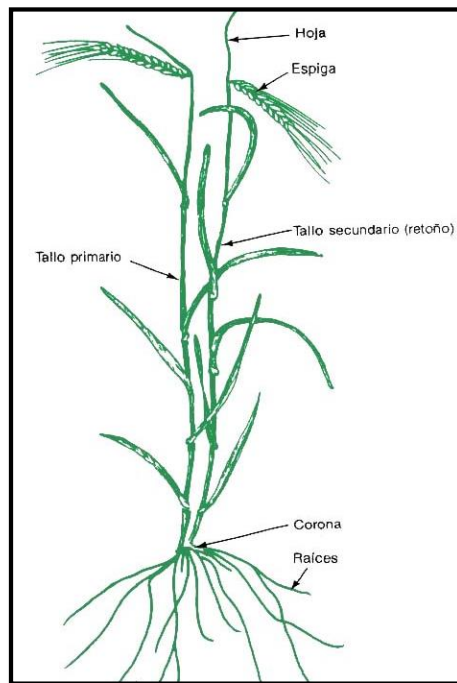


Figura 2. Partes de la planta de trigo

Fuente: Aguirre, 2015

Las raíces suelen alcanzar más de un metro de profundidad, situándose la mayoría de ellas en los primeros 25 cm de suelo.

Tallo: Los tallos son erectos y presentan estructura de caña, es decir están huecos en su interior excepto en los nódulos (Figura 3). El crecimiento de los tallos no es apical, sino que se produce por el estiramiento de los tejidos situados por

encima de los nudos. Al igual que el resto de las gramíneas presentan dos partes: la vaina que rodea al peciolo y protege el meristemo o zona de crecimiento y el limbo que tiene forma alargada y presenta nervios paralelos.

Este crece normalmente de 60 a 120 cm. Existen trigos enanos que tienen una altura de 25 a 30 cm y trigos altos de 120 a 150 cm. Hay también trigos semi-enanos de 50 a 70 cm siendo los más convenientes en rendimiento (Montenegro, 2012).



Figura 3. Partes del tallo de la planta de trigo

Fuente: Rawson y Mcpherson, 2001

Hoja: Las hojas surgen alternativamente en los nudos de los tallos o cañas; la hoja está por la vaina, el limbo o lamina, el cuello y las aurículas (Figura 3). Las aurículas o apéndices parten del cuello (donde se une la vaina y el limbo) (Loayza, 2014).

La hoja tiene una longitud que varía de 15 a 25 cm y de 0.5 a 1 cm de ancho. El número de hojas varía de 4 a 6 cm y en cada nudo nace una hoja (Figura 4) (Montenegro, 2012).

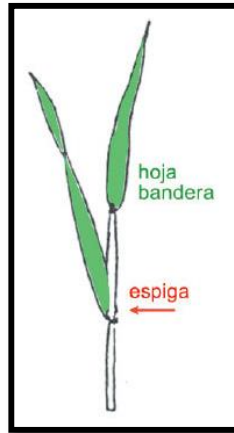


Figura 4. Hojas de la planta de trigo

Fuente: Rawson y Mcpherson, 2001

Inflorescencia: Es una espiga compuesta de un tallo central de entrenudos cortos, llamado raquis, en cada uno de cuyos nudos se asienta una espiguilla, protegida por dos brácteas más o menos coriáceas o glumas, a ambos lados (Figura 5). Cada espiguilla presenta nueve flores, de las cuales aborta la mayor parte, quedando dos, tres, cuatro y a veces hasta seis flores que posteriormente darán lugar al grano el cual queda inserto entre la cubierta externa que en la mayoría de los casos presenta una prolongación conocida como barba o arista, y la palea o envoltura más unida al grano; las florecillas laterales de cada espiguilla tienen además una tercera cubierta llamada gluma (Loayza, 2014). El número de espiguillas que forman a la espiga varía de 10 a 20 o más de acuerdo a las variedades y las condiciones ambientales donde se produzca; la separación entre las espiguillas es variable entre especies (trigo harinero espiguillas más distantes entre sí que el trigo o cristalino) aunque entre variedades aún de la misma especie, los espacios entre espiguillas pueden variar también (Loayza, 2014).

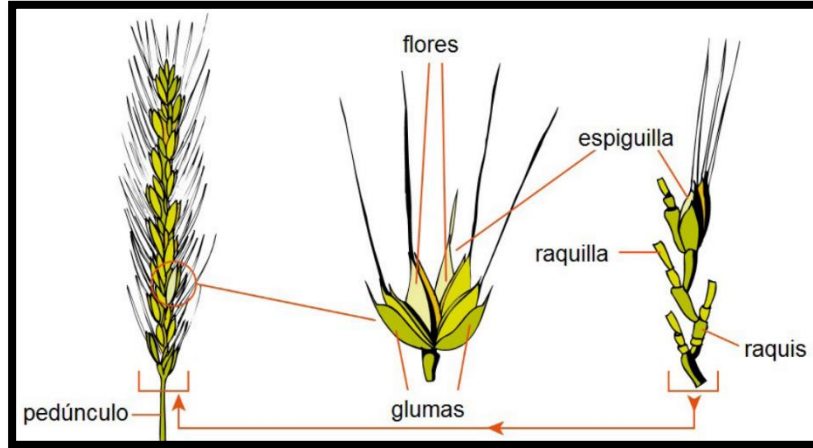


Figura 5. Estructura de la espiga, espiguilla y flores del trigo

Fuente: Anderson y Garlinge, 2000

Fruto: Es un grano de forma ovoide con una ranura en la parte ventral. El grano está protegido por el pericarpio, de color-rojo o blanco según las variedades, el resto que es en su mayor parte del grano está formado por el endospermo (Figura 6) (Montenegro, 2012).

Se desarrolla después de la polinización y alcanza su tamaño normal de 30 a 45 días.

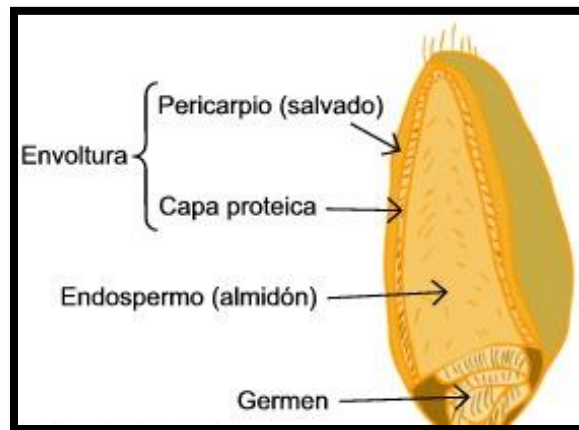


Figura 6. Partes del grano o fruto de trigo

Fuente: (Fernández, 2016)

Morfología del grano de trigo:

En el grano de trigo pueden reconocerse 3 estructuras diferentes, la capa exterior o salvado, el germen y el endospermo. El germen se diferencia en embrión y escutelum, siendo este último la hoja de la semilla o cotiledón, típico de las monocotiledoneas. El embrión forma la nueva planta durante la germinación mientras el escutelum actúa inicialmente como fuente de reservas alimenticias y posteriormente como el órgano responsable por la traslocación de reservas del endospermo al embrión. Durante el desarrollo del endospermo, las células van acumulando almidón. Al final, la última capa es comprimida contra el pericarpio formándose así la capa aleurona. El endospermo es el tejido de reservas que sustentará a las plántulas. El salvado se compone del pericarpio que es la pared del ovario transformada en una fina capa exterior fibrosa, la testa que es la verdadera capa exterior de la semilla y la capa aleurona que, si bien es parte del endospermo, por su composición diferente se la considera parte del salvado (Loayza, 2014).

En la figura 7 podemos observar las partes del grano de trigo más detalladamente.

En el grano maduro el endospermo harinoso, representa entre 80-85 % del peso del grano, el germen 3 % y el resto corresponde a la capa aleurona, testa y pericarpio. La capa aleurona y germen son los únicos tejidos vivos en el grano maduro, y ambos tienen contenidos relativamente altos de enzimas, otras proteínas, lípidos y vitaminas comparado con el endospermo harinoso, pericarpio y testa. El germen es la parte rica en proteínas grasas, vitaminas y minerales (Dívito y García, 2017).

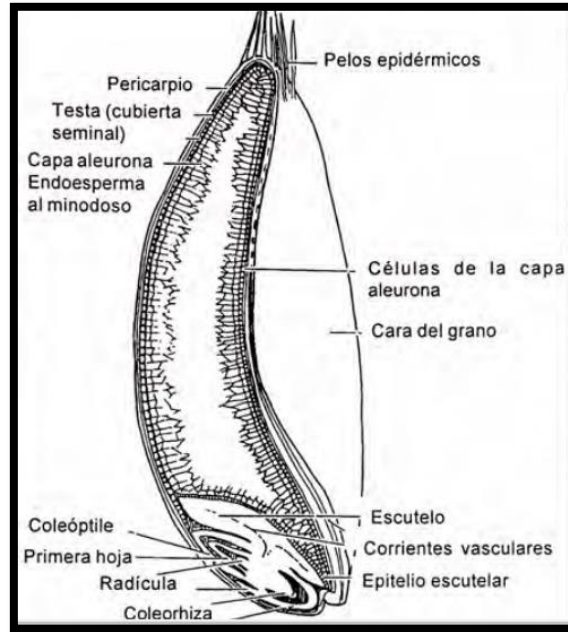


Figura 7. Estructura del grano de trigo

Fuente: Hugo y Godiño, 2000

1.1.4 Composición química del grano de trigo

La composición del grano de trigo puede ser muy variada de acuerdo a la región, condiciones de cultivo, año de cosecha, tiempo de almacenamiento y condiciones a las que se almacena el grano. Otros factores como la existencia de diferentes especies de trigo pueden influir en la calidad y cantidad de nutrientes que a su vez tiene efecto en las propiedades nutritivas y funcionales. En general grano maduro está compuesto por hidratos de carbono, compuestos nitrogenados, lípidos, minerales y agua, junto con vitaminas enzimas y otras sustancias (Nuncio, 2016).

En general el grano maduro está compuesto por hidratos de carbono, compuestos nitrogenados, lípidos, minerales y agua, junto con trazas de vitaminas, enzimas y otras sustancias.

En la Tabla 2 se observan los valores de cada componente en porcentaje correspondiente al grano de trigo.

Tabla 2. Composición química del grano de trigo

Componentes	Valor (%)
Humedad	12.5
Proteínas	14
Lípidos	2
Carbohidratos (almidón)	68
Fibra cruda	2
Cenizas	1.5

Fuente: Matías *et al.*, 2018

Humedad: Esta es una de las determinaciones más importantes, la humedad afecta de manera considerable la calidad del grano. La cantidad de materia seca en el grano está inversamente relacionada con la cantidad de humedad que éste contiene, por lo tanto, el contenido de humedad es un indicador importante de rentabilidad. Así como también, para el almacenamiento; debido que algunos análisis son expresados en base de humedad constante para hacer comparables los resultados (Loayza, 2014).

Proteínas: A pesar de no ser el componente más abundante del endospermo harinoso, las proteínas son el componente más importante con respecto a la panificación. Son las propiedades físico - químicas las que permiten que la harina de trigo tenga la habilidad casi única de transformarse en pan. Las proteínas de almacenamiento en el endospermo harinoso se dividen en 5 fracciones: albúminas, globulinas, gliadinas, gluteninas y proteínas residuo. Las albúminas y las globulinas componen el 20 % de las proteínas, las gliadinas el 35%, las gluteninas el 35 % y el resto es proteínas residuo, (aunque estos contenidos son variables y solo sirven de guía) (Altamirano, 2013).

Las proteínas residuo son las que quedan después del fraccionamiento de Osborne, como son: Proteínas del gluten de alto peso molecular y proteínas no del gluten poliméricas como las triticinas (Berrueta, 2019).

Se sabe que la unidad básica de las proteínas son los aminoácidos y a su vez hay aminoácidos esenciales (que no se pueden sintetizar y se necesitan de fuentes externas) y no esenciales (que si se pueden sintetizar); de esta manera en la

Tabla 3 se observa la composición en porcentaje de aminoácidos esenciales en el trigo.

Tabla 3. Composición de aminoácidos de la proteína del trigo en grano

Aminoácido	%
Histidina	2.2
Isoleucina	3.8
Leucina	6.7
Lisina	2.7
Metionina	1.7
Fenilalanina	4.6
Treonina	2.9
Triptófano	1.2
Valina	4.7

Fuente: Chaquilla *et al.*, 2018

Lípidos: La distribución en el grano es la siguiente: germen (25-30%) aleurona (22-33%), endospermo (40-50%) pericarpio (4%). Los lípidos del trigo contienen un 70% de lípidos no polares (ácidos grasos libres y triglicéridos) 20% de glicolípidos y 10 % de fosfolípidos) (Nuncio, 2016). Los lípidos polares (glicolípidos más fosfolípidos) mejoran el volumen de pan y las características de la miga. También son considerados responsables por las variaciones en la dureza del grano. El germen tiene la mayor cantidad de lípidos y el mayor porcentaje de fosfolípidos. Entre los compuestos presentes en los lípidos se encuentran la vitamina E y los tocoferoles (Nuncio, 2016).

Carbohidratos: Los hidratos de carbono se presentan en el grano de trigo bajo la forma de fibra, azúcares libres hemicelulosas o pentosanos y almidón. El contenido de azúcares libres del trigo está alrededor del 2.5% pero el embrión excede el 20% (Nuncio, 2016). La harina tiene glucosa como azúcar endógeno. Cuando esta se acaba las amilasas actúan sobre el almidón dañado para producir maltosa. Además, los azúcares tienen como propiedad funcional la contribución al desarrollo de componentes volátiles responsables del aroma y sabor en procesos de caramelización en la elaboración de pan (Purlis, 2010).

Los pentosanos son hemicelulosas solubles y no solubles en agua. Se encuentran en las paredes celulares y ligan gran cantidad de agua. La harina de trigo tiene 2-3% de pentosanos, de los cuales 30-50% es soluble en agua. Las masas de harinas integrales contienen muchos pentosanos por lo que es necesario agregar más agua para obtener una masa de consistencia adecuada. Contenidos altos de pentosanos, hasta 9% provocan masas secas y apretadas (Nuncio, 2016).

El almidón constituye cerca del 64.9% del grano entero sobre base seca y 70% del endospermo. Consisten dos polímeros de glucosa amilosa, que es lineal y amilopectina, que es altamente ramificada. El contenido de amilosa en los almidones está en el intervalo 25-27%. El almidón se presenta en el grano de trigo bajo la forma de gránulos. Los gránulos tipo A son grandes y con forma de disco lenticulares y los tipo B Son pequeños y esféricos. Los gránulos B aportan el 30 % de la masa del almidón en el trigo maduro y el 90 % del número total de gránulos. Cuando el almidón es calentado en agua, las uniones hidrógeno se rompen progresivamente, causando que el granulo se hinche y que a amilosa gradualmente difunda hacia afuera del granulo destruyendo la estructura cristalina y dando lugar a la formación de un gel. Este proceso, conocido como gelatinizaciones centrales en muchas operaciones de procesamiento de alimentos (Nuncio, 2016).

Fibra: La fibra está constituida principalmente por celulosa y hemicelulosa insoluble; son el componente principal del pericarpio (Chaquilla *et al.*, 2018).

Cenizas: Más de la mitad de las sustancias minerales totales están presentes en el pericarpio, testa y aleurona. Actúan como activadores de las enzimas y son alimento indispensable para el desarrollo de las levaduras en el proceso de fermentación (Altamirano, 2013).

En la Tabla 4 se presenta la distribución de la composición química del grano de trigo en sus distintas partes como son las principales el pericarpio, siendo la más externa; el endospermo y el germen o embrión.

Tabla 4. Composición química en las distintas partes del grano de trigo

	Peso	Constituyentes				
	%	Almidón	Proteína	Fibra	Lípidos	Cenizas
Pericarpio	15	0	20	93	30	67
Endospermo	82	100	72	4	50	23
Embrión	3	0	8	3	20	10

Fuente: Seghezzeo y Molfese, 2006

Se sabe que el trigo es un cereal con la cantidad necesaria de ciertas proteínas como son gliadina y glutenina que son capaces de formar el gluten al hidratarse. El gluten le confiere a la harina propiedades únicas para obtener una masa viscoelástica y cohesiva capaz de retener gas y preparar productos horneados aireados y livianos como panes, bizcochos y galletas. No hay harina sucedánea capaz de formar una masa con propiedades viscoelásticas similares (Villanueva, 2014).

1.1.5 Proceso de molienda del trigo

El objetivo de la molienda del trigo es separar el endospermo del salvado y del germen y reducirlo a harina (Figura 8). El surco del grano de trigo no permite extraer las capas externas por abrasión. La molienda se realiza mediante molinos de rodillos, que erosionan, desgarran y trituran el grano, siendo esta acción diferente, respectivamente, sobre el salvado, el germen y endospermo, lo que permite su separación por medio de tamices y separadores de aire (Brumovsky, 2011).

Cuando se procesa la harina, para hacerla refinada, se pierden parte de sus propiedades y nutrientes. Por esta razón las harinas blancas tienen menos fibra, proteína de alta calidad, es decir, que contengan aminoácidos esenciales y micronutrientes como vitaminas y minerales.



Figura 8. Molienda del grano de trigo

Fuente: Agrofy News, 2021

Se puede observar en la Tabla 5, que en la composición de la harina de trigo bajan su porcentaje de fibra y cenizas en comparación con el grano entero.

Tabla 5. Composición química de la harina de trigo y del grano de trigo

	Harina de trigo	Grano de trigo
Componentes	Valor (%)	Valor (%)
Humedad	14	12.5
Proteínas	10	14
Carbohidratos (almidón)	72	68
Polisacáridos no del almidón (arabinosilanos)	2	-----
Lípidos	2	2
Fibra cruda	0	2
Cenizas	0	1.5

Fuente: Vega, 2009

Además, la harina de trigo se considera pobre en cuanto a los aminoácidos esenciales como lisina y treonina además de aumentar el azúcar en la sangre, esto debido a que la harina contiene cadenas de almidón compuestas por amilosa y amilopectina, las cuales se forman por unidades de glucosa y durante la digestión de la misma se libera esta glucosa (Velasco, 2020). En la Tabla 6 se puede observar la cantidad de aminoácidos esenciales presentes en la harina de trigo y compararla con el grano entero.

Tabla 6. Composición de aminoácidos de la proteína del trigo en harina

	Harina de trigo
Aminoácido	%
Histidina	2
Isoleucina	3.9
Leucina	6.7
Lisina	1.9
Metionina	1.8
Fenilalanina	4.9
Treonina	2.7
Triptófano	1
Valina	4.3

Fuente: Chaquilla *et al.*, 2018

Posterior a la molienda se puede usar la harina de trigo como materia prima, principalmente en la panificación.

1.2 Panificación

Es el primero que se transformó a partir de cereales, es el alimento esencial de casi todas las culturas y es la referencia ritual de muchas religiones. Fue una elaboración tradicional de los núcleos familiares (Figura 9) y, más adelante, su dispensación fue objeto de uno de los primeros establecimientos comerciales (Díaz, 2011).



Figura 9. Pan Bombón papel offset y litografiada

Fuente: Díaz, 2011

1.2.1 Definición de la panificación

El pan es un producto obtenido por la cocción, de una masa fermentada con diferente proceso de elaboración. Entre los principales procesos se incluye el amasado y fermentado (Payehuanca y Matos, 2011).

1.2.2 Clasificación del pan

Los productos de panificación de la NMX-F-521-1992, se clasifican de acuerdo a su composición en:

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 torta

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 ó sin levadura o leudante químico, ingredientes opcionales y aditivos alimentarios permitidos por la Secretaría de Salud.

a) Danés: Es el pan dulce con cuyos ingredientes se elabora una masa fermentada con levadura y un alto porcentaje de grasa. La foliación en forma de hojas de la masa danesa con la grasa, es semejante a la estructura de hojuelas de la masa de hojaldre con la diferencia de que en la masa danesa la levadura es la que produce la mayor parte del volumen.

1.2.3 Definición y origen del pan danés

Es un pan de masa laminada que está elaborada en capas intercaladas con margarina (Figura 10), que es lo que le da una textura diferente al resto de los panes (Garduño, 2019).



Figura 10. Masa danesa

Fuente: Garduño, 2019

El origen de la pasta danesa según lo describe la Asociación de Confiteros, Panaderos y Chocolateros de Dinamarca se remonta a una huelga de panaderos daneses en el año 1850. Esta huelga forzó a los dueños de las panaderías a

contratar mano de obra extranjera, entre ellos trabajadores vieneses, que trajeron consigo la técnica de su tierra natal (García, 2019).

Entre las recetas vienesas estaba el Plundergebäck, que se popularizó tremendamente en Dinamarca.

Posteriormente los panaderos daneses cambiaron la receta, incrementando la cantidad de grasa (añadiendo más huevo), resultando en la receta actual de la pasta danesa para la elaboración de diversos panes (Figura 11) (García, 2019).



Figura 11. Diferentes panes elaborados con masa danesa

Fuente: Garduño, 2019

1.2.4 Ingredientes del pan tipo danés

Harina: Es el principal ingrediente del pan, gracias a su proporción de gliadina y glutenina junto con el almidón, al adicionar el agua forman lo que es una estructura semisólida y elástica de la masa (Corporán, 2010).

Agua: Es el segundo componente mayoritario de la masa y es el que hace posible el amasado de la harina. El agua hidrata la harina facilitando la formación del gluten, con ello y con el trabajo mecánico del amasado se le confieren a la masa sus características plásticas: la cohesión, la elasticidad, la plasticidad y la tenacidad o nervio. La presencia de agua en la masa también es necesaria para el desarrollo de las levaduras que han de llevar a cabo la fermentación del pan (Corporán, 2010).

Sal: Su objetivo principal es dar sabor al pan. Además, es importante porque hace la masa más tenaz, actúa como regulador de la fermentación, favorece la

coloración de la corteza durante la cocción y aumenta la capacidad de retención de agua en el pan (Corporán, 2010).

Levadura: En panadería se llama levadura al componente microbiano aportado a la masa con el fin de hacerla fermentar de modo que se produzca etanol y CO₂. Este CO₂ queda atrapado en la masa la cual se esponja y aumenta de volumen. A este fenómeno se le denomina levantamiento de la masa. Los microorganismos presentes en la levadura son principalmente levaduras que son las responsables de la fermentación alcohólica, pero también se pueden encontrar bacterias que actúan durante la fermentación dando productos secundarios que van a conferir al pan determinadas características organolépticas, en concreto una cierta acidez (Corporán, 2010).

Azúcar: El azúcar granulado y los edulcorantes tienen muchas otras funciones en el pan. Los azúcares tienen dos funciones primarias en los productos de panadería (Corporán, 2010):

- Son alimento para la levadura
- Endulzan

La función edulcorante y todas las funciones secundarias dependen del azúcar residual que queda después de la fermentación. Las funciones secundarias son:

- Impartir sabor
- Impartir color
- Suavizar y humectar

Grasas y aceites: Las grasas y aceites lubrican la masa. La lubricación permite que la matriz de gluten se expanda y crezca, así como mejora el manejo y facilita el procesamiento desde el moldeado hasta el rebanado.

La función secundaria de las grasas y aceites es facilitar el procesamiento de la masa, produciendo un producto más húmedo y tierno. Los aceites se utilizan más comúnmente para los panes de molde. La formulación básica requiere manteca

vegetal entre un 2 y un 4%. Los controles de almacenamiento para las grasas y aceites son los siguientes:

- Evitar el contacto con la humedad y el aire.
- Almacenar alejado de ingredientes con olores fuertes.
- Mantener a una temperatura uniforme.

Además, las propiedades emulsionantes de las grasas permiten que los productos horneados mantengan la humedad y resistan el endurecimiento, lo que incrementa su vida útil (Corporán, 2010).

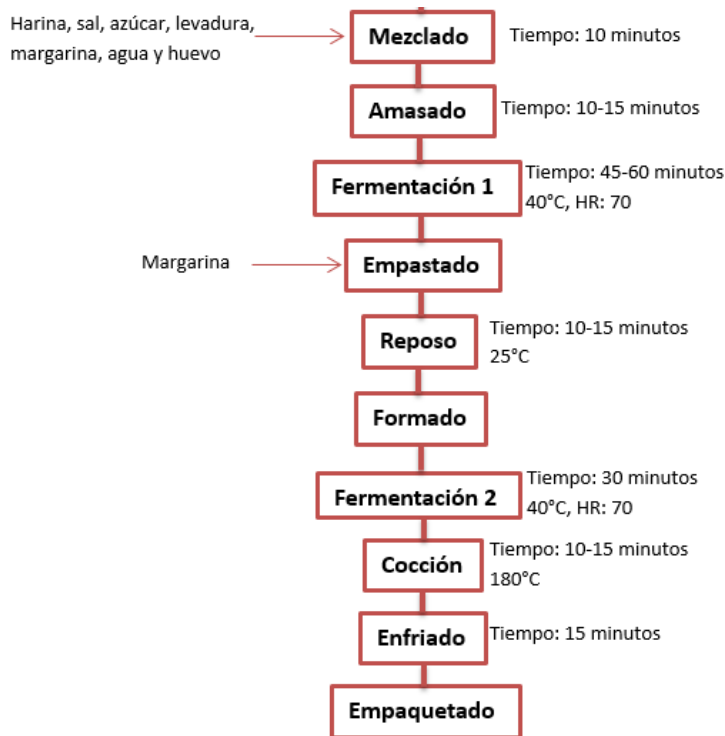
Huevo: Los huevos en la yema tienen alto contenido de grasa y proteína, contiene hierro y vitaminas, clara que contiene proteína de albúmina, clara y soluble al estar cruda, pero blanca y firme al coagularse, cascarón que es frágil y poroso lo que hace que absorba olores y sabores y además de perder humedad.

Dentro de las funciones en el pan se encuentra:

- Dar estructura compacta
- Emulsificar grasa y líquido – volumen y textura
- Leudar – atrapar el aire y permitir crecer
- Acortar las fibras del gluten
- Hidratar
- Dar sabor y color
- Aumentar el valor alimenticio (Corporán, 2010).

A continuación, se muestra la elaboración general de un pan danés en la Figura 12.

Figura 12. Proceso de elaboración general de un pan tipo danés



Fuente: Modificado de Jiménez y Landa, 2018

1.3 Consumo del pan danés en México:

Según la encuesta sobre los hábitos de consumo de pan dulce de harina de trigo realizada por Profeco en el 2017 el 62.9% de los encuestados consume pan tradicional dulce en el desayuno (Tabla 7). Estando el pan danés entre los primeros 25 más consumidos como pan recién hecho.

Dentro de los panes de masa danesa podemos también considerar “el cuernito” como unos de los más consumidos; sin embargo, la ventaja del pan danés tipo jabón es que no tiene competencia comercial, es decir, no hay un producto de este tipo elaborado a nivel industrial, además, dentro del grupo de trabajo ya se elaboró un pan tipo cuernito, por lo tanto, se decidió elaborar un pan danés tipo jabón.

Es importante tener en cuenta su consumo porque a mayor consumo mayor su influencia en el aumento de la mala nutrición en México, ya que es un producto que aporta principalmente carbohidratos y grasa, lo que puede provocar aumento de la obesidad en las personas que lo consumen regularmente.

Tabla 7. Porcentajes de consumo en el desayuno de pan dulce recién hecho

Pan	%	Pan	%
Concha	22.8	Lima	0.8
Cuerno	10.9	Espejo/galleta	0.6
Corbata de moño	6.2	Galleta de chonchos	0.6
Rebanada de mantequilla	5.6	Trenza	0.6
Bisquet	5.5	Piedra	0.6
Oreja	5.5	Madalena	0.5
Cuadro de chocolate	4.7	Paloma	0.5
Donas	4.6	Duque	0.4
Mantecada/panqué	2.8	Chilindrina	0.4
Beso	2.5	Cubilete	0.4
Ojo de buey o de pancha	2.1	Pachuco	0.3
Cocol	1.9	Almeja	0.3
Corneta	1.7	Broca	0.3
Novia	1.6	Gusano	0.3
Reja/pan de manteca	1.6	Nevado	0.2
Polvorón	1.4	Cup cakes	0.2
Hueso	1.4	Churros	0.1
Chino	1.3	Pay/pie	0.1
Garibaldi	1.3	Chocolatín	0.1
Nube	1.2	Rol de canela	0.1
Pellizco/polvorón	1.1	Alamar	0.1
Banderilla	1	Pan de feria	0.1
Nido	1	Tartas	0.1
Ladrillo	0.9	Hojaldras	0.1
Almohada/campechana	0.8	Chamuco	0.1
Cuello o laurel	0.8	Pan español con azúcar encima	0.1

Fuente: Profeco, 2017

En la Tabla 7 se puede observar el porcentaje de consumo de cada pan tradicional recién hecho o tradicional en México a la hora del desayuno, además de destacar que el pan danés o almohada está dentro de los primeros 25 panes.

1.3.1 Problemas de salud debido al consumo de harina de trigo

De acuerdo con la Cámara Nacional de la Industria Panificadora, el consumo per cápita anual de pan es de 33.5 kilogramos, de los cuales entre el 70 y el 75% corresponde a pan blanco; el resto a pan dulce, galletas y pasteles, es decir se consume alrededor de 8.37 y 10.05 kg de pan dulce, galletas y pasteles al año por persona. México en 2018 según Lesaffre International (Tabla 8) se posicionó dentro de los primeros 10 países que consumen más pan por año.

Tabla 8. Consumo de pan anual en el mundo

Consumo mundial de pan		
1	Turquía	132 kg
2	Alemania	106 kg
3	Bulgaria	96 kg
4	Chile	86 kg
5	Argentina	72 kg
6	Uruguay	62 kg
7	Grecia	60 kg
8	Francia	57 kg
9	Bolivia	35 kg
10	México	35 kg

Fuente: Panaderos, 2018

El consumo del pan en exceso puede derivar en diferentes patologías o daños a la salud en general, por lo que es importante moderar su consumo.

Mucho sabor poca nutrición

Aunque ningún alimento por sí solo provoca sobrepeso u obesidad, el pan tiene la fama de ser uno de los que más “engorda” por ser rico en hidratos de carbono. Se considera innecesario en la dieta diaria pues es relativamente bajo en nutrientes (comparado con otros alimentos del grupo de los cereales). La mayoría suele contener sodio (nutrimento que deben cuidar las personas con hipertensión). Aporta vitaminas del complejo B, algunos de ellos se fortifican con calcio y ácido fólico (Figura 13). Solo los panes de tipo integral contienen fibra (Alvarado, 2019).



Figura 13. Harina integral de trigo de la marca Tres Estrellas®

Fuente: Tres Estrellas®, 2016

Afecciones

Estos son algunos efectos negativos que causa este delicioso y aparentemente inofensivo manjar como lo es el pan en nuestro cuerpo (Gasca, 2021):

- **Aumento de peso:** El pan contiene muchos carbohidratos y cuando abusamos al consumirlos el aumento de peso es inevitable. Además, son ricos en grasa y azúcares lo cuales tienden a almacenarse en el abdomen y por ende provocan con inflamación o pesadez.
- **Aumenta los triglicéridos:** Comer pan a diario puede elevar los triglicéridos y producir problemas de diabetes o cardiacos.
- **Síndrome del intestino irritable/ estreñimiento:** El pan es rico en harinas las cuales muchas veces se acumulan en nuestro estómago formando algún tipo de masa espesa que hace todo nuestro tránsito intestinal más lento.
- **Cambios de humor:** El consumo de muchos carbohidratos simples puede provocar hiperactividad, síndrome premenstrual y enfermedades cardiovasculares entre otros.
- **Mala nutrición** al sustituir alimentos ricos en nutrientes por el pan

Al tener un aumento de peso por el consumo de pan dulce, este puede poner en riesgo al consumidor de sufrir obesidad el cual es un problema de salud y esta deriva a su vez otras afecciones en el cuerpo.

De acuerdo con un informe reciente del INEGI, en el 2019 se registraron 747,784 defunciones, el 88.8% de estas muertes se debieron a enfermedades y problemas relacionados con la salud, mientras que 11.2% fueron por accidentes, homicidios y suicidios.

La obesidad causa la muerte de más de 200 mil muertes al año en México, de estas, más de 80 mil son por diabetes, y más de 100 mil por enfermedades cardiovasculares (INEGI, 2019). El principal factor relacionado a estas muertes es la alimentación proveniente de productos ultraprocesados con exceso de azúcares, grasas, sodio y calorías. Se estima que alrededor del 30% de las calorías de la dieta de los mexicanos proviene de estos productos, siendo México el principal consumidor en América Latina.

Cabe aclarar que México vive una emergencia epidemiológica derivada de la alta prevalencia de enfermedades crónicas y ahora se suma el COVID-19. La obesidad, la diabetes y la hipertensión, como ya lo ha mencionado la Secretaría de Salud, aumentan el riesgo de severidad y muerte por COVID-19. Para el caso de la obesidad se ha visto que incrementa la gravedad hasta en un 47%, dato similar a otros estudios que señalan hasta un 50% más probabilidad de morir por COVID-19 en personas con obesidad, situación que se ha podido observar inclusive en población joven (El poder del consumidor, 2020).

Como podemos ver hay muchas afecciones a nuestra salud al consumir el pan convencional con harina de trigo, sin embargo, es muy difícil modular el consumo de este alimento en personas que ya están acostumbradas al mismo, por lo que, en los últimos años las investigaciones persiguen mejorar el valor nutritivo del pan de trigo con ingredientes funcionales (Montero *et al.*, 2015).

A este tipo de modificaciones que se les realiza a los alimentos con el fin de mejorarlos, los convierte en alimentos funcionales.

1.4 Alimento funcional

Existen varias definiciones de alimento funcional, pero, en general, se considera como tal a todo alimento que, además de su valor nutritivo, contiene componentes biológicamente activos que aportan algún efecto añadido y beneficioso para la salud y reducen el riesgo de contraer o padecer ciertas enfermedades (Beltrán, 2016).

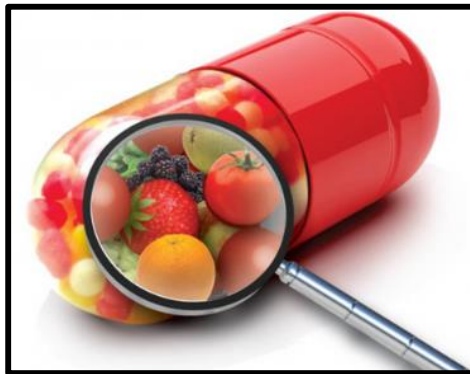


Figura 14. Alimento funcional

Fuente: Biotecnología, 2015

La tendencia actual hacia el desarrollo de alimentos funcionales ha ganado terreno a nivel mundial, en la panadería panadería se ha considerado que pueden ser complementados con diferentes sustancias nutritivas y protectoras que permiten disminuir la incidencia de diversos tipos de patologías asociadas con los alimentos, por tanto, se está promoviendo el uso de cereales y pseudocereales en granos y harinas integrales, así como la adición de mezclas de diferentes semillas, frutos secos y/o de productos con un elevado aporte de fibra dietética ya que su presencia se relaciona con la regulación intestinal, incluyendo un aumento de la masa fecal y reducción del tiempo de tránsito intestinal de la misma. De igual forma tiene efectos sobre el colesterol en sangre y en la reducción de la absorción intestinal de glucosa, por lo que ayuda en la prevención y control de enfermedades cardiovasculares y metabólicas (Montero *et al.*, 2015).

Uno de estos pseudocereales que se puede utilizar es el amaranto el cuál puede elevar la calidad nutrimental de los panes de trigo, ya que recordemos la harina de trigo por si sola carece de ciertos nutrimentos y proteínas de calidad.

1.5 Amaranto

En Mesoamérica el amaranto es uno de los cultivos más antiguos y constituyó una de las principales fuentes de alimentación junto con el maíz, el frijol, la calabaza y el chile. Las culturas prehispánicas utilizaron el amaranto tanto para consumo humano como para usos religiosos. Debido a ello, esta planta fue cultivada a gran escala bajo el sistema intensivo de chinampas que desarrollaron los Aztecas en la zona lacustre del Valle de México (Matías *et al.*, 2018).

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 (Mapes, 2015). En la Figura 15 se muestran las plantas de las diferentes especies de amaranto.

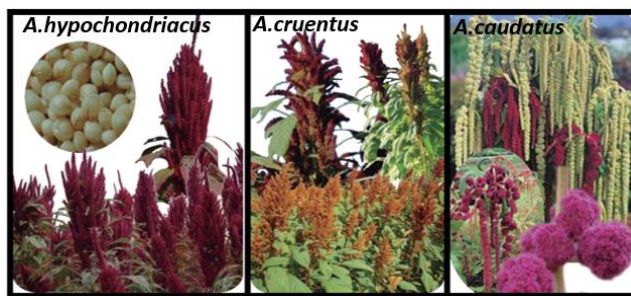


Figura 15. Principales especies de amaranto en México

Fuente: Espitia *et al.*, 2010

El amaranto es un pseudocereal de cultivo anual. La palabra amaranto significa inmarcesible, que no se marchita; y viene del griego Amarantón, de “a” (sin) y (marchitar, palidecer). Los indígenas llamaban al amaranto *huautli* o *hauquilitl*, y los conquistadores lo denominaron bledo. La familia *Amaranthaceae* comprende más de 60 géneros y aproximadamente 800 especies de plantas herbáceas anuales o perennes, de las cuales tres son las principales productoras de grano: el *A. hypochondriacus* y el *A. cruentus*, cultivados en México y en Guatemala, y el *A. caudatus* en Perú (Morales *et al.*, 2014).

En la Tabla 9 se muestra la taxonomía del amaranto según Aguilar, 2012.

Tabla 9. Taxonomía del amaranto

Reino	Vegetal
División	<i>Embryophyta siphonogama Fanerogama</i>
Subdivisión	<i>Angiosperma</i>
Clase	<i>Dicotyledoneae</i>
Subclase	<i>Archiclamideae</i>
Serie	Centrospermales
Familia	<i>Amaranthaceae</i>
Género	<i>Amaranthus</i>
Especies	<i>Cruentus e hypochondriacus</i>

Fuente: Aguilar, 2012

1.5.1 Composición química del amaranto

La composición química de las semillas presenta un valor nutrimental superior comparado con otros granos. Al igual que los cereales, contiene altas cantidades de almidón, representando del 50 al 60 % de su peso seco. En la Tabla 10 podemos observar la composición química de los cereales principales y comparados con el amaranto, podemos decir que el amaranto tiene mayor cantidad en cenizas, proteínas y grasas, destacando que las proteínas por el contrario del trigo son proteínas de calidad.

Tabla 10. Composición proximal del amaranto y los principales cereales

Componente	Amaranto	Maíz	Arroz	Trigo
Humedad	11.1	13.8	11.7	12.5
Proteína	17.9	10.3	8.5	14
Grasa	7.7	4.5	2.1	2.1
Fibra	2.2	2.3	0.9	2.6
Ceniza	4.1	1.4	1.4	1.9
Carbohidratos	57	67.7	75.4	66.9

Fuente: Matías *et al.*, 2018

1.5.2 El amaranto como alimento nutricional y funcional

Debido a la utilización del amaranto para la elaboración de diversos productos en los últimos años, se han realizado muchos estudios sobre sus propiedades, usos potenciales y sobre cuáles son las formas recomendadas para consumirlo. El amaranto presenta dos tipos de almidón: aglutinante y no aglutinante. El primero es el más adecuado para la industria panadera y es el que presentan algunos cereales como arroz, maíz, cebada, sorgo y mijo. Así, el amaranto reúne la primera característica para ser utilizado en esta industria, pero también podría aprovecharse en la elaboración de productos panificados que no necesiten expansión, debido a que carece de gluten funcional, y podría ser incluido en mezclas con harinas de otros cereales. 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. 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 (Mapes, 2015).

1.5.3 Calidad química y nutrimental del amaranto.

El amaranto presenta algunas propiedades para ayudar a mantener la salud. El valor nutritivo de sus granos implica que además de su contenido proteico, el espectro de aminoácidos y los niveles de vitaminas y minerales son excelentes (Mapes, 2015).

Proteínas

Varios autores han reportado contenidos de proteína en amaranto que van de 15 a 17%. Pero su importancia no radica sólo en la cantidad, sino en la calidad de la proteína, ya que presenta un excelente balance de aminoácidos. Por su composición, la proteína del amaranto se asemeja a la de la leche y se acerca mucho a la proteína ideal propuesta por la FAO para la alimentación humana. Tiene un contenido importante de lisina, aminoácido esencial en la alimentación humana y que comúnmente es más limitado en otros cereales. Esto limita el potencial del uso de amaranto como fuente de micro elementos y vitaminas, lo que significa que debe emplearse en combinación con otros granos (Mapes, 2015).

El amaranto contiene los 8 aminoácidos esenciales que incluyen lisina y treonina, aminoácidos de los que carece la harina de trigo, en la Tabla 11 se muestra la cantidad de aminoácidos esenciales en el amaranto (Mapes, 2015).

Tabla 11. Aminoácidos esenciales del amaranto

Aminoácido	% (g de aa/ 100g proteína)
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: Morales *et al.*, 2014

Carbohidratos

El almidón es el componente principal en la semilla de amaranto, ya que representa entre 50 y 60% de su peso seco. El amaranto presenta gránulos de 1-3 μm con una forma esférica y poligonal (Escobedo, 2013).

El almidón del amaranto posee dos características distintivas que lo hacen muy prometedor para la industria: presenta propiedades aglutinantes no usuales y el tamaño de la molécula es muy pequeño (aproximadamente un décimo del tamaño de la del almidón del maíz) (Espitia *et. al.*, 2010).

De acuerdo al contenido de amilosa/amilopectina el almidón se clasifica en dos tipos:

a) Tipo glutinoso, opaco o ceroso. Está formado principalmente por amilopectina con menos del 1% de amilosa. Se le denomina como la fracción no gelificante, contribuyendo principalmente a la viscosidad en los alimentos debido a su alta viscosidad.

b) Tipo no ceroso, translucido o normal. Está formado principalmente por amilosa y menos del 5% de amilopectina. Se le denomina la fracción gelificante y es el principal contribuyente en los fenómenos de retrogradación de almidón.

El almidón de amaranto es principalmente del tipo ceroso (Figura 16), aunque se han encontrado especies con almidón translucido; estas diferencias pueden ser debidas aparentemente las diferencias en el cultivo y ambiente en el que crezca la planta de amaranto (Morales *et al.*, 2014).

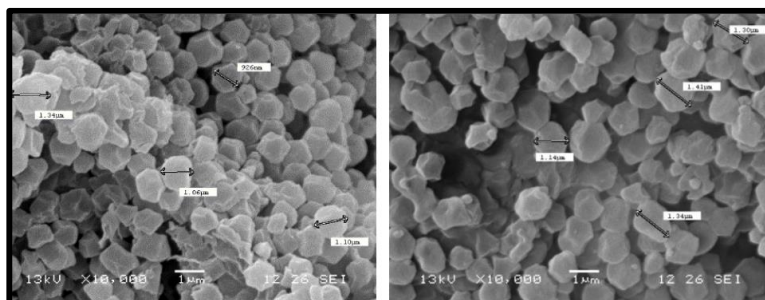


Figura 16. Micrografías electrónicas de barrido x10 000 del almidón de amaranto

Fuente: Arce, 2017

Lípidos

El contenido de lípidos va de 7 a 8 %, de los cuales el escualeno, que es un potente antioxidante y fortalecedor del sistema inmune, es un componente abundante, en la Tabla 12 se puede observar la cantidad en gramos de grasa por cada 100 gramos de grano de amaranto, así mismo el tipo de grasas que contiene este poderoso pseudocereal (Matías *et al.*, 2018).

Tabla 12. Porcentaje de ácidos grasos y escualeno en el grano de amaranto

Componente	g/100 gramos de grano
Grasa	7-10
	%
-Ácido Linoleico	45
-Ácido Oléico	29
-Ácido Palmítico	22
-Ácido esteárico	3
-Escualeno	1-7.3

Fuente: Algara *et al.*, 2013

Sin embargo, en estudios recientes se ha encontrado un contenido relativamente alto de escualeno (aproximadamente de 7 a 8% del aceite de la semilla). Esta sustancia es un importante ingrediente en la industria cosmética, como lubricante de máquinas, y precursor de esteroides (Figura 16). Se obtiene comúnmente de animales como la ballena y el tiburón, y son Japón y Noruega los principales países productores que controlan el mercado (Mapes, 2015).

La fracción de lípidos del grano de amaranto es de aproximadamente 77% de ácidos grasos insaturados, con el ácido linoleico como fracción predominante (Morales *et al.*, 2014).

Como sabemos los ácidos grasos insaturados incluyen (monoinsaturado y poliinsaturados, las grasas poliinsaturadas pueden ayudar a disminuir el colesterol (LDL o lipoproteínas de baja densidad) (malo). El colesterol es una sustancia suave y cerosa que puede causar obstrucción o bloqueo de las arterias (vasos sanguíneos). Tener niveles bajos de colesterol LDL reduce el riesgo de enfermedades del corazón (MedlinePlus, 2020).



Figura 17. Estructura química del escualeno

Fuente: Unidad de Informática del Instituto de Química, 2016

Otros componentes

El amaranto puede aportar cantidades importantes de fibra dietética y 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 (Matías *et al.*, 2018).

En la Tabla 13 y 14 se muestra la composición de tóxicos, antinutrientes y minerales del amaranto según Montero *et al.* 2015.

Tabla 13. Minerales presentes en el amaranto

Minerales (mg/100g)	
Na	38.58
K	2744.4
Mg	518.22
Ca	1559.5
Fe	60.71
Zn	5.57
Cu	1.65
Al	199.3
Hg	0.24
P	530

Fuente: Montero *et al.*, 2015

Tabla 14. Compuestos tóxico y antinutrimntales del amaranto

Tóxicos y antinutrimntales	
Fenoles totales (mg/100g)	1.29
Fitato (mg fitato/g)	6.99
Oxalato (mg de oxalato/100g)	17.62
Nitratos (mg NO₃⁻¹/kg)	220.7

Fuente: (Montero *et al.*, 2015)

Por otra parte también tenemos en la Tabla 15 las vitaminas más destacadas en el amaranto.

Tabla 15. Vitaminas en el amaranto

Vitaminas (mg/ 100g porción comestible)	
Tiamina	0.08
Riboflavina	0.16
Niacina	1.4
Vitamina C	80

Fuente: Morales *et al.*, 2014

Fibra dietética en el amaranto

La American Association of Cereal Chemist define: “la fibra dietética es la parte comestible de las plantas o hidratos de carbono análogos que son resistentes a la digestión y absorción en el intestino delgado, con fermentación completa o parcial en el intestino grueso.

La fibra dietética incluye polisacáridos, oligosacáridos, lignina y sustancias asociadas de la planta. Las fibras dietéticas promueven efectos beneficiosos fisiológicos como el laxante, y/o atenúa los niveles de colesterol en sangre y/o atenúa la glucosa en sangre.

En la Tabla 16 según el trabajo de Almirudis *et al.*, 2021 muestra los resultados obtenidos del contenido de fibra dietaria total, soluble e insoluble en amaranto sin procesar, inflado y extrudido, destacando el amaranto sin procesar para nuestro interés.

Tabla 16. Fibra dietaria soluble e insoluble en amaranto sin procesar, inflado y extrudido

Muestra	Fibra dietaria insoluble (%)	Fibra dietaria soluble (%)
Amaranto sin procesar	6.73 ±0.02	1.95 ±0.31
Amaranto inflado	8.44±0.15	1.71±0.35
Amaranto extrudido	9.23±0.89	2.15±0.88

Fuente: Almirudis *et al.*, 2021

Fenoles totales

El término «compuestos fenólicos» engloba a todas aquellas sustancias que poseen varias funciones fenol, nombre popular del hidroxibenceno, unido a estructuras aromáticas o alifáticas.

Los compuestos fenólicos son moléculas que tienen uno o más grupos hidroxilo unidos a un anillo aromático. Junto con las vitaminas, los compuestos fenólicos se consideran importantes antioxidantes en la dieta, por ejemplo, se encuentran presentes en frutas, hortalizas, raíces y cereales (Peñarrieta, 2014).

La actividad antioxidante está relacionada mayoritariamente a la presencia de polifenoles o compuestos fenólicos, gracias a la capacidad que tienen dichos compuestos de atrapar, o inhibir la producción de radicales libres (Martín, 2018).

Según Almirudis *et al.*, 2021 en la Figura 18 se muestran los resultados obtenidos sobre el efecto de la temperatura de extrusión y humedad de alimentación sobre el contenido de fenoles totales en amaranto extrudido.

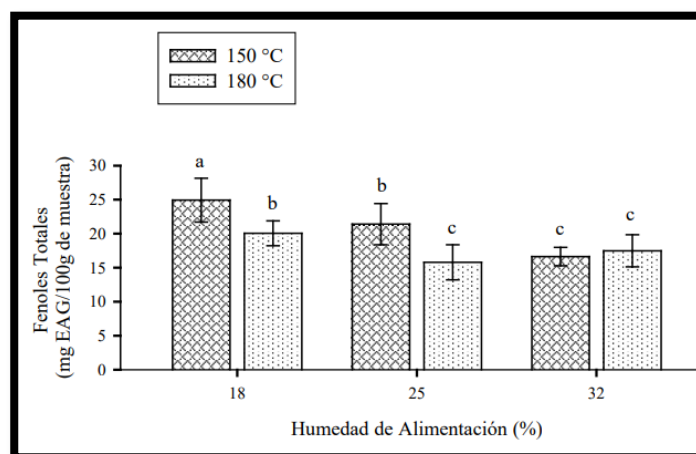


Figura 18. Efecto de la temperatura de extrusión y humedad de alimentación sobre el contenido de fenoles totales en amaranto

Fuente: Almirudis *et al.*, 2021

Dentro de los principales fenoles que se encuentra en el amaranto se encuentran los flavonoides y antocianinas (Morales *et al.*, 2014), los flavonoides son un tipo particular de los polifenoles presentes en plantas, y son los compuestos responsables del color de las flores y frutas. Por otro lado, las antocianinas se encuentran ampliamente en alimentos de origen vegetal y, como las antocianidinas, son responsables de la coloración de los frutos y flores. Debido a su capacidad antioxidante, las antocianinas y antocianidinas se asocian como compuestos beneficiosos para la salud. Por ejemplo, su consumo se ha asociado con la prevención de enfermedades relacionadas con el estrés oxidativo, como la enfermedad cardíaca coronaria y el cáncer (Peñarrieta *et al.*, 2014).

Capacidad antioxidante

Los oxidantes son compuestos con tendencia a donar oxígeno a otras sustancias. Muchas especies reactivas de oxígeno son radicales libres. Un radical libre es cualquier especie química que tiene uno o más electrones no apareados. Como ocurre en las plantas, el cuerpo humano también se expone de modo constante a los oxidantes y/o radicales libres que se generan fisiológicamente. En los seres humanos, los radicales libres se incrementan en procesos fisiopatológicos como la inflamación, el metabolismo de compuestos extraños o la radiación. Los radicales libres pueden afectar adversamente varias clases importantes de moléculas biológicas como los ácidos nucleicos, los lípidos y las proteínas, lo que altera el estado redox normal y aumenta el estrés oxidante (Benítez *et al.*, 2020).

Los antioxidantes son moléculas capaces de retardar o prevenir la oxidación de otras moléculas, contrarrestan los radicales libres y otras especies reactivas de oxígeno y se cree que ayudan a prevenir o retardar la progresión de muchas enfermedades no transmisibles que afectan a los seres humanos. La capacidad antioxidante total (CAT) se define como el potencial de una sustancia o compuesto para inhibir o dificultar la oxidación de un sustrato hasta en cantidades muy pequeñas. Su medición es útil para valorar la calidad de un alimento, la cantidad de antioxidantes en un sistema, o la biodisponibilidad de compuestos antioxidantes en el cuerpo humano (Benítez *et al.*, 2020).

La mayor parte de la capacidad antioxidante de frutas y vegetales se la proporciona su contenido en vitamina E, C y carotenos, así como de diferentes polifenoles (Gutierrez *et al.*, 2007).

Según Almirudis *et al.*, 2021 en la Figura 19 se muestran los resultados obtenidos sobre efecto de la temperatura de extrusión y humedad de alimentación sobre la actividad antioxidante medida como porcentaje de inhibición de los radicales DPPH en amaranto extruido.

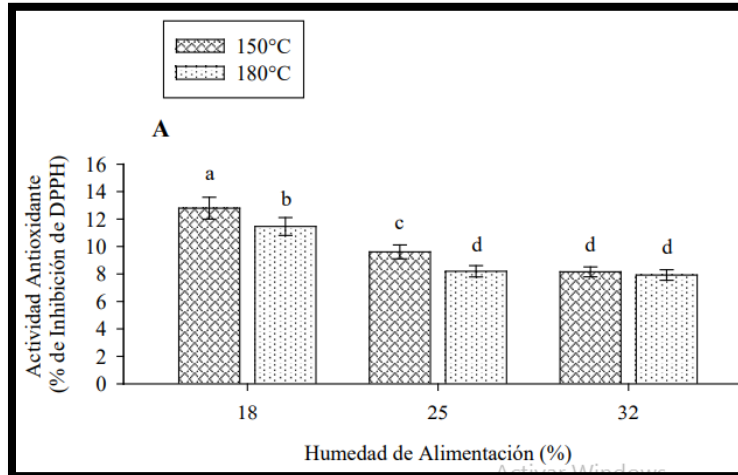


Figura 19. Efecto de la temperatura de extrusión y humedad de alimentación sobre la actividad antioxidante (DPPH) en amaranto

Fuente: Almirudis *et al.*, 2021

Calidad proteica

El valor nutricional o la calidad de las proteínas se rige por la composición de aminoácidos, la proporción de aminoácidos esenciales, la susceptibilidad a la hidrólisis durante la digestión, presencia de antinutrientes y efecto del procesamiento. Cuanto mayor sea la proporción de aminoácidos esenciales, mayor será el valor biológico o la calidad de las proteínas (Friedman, 1996).

En la Tabla 17 se muestran los resultados de Almirudis *et al.*, 2021 en cuanto a la prueba de calidad proteica *in vivo*, RNP, razón neta de proteína, DAN, digestibilidad aparente de nitrógeno, DVN, digestibilidad verdadera de nitrógeno; de igual manera destacando nuestro interés por el amaranto sin procesar.

Tabla 17. Resultados de las pruebas de calidad proteica *in vivo*

Muestra	RNP	DAN	DVN
Amaranto sin procesar	3.81	78.76	83.01
Amaranto inflado	3.76	81.24	84.55
Amaranto extruido	4.32	81.94	85
Caseína (dieta control)	4.33	88.08	91.40

Fuente: Almirudis *et al.*, 2021

Una vez revisado el valor nutrimental de amaranto se puede considerar como ingrediente faltamente nutrimental con capacidades funcionales en panes, por tal motivo en este trabajo se realizará un pan dulce tipo danés complementado con harina de amaranto, con la finalidad de elevar su calidad nutritiva.

CAPÍTULO II. DESARROLLO EXPERIMENTAL

2.1 Objetivos

2.1.1 Objetivo General

Desarrollar una formulación para la elaboración de un pan tipo danés complementado con harina de Amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*) mediante la variación de las proporciones de harina de amaranto y trigo obteniendo un producto con mayor calidad nutrimental y funcional.

2.1.2 Objetivos particulares

Objetivo particular 1

Analizar la composición química de las harinas (trigo y amaranto) mediante un análisis químico proximal, calidad nutrimental (Digestibilidad *in vitro*, triptófano, almidón total, almidón digerible) y funcional (fenoles, capacidad antioxidante, almidón resistente y fibra dietética) comprobando su calidad nutrimental para complementarse.

Objetivo particular 2

Comparar diferentes formulaciones del pan tipo danés cambiando las proporciones de harina de amaranto y trigo mediante una prueba sensorial de preferencia eligiendo la mejor formulación.

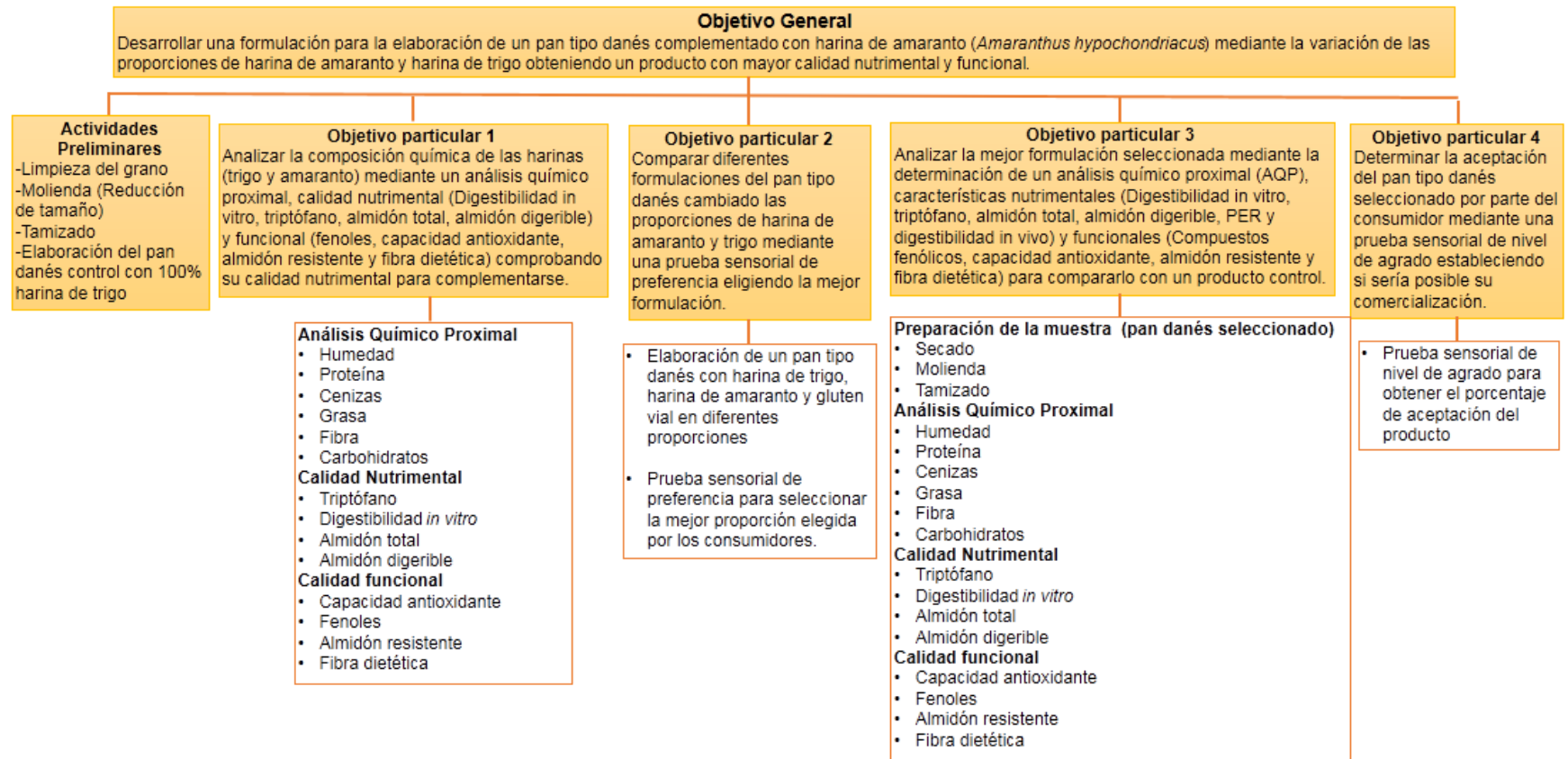
Objetivo particular 3

Analizar la mejor formulación seleccionada mediante la determinación de un análisis químico proximal (AQP), características nutrimentales (Digestibilidad *in vitro*, triptófano, almidón total, almidón digerible, PER y digestibilidad *in vivo*) y funcionales (Compuestos fenólicos, capacidad antioxidante, almidón resistente y fibra dietética) para compararlo con un producto control.

Objetivo particular 4

Determinar la aceptación del pan tipo danés seleccionado por parte del consumidor mediante una prueba sensorial de nivel de agrado estableciendo si sería posible su comercialización.

2.2 Cuadro metodológico



2.3 Metodología

2.3.1 Material Biológico

Para el desarrollo de este proyecto se utilizó la semilla de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* L.) variedad Tulyehualco cosecha 2015 y harina refinada de trigo marca Tres estrellas® (Figura 20), la cual fue adquirida en un centro comercial.



Figura 20. Amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* L.) utilizado y harina de trigo

2.3.2 Preparación de la muestra

Para la obtención de la harina de amaranto se llevó a cabo su molienda utilizando un molino para café KRUPS GX4100, posteriormente el producto obtenido se tamizó con una malla # 40 serie Tyler, la harina fue utilizada para poder analizarla y para la elaboración del producto por lo cual se mantuvo guardada en un frasco con tapa cerrada a 4°C hasta su uso (Figura 21).

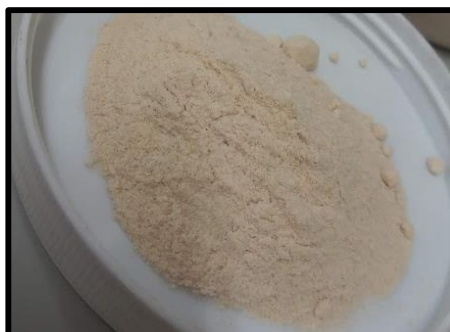


Figura 21. Harina de amaranto (*A. hypochondriacus*) tamizada

2.3.3 Análisis Químico Proximal de las materias primas y productos

Se hizo el análisis químico proximal de la materia prima; harina integral de amaranto, harina de trigo marca Tres estrellas® así mismo se realizó este análisis al producto control y producto seleccionado realizando las pruebas de humedad, proteína, grasa, cenizas, fibra cruda siguiendo los métodos del A.O.A.C. (2005) y carbohidratos por diferencia.

- **Determinación de Humedad:**

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

Fundamento: Se calienta la muestra bajo condiciones establecidas y se hace uso de la pérdida de peso para calcular el contenido de humedad (agua libre) de la muestra (Nielsen, 2009).

Método: Se pesaron 3g de muestra en cajas de aluminio puestas previamente a peso constante, posteriormente se dejó secar la muestra en una estufa con circulación forzada de aire (Figura 22) hasta registrar un peso constante. Para ello, de la estufa se pasó a un desecador hasta atemperarse y finalmente pesarlo.



Figura 22. Estufa con circulación forzada de aire BLUE M C-4850-Q

Cálculo % de humedad:

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

Donde:

W_1 =Peso de la muestra (g)

W_2 =Peso de la muestra húmeda (g)

W_3 =Peso de la muestra seca (g)

○ **Determinación de Proteína:**

Técnica 954.01: Método de MicroKjeldahl (A.O.A.C., 2005).

Fundamento:

El método de micro Kjeldahl mide el contenido de nitrógeno en una muestra, este método se divide en tres principales etapas: (1) digestión, (2) destilación y (3) valoración. En la etapa de digestión (Figura 23), el nitrógeno orgánico es convertido en amonio, posteriormente en la destilación, se alcaliniza la muestra desprendiendo el N en forma de NH_3 . Este NH_3 se atrapa en una solución de ácido bórico y se cuantifica mediante un análisis volumétrico (Nielsen, 2009).



Figura 23. Destilador micro Kjeldhal para determinación de proteína

Método: Se colocó la muestra en un tubo de digestión Kjeldhal, con sulfato cúprico, sulfato de potasio, y ácido sulfúrico concentrado. Se calentó el tubo a fuego lento hasta obtener un líquido transparente con coloración azul verdosa, se dejó enfriar. Se hizo reaccionar con hidróxido de sodio y en un pequeño matraz con 50ml de ácido bórico y gotas de fenolftaleína se esperó a que la coloración del matraz pequeño cambio de rosa a transparente. Posteriormente se tituló con HCl e hizo el cálculo correspondiente.

$$\%Nitrógeno\ total = \left(\frac{(V_1)(N)(0.014)}{W} \right) * 100$$

$$\%Proteína = F(\% Nitrógeno\ total)$$

Donde:

W=Peso de la muestra (g)

V₁= (V₁-V₀) = Volumen de HCL gastado en la muestra (ml)

V₀= 0= Volumen de HCL gastado en el blanco (ml)

N= Normalidad del HCL (0.1 N y 0.01 N)

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

○ **Determinación de extracto etéreo:**

Técnica 920.39: Método de Soxhlet (A.O.A.C., 2005).

Fundamento: Se extraen las grasas, de un modo semi-continuo, con un disolvente orgánico (Figura 24). 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 el peso de la grasa extraída (Nielsen, 2009).



Figura 24. Extractor Soxhlet para determinación de grasa

Método: Se utilizó hexano como disolvente orgánico para extraer el extracto etéreo. Se colocó la muestra dentro de un cartucho de extracción y a su vez estos dentro del equipo de vidrio. Por otro lado, se colocó debajo un matraz con el hexano y se inició con la extracción por 2 horas y 30 minutos. Pasado el tiempo estimado, se evaporó el hexano, dejando en el matraz la grasa de la muestra. Mediante una diferencia de peso se obtuvo la cantidad de grasa en porcentaje.

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

Donde:

W_1 =Peso de la muestra (g)

W_2 =Peso del matraz sin grasa (g)

W_3 =Peso del matraz con grasa (g)

○ **Determinación de Cenizas (Kleem):**

Técnica 923.03; Método de Kleem (A.O.A.C., 2005).

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



Figura 25. Incineración de la muestra en crisoles de cerámica

Método: Se colocó la muestra en crisoles de cerámica, previamente a peso constante, posteriormente se colocaron los crisoles en un mechero hasta que dejó de producir humo (Figura 25), se metió el crisol a la mufla, la incineración se dio por terminada cuando el residuo era prácticamente blanco. Finalmente se pesó el crisol una vez que se encontraba a temperatura ambiente.

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

Donde:

P= Peso de la capsula con muestra (g)

P₁=Peso de la capsula con las cenizas (g)

P₂= Peso de la capsula sin muestra (g)

○ **Determinación de fibra cruda:**

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

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



Figura 26. Filtración con succión de vacío para determinación de fibra cruda

Método: El método consistió en someter las muestras seca y desengrasada a una digestión ácida, posteriormente a una digestión alcalina, de esto se obtuvo un residuo de fibra cruda y sales por medio de una filtración, para poder determinar el porcentaje de fibra cruda se sometió el residuo a una calcinación y posteriormente se toma el peso constante del mismo para proceder a los cálculos correspondientes.

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

Donde:

W_1 = Peso del papel filtro (g)

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

W_3 = Peso del crisol vacío (g)

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

W_s =Peso de la muestra previamente desengrasada (g)

○ **Determinación de carbohidratos por diferencia:**

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

$$\%CHOS = 100 - (Humedad + Proteínas + Grasa + Cenizas + Fibra C.)$$

2.3.4 Elaboración de pan dulce tipo Danés

La formulación del pan danés control y el pan danés con diferentes proporciones de harina de amaranto y gluten vital se muestra en la Tabla 18.

Tabla 18. Formulación de un pan dulce tipo danés con harina de trigo y proporciones diferentes de harina de amaranto y gluten vital

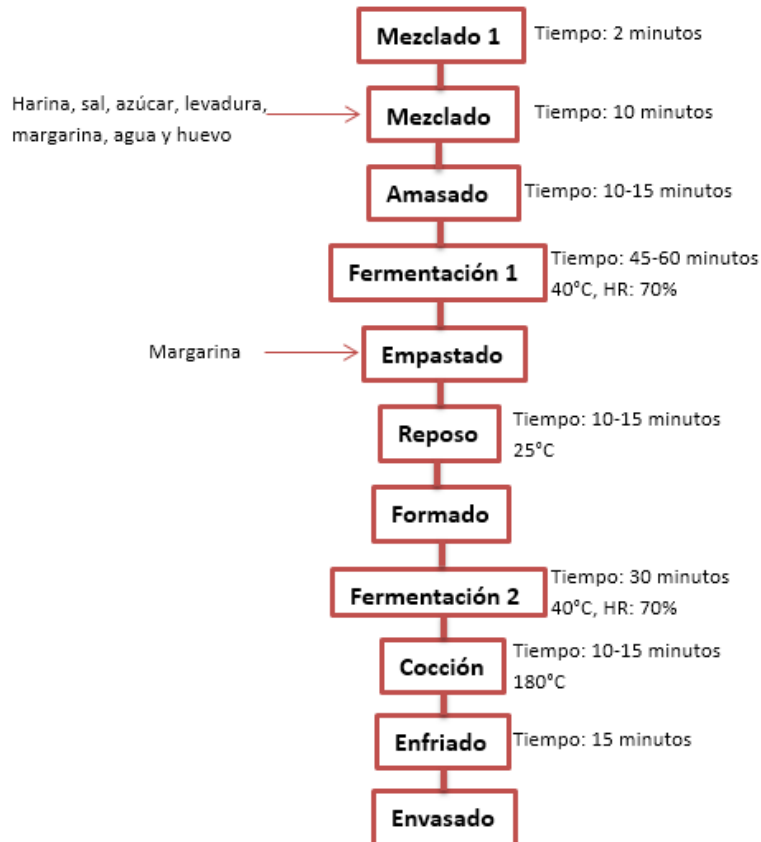
Ingredientes	Formulación control (%)	Harina de Amaranto 30% (%)	Harina de Amaranto 50% (%)	Harina de Amaranto 70% (%)
Harina de trigo	43	25.8	17.2	8.6
Harina de amaranto	0	12.9	21.5	30.1
Gluten Vital	0	4.3	4.3	4.3
Huevo	9.1	9.1	9.1	9.1
Margarina	19.2	19.2	19.2	19.2
Azúcar	6.4	6.4	6.4	6.4
Sal	0.4	0.4	0.4	0.4
Levadura Seca	0.7	0.7	0.7	0.7
Agua	17.1	17.1	17.1	17.1
Coco Rallado	4.1	4.1	4.1	4.1

Con base en la formulación control se propusieron las formulaciones mezclando harina de trigo y harina de amaranto, pero por causa de la insuficiente funcionalidad de las semillas de amaranto para la formación de la red de gluten, se decidió agregar 10 % de gluten vital, porque en proyectos previos (Cabrera, 2007; Díaz, 2014 & Cruz, 2015) se determinó esta cantidad como la mejor para la elaboración de productos a base de harina integral de amaranto, dichas formulaciones permitían el correcto procesamiento durante el amasado, manteniendo constante la cantidad del resto de los ingredientes.

Diagrama de proceso del pan danés

En la Figura 27 se muestra el proceso de elaboración de un pan danés tipo jabón o rectangular con coco rallado.

Figura 27. Proceso para la elaboración del pan dulce danés tipo jabón



Descripción del diagrama de proceso

- **Mezclado 1:** Se mezclan los ingredientes sólidos por un tiempo de 2 minutos en una batidora de gancho Hamilton beach, modelo 63233.
- **Mezclado 2:** Se adiciona a la mezcla 1 los ingredientes húmedos como margarina, huevo y la levadura seca previamente activada (esponja) y se mezclan por 5 minutos hasta la formación de la masa sólida.
- **Amasado:** Una vez se forma la masa sólida se amasa en la batidora de gancho entre 10 y 15 minutos hasta observar que la masa no se pega al tazón.

- Fermentación 1: Una vez terminando el amasado se pasará a un bowl previamente engrasado para colocarlo dentro de la cámara de fermentación Robot cool por un tiempo de 45 a 60 minutos, 40°C y humedad relativa de 70% hasta que doble su tamaño la masa.
- Empastado: Pasado el tiempo de fermentación se extiende la masa en forma rectangular con 0.5 cm de grosor aproximadamente sobre una superficie plana y limpia previamente enharinada con ayuda de un rodillo y el empastado consiste en colocar y extender una capa de margarina sobre la masa extendida y doblar la masa envolviendo la capa de margarina, esto se hace 3 veces con margarina y una cuarta vez sin margarina.
- Resposo: Una vez se termina de empastar se deja reposar la masa por 10 minutos en un bowl y cubriéndola con un plástico para evitar que se seque la masa, este reposo es con la finalidad de que las capas que se formaron se definan más.
- Amasado y formado: Después del reposo se extiende la masa en forma rectangular con 1 cm de grosor aproximadamente sobre una superficie plana y limpia previamente enharinada con ayuda de un rodillo, con ayuda de un molde para galletas de forma rectangular se corta la masa para obtener la forma del pan.
- Fermentación 2: en una charola con papel encerado se colocan las piezas de masa y se procede a colocar dentro de la cámara de fermentación por un tiempo de 30 minutos, 40°C y humedad relativa de 70% para que aumenten su volumen.
- Decorado: Pasado el tiempo de la segunda fermentación se saca de la cámara de fermentación y con ayuda de una brocha se coloca una fina capa de huevo (previamente mezclado) en la superficie de cada pieza de pan y a su vez se espolvorea coco rallado sobre el mismo.
- Cocción: Al finalizar la decoración se procede a colocar las charolas en el horno eléctrico Robot cool a 180°C por un tiempo de 10-15 minutos.

- **Enfriado:** Se saca del horno la charola y se coloca sobre una superficie segura que soporte el calor dejando reposar por un tiempo de 15 minutos hasta que se enfrie el pan.
- **Envasado:** Una vez se enfrían los panes se procede a guardarlos en bolsas de celofán perfectamente selladas.

2.3.5 Evaluación Sensorial

- **Prueba de Preferencia:** Estas pruebas permiten a los consumidores seleccionar entre varias muestras, indicando si prefieren una muestra sobre otra o si no tienen preferencia (Ramírez, 2012).

Esta prueba se realizó utilizando las 3 formulaciones propuestas y se les aplicó a 100 jueces elegidos al azar, cabe destacar que estos jueces no eran entrenados, las muestras fueron codificadas y las instrucciones estaban por escrito claramente explicando el procedimiento.

En el Anexo 1 se muestra el formato de la prueba.

Procedimiento:

- 1- Se organizaron las muestras previamente codificadas en vasos pequeños.
- 2- Se les dio a los jueces las pruebas ordenadas y se les explicaron las instrucciones.
- 3- Antes de comenzar la degustación se les ofreció agua simple para limpiar su paladar de cualquier otro sabor.
- 4- Se recogieron las pruebas ya contestadas.
- 5- Se recaudaron los datos en una tabla y contabilizaron los puntos obtenidos en cada pan con su ayuda de su código.
- 6- Se determinó la formulación con el código que obtuvo mayor cantidad de puntos.



Figura 28. Aplicación de la prueba sensorial de preferencia

- **Prueba de nivel de agrado:** Las pruebas de aceptación también se conocen como de nivel de agrado (hedónicas). Se emplean para determinar el grado de aceptación de un producto por parte de los consumidores y según su tipo permiten medir cuánto agrada o desagrada dicho producto. La aceptabilidad de un producto generalmente indica el uso real del producto (compra y consumo). Para determinar la aceptabilidad de un producto se pueden usar pruebas de ordenamiento, escalas categorizadas y pruebas de comparación pareada (Ramírez, 2012).

En el Anexo 2 se muestra el formato de la prueba.

Procedimiento:

- 1- Se prepararon las muestras previamente en vasos pequeños.
- 2- Se les ofreció a los jueces la prueba y se les explicaron las instrucciones.
- 3- Antes de comenzar la degustación se les ofreció agua simple para limpiar su paladar de cualquier otro sabor.
- 4- Se les retiró las pruebas ya contestadas.
- 5- Se organizaron las pruebas de mayor a menor puntaje en una escala de 1 al 10.
- 6- Se obtuvo un promedio de los resultados obtenidos en cada una de las 100 pruebas.
- 7- Se obtuvo de igual manera el porcentaje de aceptación del producto.



Figura 29. Muestras de pan utilizadas para la prueba sensorial de nivel de agrado

2.3.6 Análisis químico proximal de los productos

Se realizó un análisis químico proximal al pan dulce tipo danés control (100% harina de trigo) elaborada en el Laboratorio de Bioquímica y Fisiología de Granos y al pan dulce tipo danés con amaranto seleccionado en la prueba sensorial de preferencia, para su posterior comparación. Estas fueron trituradas, secadas y molidas utilizando un molino de café, posteriormente la muestra se sometió a un AQP partiendo de los métodos mencionados anteriormente.

2.3.7 Evaluación de la calidad nutrimental de las muestras

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

Procedimiento:

- 1- Se pesaron 0.5 g de muestra, se agregó la primera enzima (pepsina) manteniendo en agitación por 3 horas y se incubó.
- 2- Posteriormente se agregó NaOH y la segunda enzima (pancreatina). Se mantuvo en agitación e incubó por 24 horas.

- 3- Pasado el tiempo se aforó con agua destilada, se tomaron 2 ml de la muestra y se le adicióno HCL concentrado, DMAB y NaNO₂.
- 4- Finalmente se leyó a 590 nm en el espectrofotómetro JENWAY™ 6305.

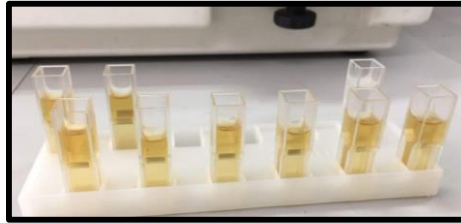


Figura 30. Muestras en celdas para determinación de triptófano

○ **Digestibilidad *in vitro***

La digestibilidad *in vitro* se llevó a cabo utilizando un sistema multienzimático y frascos de vidrio enchaquetados para poder controlar la temperatura necesaria para que las enzimas actuaran y así para determinar la digestibilidad de las proteínas por medio de la lectura del pH (Hsu *et al.*, 1977).

La ecuación de la regresión obtenida experimentalmente fue:

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

Donde:

%D: Porcentaje de digestibilidad

X: Es el pH de la suspensión proteica registrado inmediatamente al termino del proceso (20 minutos)

Procedimiento:

- 1.-Se pesó una muestra con 10 mg de N₂.
- 2.-Se utilizó como control la caseína liofilizada.
- 3.-Se adicionó agua destilada y equilibró el pH a 8 utilizando NaOH y HCL a baja concentración.
- 4.- Se dejó hidratando y en agitación en un baño de agua a 37 °C.

5.-Pasado el tiempo se agregó la solución enzimática A (Tripsina pancreática porcina, α -quimotripsina pancreática bovina y pepsina porcina de mucosa gástrica) mientras se agita y se dejó 10 minutos en agitación.

6.- Pasado el tiempo se añadió solución enzimática B (proteasa bacteriana) y se transfiere a un baño de agua de 55°C durante 9 minutos.

7.- Pasado el tiempo transferir durante un minuto al baño de agua a 37°C y al finalizar medir el pH.

8.-El pH del control de caseína debe ser de 6.42 ± 0.05 .

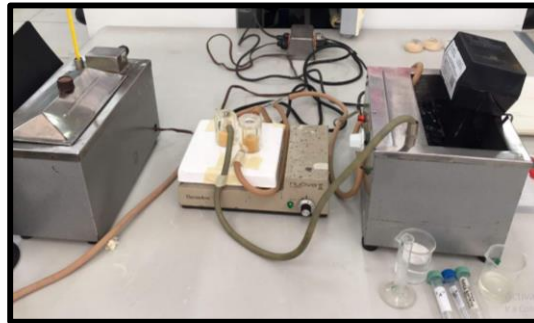


Figura 31. Montaje para la determinación de digestibilidad *in vitro*

○ **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.*, 1996.

Procedimiento:

1. Se pesaron 0.05 g de muestra, se agregó KOH y se mantuvo en agitación constante.

2. Pasado el tiempo se agregó buffer acetato de sodio y se ajustó el pH a 4.75.

3. Después se agregó amiloglucosidasa y se colocó en un baño a 60°C y 45 minutos.

4. Posteriormente se dejó enfriar y se centrifugó a 5000 rpm.

5. Se agregó el reactivo de glucosa, se dejó reposar por 20 minutos y se

leyó a una absorbancia de 505 nm en el espectrofotómetro JENWAY™ 6305.



Figura 32. Muestras para la determinación de almidón total

- **Almidón digerible**

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

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

2.3.8 Evaluación de factores funcionales de las muestras

- **Almidón resistente:**

Se fundamenta en realizar una digestión enzimática, en donde se hidrolizan 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.*, 1996).

Procedimiento:

1. Se pesaron 100 mg de muestra y se agregó 10 ml de buffer KCl-HCl.
2. Se agregó pepsina y se mantuvo en agitación constante.
3. Se agregó buffer Tris-maleato.
4. Se agregó amilasa pancreática y se incubó 16 h.
5. Se centrífuga a 5000 rpm, posteriormente se agregó KOH y se mantuvo en agitación constante.

6. Se agregó buffer acetato de sodio ajustando el pH a 4.75 y adicionó la amiloglucosidasa
7. Posteriormente se centrifugó a 5000 rpm, el sobrenadante se trató con reactivo de glucosa y finalmente se leyó a una absorbancia de 505 nm en el espectrofotómetro JENWAY™ 6305.

Cálculos:

1. Se realizó una curva patrón de la glucosa para obtener la pendiente (m) y la ordenada al origen (b).
2. Se sustituyó en la siguiente ecuación:

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

Donde

m= pendiente

b= ordenada al origen

X=Almidón en 1000 μ l

3. Con el valor obtenido se realizó el cálculo para poder obtener el % de almidón resistente.

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

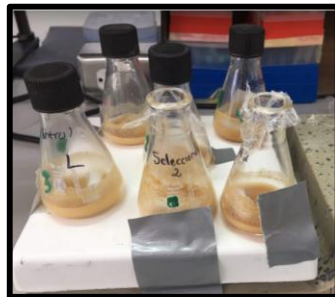


Figura 33. Muestras en agitación para la determinación de almidón resistente

○ **Fibra dietética**

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

Procedimiento:

- 1.-Se pesó 1 g de muestra en un matraz y adicionar buffer de fosfato, ajustar el pH a 6.
- 2.-Se adicionó solución de amilasa, cubrió con papel aluminio, colocó en un baño a ebullición durante 15 minutos agitando constantemente y dejando enfriar, después se ajustó pH a 7.5 adicionando NaOH.
- 3.-Se adicionó proteasa, cubrió el matraz con papel aluminio, colocó en un baño a 60 °C por 30 minutos con agitación continua y dejar enfriar, posteriormente se ajustó pH a 4-4.6
- 4.-Se adicionó amiloglucosidasa e incubó a 60 °C por 30 minutos y con agitación continua.
- 5.-Se adicionó etanol 95 % precalentado (60 °C) y se dejó en reposo una hora.
- 6.-Pasado el tiempo se filtró la solución, una vez terminada la solución se hicieron lavados con etanol al 78%, después con etanol al 95%.
- 7.-Se secó el residuo el residuo toda la noche, se enfrió y pesó.
- 8.- Se analizó el contenido de proteínas y el contenido de cenizas, posteriormente calcular el contenido de fibra dietética con la siguiente ecuación.

Cálculos:

$$\%Fibra\ dietética = \frac{R - (P + C + B)}{PM} * 100$$

Donde:

R: Peso del residuo de la muestra (mg)

P: Peso de proteína de la muestra (mg)

C: Peso de cenizas de la muestra (mg)

B: Blanco

PM: Peso de la muestra



Figura 34. Filtración y baño a ebullición en la determinación de fibra dietética

○ **Compuestos Fenólicos**

Se basa en que los compuestos fenólicos reaccionan con el reactivo de Folin, dando lugar a una coloración azul. El ácido fosfomolibdotúngstico, 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 mide para evaluar el contenido en polifenoles (Valadez *et al.*, 1990).

Procedimiento:

1. Se pesaron 0.1g de muestra en pequeños tubos con tapa y posteriormente se diluyó con metanol-HCL 1%.
2. Se colocó a baño maría en ebullición por 10 minutos.
3. Se dejó enfriar y después se centrifugaron por 10 minutos.
4. Se obtuvo el sobrenadante y tras colocarlo en otros tubos se colocaron a 65°C hasta que se obtuvo una pastilla.
5. Se disuelve la pastilla con agua destilada y se centrifuga a 9000 rpm.
6. Se recuperó el extracto.
7. Se tomó el extracto para agregarle agua destilada.
8. Se agregaron 250 μ l de reactivo folin-ciocalteu, se agitó y dejó reposar.
9. Se agregó Na_2CO_3 , se agitó y dejó reposar 15 minutos.

10. Posteriormente se leyó a 760 nm en un espectrofotómetro JENWAY™ 6305.

Cálculos

1. Se realizó una curva patrón de ácido gálico

2. Se sustituyó en la siguiente ecuación

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

Donde

m= pendiente

b= ordenada al origen

X= Fenoles en 400 µl

3. Se calculó el contenido de fenoles en 1000 µl

4. Se calculó el contenido de fenoles en 1 g de muestra (Y)

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

Donde

Y=Fenoles en 1g de muestra

Equivalencia= 6 Equivalente de ácido gálico

PM= Peso molecular del ácido gálico (170.2 µg)

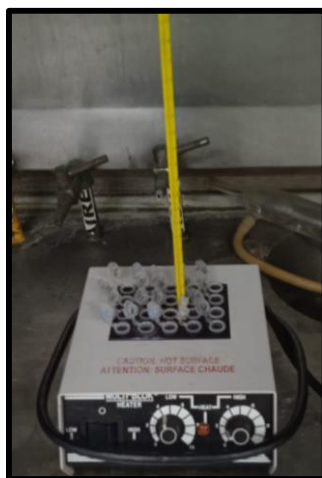


Figura 35. Muestras a 65°C para la determinación de fenoles totales

○ **Capacidad antioxidante**

Este ensayo fue propuesto originalmente por Brand–Williams. El DPPH es uno de los pocos radicales orgánicos estable, presenta una fuerte coloración violeta, es comercialmente disponible y no tiene que ser generado *in situ* como el ABTS. El ensayo se fundamenta en la medición de la capacidad de un antioxidante para estabilizar el radical DPPH, esta medición puede hacerse espectrofotométricamente siguiendo el decaimiento de la absorbancia a 518 nm. La reacción de estabilización se considera que transcurre principalmente mediante un mecanismo Transferencia de Electrones (TE), con un aporte marginal de Transferencia de Átomos de Hidrógeno (TAH) (Da Silva y Selma, 2012).

Procedimiento:

1. Se pesó 0.1 g de muestra en pequeños tubos con tapa y posteriormente se diluyó con metanol-HCL 1%.
2. Se colocó a baño maría en ebullición por 10 minutos.
3. Se dejó enfriar y después se centrifugaron por 10 minutos.
4. Se obtuvo el sobrenadante y tras colocarlo en otros tubos se colocaron a 65°C hasta que se obtuvo una pastilla.
5. Se disuelve la pastilla con agua destilada y se centrifuga a 9000 rpm por 10 minutos.
6. Se obtuvo el extracto y se tomarón 500 µl del extracto y se le agregaron 500 µl de solución DPPH y se dejarón reposar por 30 min en oscuridad absoluta.
Se leyeron a 518 nm en el espectrofotómetro JENWAY™ 6305 previamente calibrado con agua destilada.
7. Posteriormente se calibro con metanol y se leyó METANOL + DPPH 500 µl de cada uno.
8. Se dejó reposar 30 minutos como control negativo y se obtuvo la lectura.

Cálculos

$$\% \text{Capacidad antiox.} = \frac{\text{Abs control neg.} - \text{Abs muestra}}{\text{Abs control neg.}}$$

Donde

Abs. Control negativo= Absorbancia del Metanol + DPPH

Abs. Muestra= Valor de Absorbancia de la muestra



Figura 36. Baño a ebullición en las muestras de capacidad antioxidante

○ **Relación de eficiencia proteica**

Con el fin de evaluar la calidad proteica de la formulación seleccionada previamente mediante la prueba de preferencia, se realizó la prueba de la Relación de Eficiencia Proteica (REP) más conocido por sus siglas en ingles PER (Protein Efficiency Ratio) el método 960.48 (A.O.A.C, 1990).

Representa el cociente entre los gramos de peso ganado de los animales en estudio dividido por los gramos de proteína ingerida. Para ello fue necesario elaborar una dieta isoproteica e isocalórica con el pan de la formulación seleccionada, y la dieta de referencia de caseína. Las dietas se prepararon de acuerdo a la formulación establecida por la A.O.A.C.

Procedimiento:

Se utilizaron 12 ratas Wistar machos de 21 días de nacidas, las cuales fueron divididas en dos lotes de 6 ratas cada uno, un lote de ratas fue alimentado con una dieta de caseína como proteína control y el otro lote fue alimentado con la dieta elaborada a base del producto. Las ratas fueron

colocadas en forma de culebra japonesa (este método distribuye los pesos en orden ascendente y se van haciendo lotes de seis en seis de izquierda a derecha y regresa de derecha a izquierda para una distribución homogénea), en condiciones de temperatura de 25°C, humedad relativa de 48% y periodos de luz de 12 horas.

Cada tercer día se registró el peso ganado, así como la cantidad de alimento consumido. Este ensayo tuvo una duración de 28 días.

En la Tabla 19 se muestran los pesos iniciales de las ratas utilizadas.

Tabla 19. Pesos de las ratas utilizadas en la determinación de PER

Rata	Peso (g)
1	66
2	59
3	59
4	50
5	45
6	38

Cálculos:

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

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

Donde:

ΔP = Incremento de peso (g)

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

F= % de proteína en la dieta/100

PER exp= Valor de PER obtenido en el bioensayo

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

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

- **Digestibilidad Aparente *in vivo***

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

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

Cálculos:

Para la evaluación biológica en ratas Wistar se utilizó la determinación de digestibilidad aparente (DA) con la siguiente ecuación:

$$DA = \frac{NI - NF}{NI} \times 100$$

Donde:

NI= Nitrógeno ingerido

NF=Nitrógeno fecal



Figura 37. Jaulas para ratas Wistar

- **Análisis estadístico**

Todas las determinaciones se realizaron por triplicado, de los resultados obtenidos se calculó promedio, desviación estándar y coeficiente de variación. Para las pruebas sensoriales realizadas se determinó la frecuencia de votos asignados. Para hacer el análisis de los promedios se realizó una prueba de intervalo múltiple t-student a nivel de significancia de $P \leq 0.05$ utilizando el programa estadístico Origin V. 4.0.

CAPÍTULO III RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis químico proximal de la materia prima

Los resultados del análisis químico proximal de la materia prima, es decir la harina de trigo TRES ESTRELLAS® y la harina de amaranto integral se muestran en la Tabla 20.

Tabla 20. Análisis químico proximal de la materia prima

Muestra	Humedad %	Proteínas %	Grasas %	Cenizas %	Fibra %	CHOS %
Harina Trigo	12.16±0.06 ^a	7.05±0.44 ^a	1.02±0.04 ^a	0.56±0.03 ^a	2.06±0.12 ^a	74.15 ^a
Harina Amaranto	10.84±0.03 ^a	17.36±0.43 ^b	6.19±0.07 ^b	2.36±0.1 ^b	5.28±0.21 ^b	57.82 ^b

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

En la Tabla 20 se puede observar que hay diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$) entre todos los componentes a excepción de la humedad entre la harina de trigo y harina de amaranto.

El contenido de proteína de la harina de amaranto es más del doble que en la harina de trigo; su importancia radica en que las proteínas determinan la forma y la estructura de las células y dirigen casi todos los procesos vitales; las funciones de las proteínas son específicas de cada tipo de proteína y permiten a las células defenderse de agentes externos, mantener su integridad, controlar y regular funciones, reparar daños (Guillen, 2009). La cantidad de grasa es hasta 6 veces más en la harina de amaranto, esto es esperado ya que según Matías *et. al.*, 2018 el grano de amaranto tiene 7.7% de grasas mientras el grano de trigo tiene 2.1% aunque debido al proceso de molienda estos parámetros bajan ligeramente; además, la calidad de las grasas contenidas en el amaranto son mejores para la salud debido a que son grasas insaturadas como el ácido linoleico y oleico que también se consideran ácidos grasos esenciales (Morales *et al.*, 2014 y MedilinePlus, 2020). Por otro lado, la harina de amaranto tiene 4 veces más

cenizas que el trigo; las cenizas son importantes ya que están relacionadas con los minerales, los cuales son elementos inorgánicos esenciales para el organismo como componentes estructurales y reguladores de los procesos corporales; minerales como Ca, P y Fe que son de los más importantes (Carbajal, 2017). No pueden ser sintetizados y deben formar parte de la alimentación diaria. La fibra es más del doble en la harina de amaranto que en la de trigo, debido a que su harina fue integral es decir no se retiraron las partes anatómicas del grano si no que se recuperaron en la molienda, por lo que el pericarpio y sus componentes siguieron presentes en la harina.

Los carbohidratos tuvieron diferencia significativa ($P \leq 0.05$) siendo menores en el amaranto, esto se debe a que la harina de trigo se obtuvo del endospermo harinoso del cual el 70% corresponde al almidón (Seghezzi y Molfese 2006).

La digestión de los carbohidratos inicia en la boca por medio de la amilasa salival y termina en el intestino delgado por acción de la amilasa pancreática. El producto final de estas reacciones enzimáticas es la glucosa (Castillo y Arias, 2017). Por esta razón el consumo elevado de carbohidratos o azúcares se asocia con sobrepeso, obesidad, alteraciones hepáticas, desórdenes del comportamiento y diabetes (Cabezas *et al.*, 2016).

3.2 Calidad nutrimental de la materia prima

Los resultados de la calidad nutrimental de la materia prima (harina de trigo TRES ESTRELLAS® y harina de amaranto) se muestran en la Tabla 21.

Tabla 21. Calidad nutrimental de la materia prima

Muestra	Digestibilidad in vitro %	Triptófano g Trp/g Proteína	Almidón Total %	Almidón Digerible %
Harina Trigo	83.68±0 ^a	0.51±0.005 ^a	63.79±0.52 ^a	62.28 ^a
Harina Amaranto	91.95±1.30 ^a	2.45±0.01 ^b	68.39±0.38 ^a	64.86 ^a

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

La digestibilidad *in vitro* no tuvo diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$), sin embargo es más alta la digestibilidad de la harina de amaranto; según Manríquez (s.f.) 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. Comprende dos procesos, la digestión que corresponde a la hidrólisis de las moléculas complejas de los alimentos, y la absorción de pequeñas moléculas (aminoácidos, ácidos grasos) en el intestino.

El triptófano en el amaranto es casi 5 veces mayor en la harina de amaranto que la de trigo), este es un aminoácido esencial que favorece la síntesis de serotonina (neurotransmisor) ayuda a la transmisión del impulso nervioso y además favorece la síntesis de melatonina regulando el sueño y es precursor de la Vitamina B3 (Niacina) (Safont, 2003).

En el almidón total y digerible no hubo diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$) entre las dos harinas.

3.3 Calidad funcional de la materia prima

Los resultados de la calidad funcional de la materia prima (entre la harina de trigo TRES ESTRELLAS® y la harina de amaranto) se muestran en la Tabla 22.

Tabla 22. Calidad funcional de la materia prima

Muestra	Capacidad antioxidante %	Fenoles mg EAG/g muestra	Almidón Resistente %	Fibra Dietética %
Harina Trigo	6.33±0.19 ^a	0.71±0.04 ^a	1.51±0.03 ^a	3.46±0.014 ^a
Harina Amaranto	78.05±0.82 ^b	1.68±0.02 ^b	3.53±0.25 ^b	11.25±0.028 ^b

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

La capacidad antioxidante tuvo una diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$) siendo hasta 12 veces mayor en la harina de amaranto. Según la Norma Oficial Mexicana (NOM) 043- SSA2-2005 define a los antioxidantes como sustancias que previenen la oxidación y ayudan al mantenimiento de la integridad celular, inactivando los radicales libres que causan daño celular, de esta manera el

amaranto es una buena fuente de compuestos antioxidantes que contribuyen a la salud; este pseudocereal contiene compuestos fenólicos como: ácido cafeico, ácido p-hidroxibenzoico y ácido ferúlico, también contiene fitoesteroles los cuales muestran actividad antiviral (Álvarez *et al.*, 2010). Además, como ya se mencionó el amaranto tiene escualeno el cual también es un antioxidante, este tiene la función de retardar o prevenir la oxidación de otras moléculas, contrarrestan los radicales libres y otras especies reactivas de oxígeno y se cree que ayudan a prevenir o retardar la progresión de muchas enfermedades no transmisibles que afectan a los seres humanos como el cáncer (Benitez *et al.*, 2020).

Los compuestos fenólicos tienen una diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$) siendo 2 veces mayor en la harina de amaranto; los fenoles son compuestos químicos que se encuentran ampliamente distribuidos en gran variedad de frutas y vegetales. Originan una de las clases más importantes de metabolitos secundarios en plantas, en su mayoría derivados de la fenilalanina y en menor cantidad de la tirosina (Porras y López, 2009).

El almidón resistente es la parte del almidón que resiste al procesos enzimático y digestivo, es este caso hay diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$) siendo 2 veces mayor en la harina de amaranto. Por otro lado, la fibra es más de tres veces mayor en la harina de amaranto que en la harina de trigo esto principalmente por el proceso de molienda de cada una.

3.4 Prueba sensorial de preferencia

La sumatoria del puntaje de los resultados obtenidos en cada pan con diferentes formulaciones y su codificación asignada se muestra en la Tabla 23.

Tabla 23. Resultados de la prueba de preferencia

Harina de Amaranto %	Código de la muestra	Puntaje obtenido
30	3021	201 ^a
50	2150	219 ^a
70	2701	192 ^a

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

Los resultados no tuvieron diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$), pero el pan con 50% de amaranto fue el que obtuvo el mayor puntaje y los comentarios de los jueces fueron los más favorables, es por estas razones que se eligió la formulación del pan danés con 50 % de harina de amaranto como la mejor.

3.5 Análisis químico proximal de los productos

Los resultados del análisis químico proximal de los productos, es decir el pan control y el pan con 50% harina de amaranto se muestran en la Tabla 24.

Tabla 24. Análisis químico proximal de pan danés control y 50% harina de amaranto

Muestra	Humedad %	Proteínas %	Grasas %	Cenizas %	Fibra %	CHOS %
Control	2.45±0.01 ^{a*}	7.19±0.07 ^a	22.66±0.19 ^a	1.18±0.01 ^a	3.32±0.17 ^a	63.2 ^a
Formulación 50% amaranto	3.88±0.06 ^b	15.17±0.06 ^b	25.27±0.44 ^a	1.69±0.01 ^b	5.32±0.05 ^b	48.67 ^b

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

Lo que se puede observar es que todos los componentes a excepción de las grasas tienen una diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$), en la parte de humedad a pesar de ser el mismo pan con diferentes proporciones, el seleccionado tiene más humedad posiblemente debido a que también tiene más grasa y esta de alguna forma evita la pérdida de humedad de la red de gluten y almidón (Corporán, 2010).

En los resultados de proteína el producto seleccionado tuvo el doble que el control, esto era esperado debido a que los contenidos de proteína en la harina de amaranto fueron mayores, cabe destacar que el amaranto contiene aminoácidos esenciales en mayor cantidad que el trigo principalmente lisina, triptófano y treonina, la lisina es importante ya que su presencia en los cereales es limitada y además tiene diversas funciones para el ser humano ya que colabora en el crecimiento de niños y jóvenes, el desarrollo muscular, producción de hormonas, enzimas y anticuerpos (Madrid, 2019).

La grasa no tuvo diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$), debido a la cantidad de margarina que se agregó por igual en cada formulación, sin embargo,

es mayor en la formulación seleccionada pues en la materia prima las grasas son hasta 5 veces mayor en la harina de amaranto y cabe destacar que el aceite de amaranto es considerado como una fuente rica en escualeno que se aproxima a los contenidos reportados para el aceite de tiburón (Rodas y Bressani, 2009). El escualeno es importante en la reducción del daño oxidativo por radicales libres en la piel, además de otros órganos (Ronco, 2009).

En el contenido de cenizas hubo diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$), en el pan con amaranto se tuvo un 50% más que en el de trigo. Dentro de los minerales destacados del amaranto se encuentra el calcio del cual se recomienda una ingestión diaria de 800 mg para adultos y niños en crecimiento. Aproximadamente, el 99% de este elemento se encuentra distribuido en las estructuras óseas y el resto, 1%, en los fluidos celulares y en el interior de los tejidos. A pesar de que esta segunda fracción es muy pequeña, tiene una enorme influencia funcional ya que interviene en un gran número de transformaciones y mecanismos, como son la coagulación de la sangre, la contracción muscular, la activación enzimática, la transmisión de impulsos nerviosos, etcétera ; de igual manera el hierro que también se encuentra en gran cantidad en el amaranto, cumple diversas funciones biológicas en el humano, principalmente al transportar y almacenar el oxígeno mediante la hemoglobina y la mioglobina, respectivamente, además de actuar como cofactor de varias enzimas (Badui, 2006).

La fibra es considerablemente mayor en el seleccionado gracias a la harina integral de amaranto que como ya se mencionó se recupera principalmente en el pericarpio del mismo grano, se entiende por fibra cruda a todas aquellas sustancias orgánicas no nitrogenadas, que no se disuelven tras hidrólisis sucesivas; una en medio ácido y otra en medio alcalino. El principal componente de la fibra cruda es la celulosa (90%), hemicelulosas y lignina (García *et al.*, 2008). La fibra cruda contribuye de manera esencial al tránsito intestinal y regula la saciedad en nuestro cuerpo.

3.6 Calidad funcional de los productos

Los resultados de la calidad funcional de los productos (pan control y el pan con 50% harina de amaranto) se muestran en la Tabla 25.

Tabla 25. Calidad funcional del pan danés control y 50% harina de amaranto

Muestra	Capacidad antioxidante %	Fenoles mg EAG/g muestra	Almidón Resistente %	Fibra Dietética %
Control	39.94±0.34 ^a	1.46±0.07 ^a	2.64±0.11 ^a	7.86±0.48 ^a
Formulación 50% amaranto	77.75±1.08 ^b	3.25±0.08 ^b	2.3±0.1 ^a	13.69±0.5 ^b

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

En la capacidad antioxidante hubo diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$) siendo el doble en la formulación seleccionada. La oxidación en un sistema biológico se entiende como un aumento en la presencia de compuestos reactivos formados por oxígeno que resultan tóxicos por alterar la función normal celular. De tal suerte, se conocen en la naturaleza muchos compuestos que son capaces de retardar o prevenir las reacciones de oxidación gracias a su naturaleza secuestrante o reductora. Se han caracterizado muchos compuestos con actividad antioxidante en el amaranto, en prácticamente todas las partes de la planta. El principal componente antioxidante que se ha encontrado en diferentes extractos de amaranto, incluyendo hojas, tallos y semillas, es el flavonoide polifenólico rutina siendo un potente antioxidante, antimicrobiano y fungicida; otros compuestos antioxidantes encontrados en distintos extractos de la planta de amaranto son: fitoesteroles, antocianinas, fenoles, betacianinas, betaxantinas, nicotiflorina, isoquercetina, ácido 4-hydroxybenzoico, ácido p-cumárico, vitamina C, neoxantina, violaxantina, luteína, alfa y beta caroteno (Algara *et. al.*, 2013).

Los fenoles también tuvieron diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$), siendo el doble en la formulación seleccionada, los compuestos fenólicos se encuentran de manera abundante en los alimentos y la mayoría de ellos tienen la habilidad de atrapar radicales libres de hidróxidos o peróxidos, quelar metales e inhibir la producción de radicales libres. Debido a estas características se les

atribuyen efectos como antioxidantes, antiestrogénicos, antiproliferación celular, así como su posible utilidad como antibiótica, antialérgico, antidiarreico, antiúlceras y como agentes antiinflamatorios (Sánchez, 2018).

Estas propiedades que comúnmente se les atribuyen explican su beneficio potencial en la reducción de la incidencia de la mayoría de las enfermedades degenerativas como el cáncer, las enfermedades cardiovasculares y la diabetes (Sánchez, 2018).

La fibra dietética tuvo una diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$), debido a que la formulación seleccionada fue casi 2 veces mayor que el control; se ha reportado que el amaranto contiene de 8-16% de fibra dietaria en la semilla completa, y 33-44% de este es fibra soluble mientras del 67-56 % de fibra insoluble (Sánchez, 2018). En general, la fibra dietética de amaranto está compuesta por xiloglucanos y polisacáridos pécticos. Los monosacáridos que forman parte de la fibra dietética insoluble, que corresponde al 78 % de la fibra dietética total, son ácido galacturónico, arabinosa, galactosa, xilosa y glucosa. La fibra soluble (22 %) está formada por glucosa, ácido galacturónico y arabinosa (Sisti, 2020). La fibra dietética tiene abundantes beneficios a nuestra salud como controlar el tránsito intestinal, las deposiciones y reducir niveles de colesterol, con una ingesta suficiente de fibra, una serie de enfermedades intestinales como el estreñimiento, diverticulosis, hemorroides, cáncer de colon o colitis ulcerosa tienen una incidencia mucho menor. Asimismo, algunas enfermedades metabólicas como la diabetes o la hiperlipidemia pueden prevenirse y regularse (Almeida *et al.*, 2014).

La formulación seleccionada tiene más fibra dietaria debido a que la harina que se utilizó de amaranto fue integral y no refinada a comparación del trigo, también ayuda a que podamos sentir saciedad al momento de consumirla, esto es importante porque ayudará a no comer en exceso; además del amaranto el coco rallado que también contiene fibra dietética y como sabemos es un ingrediente tradicional en este tipo de pan dulce (Cruz, 2013).

3.7 Calidad nutrimental de los productos

Los resultados de la calidad nutrimental de los productos (entre el pan control y el pan con 50% harina de amaranto) se muestran en la Tabla 26.

Tabla 26. Calidad nutrimental del pan danés control y 50% harina de amaranto

Muestra	Digestibilidad <i>in vitro</i> %	Triptófano g Trp/g Proteína	Almidón Total %	Almidón Digerible %
Control	85.18±1.16 ^a	0.55±0.29 ^a	44.68±0.09 ^a	42.02 ^a
Formulación 50% amaranto	87.44±1.3 ^a	0.57±0.01 ^a	47.2±0.9 ^a	44.9 ^a

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

En la calidad nutrimental podemos observar que no hubo diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$), en cuanto a digestibilidad fue mayor en el pan seleccionado, esto podría ser debido al debilitamiento en la estructura del mismo pan por la incorporación de la harina de amaranto carente de gluten, lo que facilitó el acceso a las enzimas responsables de la digestibilidad, cabe mencionar que otros factores como son inhibidores de proteasas, ácido fítico, los polifenoles y taninos también interfieren en el proceso pero al someterse a un proceso térmico de cocción se considera suficiente para inactivar los mismo y permitir una fácil digestibilidad (Martínez, 2010). Por la parte del almidón digerible sabemos que es aquel almidón que se convierte a moléculas de glucosa en 20 min de digestión enzimática (Quiroga, 2008). El índice glucémico de un alimento se refiere al efecto de ese alimento sobre los niveles de azúcar en la sangre. El índice glucémico (IG) se relaciona con la velocidad de hidrólisis y digestión del almidón, debido a que existen reportes en los cuales realizaron estudios en pacientes con diabetes mellitus, aplicando diferentes dietas: en estos estudios se encontró que las dietas con almidón resistente o de digestión lente el IG fue bajo; mientras que en las dietas con almidón digerible el IG fue alto (Ocegueda, 2018).

La disminución del contenido de triptófano de la materia prima al producto seleccionado posiblemente sea debido al tratamiento térmico del horneado (180°C) del pan danés ya que es un aminoácido esencial sensible al calor. Sin

embargo, cabe mencionar que al estar presente siendo un aminoácido termosensible, su presencia es positiva pues indica que los demás aminoácidos siguen presentes en el producto después de la cocción (Murray *et al.*, 2005).

El triptófano es uno de los principales aminoácidos que en su carencia representan mayores problemas para la salud humana, su carencia es típica en poblaciones que tienen difícil acceso a productos de origen animal, y en las cuales, los cereales o los tubérculos se convierten en la base de su alimentación. El déficit de aminoácidos esenciales afecta mucho más a los niños que a los adultos (Gozález *et al.*, 2007).

3.8 Digestibilidad *in vivo* y Relación de eficiencia proteica (PER)

Los resultados de la digestibilidad *in vivo* y PER en los roedores se muestran en la Tabla 27.

Tabla 27. Resultados de la digestibilidad *in vivo* y PER

Muestra	Digestibilidad <i>in vivo</i> %	PER ajustado
Formulación seleccionada	92.94±1.61	1.93

Según Friedman (1996) al obtener un valor de PER de 1.5- 2 se considera una proteína de buena calidad nutrimental, a partir de esto se puede decir que la calidad proteica del pan danés con 50% harina de amaranto es considerada de buena calidad. De esta manera se puede decir que el uso de harina de amaranto en la formulación del pan tipo danés es conveniente ya que según López (2021) el PER ajustado de la harina de trigo fue de 0.83 es decir la calidad nutrimental del pan seleccionado fue mejor, con un valor de PER de más del doble que la harina de trigo del pan control.

La FAO ha establecido que una baja digestibilidad se considera con un valor de 79% o menor; la digestibilidad de la formulación seleccionada fue de 92.94% lo que se considera alta, recordemos que 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 principalmente la absorción

de pequeñas moléculas (aminoácidos, ácidos grasos) en el intestino (Manríquez, s.f.), esto quiere decir que los ácidos grasos y proteínas de buena calidad que confiere la harina de amaranto a nuestro producto son aprovechados en un 92.94%.

Dentro del Anexo 5 y 6 se muestran los pesos y las imágenes de hígado y músculo de las ratas alimentadas con el pan danés con amaranto, en general el músculo tiene buen peso, aunque fue menor que el de las ratas alimentadas con caseína; mientras que los hígados también tuvieron buen peso, aunque algunos mostraban un poco de grasa. Estos resultados indican una buena asimilación de la proteína contenida en el producto elaborado en este trabajo.

De igual manera en el Anexo 7 y 8 se muestran los pesos y las imágenes de hígado y músculo de las ratas alimentadas con la dieta control de caseína.

3.9 Prueba sensorial de nivel de agrado

Los resultados de la prueba de nivel de agrado se presentan en la Tabla 2.

Tabla 28. Resultados de la prueba de nivel de agrado

Calificación	Aceptación %
8.0	82

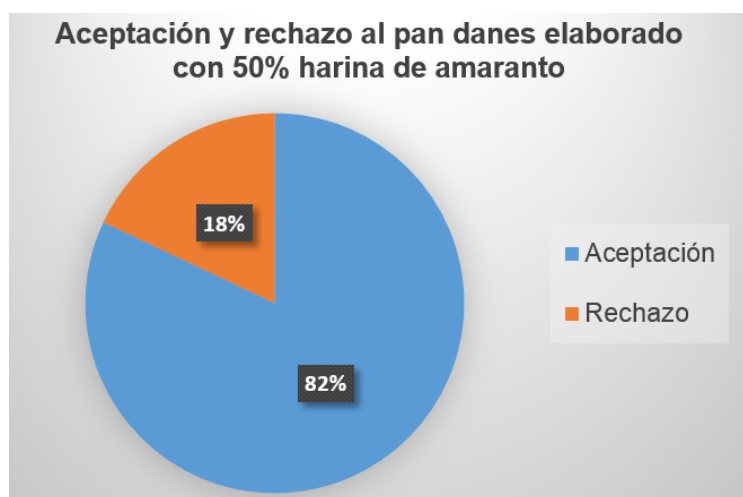


Figura 38. Gráfica de pastel de la prueba sensorial de nivel de agrado

Se observó que el promedio de nivel de agrado fue bueno dentro de una escala del 1 al 10 y dentro de los comentarios destacados se recalca la falta de dulzor, la mayoría de las personas al presentar el producto como un tipo de pan dulce esperaban más dulzor en el producto, de manera positiva la presentación, color y sabor en general fueron buenos. Por otro lado, la aceptación (Figura 38) fue alta de un 82% por lo que se puede esperar una buena reacción del consumidor si el producto se llegara a comercializar.

Sin embargo, la textura y apariencia del producto fue calificada de manera positiva pues la esponjosidad se notaba fácilmente.

CONCLUSIONES

- La harina integral de amaranto tuvo una mejor composición química, calidad nutrimental y funcional comparado con la harina de trigo por lo que se puede concluir que si puede lograrse una sinergia en su combinación para elevar su calidad nutrimental.
- Se logró elaborar el pan dulce tipo danés con buenas características físicas y sensoriales al usar las tres formulaciones planteadas, sin embargo la formulación seleccionada fue la que contenía 40% harina de trigo, 10% gluten vital y 50% de harina de amaranto.
- El pan dulce tipo danés con la formulación seleccionada tuvo una mejor calidad tanto en la composición química (Humedad=3.88, proteínas=15.17, grasas=25.27, cenizas=1.69 y fibra=5.32) como en el aspecto funcional (Capacidad antioxidante, fenoles y fibra dietética) y una calidad nutrimental buena con una alta digestibilidad *in vivo* y un valor alto de PER.
- El producto elaborado con la formulación seleccionada, que contiene harina integral de amaranto en un 50%, obtuvo una buena calificación de 8.03 en cuanto a preferencia en una escala del 1-10 así como un nivel de aceptación bueno del 82% con lo que se puede considerar una buena opción para su posible comercialización.

REFERENCIAS

- Agricultorers (2016). ¿Dónde y cómo se originó la agricultura?. Recuperado: 2021. Disponible en: www.agricutorers.com/donde-y-como-se-origino-la-agricultura/
- Agrofy News (2021). La molienda de trigo fue la más alta de la últimas 7 campañas. Recuperado: 2022. Disponible en: <https://news.agrofy.com.ar/noticia/191944/molienda-trigo-fue-mas-alta-ultimas-7-campanas>
- Aguilar, H. (2012). Perfil de expresión a nivel transcripcional en respuesta a estrés salino en dos especies de amaranto (*Amaranthus cruentus* L. y *Amaranthus hypochondriacus* L.). Tesis de: Doctorado de Ciencias de biología molecular. IPICYT, S.L.P. México: 3.
- Aguirre, A. (2015). La planta de trigo. Recuperado: 2021. Disponible en: www.es.slideshare.net/AnalaAguirre/la-planta-de-trigo-54040687
- Algara, S., Gallegos, M., Reyes, H., (2016). El amaranto y sus efectos terapéuticos. Revista Académica de Investigación. 21: 55-73.
- Algara, S., Gallegos, M., Reyes, H. (2013). AMARANTO: EFECTOS EN LA NUTRICION Y LA SALUD. Revista Académica de Investigación, 12(1): 1-21.
- Almeida, A., Aguilar, L., Hervert, H. (2014). La fibra y sus beneficios a la salud. Anales Venezolanos de Nutrición. 27(1): 73-76.
- Almirudis, E., Ramírez, W., Medina, R., Magaña, B., Torres, C., Ledesma, O. (2020). Actividad antioxidante de harinas de amaranto obtenidas por extrusión y análisis parcial de su calidad proteica *in vivo*. Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud. 22(1): 24-30.
- Altamirano, P., (2013). Estudio de *Triticum aestivum* para la concepción de un método estándar de extracción y caracterización de gliadinas. Memoria para licenciatura. Universidad Austral de Chile, Chile: 8-13.

- Alvarado, F. (2019). Como afecta el pan en nuestra dieta. Recuperado: 2021. Disponible en: <https://www.eluniversal.com.mx/menu/que-tan-malo-es-comer-pan>
- Álvarez, J., Arendt, E. K., Gallagher, E. (2010). Nutritive value of pseudocereals and their increasing use as functional gluten-free ingredients. *Trends in food science and technology*. 21: 106-113.
- Anderson, W. K., Garlinge, J. R. (2000). *The wheat book: principles and practice*, 2da edición, Agriculture Western Australia.
- A.O.A.C. (1990). *Official methods of Analysis of Association of Official Analytical Chemists*, Eds Howintz W., Washington (Método 960.48).
- A.O.A.C. (2005). *Official Methods of Analysis*. 18th ed. Association of Official Analytical Chemists-International Gaithersburg, Maryland, USA (Métodos empleados: 925.09, 920.39, 954.01, 923.03 y 989.03).
- Arce, V. (2017). *Uso integral del almidón de amaranto (Amaranthus hypochondriacus L.) en la producción de CGTasa para la síntesis de ciclodextrinas*. Tesis de doctorado. Universidad Autónoma Metropolitana, México.
- Ávila, M., Ávila, S., Riva, S., Martínez, H. (2014). *El cultivo de trigo*. Departamento de agricultura y ganadería. Universidad de Sonora, México.
- Badui, D. S. (2006). *Química de los alimentos*. Ed. Pearson Educación, 4ta edición, México: 397.
- Beltrán, H. (2016). Alimentos Funcionales. *Farmacia profesional*, 30(3): 12-14.
- Benitez, E., Villanueva, S., González, R., Alcántar, R., Puga, D., Quintero, G. (2020). Determinación de la capacidad antioxidante total de alimentos y plasma humano por fotoquimioluminiscencia: Correlación con ensayos fluorométricos (ORAC) y espectrofotométricos (FRAP). *TIP Rev. Esp. Cienc. Quím. Biol.* 23: 1-9.
- Berrueta, W. (2019). *Variabilidad en el contenido de gluten en una colección internacional de genotipos de trigo*. Trabajo final de carrera. Universidad Nacional de la Plata, Argentina: 6-7.

- Biotecnología (2015). Las diferencias entre alimentos funcionales y nutraceuticos. Recuperado: 2022. Disponible en: <https://www.foodnewlatam.com/biotecnolog%C3%ADa/59-ingredientes/1885-las-diferencias-entre-alimentos-funcionales-y-nutraceuticos.html>
- Brumovsky, A. (2011). Trigo. Recuperado: 2021. Disponible en: <http://www.aulavirtual-exactas.dyndns.org/claroline/backends/download.php?url=L1RyaWdvMjAxMS5wZGY%3D&cidReset=true&cidReq=RICIONUTRI>
- Cabezas, Z., Hernández, T., Vargas, Z. (2016). Azúcares adicionados a los alimentos: Efectos en la salud y regulación mundial. Rev. Fac. Med.; 64(2): 319-329.
- Cabrera, A. (2007). Desarrollo de una formulación de pasta para sopa tipo tallarin a base de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*) con alta calidad nutrimental. Tesis de licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, México.
- Carbajal, C. (2017). Minerales. Manual de Nutrición y Dietética. Universidad Complutense de Madrid, España.
- Castillo, C., Arias, S. (2017). Relación entre el consumo de carbohidratos y los factores de riesgo del Síndrome Metabólico en adultos de las zonas de El Quinche, Tumbaco y Cumbayá – 2017. Trabajo de titulación, Ecuador: 14.
- Chaquilla, Q., Balandrán, Q., Mendoza, W., Mercado, R. (2018). Propiedades y posibles aplicaciones de las proteínas de salvado de trigo. Ciencia UAT; 12(2): 137-147.
- Church, D. C. (1993). El Rumiante, Fisiología digestiva y nutrición. Editorial Acribia. Zaragoza España.
- Corporán, P. (2010). Panadería y repostería. INFOTEP, España.
- Cruz, H. (2015). Elaboración de un bagela base de trigo y amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*) con alta calidad nutrimental. Tesis de licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, México.

- Cruz, M. (2013). Duque. Nuestro pan dulce. Recuperado: 2022. Disponible en: <http://nuestropandulce.blogspot.com/2013/03/duque.html>
- 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.
- Da Silva M. C., Selma R. P. (2012). Antioxidant activity and flavonoid content of *Clusia fluminensis*. Planch & Triana. Anais da Academia Brasileira de Ciencias 85(3): 609-616.
- Díaz, A. (2014). Desarrollo de una formulación para elaborar una dona de trigo horneada complementada con amaranto. Tesis de licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, México.
- Díaz, Y., (2011). Historia y presente del pan: Importancia alimentaria y cualidades nutricionales. Distribución y consumo. (1): 70-78.
- Divito, G., García, F. (2017). Manual del cultivo de trigo. Primera Edición; International Plant Nutrition Institute, Argentina.
- El poder del consumidor (2020). Las principales causas de muerte en México derivan de una mala alimentación. Recuperado: 2021. Disponible en: <https://elpoderdelconsumidor.org/wp-content/uploads/2020/10/b-2010-dia-d-muertos.pdf>
- Escobedo, G. (2013). Desarrollo de una botana complementada con harina de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*) para aumentar su calidad nutrimental. Tesis de: Licenciatura en Ingeniería en alimentos, UNAM, México: 24-25.
- Espitia, R., Mapes, S., Escobedo, L., López, D., De la O, O., Rivas, V., Martínez T., Cortés, E., Hernández, C. (2010). Conservación y uso de los recursos genéticos de amaranto en México, inifap-Centro de Investigación Regional Centro, México: 201.
- Fernández, A. J. (2016). Definición de cereal. Recuperado: 2022. Disponible en: <https://www.encyclopediasalud.com/definiciones/cereal>
- Friedman, M. (1996). Nutritional value of proteins from different food sources. A review. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 44(1): 6-29

- García, C. (2019). Masa Danesa. Recuperado: 2021. Disponible en: <https://www.cayetanogarcia.net/recetas-bolleria-masa-danesa/>
- García O., Infante, R., Rivera, C. (2008). Hacia una definición de fibra alimentaria. *Anales Venezolanos de Nutrición*, 21(1): 25-30.
- Garduño, G. (2019). Receta de pan danés: origen y secretos. Recuperado: 2021. Disponible en: <https://blogs.unitec.mx/vida-universitaria/receta-de-pan-danes-origen-secretos/>
- Gasca, F. (2021). El pan dulce y su lado oscuro. Recuperado: 2021. Disponible en: <https://amhigo.com/actualidades/ultimas-noticias/120-nutricion-e-higado/1219-el-pan-dulce-y-su-lado-oscuro>
- González, T., Téllez, V., Sampedro, G., Nájera, H. (2007). Las proteínas en la nutrición. *Revista Salud Pública y Nutrición*, 8(2).
- Goñi I., García, D. L., Mañas, E., Saura C. F. (1996). Análisis de almidón resistente: un método para alimentos y productos alimenticios. *Quím. Alimenticia*. 56: 445-449.
- Guillen, L. V. (2009). Estructura y propiedades de las proteínas. Recuperado: 2021. Disponible en: https://www.uv.es/tunon/pdf_doc/proteinas_09.pdf
- Gutiérrez, Z., Ledesma, R., García, G., Grajales, C., (2007). Capacidad antioxidante total en alimentos convencionales y regionales de Chiapas, México. *Revista Cubana de Salud Pública*, 33(1): 1-7.
- Hart, F. L., Fisher H. J. (1991). *Análisis moderno de los alimentos*. España: Acribia.
- Hsu, H. W., Vavak, D. L., Satterlee, L. D., Miller G. A. (1977). A multienzyme technique for estimating protein digestibility. *Journal of food Science*. 42: 1269-1275.
- Hugo, W., Godiño, M. (2000). *Tecnología de almacenamiento de granos*. INIA, Uruguay.
- Induráin, P. (2010). Evaluación de variedades de triticale para distintos aprovechamientos: grano, forraje y biomasa energética y estudio

comparativo con variedades de trigo. Trabajo de fin de carrera. Universidad Pública de Navarra, España: 3-4.

- INEGI (2019). Características de las defunciones registradas en México en 2019. Recuperado: 2021. Disponible en: https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2020/EstSo_ciodemo/DefuncionesRegistradas2019.pdf
- Janeta, L., (2011). Evaluación agronómica de cinco materiales promisorios de trigo (*Triticum vulgare L.*) en dos localidades de la provincia de Chimborazo y una de la provincial de Bolivar. Tesis. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador: 5.
- Jiménez, M. C., Landa, R. Y. (2018). Propiedades nutricionales y funcionales de las distintas harinas utilizadas para la elaboración de un pan de alto valor nutricional. Propuesta práctica del examen de grado o de fin de carrera (de carácter complejo), UNEMI, Ecuador: 12-15.
- Loayza, F., (2014). Comportamiento agronómico y calidad comercial de tres cultivares de trigo harinero (*Triticum aestivum L.*), bajo las condiciones de valle costero. Tesis. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú: 13-14.
- López, S. (2021). Elaboración de un dulce tradicional “muégano” con harinas de trigo y amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*). Tesis de: Licenciatura en ingeniería de alimentos, UNAM, México: 73.
- Matías, M., Hernández, M., Beatriz Rebeca, Peña, C., Torres, L., Espinoza, M., Ramírez, P. (2018). Usos actuales y potenciales del Amaranto (*Amaranthus spp.*). Journal of negative & no positives results. 3(6): 423-436.
- Madrid, H. (2019). Estimación del perfil de aminoácidos óptimo para el mayor crecimiento y eficiencia alimenticia en juveniles de Totoaba, (*Totoaba macdonaldi*). Tesis de Doctorado. CICESE, México.
- Manríquez, H. (s.f.). La digestibilidad como criterio de evaluación de alimentos su aplicación en peces y en la conservación del medio ambiente. Recuperado: 2021. Disponible en: <https://www.fao.org/3/ab482s/AB482S08.htm#ch8>.

- Mapes, S. E. (2015). El amaranto. *Revista Ciencia*. 66(3): 9-15.
- Martínez, S. (2010). Utilización de pastas como alimentos Funcionales. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de la Planta, Argentina: 183-188.
- Martín, G. (2018). Los compuestos fenólicos: un acercamiento a su biosíntesis, síntesis y actividad biológica. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*. 9(1): 81-104.
- MedlinePlus, (2020). Realidades acerca de las grasas poliinsaturadas. Recuperado: 2022. Disponible en: <https://medlineplus.gov/spanish/ency/patientinstructions/000747.htm>
- Molina, E., González, R., Montero, K., Ferrer, R., Moreno, R., Sánchez, U. (2011). Efecto de la época de recolecta y órgano de la planta sobre el contenido de metales de *Amaranthus dubius*. *Mart. ex Thell. Interciencia*. 36(5): 386-391.
- Montenegro, M. D. (2012). Respuesta Agronómica De Trece Líneas Y Dos Variedades De Trigo Rojo (*Triticum Vulgare L.*). Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte, Ecuador: 5-7.
- Montero, Q., Moreno, R., Molina, E., Segundo, C., Sánchez, U. (2015). Evaluación de panes enriquecidos con amaranto para regímenes dietéticos. *Interciencia*. 40(7): 473-478.
- Morales, G., Vázquez, M., Bressani, C., (2014). El amaranto: características y aporte nutricio. Ed. Trillas, México.
- Murray, M. T., Pizzorno, J. E., Pizzorno, I. (2005). *Encyclopedia of healing foods*. Ed. Atria books.
- Nielsen, S. (2009). *Análisis de los alimentos*. Acribia, España.
- NMX-F-521-1992 ALIMENTOS - PRODUCTOS DE PANIFICACION - CLASIFICACION Y DEFINICIONES.
- Nuncio, S., (2016). Características generales del trigo blando y trigo duro y para qué se utiliza. Tesis. Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”, México: 13-17, 21.
- Ocegueda, F. (2018). Obtención de almidón resistente tipo III a partir de una modificación dual del almidón de malanga (*Colocasia esculenta Schott*)

y plátano (*Musa paradisiaca* L.): caracterización de digestibilidad, propiedades térmicas y moleculares. Tesis de maestría. Universidad de Papaloapan, México.

- Panaderos (2018). Día mundial del pan. Recuperado: 2022. Disponible en: <https://panaderos.info/?p=3812>
- Payehuanca, M., Matos, C. (2011). Congreso Nacional de Investigación. IASD, Perú.
- Peñarrieta, J., Tejeda, L., Molliendo, P., Villa, J., Bravo, J. (2014). Compuestos fenólicos y su presencia en alimentos. *Revista Boliviana de Química*. 31(2): 68-81.
- Porras, L., Lopez M. (2009). Importancia de los grupos fenólicos en alimentos. *Temas Selectos de Alimentos*, 3(1): 121-134.
- PROFECO (2017). Encuesta sobre los hábitos de consumo de pan de dulce de harina de trigo. Gobierno de México. Recuperado: 2021. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/279977/Encuesta_sobre_lo_s_habitos_de_consumo_de_pan_de_dulce_de_harina_de_trigo.pdf.
- Purlis, E. (2010). Browning development in bakery products- A review. *Journal of Food Engineering*: 99, 239-249.
- Quiroga, L. C. (2008). Los almidones resistentes y la salud. *Investigación & desarrollo*. 8(1): 131-142.
- Rama, M., Tara, R., Krishnan, C. (1974). Colorimetric estimation of tryptophan content of pulses. *Journal Food Science and Technology*. 11: 213-216
- Ramírez, N. (2012). Análisis sensorial: pruebas orientadas al consumidor. *Revista ReCiTeIA*. 12(1): 89-90.
- Rawson, H., Mcpherson, G. (2001). Trigo Regado. Organización de las Naciones Unidas y la Alimentación.
- Rodas, B., Bressaani, R. (2009). Contenido de aceite, ácidos grasos y escualeno en variedades crudas y procesadas de grano de amaranto. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 59(1): 82-87.

- Ronco, L. (2009). Usos potenciales del escualeno. *Tendencias en Medicina*. 1(1): 95-100.
- Safont, S. (2003). Triptófano: aminoácido amigo. *Naturam*, 21(1): 34-38.
- Sánchez, O. (2018). Bebidas funcionales elaboradas con mezclas de granos integrales (Amaranto/Chía) procesados por extrusión y germinación. Tesis de: Maestra en ciencia y tecnología de alimentos. Universidad Autónoma de Sinaloa, México: 48.
- Secretaría de economía (2017). Conoce más sobre la industria de la panificación en México. Recuperado: 2022. Disponible en: <https://www.gob.mx/se/articulos/conoce-mas-sobre-la-industria-panificadora-en-mexico?idiom=es>
- Seghezzo, L., Molfese, R. (2006). *Calidad en Trigo Pan*. INTA. Buenos Aires, Argentina.
- SENASICA (2016). El trigo: cereal ancestral. Gobierno de México. Recuperado: 2022. Disponible en: <https://www.gob.mx/senasica/articulos/el-trigo-cereal-ancestral>
- Sisiti, S. (2020). Proteínas y fibra de amaranto: Actividad sobre el metabolismo de colesterol. Tesis doctoral. Universidad Nacional de la planta, Argentina: 29.
- Tres Estrellas®, (2016). Nuestros productos. Recuperado: 2022. Disponible en: <https://tres-estrellas.com/nuestros-productos/harina-de-trigo>.
- Unidad de Informática del Instituto de Química (2016). Escualeno. Recuperado: 2022. Disponible en: <https://uniquim.iquimica.unam.mx/glossary/escualeno/>
- Valadez, M., 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.
- Vega, R. (2009). Proteínas de la harina de trigo: clasificación y propiedades funcionales. *Temas de Ciencia y tecnología*. 13(38): 27-32.
- Velasco, O. (2020). Pros y contras de consumir harina blanca o integral. Recuperado: 2021. Disponible en:

<https://www.directopaladar.com.mx/ingredientes-y-alimentos/pros-contras-consumir-harina-blanca-integral>.

- Villanueva, F. (2014). El gluten y su rol en la industria de la panificación. *Ingeniería Industrial*, 32: 231-246.

ANEXOS

Anexo 1

Formato de la prueba sensorial de preferencia.

Edad:	Sexo: H M	Fecha:
-------	-----------	--------

Nota: tome agua antes de iniciar la prueba y posteriormente entre cada degustación consuma una porción de agua.

INSTRUCCIONES: Pruebe las muestras y ordene según su preferencia asignándole un valor del 1 al 3, siendo:

1= La que menos me gusta

3= La que más me gusta

No se permiten empaque. En el espacio de abajo explique brevemente la razón de su decisión.

Muestras	3021	2150	2701
Valor			

¿Por qué?

Anexo 2

Formato de la prueba sensorial de nivel de agrado

Prueba Sensorial Nivel de Agrado

Edad: _____ Sexo: H M _____ Fecha: _____

INSTRUCCIONES: Pruebe la muestra de pan y sobre la línea indique con una "X" su nivel de agrado respecto al producto. Posteriormente indique brevemente su decisión

Me disgusta mucho Me gusta Me gusta mucho

¿Por qué?

Anexo 3

Resultados de la prueba sensorial de preferencia

Muestras Hombres				Muestras Mujeres			
3021	2150	2701	Edad	3021	2150	2701	Edad
2	3	1	21	3	1	2	23
1	2	3	24	1	2	3	22
1	2	3	52	2	3	1	26
3	2	1	24	1	3	2	55
1	3	2	32	3	1	2	42
2	3	1	13	3	2	1	37
3	1	2	23	2	3	1	23
1	2	3	58	3	1	2	24
1	3	2	24	2	3	1	21
1	3	2	43	2	3	1	23
2	1	3	43	1	3	2	26
1	2	3	27	2	3	1	26
3	2	1	40	3	2	1	51
2	1	3	21	1	2	3	60
1	3	2	52	2	3	1	50
3	2	1	54	3	1	2	33
1	3	2	24	2	3	1	21
3	2	1	10	3	1	2	54
1	3	2	26	2	3	1	19
2	3	1	19	1	3	2	51
1	3	2	27	2	3	1	52
3	2	1	31	1	3	2	20
2	1	3	55	3	2	1	48
1	3	2	64	3	2	1	60
1	3	2	48	3	1	2	47
3	1	2	41	1	2	3	23
3	1	2	15	1	2	3	27
1	3	2	32	2	1	3	46
3	1	2	54	1	3	2	26
2	3	1	61	2	1	3	40
3	2	1	20	3	1	2	47
3	1	2	9	1	2	3	35

2	3	1	60	1	2	3	23
2	3	1	20	2	1	3	63
3	2	1	52	1	3	2	54
1	3	2	22	3	1	2	45
1	2	3	22	2	3	1	65
1	2	3	18	2	1	3	63
1	2	3	24	3	2	1	8
2	1	3	13	2	3	1	57
1	2	3	14	1	2	3	43
2	3	1	11	2	1	3	57
2	3	1	53	1	3	2	42
3	2	1	17	1	2	3	50
3	2	1	22	3	2	1	66
3	1	2	16	2	1	3	9
1	2	3	16	3	1	2	48
2	3	1	23				
1	3	2	23				
3	2	1	63				
3	2	1	40				
2	3	1	35				
1	2	3	15				
3	2	1	15				
3	2	1	13				
Sumatoria final Hombres y mujeres							
3021		2150		2701			
201		219		192			

Anexo 4

Resultados de la prueba sensorial de nivel de agrado

No. Juez	Valor	No. Juez	Valor	No. Juez	Valor	No. Juez	Valor	No. Juez	Valor
1	3.1	21	6.4	41	7.8	61	9.1	81	9.9
2	4.5	22	6.5	42	7.9	62	9.1	82	9.9
3	4.6	23	6.8	43	7.9	63	9.2	83	9.9
4	4.6	24	6.8	44	7.9	64	9.2	84	10
5	4.7	25	6.8	45	8.1	65	9.2	85	10
6	4.7	26	6.8	46	8.2	66	9.4	86	10
7	4.7	27	7	47	8.3	67	9.4	87	10
8	4.7	28	7	48	8.4	68	9.4	88	10
9	4.8	29	7	49	8.4	69	9.5	89	10
10	4.8	30	7.2	50	8.6	70	9.5	90	10
11	5	31	7.3	51	8.7	71	9.5	91	10
12	5	32	7.4	52	8.7	72	9.5	92	10
13	5.1	33	7.4	53	8.8	73	9.5	93	10
14	5.5	34	7.4	54	8.8	74	9.5	94	10
15	5.5	35	7.5	55	8.9	75	9.6	95	10
16	5.6	36	7.5	56	8.9	76	9.8	96	10
17	5.6	37	7.5	57	8.9	77	9.8	97	10
18	5.9	38	7.5	58	9	78	9.8	98	10
19	6.1	39	7.7	59	9	79	9.8	99	10
20	6.1	40	7.7	60	9	80	9.9	100	10
								Promedio	8.034

Anexo 5

Tabla de pesos y observaciones generales del hígado y muslo de ratones Winstar alimentados con la dieta del pan tipo danés

Rata	Peso del ratón	Hígado (g)	Muslo (g)	Observaciones
1	66	5.81	1.87	Hígado grasoso y músculo
2	59	4.72	2.63	Hígado grasoso y músculo. Grasa subcutánea.
3	59	5.68	2.12	Hígado grasoso y músculo. Grasa subcutánea
4	50	5.54	2.22	Hígado grasoso y músculo. Grasa subcutánea
5	45	---	---	---
6	38	3.75	1.65	Hígado grasoso y músculo. Grasa subcutánea

Anexo 6

Tabla con la imagen de los hígados de ratones Winstar alimentados con la dieta del pan tipo danés






No. Rata	Imagen	No. Rata	Imagen
1		4	
2		5	-----
3		6	

Imagen del comparativo de muslos e hígados de ratones Winstar alimentados con la dieta del pan tipo danés



Anexo 7

Tabla de pesos y observaciones generales del hígado y muslo de ratones Winstar alimentados con la dieta control de caseína

Rata	Peso del ratón	Hígado (g)	Muslo (g)	Observaciones
1	61	10.36	5.58	Grasa subcutánea, hígado poco grasoso y mucho músculo
2	61	11.14	5.01	Hígado poco grasoso y mucho músculo
3	50	11.75	5.41	Hígado poco grasoso y mucho músculo
4	55	9.24	4.71	Hígado menos grasoso que el resto de la caseína y mucho músculo
5	41	9.69	4.65	Hígado poco grasoso y mucho músculo
6	40	9.52	4.49	Hígado poco grasoso y mucho músculo

Anexo 8

Tabla con la imagen de los hígados de ratones Winstar alimentados con la dieta control de caseína







1		4	
2		5	
3		6	

Imagen del comparativo de muslos e hígados de ratones Winstar alimentados con la dieta del pan tipo danés

