



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTILÁN

Elaboración de un pan de caja con harina de trigo
y lenteja para mejorar su calidad nutrimental

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERA EN ALIMENTOS

PRESENTA:

SAHIAN RUIZ MELENDEZ

ASESOR: DR. ENRIQUE MARTÍNEZ MANRIQUE

COASESOR: I.A VERÓNICA JIMÉNEZ VERA

CUAUTILÁN IZCALLI, EDO. DE MÉXICO, 2023



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
SECRETARÍA GENERAL
DEPARTAMENTO DE TITULACIÓN**

ASUNTO: VOTO APROBATORIO



**DR. DAVID QUINTANAR GUERRERO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE**

ATN: DRA. MARÍA DEL CARMEN VALDERRAMA BRAVO
Jefa del Departamento de Titulación
de la FES Cuautitlán.

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

Elaboración de un pan de caja con harina de lenteja y trigo para mejorar su calidad nutrimental.

Que presenta la pasante: **Sahian Ruiz Melendez**
Con número de cuenta: **417095758** para obtener el Título de: **Ingeniera en Alimentos.**

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

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 14 de Abril de 2023.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	I.A. Patricia Muñoz Aguilar	
VOCAL	Dr. Enrique Martínez Manríque	
SECRETARIO	Dra. María Guadalupe Sosa Herrera	
1er. SUPLENTE	Dr. Ricardo Moisés González Reza	
2do. SUPLENTE	Dra. Alma Adela Lira Vargas	

NOTA: Los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional.
En caso de que algún miembro del jurado no pueda asistir al examen profesional deberá dar aviso por anticipado al departamento.



AGRADECIMIENTOS

Esta tesis se realizó con el apoyo del proyecto DGAPA-PAPIME 200522 “Mejoramiento de la enseñanza teórico-práctico mediante un aula y laboratorio virtuales en el Taller Multidisciplinario de Procesos Tecnológicos de Cereales de la carrera de Ingeniería en alimentos de FESC-Cuautitlán”

Se agradece el apoyo del programa de cátedras de investigación “Cambios moleculares generados durante el almacenamiento de granos no convencionales en la elaboración de alimentos procesados” con clave CI 2253 de la FESC-Cuautitlán de la UNAM.



A **Dios** por darme la vida, por darme todo lo que tengo, por ser quien soy y por estar donde estoy. Gracias por haberme acompañado y guiado durante la carrera para poder concluir una de las etapas más importantes de mi vida. Agradezco por tu presencia constante en mi vida y estoy segura de que me tienes destinadas cosas maravillosas por delante.

A mi mamá **Rosa María Melendez Quezada** quiero agradecerte por todo el apoyo, paciencia, dedicación y amor incondicional que me has brindado. Gracias por confiar en mí, por ser la fortaleza que necesitaba en esos momentos difíciles, por impulsarme a ser mejor y recordarme que yo podía con todo lo que me propusiera, este triunfo es de las dos porque sin ti nunca lo hubiera logrado. Eres la mujer más fuerte, inteligente y disciplinada que he conocido en mi vida, por eso eres mi ejemplo a seguir, mi motivación y mis energías para seguir adelante, te amo mamita hermosa.

A mi papá **Marcelo Ruiz Torres** quiero agradecerte por todo el amor, apoyo y dedicación que me has dado a lo largo de mi vida, por aconsejarme, guiarme y exigirme en el momento adecuado para hacer de mí una mujer de bien. Gracias infinitas porque con tu esfuerzo y trabajo me has ayudado a llegar a este momento tan importante de mi vida y este logro también es tuyo papi, te amo.

A mi esposo **Leonardo Brizuela Alba** por todo el amor, paciencia, apoyo y dedicación que me diste para concluir esta etapa en mi vida, sin tu ayuda nada de esto sería posible. Gracias por que desde que llegaste a mi vida me has impulsado a superarme profesionalmente, por darme palabras de aliento para no dejarme caer cuando sentía que ya no podía más. Gracias por enseñarme tantas cosas académicas y darme consejos para mi examen, ya que eso fue fundamental para entrar a la UNAM y por ello estaré siempre muy agradecida. Eres una de las personas más importantes en mi vida, que me ha guiado para trascender y ser una mejor persona, definitivamente no hay día por bueno o malo que no elija vivirlo a tu lado, sé que Dios nos tiene destinadas cosas maravillosas para los dos, te amo mucho.

A mis hermanos **Zayil Ruiz Melendez** y **Levi Ruiz Melendez** por cuidarme desde que era pequeña, darme su cariño, sus consejos, ánimos para no desistir de mis objetivos, ayudarme cuando los necesite y por estar al pendiente de mí hasta ahora. Le doy gracias a Dios por haberme dado a dos hermanos maravillosos que, aunque me hubiera gustado no tener tanta diferencia en edad, sé que voy a poder contar con ustedes cuando los necesite y tengan la certeza que yo siempre voy a estar para ustedes, los amo.

A mis sobrinos/as: **Daniela, Carlos Merari, Guerson Misael, Everardo Daniel, Samara Ruby y Jaziel Adair** por ser parte importante en mi vida y darle felicidad a mis días, así como también ser fuente de inspiración para no rendirme en los momentos más difíciles. Este trabajo va dedicado a mis niños/as hermosos/as que los amo como si fueran míos, a cada uno de ustedes les agradezco porque me han enseñado cada uno en su momento grandes lecciones. Espero que ustedes tomen ejemplo de este logro, trabajen duro para hacer realidad sus sueños y para ello pueden contar conmigo siempre.

A mis amigos **Ariadna y Luis David** por la amistad y cariño que me dieron durante todo mi camino por la universidad, por hacer mis días más divertidos, por todas las buenas pláticas y por su apoyo tanto académico como personal. Gracias a que contaba con su amistad fue más fácil sobre llevar todo lo que vivimos a lo largo de la carrera porque sin ustedes nada hubiera sido lo mismo. Y aunque ahora no nos podamos ver tan seguido como antes sé que nuestra amistad es muy fuerte que seguirá a pesar de la distancia, los quiero mucho.

A mi amiga **Karina †** por todo el cariño, apoyo y paciencia que me tuviste durante la etapa que la vida nos permitió estar juntas, estoy muy agradecida con Dios por permitirme conocerte y que fueras mi amiga, gracias a ti pude superar un momento complicado de la carrera y pude seguir estudiando. Me quedo con todos los buenos momentos a tu lado, las risas, las pláticas, las aventuras que a veces me encantaría volver tan solo un momento a ellos, pero sé que siempre vas a estar conmigo, aunque no sea de la misma forma que antes y no pueda compartir físicamente contigo mis logros, sé que estarías muy orgullosa y feliz por mí, te quiero y te extraño muchísimo.

A mis compañeras y amigas de laboratorio **Ana Cristina, Arly, Maribel, Bet-el y Liz** por todo el apoyo que me brindaron, definitivamente sin su ayuda no hubiera sido posible terminar el trabajo. Me quedo con todos los bonitos momentos que vivimos juntas, las pláticas, las aventuras e incluso los malos ratos, todo eso fue increíble porque las tenía a ustedes, las quiero y voy a extrañar chicas.

A mi asesor **Dr. Enrique Martínez Manrique** por ser parte de este trabajo y ayudarme a concluirlo, por compartir sus conocimientos conmigo, por los buenos momentos que compartimos y hacer que mi estancia en el laboratorio fuera de las mejores experiencias de la carrera. Gracias por su tiempo y por creer en mí.

A mi coasesora **I.A. Verónica Jiménez Vera** por su paciencia, tiempo, apoyo y conocimiento para concluir este trabajo porque sin usted no hubiera sido posible. Gracias por su orientación en las experimentaciones porque de no haber estado conmigo y mis compañeras hubiéramos incendiado el laboratorio. Me llevo muy lindos recuerdos de usted y de las mejores experiencias por todas las pláticas que hicieron mi estancia en el laboratorio muy agradable.

A mis **sinodales** quienes dedicaron su tiempo para revisar y ayudarme a mejorar mi trabajo con sus recomendaciones y puntos de vista.

A la **UNAM y FESC Cuautitlán**, por hacer realidad mi sueño de estudiar en la máxima casa de estudios, así como también darme la oportunidad de formarme académica y personalmente. Gracias por abrirme las puertas de la que fue mi segunda casa y poner en mi camino a personas maravillosas que se quedaran en mi corazón por siempre. **¡Por mi raza hablara el espíritu!**

Con cariño Sahian Ruiz Melendez.

ÍNDICE

Resumen.....	1
Introducción.....	2
CAPÍTULO I. ANTECEDENTES	4
1.2 Trigo.....	4
1.2.1 Origen.....	4
1.2.2 Morfología de la planta	5
1.2.3 Morfología del grano del trigo	6
1.2.1 Producción de trigo.....	7
1.2.2 Composición química	9
1.2.3 Harina	11
1.2.4 Harina de trigo	12
1.3 Lenteja	14
1.3.1 Definición.....	14
1.3.2 Origen.....	14
1.3.3 Morfología.....	14
1.3.1 Producción de lenteja	17
1.3.2 Composición química	18
1.3.3 Factores anti-nutrimientales	20
1.3.4 Beneficios de consumo de lentejas	22
1.3.5 Tendencias de consumo de lenteja	22
1.4 Panificación.....	24
1.4.1 Sistemas de elaboración	24
1.4.2 Historia del pan.....	25
1.4.3 Pan blanco de caja	26
1.4.4 Características del pan blanco de caja	26
1.4.5 Consumo del pan de caja	28
1.4.6 Tendencias de pan de caja saludable	29
CAPÍTULO II. DESARROLLO EXPERIMENTAL	31
2.1 Objetivos.....	31
2.1.1 Objetivo general.....	31
2.1.2 Objetivos particulares	31

2.2	Cuadro metodológico	32
2.3	Metodología	33
2.3.1	Material biológico.....	33
2.3.2	Preparación de la muestra.....	33
2.3.3	Análisis químico proximal	34
2.4	Elaboración de pan de caja.....	39
2.4.1	Diagrama de bloques.....	40
2.5	Prueba sensorial de preferencia	44
2.6	Calidad nutrimental	44
2.6.1	Triptófano (cuantificación)	44
2.6.2	Digestibilidad <i>in vitro</i>	46
2.6.3	Almidón total.....	47
2.6.4	Almidón digerible	49
2.6.5	Relación de eficiencia proteica (PER)	49
2.6.1	Digestibilidad <i>in vivo</i>	50
2.7	Compuestos funcionales.....	51
2.7.1	Fibra dietética.....	51
2.7.2	Almidón resistente	53
2.7.3	Capacidad antioxidante	55
2.7.4	Compuestos fenólicos	56
2.8	Factores anti-nutrimentales.....	58
2.8.1	Taninos.....	58
2.8.2	Ácido fítico	59
2.8.3	Inhibidores de tripsina.....	61
2.9	Prueba sensorial de nivel de agrado.....	62
2.10	Análisis estadístico.....	63
CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN		64
3.1	Análisis químico proximal de la materia prima	64
3.2	Análisis nutrimental de la materia prima.....	65
3.3	Análisis funcional de la materia prima	66
3.4	Factores anti-nutrimentales de la materia prima	68
3.5	Prueba de preferencia.....	69

3.6	Análisis químico proximal del pan de caja control y seleccionado	70
3.7	Análisis nutrimental del pan de caja control y seleccionado.....	71
3.8	Digestibilidad <i>in vivo</i> y relación de eficiencia proteica (PER) del pan de caja control y seleccionado	72
3.8	Análisis funcional del pan de caja control y seleccionado	75
3.9	Factores anti-nutrimientales del pan de caja control y seleccionado	76
3.10	Prueba de nivel de agrado	77
	CONCLUSIONES.....	79
	Referencias	80
	Anexos	88

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Espiga de trigo.....	4
Figura 2.	Planta de trigo.	5
Figura 3.	Morfología del grano del trigo.....	6
Figura 4.	Principales estados productores del trigo.....	8
Figura 5.	Mapa de los estados productores de trigo.....	8
Figura 6.	Planta de lenteja.....	15
Figura 7.	Morfología de la semilla de lenteja.	16
Figura 8.	Lenteja <i>vulgaris</i>	16
Figura 9.	Lenteja <i>variabilis</i>	16
Figura 10.	Lenteja <i>dupuyensis</i>	17
Figura 11.	Estados productores de lenteja.	18
Figura 12.	Lentejas preparadas con verduras.	23
Figura 13.	Pan de caja Bimbo.	25
Figura 14.	Pan de caja.	26
Figura 15.	Consumo del pan.	29
Figura 16.	Cuadro metodológico.	32
Figura 17.	Harina de trigo tres estrellas®.....	33
Figura 18.	Molienda de la semilla y tamizado.....	33

Figura 19. Estufa harsa.	35
Figura 20. Matraz kjeldahl y destilador.	36
Figura 21. Equipo soxhlet.	37
Figura 22. Incineración de muestra y Mufla Sybron.	38
Figura 23. Filtración con succión de vacío.	39
Figura 24. Diagrama de bloques del pan de caja.	41
Figura 25. Ingredientes para la elaboración de pan de caja.	41
Figura 26. Mezcla para elaboración de esponja.	42
Figura 27. Fermentación de la esponja.	42
Figura 28. Mezclado de los ingredientes en seco y húmedo.	42
Figura 29. Fermentación de la masa.	43
Figura 30. Moldeado de la masa.	43
Figura 31. Fermentado de la masa en el molde.	43
Figura 32. Horneado del pan.	43
Figura 33. Enfriado del pan.	44
Figura 34. Filtración y lectura de la muestra para la determinación de triptófano.	46
Figura 35. Montaje de baños para la determinación de digestibilidad <i>in vitro</i>	47
Figura 36. Muestra en baño para la determinación de almidón.	48
Figura 37. Jaulas para ratas Wistar.	50
Figura 38. Baño en ebullición de las muestras y filtración.	52
Figura 39. Muestra para la determinación de almidón.	54
Figura 42. Muestra en tubos.	59
Figura 43. Baño en ebullición con la muestra.	61
Figura 44. Colocación de la muestra en tubos.	62
Figura 45. Pan de caja.	78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición química del grano del trigo.	9
Tabla 2. Contenido de aminoácidos del trigo entero y harina de trigo (g/100 g de proteína).	10
Tabla 3. Composición química de la harina de trigo.	12

Tabla 4. Producción de lenteja.....	18
Tabla 5. Composición química del grano de lenteja.	19
Tabla 6. Composición de aminoácidos de semillas de lenteja.	19
Tabla 7. Contenido de vitaminas y minerales de la semilla de lenteja.	20
Tabla 8. Contenido anti-nutricional de las lentejas (expresado en materia seca).21	
Tabla 9. Composición química del pan de caja.....	27
Tabla 10. Formulación del pan de caja control.	40
Tabla 11. Descripción del diagrama de bloques	41
Tabla 12. Resultados del análisis químico proximal de la harina de trigo y lenteja.	64
Tabla 13. Resultados de la calidad nutricional de la harina de trigo y lenteja.....	66
Tabla 14. Resultados de los compuestos funcionales de la harina de trigo y lenteja.	67
Tabla 15. Factores anti-nutricionales de las harinas de trigo y lenteja.	68
Tabla 16. Resultados de la prueba sensorial de preferencia.	69
Tabla 17. Resultados del analisis quimico proximal del pan de caja control y seleccionado.	70
Tabla 18. Resultados de la calidad nutricional del pan control y seleccionado. ..	71
Tabla 19. Resultados de la digestibilidad <i>in vivo</i> y PER.	73
Tabla 20. Comparación entre hígados y músculos.	74
Tabla 21. Resultados de las propiedades funcionales del pan control y seleccionado.	75
Tabla 22. Factores anti-nutricionales del pan control y seleccionado.....	76
Tabla 23. Calificación y nivel de aceptación.	78
Tabla 24. Resultados de la prueba de preferencia del pan de caja.	90
Tabla 25. Resultados de la prueba de nivel de agrado del pan de caja.....	91
Tabla 26. Pesos de los hígados en ratas Wistar de pan de caja seleccionado.....	92
Tabla 27. Pesos de los músculos en ratas Wistar de pan de caja seleccionado. .	93
Tabla 28. Pesos de los hígados en ratas Wistar de pan de caja control.....	94
Tabla 29. Pesos de los músculos en ratas Wistar de pan de caja control.	95

Resumen

El cultivo de trigo es el más importante dentro de los cereales por su uso a nivel industrial, y sobre todo el uso de su harina con la cual se elaboran distintos productos alimenticios como el pan. La costumbre de comer pan es tradición en nuestro país, aunque durante los últimos años los consumidores han cambiado las preferencias de productos de panificación, pues ahora las personas optan con mayor frecuencia por panes más saludables, funcionales, envasados y de elaboración industrial. Para mejorar estos productos que son elaborados con harina de trigo refinada de baja calidad nutrimental, una buena opción es utilizar otros granos más nutritivos como la lenteja. Por lo anterior, en esta investigación se planteó la elaboración de pan de caja a partir de harina de trigo y lenteja para mejorar su calidad nutrimental y funcional. Se propusieron tres diferentes formulaciones variando el porcentaje de harina de lenteja, trigo y gluten en distintas proporciones (30% harina de lenteja, 60% harina de trigo y 10% de gluten, 50% harina de lenteja, 40% harina de trigo y 10% gluten y 70% harina de lenteja, 20% harina de trigo y 10% gluten), con las cuales se elaboró el pan de caja, seleccionando una formulación en base a una prueba sensorial. A la formulación seleccionada se le realizaron pruebas químicas (análisis químico proximal), propiedades nutrimentales (triptófano, digestibilidad *in vitro*, almidón total, almidón digerible, relación de eficiencia proteica y digestibilidad *in vivo*), propiedades funcionales (fenoles, capacidad antioxidante, almidón resistente y fibra dietética), factores anti-nutrimentales (taninos, ácido fítico e inhibidores de tripsina) y una prueba de nivel de agrado. Los resultados mostraron que la formulación seleccionada fue de 50% harina de lenteja, 40% harina de trigo y 10% de gluten, la cual presentó una mejor composición química que la formulación elaborada con 100% harina de trigo, debido a que tuvo un mayor contenido de proteína y fibra, así como menor contenido de grasa y carbohidratos. En las propiedades nutrimentales, también se obtuvieron valores buenos en digestibilidad *in vivo* e *in vitro*, mayor contenido en triptófano y una alta calidad proteica, y menor contenido en almidón total y digerible. Respecto a las propiedades funcionales se obtuvo mayor contenido de fenoles, capacidad antioxidante y fibra dietética en la formulación seleccionada con respecto al control. El contenido de anti-nutrimentales fue bajo en taninos y ácido fítico, y no hubo presencia de inhibidores de tripsina, por lo que no presentan riesgo en su consumo. Finalmente, el pan de caja elaborado con la formulación seleccionada obtuvo 76% de aceptación y una calificación de 7.7 en una prueba sensorial de nivel de agrado.

Introducción

El trigo panadero (*Triticum aestivum L.*) es el cereal más cultivado a nivel mundial y proporciona aproximadamente una quinta parte del aporte calórico total a la población mundial. Se utiliza para producir sémola y su producto más representativo, la harina, es la base de productos alimenticios como pan y galletas (Calixto, 2018).

La harina de trigo es la más usada en panificación, debido a que contiene las proteínas requeridas para formar el gluten con las características necesarias para elaborar productos de buena calidad. En México se comercializan dos tipos de harina de trigo: harina refinada y harina integral, la primera sufre un proceso de refinación y la segunda corresponde por definición a la molienda de todo el grano, sin embargo, los productos de panadería suelen estar hechos de harina refinada, la cual se caracteriza por un limitado valor nutricional (Torres *et al*, 2014; Calixto, 2018).

El pan es un producto esencial en la alimentación de las personas y que desde hace años ha formado parte de muchas culturas, debido a que es un alimento fácil de preparar y obtener (Mesas & Alegre, 2002).

En México existe una gran variedad de panes, ya que en promedio hay de 2,200 a 2,500 tipos de pan en México para acompañar el desayuno, la comida, la cena o simplemente como postre. Según CANAINPA: el consumo per cápita anual de pan es de 33.5 kg, del cual el pan blanco representa del 70 y 75%, debido a la versatilidad de su forma de consumo. Dentro del pan blanco se encuentra el pan de caja que forma parte de la canasta básica del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Abastur, 2019; ANPROPAN, 2016).

El consumo de pan de caja desde la antigüedad ha sido un hábito de alimentación de las personas, pero con el pasar del tiempo las culturas alimentarias cambian y existe una baja educación en cuanto a la alimentación saludable, lo que ha dado como resultado que dicho alimento sea modificado y no sea beneficioso para el consumidor, entre sus ingredientes encontramos manteca de cerdo, aceites saturados, entre otros, los cuales a largo plazo pueden causar problemas en la salud como colesterol, triglicéridos elevados, sobrepeso u obesidad (Jiménez & Landa, 2018).

Hoy en día gran parte de la población padece enfermedades no transmisibles relacionadas con la obesidad, que anualmente provocan el 70% de las muertes. Algunos factores de riesgo de estas patologías son prevenibles mediante modificaciones en la dieta. La ingesta de fibra proporciona beneficios para la salud como la reducción del colesterol y la glucemia, aumenta la saciedad y contribuye a la mejora de la microbiota. Sin embargo, gran parte de la población no alcanza la cantidad de fibra recomendada, las leguminosas, incluidas las lentejas, son semillas que ofrecen múltiples beneficios para la salud (Carboni *et al.*, 2022).

Las lentejas han sido parte esencial de la alimentación humana desde hace siglos, sin embargo, su valor nutricional no es tan reconocido y aunque se consumen en todo el mundo, empleándose en diversas preparaciones como: guisos, harinas, purés, guarniciones o aperitivos, se desconoce su valor nutricional real y su función crucial en la alimentación saludable. Las lentejas han cobrado gran importancia en la alimentación humana, debido a sus propiedades nutritivas, bajo costo y por los efectos fisiológicos asociados a su ingesta especialmente en la población de bajos ingresos de países en vías de desarrollo, como México (Valencia & Montoya, 2021; Silva, 2007).

Las lentejas son una fuente rica en proteínas y aminoácidos esenciales que aportan una cantidad importante de hidratos de carbono y micronutrientes, así como fibra alimentaria de calidad. Además, su bajo contenido en grasas ha demostrado ser eficaz para mantener niveles bajos de colesterol y reducir la presión arterial. En general, las leguminosas son consideradas un súper alimento del futuro por sus características biológicas y nutricionales (Valencia & Montoya, 2021).

Como ya se mencionó, las lentejas son consumidas de diferentes maneras, entre ellas, en forma de harinas que tienen aplicaciones como en la industria cárnica, panadera, confitería, entre otras. Su incorporación a la industria de alimentos en forma de harina se debe a la búsqueda de alternativas nutricionales y dietéticas para el consumo humano. A partir de esta información y dada la problemática que afronta el país y el empeño de la industria de los alimentos por desarrollar nuevos productos alimentarios que tengan un efecto potencialmente positivo en la salud y la nutrición del consumidor (Valencia & Montoya, 2021) y siendo el pan un alimento básico en la alimentación de la población en general, se plantea evaluar diferentes formulaciones para la elaboración de un pan de caja de trigo complementado con lenteja, variando las cantidades de las harinas para obtener un producto con calidad sensorial similar, mayor calidad nutrimental y funcional que un pan control.

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1.2 Trigo

Es el nombre que se le da a aquella planta perteneciente a la familia de las gramíneas (*Poaceae*) y que dispone de espigas terminales (Figura 1) que están conformadas por tres o más carreras de granos. La palabra “trigo” proviene del vocablo latino *triticum*, que significa “quebrado”, “triturado”, o “trillado”, haciendo referencia a la actividad que se debe realizar para separar el grano de trigo de la cascarilla que lo cubre. El trigo, es uno de los tres granos más cultivados mundialmente, junto al maíz y el arroz, y el más consumido por el hombre en la civilización occidental desde la antigüedad (Serna, 2013).

Existen dos especies comerciales de trigo más importantes las cuales son:

- *Triticum aestivum* L. (trigo harinero): se emplea en la industria de la panificación para la preparación de pan, galletas o pasteles, sobre todo con las variedades de grano suave y blando (SAGARPA, 2017).
- *Triticum durum* L. (trigo cristalino): se utiliza principalmente en la producción de pastas para consumo humano (SAGARPA, 2017).



Figura 1. Espiga de trigo.
Fuente: FAO, 2021.

1.2.1 Origen

El trigo tiene sus orígenes en la antigua Mesopotamia. Las más antiguas evidencias arqueológicas del cultivo de trigo vienen de Siria, Jordania, Turquía e Iraq. Hace alrededor de 8 milenios, una mutación o una hibridación ocurrió en el trigo silvestre, dando por resultado una planta con semillas más grandes, la cual no podría haberse diseminado con el viento. Existen hallazgos de restos carbonizados de granos de trigo almidonoso (*Triticum dicoccoides*) y huellas de granos en barro cocido en Jarmo (Iraq septentrional), que datan del año 6700 a.C. (Gómez *et al.*, 2007).

Los españoles introdujeron el trigo en México hacia el año 1520, y posteriormente lo hicieron en las demás colonias americanas (Gómez *et al.*, 2007). El trigo es uno de los cereales más cultivados del mundo y representa una de las principales fuentes de alimento para el consumo humano y animal. Tanto en volumen como en valor, el trigo es tradicionalmente el rubro más importante del comercio externo de productos agrícolas (Álvarez, 2001). El trigo es fácil de transportar y almacenar, y se usa en la fabricación de una gran variedad de productos alimenticios (Gómez *et al.*, 2007).

1.2.2 Morfología de la planta

La planta de trigo (Figura 2) está integrada por (Calixto, 2018):



Figura 2. Planta de trigo.

Fuente: Vanaclocha, 2022.

Raíz: Es fasciculada con numerosas ramificaciones, alcanzan una profundidad entre 25 y 100 cm.

Tallo: Es hueco (caña) con seis nudos que se alargan hacia la parte superior, su altura varia de 0.5 m a 2.0 m de altura con pocas ramificaciones.

Hojas: Tienen una forma lineal-lanceolada (alargada, recta y terminada en punta) con vaina, lígula y aurículas bien definidas.

Inflorescencia: Es una espiga compuesta de un tallo central de entrenudos cortos, llamados raquis (eje escalonado) sobre el cual están dispuestas de 20 a 30 espiguillas en forma alterna, laxa o compacta, llevando cada una nueve flores (consta de un pistilo y tres estambres.) que están protegidas cada una por dos brácteas (glumas o glumillas) de la cual la exterior se prolonga en una arista en los trigos Barbados.

Fruto: Es una cariósipide, es decir, un fruto seco e indehiscente a cuya única semilla esta adherido el pericarpio. Tiene forma ovoide con una ranura en la parte ventral y sus extremos redondeados, sobresaliendo el germen en uno de ellos y en el otro, un mechón de finos pelos.

1.2.3 Morfología del grano del trigo

El grano de trigo se subdivide en tres partes fundamentales: el salvado, que envuelve el grano; endospermo, representa la mayor parte del grano; y germen, que incluye el embrión y el escutelo (Figura 3). La proporción de cada uno de los componentes del grano es del 14%, 83% y de 2.5 a 3.5%, respectivamente (Calixto, 2018; Juárez *et al.*, 2014).

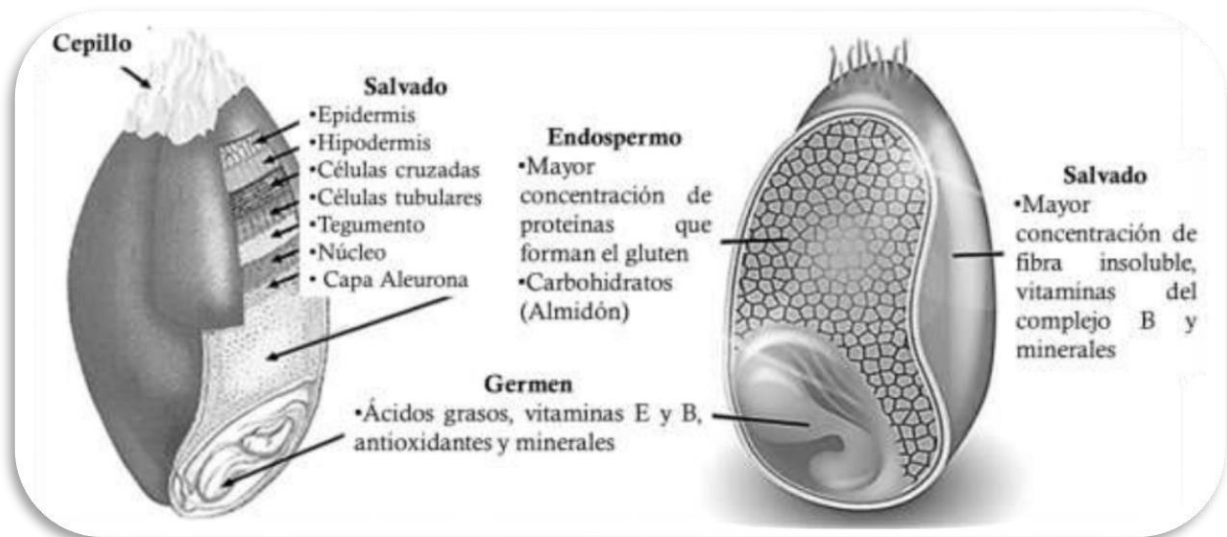


Figura 3. Morfología del grano del trigo.

Fuente: Calixto, 2018.

- **El salvado:** Está constituido por la capa de aleurona, epidermis nuclear, la cubierta de la semilla o testa y el pericarpio. Tiene una alta proporción en proteína, celulosa (fibra), vitamina (B1) y minerales (calcio, hierro). Su función es la de proteger a la semilla cuando ésta germina.

La capa de aleurona tiene el espesor de una célula, rodea al grano por completo incluyendo al endospermo y al germen, está compuesta de celulosa, proteína, fósforo, ácidos grasos, niacina, tiamina, riboflavina y es rica en minerales. La testa se une finamente a las células tubulares por el exterior y a la epidermis nucelar por el interior, está constituida por tres capas: una cutícula exterior gruesa, una capa pigmentada (en los trigos coloreados) y una cutícula interior fina. El pericarpio rodea toda la semilla y está constituido por epicarpio, mesocarpio, endocarpio (Calixto, 2018).

- **El endospermo:** principal fuente de energía durante la germinación, es la parte anatómica más abundante (81 a 84% del peso del grano) y de él, se obtiene la harina. El endospermo, por su parte, es el depósito de alimento para el embrión (Ritchie *et al.*, 2000). Está compuesto por almidón, proteínas y en menor proporción celulosas; además, tiene una baja proporción de vitaminas y minerales. El endospermo es extraído mediante molienda para la obtención de harina y semolina, que son utilizadas principalmente para la industria de panificación, galletería y pastas (Juárez *et al.*, 2014).
- **El germen o embrión:** es el órgano reproductivo y de almacenamiento y representa entre 2.5 y 3% del peso del grano. El germen de trigo es rico en vitaminas del grupo B y E, y también contiene grasas, proteínas y minerales (Shewry *et al.*, 2002; Juárez *et al.*, 2014). Está formado por el eje embrionario (raíz y tallo rudimentario) y el escutelo (órgano para la absorción de nutrientes). Es la parte del grano que daría lugar a una nueva planta si encuentra las condiciones adecuadas (Calixto, 2018).

1.2.1 Producción de trigo

De acuerdo con el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA), el trigo es considerado el segundo cereal más importante en la dieta de los mexicanos y constituye alrededor del 40% del gasto total de los hogares en cereales y proporciona el 10% del total de calorías en su dieta. En el año agrícola 2020, el 87% de la producción nacional de trigo se concentró en cinco entidades (Figura 4): Sonora (51.3%), Guanajuato (13.8%), Baja California (7.6%), Sinaloa (8.0%) y Michoacán (6.3%). En las tres entidades del noroeste el trigo se produce únicamente en el ciclo Otoño-Invierno; en Guanajuato y Michoacán, 95.7 y 99.6% de la producción, respectivamente, se cosechó en ese ciclo (Panorama agroalimentario, 2021).

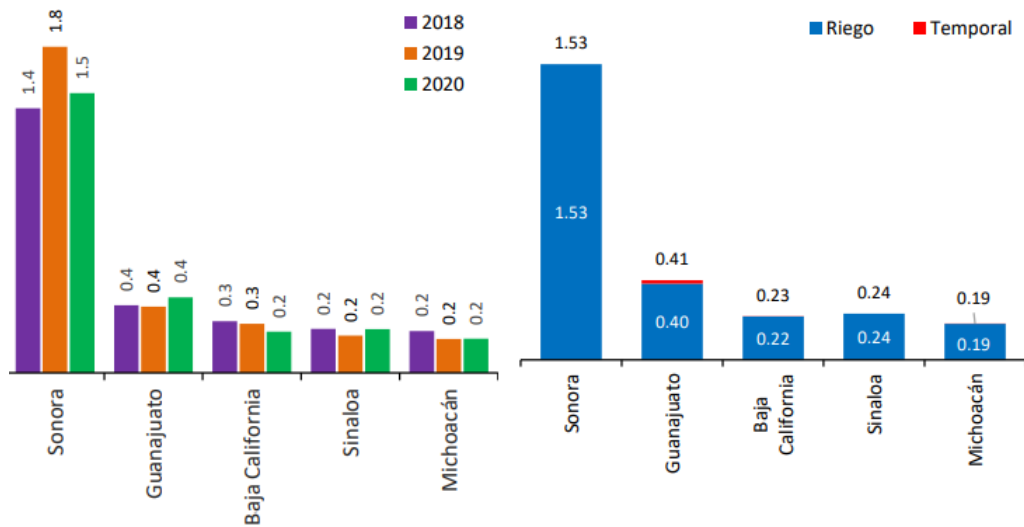


Figura 4. Principales estados productores del trigo.

Fuente: Panorama agroalimentario, 2021.

Sonora es el principal estado productor, se cosecharon 1.53 mdt en 2020, es decir, 14.2% menos respecto al año agrícola previo (Figura 5). Lo anterior, como resultado de un decremento de 11.5% en la superficie cosechada y de 3.1% en el rendimiento. En el año agrícola 2020, el 60.7% de la producción de trigo en la entidad fue del tipo cristalino, situación que ha sido favorecida en gran medida a una menor productividad de las variedades de trigo panificable, que presentan mayor susceptibilidad a enfermedades como la roya y el carbón parcial. Además, los productores de la zona se han familiarizado con la comercialización de los excedentes de su producción en el mercado exterior (Panorama agroalimentario, 2021).

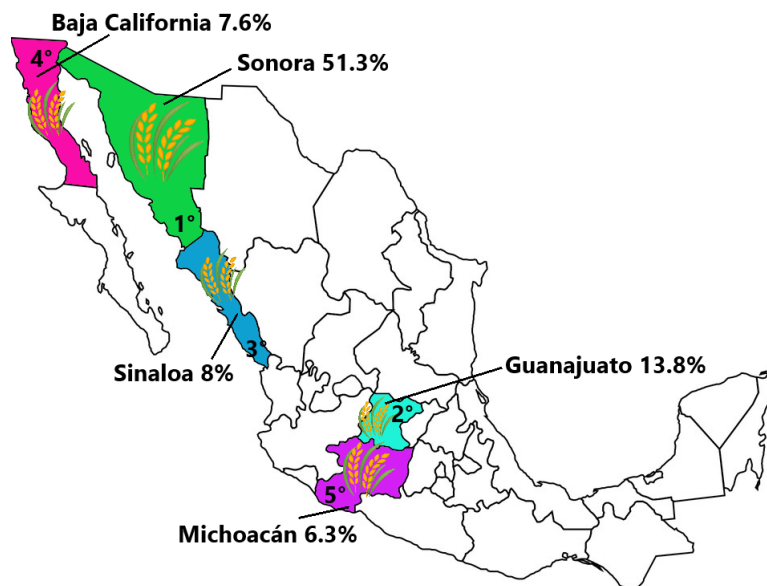


Figura 5. Mapa de los estados productores de trigo.

Fuente: Panorama agroalimentario, 2021.

Los precios al productor relativamente bajos registrados en los últimos años han propiciado la disminución de la superficie sembrada con este cultivo en la entidad, misma que se ha destinado a otros cultivos como garbanzo y maíz. Así, entre 2016 y 2020 la superficie cosechada de trigo en Sonora disminuyó a una tasa promedio anual de 5.8%, mientras que la reducción en el último año fue de 11.5%. En Guanajuato, el segundo productor del cereal, se produjeron 413 mil toneladas en el año agrícola 2020, lo que significó un incremento anual de 14%. Esto, favorecido principalmente por el crecimiento de 7.8% anual en la superficie cosechada de 2016 a 2020 y de 11.9% en el último año. Por su parte, en Baja California se produjeron 226.3 miles de toneladas, es decir, 16% menos que en el año agrícola 2019 y su nivel más bajo desde 1981. En esta entidad, la superficie cosechada se redujo 21.3% a tasa anual en los últimos cinco años y 13% en el último año (Panorama agroalimentario, 2021).

1.2.2 Composición química

La composición química del grano del trigo (Tabla 1) puede ser muy variada de acuerdo con la región, condiciones de cultivo y año de cosecha. También la calidad y cantidad de nutrientes que depende de las especies de los trigos que influyan en sus propiedades nutritivas y funcionales. 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 (Juárez *et al.*,2014).

Tabla 1. Composición química del grano del trigo.

Componente	%
Humedad	12.5
Proteína	12
Carbohidratos	68
Fibra	2.2
Lípidos	1.8
Cenizas	1.7

Fuente: Martínez-Manrique y Jiménez-Vera, 2022.

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: El contenido proteico del trigo es importante por dos motivos: la proteína es un nutriente valioso en nuestra dieta y la cantidad y tipo de proteína es fundamental para la utilización de la harina. El contenido proteico es probablemente el factor más importante en la calidad de la harina para panificación. Cuando este se ve alterado, también varía la composición relativa de las diferentes proteínas (Seghezzo & Molfese, 2006). Las proteínas que acompañan al almidón, tienen una buena tasa de digestibilidad; sin embargo, dado su bajo porcentaje (8 al 16%) y a la ausencia de los aminoácidos esenciales lisina, triptófano y treonina (Tabla 2), se considera al trigo de calidad proteica baja para las primeras etapas de vida del humano (Juárez, *et al*, 2014).

Tabla 2. Contenido de aminoácidos del trigo entero y harina de trigo (g/100 g de proteína).

Aminoácidos	Trigo entero	Harina de trigo
Ácido aspártico	5.0	3.9
Treonina	2.9	2.7
Serina	4.8	4.9
Ácido glutámico	30.6	34.3
Prolina	9.8	11.7
Glicina	3.9	3.2
Alanina	3.5	2.8
Valina	4.7	4.3
Metionina	1.7	1.8
Cisteína	2.2	2.3
Isoleucina	3.8	3.9
Leucina	6.7	6.7
Tirosina	3.1	2.9
Fenilalanina	4.6	4.9
Histidina	2.2	2.0
Lisina	2.7	1.9
Arginina	4.6	3.6
Triptófano	1.2	1.0

Fuente: Chaquilla, *et al.*, 2017.

Las proteínas pueden dividirse en dos grupos: las proteínas del gluten o de almacenamiento y las proteínas que no forman gluten, englobando a la mayoría de las enzimas. Las albúminas y globulinas se encuentran en el germen, el salvado y la aleurona, y en menor proporción en el endospermo, conteniendo un buen balance de aminoácidos. Las prolaminas y gluteninas se encuentran en el endospermo, distinguiéndose por sus altas concentraciones de glutamina y prolina (Juárez *et al*, 2014).

Carbohidratos: Los hidratos de carbono constituyen el 77 al 87% de la materia seca total y son los componentes más importantes, de los cuales aproximadamente el 64% es almidón, y el resto, carbohidratos solubles e insolubles que constituyen la fibra dietética (Paredes, 2013). El almidón es el hidrato de carbono más importante en todos los cereales, ya que la energía es almacenada de esta forma. El alto contenido de almidón en el trigo y en los cereales en general, hace que sean considerados fuente de energía en la dieta, además, es totalmente digerible en el sistema digestivo (Juárez *et al*, 2014).

Fibra: La fibra está constituida principalmente por celulosa y hemicelulosa insoluble; son el componente principal del pericarpio. El contenido de fibra del grano entero es 2%, 0.1% en el endospermo y 12 a 14% en el salvado (Seghezzo & Molfese, 2006).

Lípidos: Los lípidos del trigo contienen un 70% de lípidos no polares (ácidos grasos libres y triglicéridos), 20% de glicolípidos y 10% de fosfolípidos. 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 (Seghezzo & Molfese, 2006).

Cenizas: El contenido medio en cenizas del grano de trigo es de alrededor del 1.8% sobre la materia seca y está influenciado por factores genéticos, edafoclimáticos, fisiológicos y de acondicionamiento del grano (Loayza, 2014). La mayor parte de las sales minerales son fosfato de potasio y están concentradas en el pericarpio del grano. Actúan como activadores de las enzimas y son alimento indispensable para el desarrollo de las levaduras en el proceso de fermentación (Seghezzo & Molfese, 2006). Los granos del trigo son también una buena fuente de minerales (especialmente magnesio) y vitamina B, contienen un gran número de moléculas como: vitamina E, componentes antioxidantes (ácido fólico y carotenoides), y compuestos como las ligninas (Paredes, 2013).

1.2.3 Harina

La harina es un polvo fino que se obtiene de la molienda de un cereal o leguminosa seca. Aunque la más habitual es la harina de trigo que es el ingrediente principal para la elaboración del pan, también se hace harina de centeno, cebada, avena, maíz o arroz (Sifre *et al*, 2018; Jiménez & Landa 2018).

Existen también otros tipos de harinas obtenidas de otros alimentos como leguminosas (garbanzos, habas, lentejas, etc.), las cuales se pueden combinar y así obtener un pan de alto valor nutricional (Sifre *et al*, 2018; Jiménez & Landa 2018).

1.2.4 Harina de trigo

Se define como harina, al producto finamente triturado, obtenido de la molturación de grano de trigo, o la mezcla de trigo blando y trigo duro, en un 80% mínimo, maduro, sano y seco, e industrialmente limpio. La molturación del grano, incluye la trituración del mismo y su tamizado. El grano se criba, se descascarilla, se escoge y se limpia, excluyendo los granos extraños, y en ocasiones se lavan los granos antes de ser molidos. La harina de trigo es una materia básica en la elaboración del pan, pastas alimenticias y productos de pastelería (León, 2019).

La harina de trigo es la única que tiene la habilidad de formar una masa cohesiva y tenaz, capaz de retener gases y dar productos aireados y livianos después de su cocción, esas características le confieren fuerza, extensibilidad, retención del gas durante la fermentación, volumen al pan y una estructura alveolada, después del horneado (Gómez *et al*, 2007; Calixto, 2018).

Esta propiedad se debe a su composición química, y en especial a las proteínas y su capacidad para formar gluten (Gómez *et al*, 2007). Sus componentes son: carbohidratos (almidón), humedad, lípidos y proteína, además de polisacáridos no del almidón particularmente arabinosilanos. En la Tabla 3, se presentan los principales componentes de la harina de trigo:

Tabla 3. Composición química de la harina de trigo.

Componente	%
Humedad	14
Proteína	10
CHOS (almidón)	72
Polisacáridos no del almidón	2
Lípidos	2

Fuente: Vega, 2009.

Es la base para la elaboración de cualquier producto de panificación. Entre mayor sea la calidad de la harina, mejor serán los productos que se elaboren a partir de ella (Calixto, 2018).

Una harina de calidad es aquella que puede desarrollar un gluten que interactúe con los ingredientes utilizados en la formulación, para obtener las características y rendimiento esperado en el producto final. La harina contiene entre 65 y 70% de almidones, pero su valor nutritivo fundamental está en el contenido de proteínas, normalmente entre el 9 y 14%, además de contener otros componentes como celulosa, grasas, carbohidratos y minerales (Calixto, 2018).

- **Harina refinada**

Se entiende como el producto elaborado con granos de trigo común, *Triticum aestivum L.*, o trigo ramificado, *Triticum compactum* Host., o combinaciones de ellos, por medio de procedimientos de trituración o molienda, en los cuales, se separa parte del salvado y del germen, y el resto, se muele hasta darle un grado adecuado de finura. El trigo entero, rinde más del 72% de harina blanca y el resto es separado obteniendo dos subproductos principales que son el salvado y el germen destinados para consumo animal y la industria cosmética, respectivamente (Calixto, 2018).

- **Harina integral o harina de grano entero**

Se define como el producto resultante de la molienda del grano entero y seco, que mantiene tanto el germen, como el salvado. Es decir, mantiene la proporción inicial de todos los componentes del grano en la harina (Tabla 3). Contiene sustancialmente más fibras, vitaminas, minerales y fitoquímicos que la harina de trigo refinada. En consecuencia, se considera fuente importante de ingredientes nutricionales y funcionales para la salud humana, con beneficios en la reducción del riesgo de diabetes, enfermedades cardiovasculares, obesidad y cáncer (Calixto, 2018).

La harina comercial integral en México no es por lo general, el resultado de la molienda antes mencionada, si no la mezcla de harina refinada y salvado, sin germen. Lo que hace que esta harina, este mal clasificada al denominarla integral (Calixto, 2018). Actualmente en muchos países el consumidor exige no sólo pan de calidad, sino variedad de productos nutritivos (Garcilazo, 2020).

Una posible respuesta a las deficiencias nutricionales del trigo son las leguminosas, las cuales contienen lisina, leucina, ácido aspártico, ácido glutámico y arginina, pero son deficientes en metionina y cisteína, aminoácidos que sí se encuentran presentes en los cereales. Debido a lo anterior, la mezcla de harina de trigo con harinas de leguminosas ha despertado el interés de los investigadores en ciencia de alimentos, dando lugar a productos con alta calidad proteica (Torres *et al.*, 2014).

1.3 Lenteja

1.3.1 Definición

Planta de la familia de las leguminosas (*Leguminosae Juss.*), de la subfamilia de las papilionáceas, especie *Lens culinaris*. La lenteja (*Lens culinaris*) es una leguminosa de alto valor nutritivo debido a su contenido de proteínas (28%), además de ser baja en grasas (Morales, 2004). Es una planta desordenada, con hojas pinnadas terminadas en zarcillos. Forma flores pequeñas con pétalos de color blanco, azul claro o lila dispuestas en pequeños racimos y es anual (Financiera Rural, 2010).

1.3.2 Origen

Es el cultivo de legumbres más antiguo con restos encontrados junto a la habitación humana hasta 13.000 años antes de Cristo. Su domesticación es igualmente antigua y probablemente fue uno de los primeros cultivos domesticados en el Viejo Mundo. Se cultiva principalmente en India, Bangladesh, Pakistán, Egipto, Grecia, Italia, países de la región mediterránea y América del Norte. También se cultivó en la costa atlántica de España y Marruecos (Shyam *et al*, 2007).

El cultivo tiene una gran importancia en los sistemas basados en cereales debido a su capacidad de fijación de nitrógeno, sus semillas ricas en proteínas para la dieta humana y su paja para la alimentación animal. Es ampliamente utilizado en una variedad de platos y tiene fama de tener muchos usos en la medicina tradicional. Hay una variedad de lentejas silvestres, pero se cree que *L. orientalis* es el progenitor de la lenteja cultivada (Shyam *et al*, 2007).

Actualmente es una planta muy cultivada en todas las regiones templadas ya que resulta fácil de cosechar, favorece la regeneración de los terrenos sin alterar su cultivo con el de los cereales y es rica en energía, barata, de fácil conservación y capaz de combinar con todo tipo de alimentos. Se utiliza como forraje verde y la paja también se utiliza con buen resultado; cuando las semillas están completamente maduras estas son destinadas a consumo humano (Morales, 2004).

1.3.3 Morfología

Es una planta anual herbácea que pertenece a la familia de las papilionáceas (Figura 6). Necesitan de un clima templado, mide de 15 a 75 cm de altura con tallo corto, débil y muy ramificado. Hojas paripinnadas, con zarcillos, folíolos pequeños ovales sin peciolo alargados (Vicente, 2017).

Las flores pueden estar solas o en racimos, pueden ser blancas, rosas, rojos o violetas, etc. Las vainas son lisas comprimidas de entre 1.5 y 2 cm de longitud: conteniendo dos semillas aplanadas de medio centímetro aproximadamente (Vicente, 2017).



Figura 6. Planta de lenteja.

Fuente: Vicente, 2017.

La estructura de la semilla de lenteja es similar a la de otras leguminosas, pero su envoltura es más delgada. Los componentes básicos de la semilla de lenteja son tres (Figura 7): la envoltura (8%); cotiledones (90%) y embrión (2%), incluyendo la radícula, plúmula y eje embrionario (Vicente, 2017).

- La envoltura se divide en dos capas, testa o envoltura externa y tegumento o envoltura interna.
- El cotiledón está constituido mayoritariamente por almidón.
- La radícula contiene el embrión, el cual tomará las sustancias necesarias para su desarrollo del cotiledón.
- La plúmula es la parte desde la que se formarán el tallo y las primeras hojas de la lenteja (Vicente, 2017).

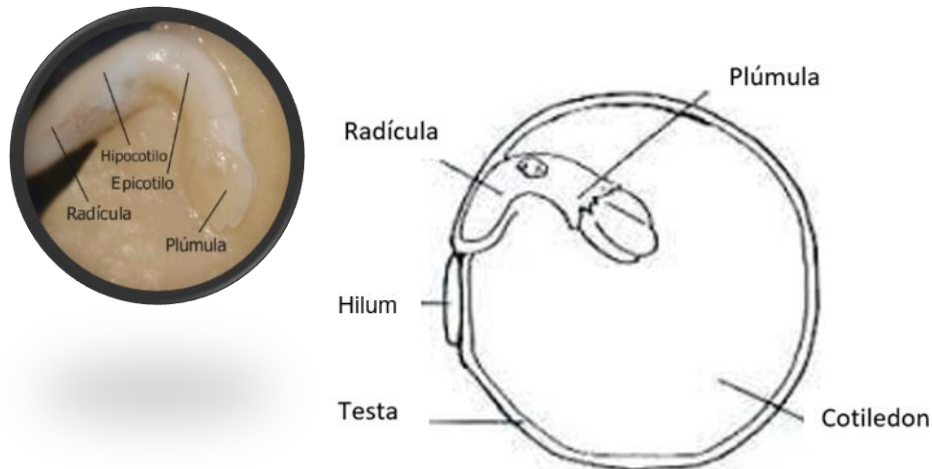


Figura 7. Morfología de la semilla de lenteja.

Fuente: Vicente, 2017.

Las variedades de lenteja se clasifican de la siguiente manera (Guerrero, 1984):

Vulgaris: También conocida como "lentejón" o "lenteja de la reina" (Figura 8), es la más grande de todas, caracterizada por sus semillas de color verde amarillento uniforme o con un ligero jaspeado verde oscuro y por sus cotiledones amarillo glauco.



Figura 8. Lenteja *vulgaris*.

Fuente: Fundación salomón, 2016.

Variabilis: Se caracteriza por sus semillas de color pardo rojizo uniforme, con los cotiledones rojo anaranjado (lenteja rojiza) (Figura 9).



Figura 9. Lenteja *variabilis*.

Fuente: La salmantina, 2016.

Dupuyensis: Se caracteriza por vainas con manchas de color violáceo antes de la madurez, semillas de 4 a 5 mm de diámetro, manchadas de azul sobre el fondo verde oliva, con jaspeado verde amarillento y con unos cotiledones glauco amarillento (lenteja francesa) (Figura 10).



Figura 10. Lenteja *dupuyensis*.

Fuente: El maragato, 2016.

1.3.1 Producción de lenteja

Las lentejas se encuentran entre los cinco principales tipos de legumbres en el mundo y son consideradas como súper alimento. Su consumo es primordial en la población, especialmente por ser un recurso económico. En México, este alimento ha cobrado importancia por ser parte de la canasta básica de alimentos y en programas para evitar la desnutrición (Esteban *et al.*, 2020).

Su producción se concentra en Asia, el norte de África, Europa Occidental y parte de Latinoamérica. En los últimos años se ha observado una tendencia al incremento en su consumo, aunque aún está considerado como un grano de escaso consumo. Los principales países productores son India, Canadá y Turquía y se ubica al cultivo en sexto lugar del ranking global de producción de granos secos (Sáenz *et al.*, 2022).

En México, actualmente los principales productores son el estado de Michoacán, Guanajuato y San Luis Potosí (Figura 11). De la producción en México, solamente se satisface únicamente una quinta parte de la demanda nacional, el resto de lo que consumimos proviene de Canadá y Estados Unidos entre otros países (García, 2019).

De acuerdo con las cifras del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) 2023, Michoacán es líder nacional en la producción de lenteja, con más de 10 mil toneladas producidas. En la Tabla 4 se encuentran las toneladas producidas en los estados de Michoacán, Guanajuato y San Luis Potosí.

Tabla 4. Producción de lenteja.

Producción (toneladas)				
Cultivo/Entidad	Región	2021	2022	2023
Lenteja		10.113	12.448	11.178
Michoacán	Centro- Occidente	9.497	11.701	10.358
Guanajuato	Centro- Occidente	613	735	806
San Luis Potosí	Centro- Occidente	4.1	12.0	14.1

Fuente: SIAP, 2023.

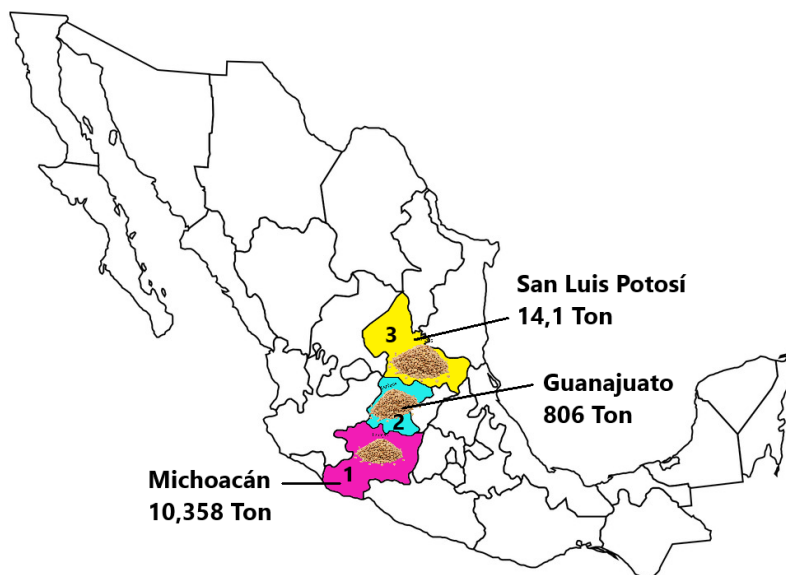


Figura 11. Estados productores de lenteja.

Fuente: SIAP, 2023.

Finalmente, cabe destacar que la producción de la lenteja en el extranjero es consumida en México la mayor parte del tiempo, y que la lenteja nacional, pese a su alta producción apenas alcanza a cubrir el cinco por ciento de su consumo a nivel nacional (García, 2019).

1.3.2 Composición química

Su composición química, al igual que la de otras leguminosas, hace de ella un alimento adecuado para incluirlo en el concepto de dieta saludable, ya que no sólo es fuente de proteína sino también de hidratos de carbono complejos y fibra (Tabla 5). Tradicionalmente han sido valoradas como fuente de energía, proteínas y hierro: poseen un contenido de entre 43 y 75% de carbohidratos y 16 y 31% de proteínas (Cárcamo & Dickson, 2016).

Este hecho hace que se haya constituido en un elemento importante de la dieta en muchas partes del mundo, como en el sur de Asia donde una gran parte de la población es vegetariana, constituyendo la lenteja una de sus principales fuentes de aporte proteico. El contenido en lípidos es bajo, predominando claramente el contenido en grasas insaturadas sobre las saturadas (Cárcamo & Dickson, 2016).

Tabla 5. Composición química del grano de lenteja.

Componente	%
Humedad	9.3
Proteína	23.5
Lípidos	1.4
Carbohidratos	52
Fibra	10.6
Cenizas	3.2

Fuente: Kraut, 1991.

Las lentejas proporcionan cantidades suficientes de la mayoría de los aminoácidos esenciales (Tabla 6) para cumplir con los requisitos de nutrientes, aunque son deficientes en aminoácidos que contienen azufre como la mayoría de las legumbres. Las proteínas contenidas en las lentejas son deficientes de aminoácidos como metionina y cisteína, lo que limita su aprovechamiento por el organismo, al combinarse con alimentos que contengan estos aminoácidos como el arroz, el trigo o el mijo, se convierten en proteínas de alto valor biológico de origen vegetal. Respecto a la proteína proveniente de alimentos de origen animal, la proteína proveniente de lentejas posee la ventaja de que éstas no se acompañan de colesterol ni grasas saturadas y son fáciles de digerir (Enjamio *et al.*, 2017).

Tabla 6. Composición de aminoácidos de semillas de lenteja.

Aminoácidos	%
Histidina	116
Lisina	121
Leusina	118
Isoleucina	146
Metionina + Cisteína	68
Fenilalanina + Tirosina	130
Treonina	88
Triptófano	64

*Cada aminoácido en la referencia tiene un valor de 100.

Fuente: Instituto Tomás Pascual, 2009.

Las lentejas también contienen cantidades considerables de otros nutrientes esenciales como minerales, vitaminas y carbohidratos complejos (Tabla 7).

Tabla 7. Contenido de vitaminas y minerales de la semilla de lenteja.

Componente	Por 100 g de porción comestible
Magnesio (mg)	78
Zinc (mg)	3.1
Sodio (mg)	12
Potasio (mg)	737
Fósforo (mg)	240
Selenio (mg)	9.9
Tiamina (mg)	0.5
Riboflavina (mg)	0.2
Equivalentes niacina (mg)	5.6
Vitamina B (mg)	0.6
Folatos (µg)	35
Vitamina B ₁₂ (µg)	0
Vitamina C (µg)	3
Vitamina A: Eq. Retinol (µg)	10
Vitamina D (µg)	0
Vitamina E (µg)	---

Fuente: Moreiras, *et al.*, 2013.

1.3.3 Factores anti-nutrimientales

Los factores anti-nutrimientales son aquellos compuestos que empeoran el valor nutricional de algunos alimentos, especialmente semillas, pues dificultan o inhiben la asimilación de nutrientes que provienen de alimentos generalmente de origen vegetal (proteínas y minerales). Son de naturaleza variada y pueden llegar a ser tóxicos o causar efectos fisiológicos poco deseables como la flatulencia, distensión estomacal, afectaciones pancreáticas, aglutinación de glóbulos rojos, disminución en la asimilación de nutrientes, entre otros.

Los factores anti-nutrimientales son sustancias naturales no fibrosas, generadas por el mecanismo secundario de las plantas como mecanismo de defensa a situaciones estresantes o contra el ataque de mohos, bacterias, insectos y aves. Los factores anti-nutrimientales pueden clasificarse como termo estables y termo lábiles (Elizalde *et al.*, 2009):

- **Los factores termoestables incluyen:** factores antigénicos, oligosacáridos y aminoácidos no proteicos tóxicos, saponinas, estrógenos, cianógenos, fitatos; siendo los más importantes: los factores antigénicos, los oligosacáridos, las saponinas y los fitatos.
- **Los factores termolábiles incluyen:** los inhibidores de proteasas (tripsina y quimotripsina), lectinas, goitrógenos y anti-vitaminas; siendo los más importantes los inhibidores de proteasas y las lectinas.

Las lentejas además de poseer numerosas características nutritivas, presentan una serie de compuestos que influyen negativamente en su valor nutritivo (Valdivia *et al.*, 2018). Sin embargo, se ha informado que las lentejas tienen niveles relativamente bajos de estos factores anti nutricionales (Tabla 8), en comparación con otras leguminosas como las habas, que se considera que tienen las concentraciones más altas (Shyam *et al.*, 2007). Estos factores anti-nutrimientales hacen que se limite el consumo de leguminosas porque afectan a la digestibilidad y disponibilidad de nutrientes (Valdivia *et al.*, 2018).

Tabla 8. Contenido anti-nutricional de las lentejas (expresado en materia seca).

Componente	Rango
Inhibidores de tripsina y quimotripsina (U/mg)	2.7- 6.1
Inhibidor de α -amilasa (U/g)	2- 18
Lectinas (U/mg)	0.20- 7.7
Taninos (mg/g)	<0.5- 10.9
Oxalato (g/Kg)	1.18- 5.4
Ácido fítico (g/100 g)	0.15- 2.54
α -galactosidasa (g/100 g)	1.8- 7.5
Saponinas (mg/100 g)	40- 127

Fuente: Shyam, *et al.*, 2009.

De otro lado, los factores anti-nutrimientales que son termolábiles, son inactivados o destruidos mediante prácticas como la cocción, el escaldado, el tostado y la extrusión; las cuales a excepción de la extrusión son aplicadas de forma cotidiana en la preparación de alimentos; los factores termoestables pueden eliminarse mediante la combinación de otros métodos sencillos como la germinación, el remojo, la fermentación, la cocción y/o el escaldado; produciendo adicionalmente un aumento en la digestibilidad y mejoramiento de las propiedades organolépticas de las semillas tratadas (Elizalde *et al.*, 2009).

1.3.4 Beneficios de consumo de lentejas

Las lentejas pueden ayudar a reducir el colesterol y, según se informa, son beneficiosas para controlar los trastornos del azúcar en la sangre, como se mencionó anteriormente, ya que sus altos niveles de fibra soluble evitan que los niveles de azúcar en la sangre aumenten rápidamente después de una comida y podría ser una ruta para reducir el colesterol, pero las lentejas tienen aún más que ofrecer (Shyam *et al.*, 2007).

Como se mencionó anteriormente, las lentejas son particularmente bajas en grasas pero altas en proteínas y son una excelente fuente de fibra soluble e insoluble, carbohidratos complejos, vitaminas (especialmente vitaminas B) y minerales (especialmente potasio, fósforo, calcio, magnesio, cobre, hierro y zinc), además, las lentejas son económicas en comparación con otras fuentes de alimentos con propiedades similares (Shyam, *et al.*, 2007).

Las lentejas son especialmente importantes en la dieta de los grupos de población de bajos ingresos en los países en desarrollo, debido a que representan un sustituto en el consumo de proteínas de origen pecuario y pesquero. Además, se ha demostrado que su consumo tiene un efecto benéfico en la salud humana. Se consumen las semillas secas, son las únicas legumbres que no deben remojar en agua para que se hidraten. Simplemente, a la hora de cocinarlas, se les cubre de agua fría para evitar que la piel se seque y se desprenda (Financiera Rural, 2010).

1.3.5 Tendencias de consumo de lenteja

El cultivo de la lenteja va destinado sobre todo para consumo humano, aunque también se utiliza como planta forrajera para la alimentación del ganado (Silva, 2007).

Es el cultivo más deseado en muchas regiones productoras de lentejas, particularmente por su alto contenido de proteínas y su característica de cocción rápida. El grano se fríe y se sazona además de hervirlo. La harina de lentejas también es ingrediente básico en muchas sopas (Figura 12), guisos, purés e incluso se mezcla con cereales para hacer pan y pasteles y como alimento para lactantes (Shyam *et al.*, 2007).



Figura 12. Lentejas preparadas con verduras.

Fuente: Bellmar, 2020.

Las lentejas son rápidas y fáciles de preparar en comparación con otras legumbres secas y además son un alimento muy saludable por varias razones que realzan las virtudes de esta legumbre. Estas cualidades saludables y culinarias se ven reforzadas por el hecho de que los guisantes partidos absorben fácilmente los sabores de las especias, otros alimentos y condimentos y, por lo general, están disponibles durante todo el año. Las lentejas se venden enteras o partidas por la mitad; las variedades marrones y verdes conservan su forma mucho después de la cocción en comparación con otras variedades (Shyam *et al.*, 2007).

El consumo de lenteja en México es menor en comparación a otras leguminosas, especialmente frijol. Esto puede deberse a que no existen variantes para su preparación y/o procesamiento que permitan aumentar su consumo y aprovechamiento. Así pues, es necesario implementar alternativas que promuevan el consumo de lenteja o sus derivados ya que es una excelente opción para sustituir la carne, cuando se combina con una fuente de cereales como el trigo, la avena y el amaranto (Aguilar *et al.*, 2011).

De acuerdo con Villanueva (2001), es factible producir harina a partir del grano de lenteja, la cual pudiera tener aplicaciones en panificación mediante su combinación con harina de trigo, aunque es posible que las propiedades reológicas de la harina para panificación (harina de trigo con contenido proteico mayor al 11%), pudieran ser afectadas. Un beneficio adicional de la combinación de harinas de lenteja y trigo es la mejoría nutricional del producto final de panificación, debido a que la proteína de la harina de trigo contiene metionina y cisteína, los cuales se encuentran en bajas concentraciones en la harina de lenteja (Aguilar *et al.*, 2011).

1.4 Panificación

El pan ha sido un producto popular dado a que para su fabricación requiere utensilios sencillos, es un alimento altamente nutritivo y para su fabricación requiere ingredientes comunes como sal, azúcar y fermento. Los procesos industriales modernos de panificación son altamente mecanizados y requieren un estricto control de calidad de la harina de trigo ya que la misma afecta variables de proceso y calidad de producto terminado (Serna, 2013).

Para la manufactura del pan se siguen los siguientes pasos básicos:

- a) Pre-mezcla de ingredientes
- b) Amasado
- c) Fermentación
- d) Prensado/formado
- e) Horneado

La calidad de la harina afecta principalmente la absorción de agua y tiempo óptimo de amasado. La masa para su mejor procesamiento debe ser mezclada hasta lograr el desarrollo del gluten (Serna, 2013).

1.4.1 Sistemas de elaboración

Existen tres sistemas generales de elaboración de pan que vienen determinados principalmente por el tipo de levadura utilizado, son los siguientes (Mesas & Alegre, 2002):

- **Directo**

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

- **Mixto**

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

- **Esponja o poolish**

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

1.4.2 Historia del pan

No es posible hablar de la historia de la humanidad sin referirse al pan y al trigo, existen evidencias de que el hombre ya utilizaba el trigo para alimentarse hace más de 11.000 años, los primeros panes se hallan en el Neolítico y tienen entre 6.000 y 9.000 años. De hecho, el pan como principal alimento derivado del trigo, ha sido desde el principio, el mejor aliado de muchas civilizaciones para vencer el hambre (Gil, 2010).

Con la evolución de la humanidad, la forma de hacer el pan también se ha modificado, pero nunca ha perdido el peso y la importancia que tiene en la alimentación humana. La industria panadera siempre ha estado relacionada con lo artesanal y a las empresas familiares (ANPROPAN, 2016).

El pan ha tenido y sigue teniendo un papel esencial en muchas religiones, en fiestas populares, en la cultura, en el folklore, por supuesto en una gran cantidad de comidas y celebraciones a lo largo y ancho del planeta (Gil, 2010).

Sin embargo, de la gran variedad de pan que ya existía, el pan de caja tuvo gran impacto, ya que se empezó a convertir en necesario, debido a que se acomodaba perfectamente a las necesidades de una vida que cada día se hacía más frenética. Gracias a estas nuevas dinámicas en la ciudad, el pan de caja se impuso en familias que ya no tenían tanto tiempo de desayunar, era perfecto para las amas de casa quienes por esa época tenían que realizar rápidamente las meriendas de sus hijos y esposos (Ortiz, 2014).



Figura 13. Pan de caja Bimbo.

Fuente: BrandStocker, 2021.

En 1945 el Súper Pan Blanco Bimbo (Figura 13) resultó una novedad en el mercado de la Ciudad de México por estar envuelto en celofán, resultó práctico, higiénico, fresco y sabroso y conquistó rápidamente el gusto de los mexicanos y se hizo indispensable en la despensa de casi todos los hogares del país. Hoy en día Grupo Bimbo es la empresa de panificación más importante en el posicionamiento de marca, las ventas y el volumen de producción en todo el mundo. Es por eso que en México el pan blanco de caja es uno de los productos con mayor consumo y representación (Ortiz, 2014).

Esta industria en la actualidad se encuentra en la fase de expansión y crecimiento, ya que la industria panadera es representativa de la alimentación y se caracteriza por una gran variedad de productos (ANPROPAN, 2016).

1.4.3 Pan blanco de caja

El pan blanco de caja es el producto alimenticio (Figura 14) elaborado mediante la cocción por horneado de la masa fermentada, elaborada con harina de trigo, agua potable, sal yodada, levadura y otros ingredientes opcionales y aditivos permitidos para alimentos (NMX-F-159-S-1983).



Figura 14. Pan de caja.

Fuente: El laboratorio Profeco reporta, 2013.

1.4.4 Características del pan blanco de caja

De acuerdo a la NMX-F-159-S-1983, un pan blanco de caja debe cumplir con las siguientes especificaciones:

- a) Características sensoriales:
 - Forma de un paralelepípedo simétrico, pudiendo ser rectangular o abombado con aristas ligeramente redondeadas, sin extremos bajos ni cuadrados. No debe presentar forma de tornillo ni estar colapsado.

- La superficie exterior y la corteza deben presentar un color amarillo rojizo, el cual deberá ser lo más uniforme posible por el horneado y en todas sus caras, a excepción de la greña, no deberá presentar manchas ni vetas y deberá tener cierto brillo.
- La corteza debe ser suave, romperse fácilmente y no ser correosa.
- Si el producto presenta rebanado, el espesor de la rebanada debe ser uniforme por pieza de pan blanco. El color de la miga debe ser blanco brillante, con un matiz uniforme, sin vetas, manchas ni coloraciones. La superficie de la rebanada no debe presentar desgarraduras.
- Olor: Agradable, característico, no debe ser picante ni rancio.
- Sabor: Agradable, característico, no debe ser ácido.
- Textura: Al tacto debe ser suave y no desmoronable ni pegajoso; mientras que durante la masticación no debe ser masudo, seco, correoso o pegajoso.

b) Físicas y químicas

Los valores de las especificaciones físicas y químicas del pan de caja, deben encontrarse dentro del rango que se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9. Composición química del pan de caja.

Componente	%
Humedad	30
Cenizas	1.8
Proteínas	8
Grasa	0.8
Fibra	0.2

Fuente: NMX-F-159-S-1983.

c) Materia extraña:

Los ingredientes usados en la elaboración deben estar exentos de fragmentos, larvas y huevecillos de insectos, pelos y excretas de roedor y partículas magnéticas u otros materiales extraños.

d) Contaminantes:

Los residuos de plaguicidas autorizados deben estar dentro de los límites que señale la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y la Secretaría de Salud.

1.4.5 Consumo del pan de caja

Dentro de los alimentos que consume diariamente el mexicano, el pan es uno de los básicos en su dieta. Aunque su preparación y origen son principalmente de descendencia española y francesa, su llegada a nuestro país lo transformó en una de las delicias más accesibles y con gran variedad para acompañar el desayuno, la comida, la cena o simplemente como postre (Abastur, 2019).

En siete estados de nuestro país se concentra poco más de la mitad de las unidades económicas que se dedican a la industria panificadora y son: el Estado de México, Veracruz, Puebla, Oaxaca, Ciudad de México, Sonora y Michoacán. En promedio, hay de 2,200 a 2,500 tipos de pan en el país y cerca de 50 tipos de masa para prepararlos (Abastur, 2019).

Actualmente, la industria panificadora está viviendo un gran auge. Hoy, los números que se generan en esta actividad compiten con la industria de la tortilla de maíz y molienda de nixtamal. Según la Cámara Nacional de la Industria Panificadora (CANAINPA), el consumo per cápita anual de pan es de 33.5 kg, del cual el pan blanco representa del 70 a 75%, debido a la versatilidad de su forma de consumo, ya que puede usarse para acompañar casi cualquier alimento; como postre agregándole algún tipo de ingrediente de sabor dulce o como alimento principal en las bien conocidas tortas o molletes y el restante 30 a 25%, a pan dulce, galletas y pasteles. El pan blanco y pan de caja forman parte de la canasta básica del Instituto Nacional de Estadística y geografía (Abastur, 2019; ANPROPAN, 2016).

Kantar Worldpanel agencia líder en el comportamiento del consumidor nos comparte algunos datos referentes a este alimento básico. El 37% de los hogares consumen pan por lo menos una vez a la semana, en promedio 3.3 veces y por lo menos 2 tipos distintos están presentes en la mesa. El pan es una tradición gastronómica rica y compleja que entre semana es cuando más veces se come este alimento ya que 4 de cada 10 veces que se come pan es durante la cena, el 30% de las ocasiones es en el desayuno, y el 9% es en ayunas. Los panes que más veces se disfrutan se muestran en la Figura 15 (Cruz, 2018):

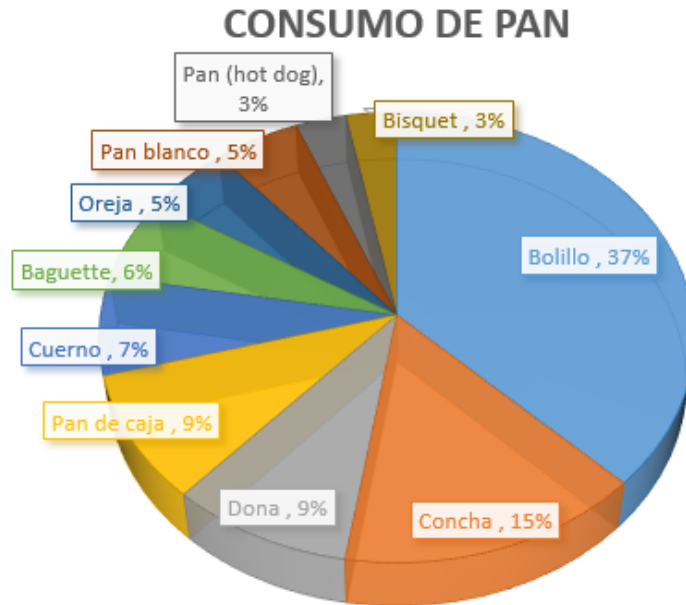


Figura 15. Consumo del pan.
Fuente: Cruz, 2018.

1.4.6 Tendencias de pan de caja saludable

La obesidad en México es uno de los problemas de salud pública más graves debido al alto impacto que genera sobre la salud, el bienestar y la economía de la población. Se asocia con más de 14 causas de mortalidad y es el factor modificable más importante para la prevención de enfermedades cardiovasculares y diabetes. México enfrentó la epidemia de Covid-19 con una población que presentó altas prevalencias de enfermedades crónicas (75% de los adultos vive con sobrepeso u obesidad; 49.2%, con hipertensión, y 14%, con diabetes). En 2016, la importancia de estas enfermedades llevó a la Secretaría de Salud Federal a emitir una declaratoria de emergencia epidemiológica por obesidad y diabetes (Rivera *et al.*, 2022).

Uno de los factores que más contribuye al desarrollo de obesidad es el consumo de dietas ultra procesadas de mala calidad, con niveles excesivos de azúcar, grasa, sal y, además, de alta densidad calórica. Otro aspecto que se ha relacionado con la obesidad es el bajo consumo de alimentos ricos en fibra, como frutas, vegetales, leguminosas y granos enteros. Si bien la actividad física juega un papel importante en el balance energético, así como en la salud cardiovascular y en general, y por lo tanto debe promoverse, sabemos que no es realista compensar con actividad física un aporte de energía habitual que exceda los requerimientos energéticos. Por esta razón, se reconoce que una alimentación adecuada es fundamental para mantenerse en un peso saludable y prevenir la obesidad (Rivera *et al.*, 2022).

En estos últimos años las industrias de alimentos pretenden brindar productos que sean saludables, nutritivos y de alta calidad que logren aportar un mayor valor nutricional ya que los consumidores han tomado conciencia de la importancia de una buena nutrición (Valdivia, 2018).

Las tendencias de consumo en panificados señalan que las personas optan con mayor frecuencia por panes más saludables, funcionales, envasados, de elaboración industrial (Juárez, 2020). Sin duda la salud ha cobrado un especial protagonismo a raíz de la pandemia y ha influido en los consumidores a la hora de elegir sus productos de panadería y pastelería. Las marcas han intentado corresponder a las demandas fabricando productos más saludables, pero sin renunciar al sabor, para ello han apostado por introducir nuevos cereales, más fibra y reducir el contenido en grasas, gluten y azúcar (Lázaro, 2021).

Las grandes industrias en respuesta a estos grandes problemas han optado por utilizar harinas de leguminosas para tratar de dar respuesta a estos dos grandes problemas que a su vez dan valor agregado a sus productos y los hacen cada vez más nutritivos. Es por esto que se reconoce que es una gran oportunidad de presentar un producto innovador al cual se le pueda añadir harinas de leguminosas, ya que estas no son muy utilizadas en la industria panadera, que den solución a estos problemas (Valdivia, 2018).

La propuesta para este proyecto es aprovechar el valor nutricional de la lenteja que tiene altos porcentajes de proteína, fibra y hierro, desarrollando diferentes formulaciones con harina de lenteja y trigo, para así poder incrementar el valor nutricional de un pan de caja.

CAPÍTULO II. DESARROLLO EXPERIMENTAL

2.1 Objetivos.

2.1.1 Objetivo general

Evaluar diferentes formulaciones para la elaboración de un pan de caja de trigo complementado con lenteja, variando las cantidades de las harinas para obtener un producto con calidad sensorial similar, mayor calidad nutrimental y funcional que un pan control.

2.1.2 Objetivos particulares

Objetivo particular 1

Analizar los sólidos granulares del trigo y la lenteja mediante un análisis químico proximal, nutrimental, anti-nutrimental y funcional para saber si son harinas que se pueden complementar.

Objetivo particular 2

Proponer diferentes formulaciones en el desarrollo de pan de caja variando la proporción de harina de lenteja y trigo para seleccionar la mejor formulación mediante una prueba sensorial de preferencia.

Objetivo particular 3

Evaluar al pan de caja seleccionado, mediante un análisis químico proximal (AQP), su calidad nutrimental (digestibilidad *in vitro*, digestibilidad *in vivo*, PER, triptófano, almidón total y almidón digerible), su calidad funcional (fenoles, capacidad antioxidante, almidón resistente y fibra dietética) y factores anti nutrimentales (taninos, ácido fítico e inhibidores de tripsina) para compararlo con un control y saber si es mejor su calidad.

Objetivo particular 4

Evaluar al pan de caja elaborado con la formulación seleccionada mediante una prueba sensorial de nivel de agrado para conocer la aceptación del producto por el consumidor.

2.2 Cuadro metodológico

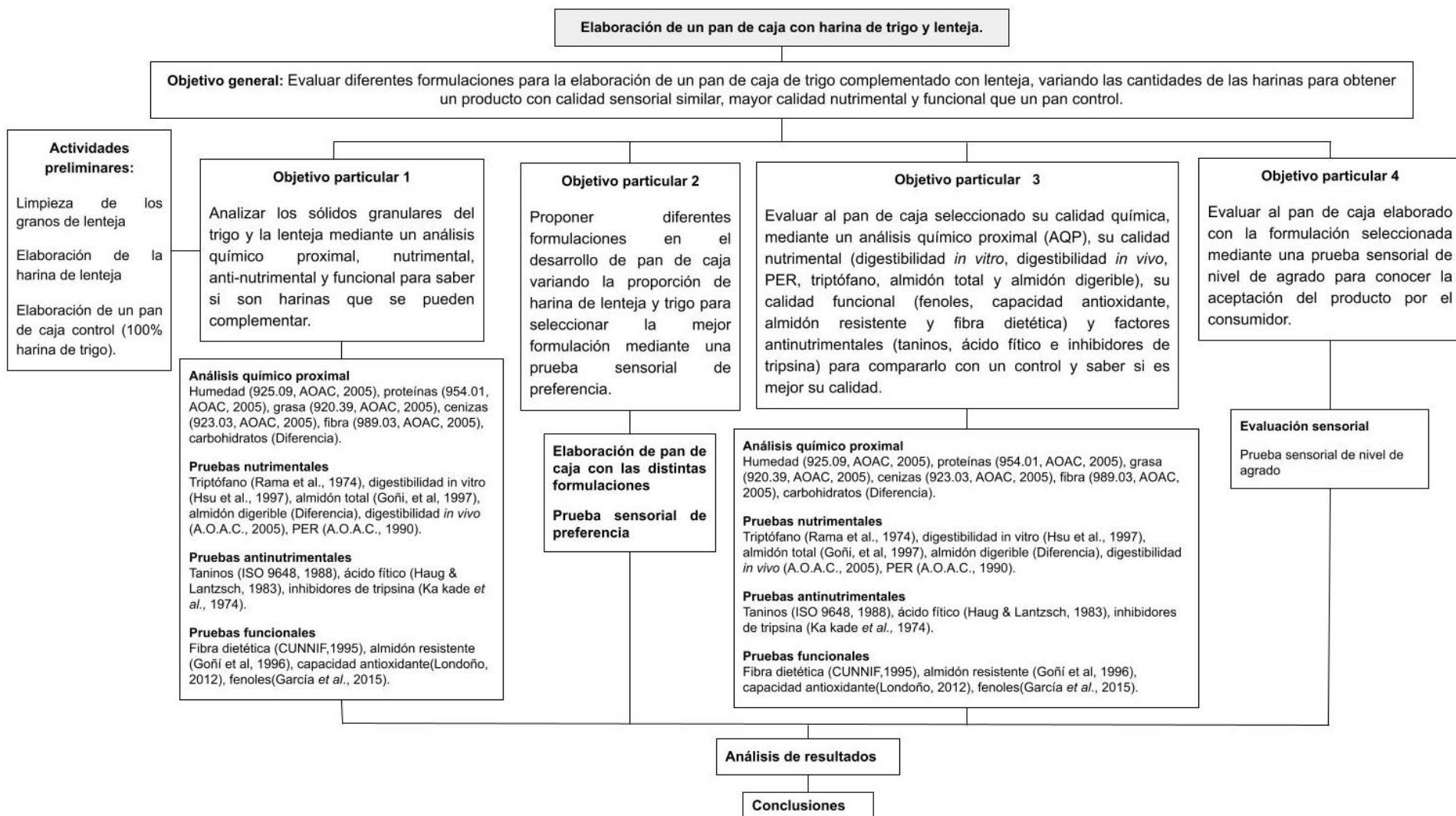


Figura 16. Cuadro metodológico.

2.3 Metodología

2.3.1 Material biológico

Para el desarrollo de este proyecto se utilizaron semillas de lenteja de la especie (*Lens culinaris L.*), cosecha 2019 proveniente del Estado de Michoacán y harina de trigo refinada Tres estrellas® (Figura 17), que fue adquirida en un centro comercial.



Figura 17. Harina de trigo tres estrellas®.

2.3.2 Preparación de la muestra

Se realizó la limpieza de la semilla de lenteja, quitándole cualquier tipo de materia extraña para que pudiera llevarse a cabo la reducción de tamaño en un molino para café marca KRUPS (Figura 18 a), posteriormente se tamizó con una malla #40 USA serie Tyler (Figura 18 b). La harina fue colocada en un frasco de vidrio con tapa para su almacenamiento a temperatura de refrigeración de 4 °C. Esta harina fue utilizada para el análisis químico proximal, nutrimental y anti nutrimental, así como para la elaboración del producto.

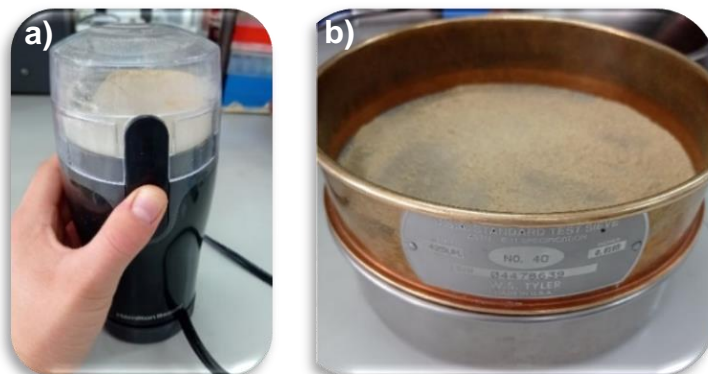


Figura 18. Molienda de la semilla y tamizado.

2.3.3 Análisis químico proximal

Se llevó a cabo el análisis químico proximal de la materia prima (harina de lenteja y trigo), posteriormente a un pan de caja control y seleccionado, realizando las pruebas de humedad, grasa, proteína, cenizas y fibra siguiendo los métodos del A.O.A.C. (2005) y carbohidratos por diferencia.

2.3.3.1 Determinación de humedad

Secado por estufa (925.09).

Fundamento: El contenido de humedad se determinó por el método de secado por estufa, el cual se basa en la eliminación de agua por efecto del calor aplicado a la muestra. Se calculó el contenido de humedad, por la pérdida de peso en la muestra debida a la evaporación del agua por calentamiento hasta peso constante. El resultado se expresó como porcentaje de humedad (A.O.A.C., 2005).

Procedimiento: Para su determinación se pesaron 3 g de la muestra en cajas de aluminio puestas previamente a peso constante, posteriormente se dejó secar la muestra en la estufa (ARSA AR-290 AD) a 103 °C durante una hora (Figura 19), una vez transcurrida la hora se retiran y se colocan en un desecador por 10 minutos y se pesaron en una balanza, repitiendo este procedimiento hasta alcanzar un peso constante. El porcentaje de humedad se obtiene a partir de la ecuación 1.

Cálculo:

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

Ec. (1)

Donde:

W1= Peso de la caja con muestra húmeda (g)

W2= Peso de la caja con muestra seca (g)

W3 = Peso de la muestra (g)



Figura 19. Estufa harsa.

2.3.3.2 Determinación de proteínas

Método de Micro Kjeldahl (954.01).

Fundamento: El método se basa en la digestión de la materia orgánica con ácido sulfúrico concentrado, formándose sulfato de amonio que en exceso de hidróxido de sodio 40% libera amoníaco, el que se destila recibiendo en Ácido bórico 40% formándose borato de amonio el que se valora con HCL 0.1N (A.O.A.C., 2005).

Procedimiento: Para la determinación de proteínas se colocó 0.1 g de la muestra en un tubo de digestión Kjeldhal, con 1.5 g de K_2SO_4 (sulfato de potasio), $CuSO_4$ con 0.2 g de (sulfato cúprico) pentahidratado y 2 mL H_2SO_4 (ácido sulfúrico) concentrado. Se colocó el tubo en una parrilla y se dejó por una hora a la temperatura No. 4 hasta obtener un líquido transparente con coloración azul verdosa (Figura 20 a), este se dejó enfriar. Se agregó la solución en el destilador seguida de NaOH (hidróxido de sodio) al 40% e inmediatamente inicia la destilación por arrastre de vapor. Por otro lado, en un matraz Erlenmeyer se adiciono 50 mL de H_3BO_4 (ácido bórico) al 4% y gotas de fenoltaleína. Se recupera el destilado en el matraz Erlenmeyer hasta un volumen de 100 mL, deteniendo la destilación (Figura 20 b). Finalmente se tituló con HCl (ácido clorhídrico) al 0.1 N y se realizó el cálculo correspondiente de acuerdo a las ecuaciones 2 y 3.

Cálculos:

$$\% \text{ Nitrógeno} = \frac{(V^2 - V^1)(0.014)}{W} * 100$$

Ec. (2)

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

Ec. (3)

Donde:

W= Peso de la muestra (g)

V1= Volumen (mL) de la solución de HCl requerido para la prueba en el blanco

V2= Volumen (mL) de la solución de HCl requerido para la muestra

N= Normalidad de HCl

F= Factor de conversión de nitrógeno en proteína (6.25).

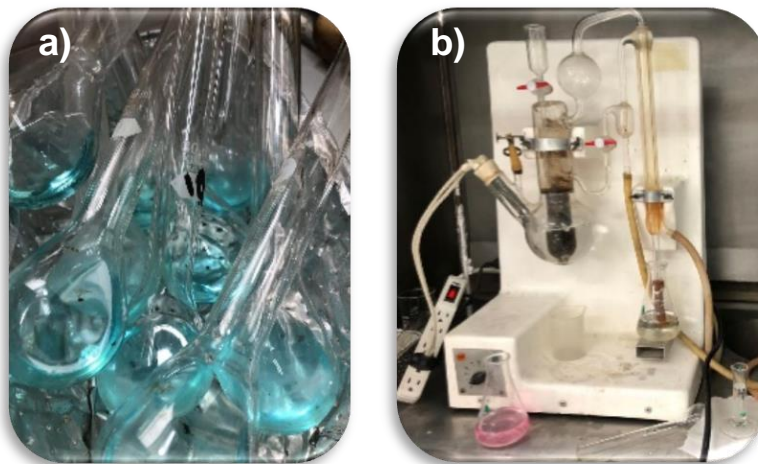


Figura 20. Matraz kjeldahl y destilador.

2.3.3.3 Determinación de grasa

Método Soxhlet (920.39).

Fundamento: Se denomina extracto etéreo o grasa bruta al conjunto de sustancias de un alimento que se extraen con éter etílico (ésteres de los ácidos grasos, fosfolípidos, lecitinas, esteroides, ceras, ácidos grasos libres). La extracción consiste en someter la muestra exenta de agua (deshidratada) a un proceso de extracción continua (Soxhlet) utilizando como solvente éter etílico (A.O.A.C., 2005).

Procedimiento: El método consistió en colocar un matraz bola de fondo plano con perlas o piedras de ebullición en la estufa (ARSA AR-290 AD) a 110 °C, aproximadamente dos horas y pesando cada hora hasta obtener peso constante. Se pesaron 3 g de muestra libre de humedad y después se colocaron dentro de cartuchos de celulosa. Se montó el equipo de destilación con un matraz bola. Se utilizaron 160 mL de C₆H₁₄ (hexano) como disolvente orgánico para extraer el extracto etéreo y se inició con la extracción por 2 horas y 30 minutos (Figura 21). Pasado el tiempo estimado, se evaporó el exceso de hexano hasta la casi total eliminación, se quita el matraz y se termina de secar el extracto a 75-80 °C por 30 minutos. Se dejó enfriar en un desecador por 10 minutos y una vez alcanzada la temperatura ambiente se pesa el matraz con grasa. Finalmente se realizaron los cálculos correspondientes con la ecuación 4.

Cálculo:

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

Ec. (4)

Donde:

W1= Peso de la muestra (g)

W2= Peso del matraz sin grasa (g)

W3= Peso del matraz con grasa (g)



Figura 21. Equipo soxhlet.

2.3.3.4 Determinación de cenizas

Método Kleem (923.03).

Fundamento: Las cenizas de los productos alimentarios están constituidas por el residuo inorgánico que queda después de que la materia orgánica se ha incinerado. Las cenizas obtenidas no tienen necesariamente la misma composición que la materia mineral presente en el alimento original, ya que puede haber habido pérdidas por volatilización o alguna interacción entre los constituyentes (A.O.A.C., 2005).

Procedimiento: Para la determinación de cenizas se pesaron 3 g de muestra en un crisol de cerámica, previamente a peso constante. Se colocaron los crisoles sobre un mechero hasta su total incineración (Figura 22 a). Los crisoles se llevaron a la mufla (SYBRON, thermolyne 1400) durante 2 horas a 600 °C hasta que el material carbonizado se vuelve blanco o ligeramente gris (Figura 22 b), y se dejó enfriar en el desecador por 10 minutos.

Finalmente se pesó el crisol una vez que se encontraba a temperatura ambiente y se realizaron los cálculos correspondientes con la ecuación 5.

Cálculo:

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

Ec. (5)

Donde:

P= Peso de la muestra (g)

P1 = Peso del crisol sin muestra (g)

P2 = Peso del crisol con las cenizas (g)



Figura 22. Incineración de muestra y Mufla Sybron.

2.3.3.5 Determinación de fibra cruda

Método Weende (989.03).

Fundamento: Este método se basa en la digestión ácida y alcalina de la muestra obteniéndose un residuo de fibra cruda y sales que con calcinación posterior se obtiene una pérdida de masa que es el valor de las sales y por diferencia se determina la fibra cruda (A.O.A.C., 2005).

Procedimiento: Para su determinación se colocó 0.5 g de muestra seca y desengrasada en una primera digestión ácida con 200 mL de H₂SO₄ (ácido sulfúrico) al 0.25 N durante 20 minutos. Posteriormente se realizó una digestión alcalina adicionando 200 mL de NaOH (hidróxido de sodio) al 0.81 N durante 20 minutos más. Después se filtró la solución en un papel filtro que ha sido colocado a peso constante previamente y embudo Buchner en un matraz, lavar con agua destilada hasta alcanzar un pH neutro (Figura 23). Se lleva el papel a la estufa (ARSA AR-290 AD) y se seca a 110 °C durante una hora.

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 de acuerdo a la ecuación 6.

Cálculo:

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

Ec. (6)

Donde:

W1= Peso de papel filtro (g)

W2= Peso de papel filtro con residuos secos (g)

W3= Peso del crisol vacío (g)

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

W5= Peso de la muestra previamente desengrasada (g)



Figura 23. Filtración con succión de vacío.

2.3.3.6 Determinación de carbohidratos

El contenido de carbohidratos se determinó por diferencia de los demás componentes en base a la ecuación 7.

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

Ec. (7)

2.4 Elaboración de pan de caja

La elaboración de pan de caja se realizó siguiendo una receta tradicional (Tabla 10), la cual se estandarizó para obtener un producto con características sensoriales parecidas a uno comercial. Estas modificaciones se realizaron en el Laboratorio de Bioquímica y Fisiología de Granos, denominándolo pan de caja control el cual contiene 100% harina de trigo.

Tabla 10. Formulación del pan de caja control.

Ingredientes	Formulaciones			
	100% HT	70-20-10%	50-40-10%	30-60-10%
Harina de lenteja	-	38.682	27.63	16.578
Harina de trigo®	55.26	11.052	22.104	33.156
Gluten	-	5.526	5.526	5.526
Mantequilla sin sal	10.63			
Huevo	10.63			
Leche	8.50			
Agua	6.38			
Azúcar	6.38			
Levadura	1.48			
Sal	0.74			

*HT: Harina de trigo HL: Harina de lenteja y G: Gluten.

Con base a la formulación control (100% harina de trigo), se propusieron tres formulaciones variando únicamente la proporción de harina de trigo para agregar la harina de lenteja y manteniendo la misma cantidad de los demás ingredientes (sal, azúcar, mantequilla, huevo, levadura, leche y agua) con el objetivo de mejorar su calidad nutricional y funcional. Debido a que las semillas de lenteja no forman la red de gluten, se agregó el 10% de gluten vital a la formulación después de algunos intentos, lo que permitió un mejor amasado para la elaboración del producto.

2.4.1 Diagrama de bloques

Para la elaboración del pan de caja se siguió el proceso del diagrama de bloques (Figura 24), para la formulación control e igualmente para las diferentes formulaciones que se propusieron, solamente se sustituyó la harina de trigo por la de lenteja y gluten en los diferentes porcentajes.

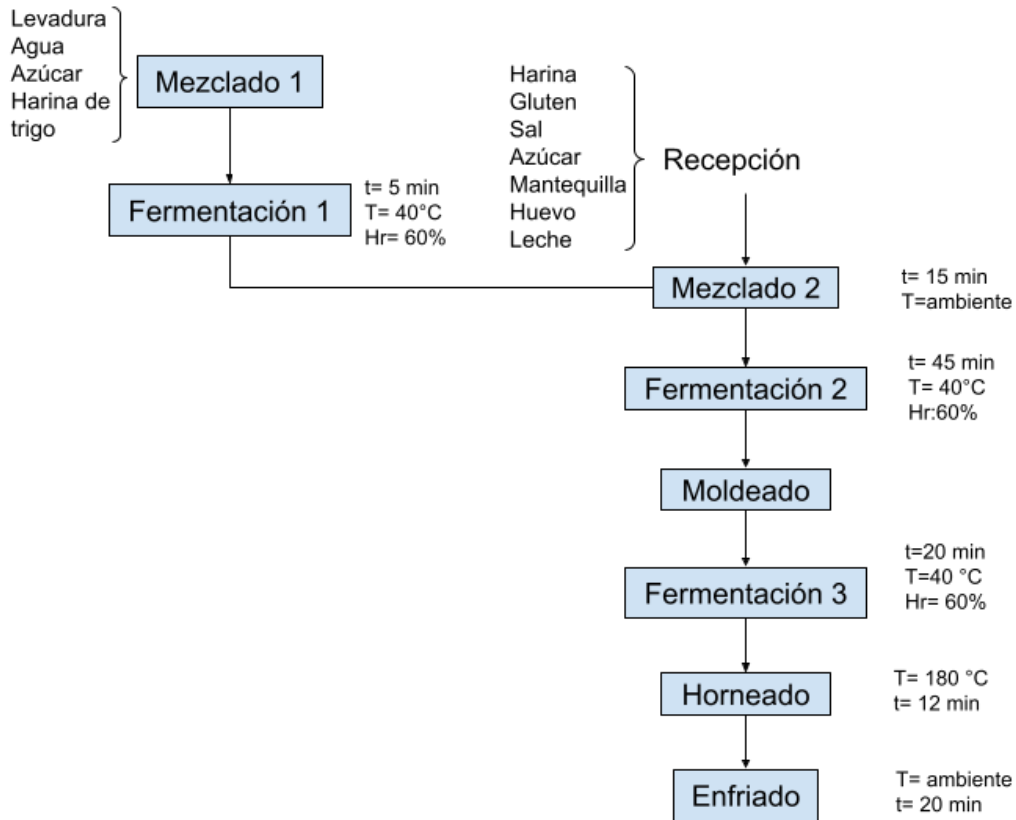










Figura 24. Diagrama de bloques del pan de caja.


2.4.1.1 Descripción del diagrama de bloques

Tabla 11. Descripción del diagrama de bloques

<p style="text-align: center;">Recepción</p> <p>Se pesaron todos los ingredientes en una balanza digital, primero todos los ingredientes secos: harina de lenteja, harina de trigo, gluten, azúcar, sal, levadura. Por último, los ingredientes húmedos: agua, leche, mantequilla y huevo (Figura 25).</p>	 <p style="text-align: center;">Figura 25. Ingredientes para la elaboración de pan de caja.</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<p style="text-align: center;">Mezclado 1</p> <p>Se llevó a cabo el primer mezclado para elaborar la esponja, donde se agregó la levadura, azúcar y agua, añadiéndole poco a poco la harina de trigo mezclando de forma manual hasta homogeneizar la mezcla (Figura 26).</p>	 <p style="text-align: center;">Figura 26. Mezcla para elaboración de esponja.</p>
<p style="text-align: center;">Fermentación</p> <p>Esta mezcla se lleva a la fermentadora durante 5 minutos a una temperatura de 40 °C y una humedad relativa de 60% para obtener la esponja (Figura 27).</p>	 <p style="text-align: center;">Figura 27. Fermentación de la esponja.</p>
<p style="text-align: center;">Mezclado 2</p> <p>Se realizó el segundo mezclado donde primero se mezclaron los ingredientes secos: harina de lenteja, gluten, sal y el resto de harina de trigo y azúcar durante 5 minutos (Figura 28 a). Posteriormente se añadieron los ingredientes húmedos: huevo, leche, mantequilla, y la esponja, durante 15 minutos hasta que se obtenga una masa bien integrada, suave y sin que se pegue en el recipiente (Figura 28 b). Por último, se le da forma con la mano, este amasado debe realizarse de forma intensa y continua, durante 3 minutos.</p>	 <p style="text-align: center;">Figura 28. Mezclado de los ingredientes en seco y húmedo.</p>

<p style="text-align: center;">Fermentación 2</p> <p>Posterior a la primera fermentación, la masa se coloca en un recipiente y se le unta un poco de aceite sobre la superficie y se coloca en la fermentadora por 45 minutos a 40 °C y humedad relativa de 60% (Figura 29).</p>	 <p style="text-align: center;">Figura 29. Fermentación de la masa. .</p>
<p style="text-align: center;">Moldeado</p> <p>Sacar la masa de la fermentadora y sobre una superficie plana espolvorear un poco de harina para amasar la masa durante 2 minutos para acomodar la masa en el molde para pan de caja previamente engrasado y sobre la masa se barniza la leche con ayuda de una brocha (Figura 30).</p>	 <p style="text-align: center;">Figura 30. Moldeado de la masa.</p>
<p style="text-align: center;">Fermentación 3</p> <p>Una vez moldeada la masa y colocada en la caja para darle la forma se coloca en la fermentadora por 20 minutos a 40 °C y humedad relativa de 60% (Figura 31).</p>	 <p style="text-align: center;">Figura 31. Fermentado de la masa en el molde.</p>
<p style="text-align: center;">Horneado</p> <p>Una vez que se sacan de la fermentadora se hornean por 12 minutos a 180 °C (Figura 32).</p>	 <p style="text-align: center;">Figura 32. Horneado del pan.</p>

<p style="text-align: center;">Enfriado</p> <p>Se saca el molde del horno para poner el pan sobre una superficie en donde haya corrientes de aire para que se enfríe y esté a temperatura ambiente para poder ingerirlo (Figura 33).</p>	 <p style="text-align: center;">Figura 33. Enfriado del pan.</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

2.5 Prueba sensorial 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). La prueba sensorial de preferencia se realizó para las 3 formulaciones propuestas (70% harina de lenteja, 20% harina de trigo y 10% gluten; 50% harina de lenteja, 40% harina de trigo y 10% gluten; así como 30% harina de lenteja, 60% harina de trigo y 10% de gluten), la cual se aplicó a 100 jueces no entrenados elegidos al azar en la FES-Cuautitlán, campo 4 para seleccionar la mejor formulación. Se les proporcionaron tres muestras correspondientes a cada formulación, las cuales fueron previamente codificadas. A cada juez se le pidió probar los productos tomando agua entre las muestras, posteriormente que calificaran cada muestra en base a un cuestionario ordenando de mayor a menor preferencia y un comentario sobre su elección. El formato del cuestionario aplicado se encuentra en el Anexo A, así como los resultados obtenidos se encuentran en el Anexo C.

2.6 Calidad nutrimental

Se realizaron las pruebas de calidad nutrimental, triptófano, digestibilidad *in vitro*, almidón total, almidón digerible, relación de eficiencia proteica y digestibilidad *in vivo*, tanto a la materia prima (harina de trigo y de lenteja) como al pan de caja control y seleccionado.

2.6.1 Triptófano (cuantificación)

Fundamento: Hidrólisis enzimática, se libera el triptófano del enlace peptídico. Este aminoácido se cuantifica en proteínas puras o péptidas, mediante técnicas colorimétricas en el cual se desarrollará color con ρ -dimetilaminobenzaldehído (DMAB) y nitrito de sodio como contraste. La lectura se realiza mediante espectrofotometría a $\lambda = 590\text{nm}$ (Rama *et al.*, 1974).

Procedimiento: Para la determinación se pesó 1 g de muestra y se adicionaron 10 mL de solución de pepsina al 0.3% y se dejó incubar a temperatura ambiente por tres horas. Posteriormente se adicionaron 10 mL de NaOH (hidróxido de sodio) al 0.1 N y 10 mL pancreatina al 0.4% y se incubó por 24 horas a temperatura ambiente. Transcurrido el tiempo se aforó la solución a 50 mL con agua destilada y después se filtró (Figura 34 a). Se tomaron 2 mL del extracto y se le adicionó HCl concentrado y DMAB al 0.5%, así como NaNO₂ (nitrito de sodio) al 0.2%. Finalmente se dejó reposar en la oscuridad y se leyó en el espectrofotómetro (JENWAY™ 6305) a 590 nm (Figura 34 b).

Cálculos:

Se utilizó una solución estándar de triptófano al 0.05 mg/ml para poder realizar una curva patrón de 0 a 100 microgramos de triptófano en donde se graficó absorbancia contra mg de triptófano y se obtuvo la ecuación general de la recta. De la cual se obtiene una ordenada al origen (b) y pendiente (m).

Ecuación general de la recta:

$$y = mx + b \quad \text{Ec. (8)}$$

De la ecuación general de la recta (Ecuación 8) se despeja x para conocer el contenido de triptófano:

$$x = \frac{y - b}{m} \quad \text{Ec. (9)}$$

Donde:

x= triptófano (mg)

b= -0.034

m= 10.8 (mg⁻¹)

y= absorbancia

El valor de x de la ecuación 9 se sustituye en la ecuación 10 para obtener miligramos de triptófano por 100 gramos de proteína.

$$\left(\frac{x \text{ mg Trp}}{1 \text{ ml}}\right) \left(\frac{25 \text{ ml}}{0.5 \text{ g}}\right) (100) = \frac{\text{mg Try}}{100 \text{ g muestra}} \quad \text{Ec. (10)}$$

El valor obtenido en la ecuación 10 se pasa de miligramos a gramos para utilizarlo en la ecuación 11, para ello es importante conocer la cantidad de proteína y así obtener los gramos de triptófano en 100 gramos de proteína (g Try/ 100g proteína).

$$\left(\frac{g \text{ Trp}}{100 g \text{ muestra}}\right) \left(\frac{100 g \text{ muestra}}{g \text{ proteína}}\right) (100) = \frac{g \text{ Trp}}{100 g \text{ proteína}}$$

Ec. (11)

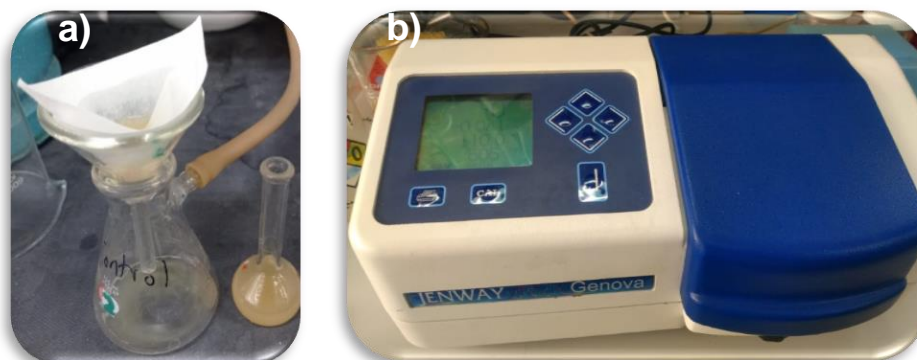


Figura 34. Filtración y lectura de la muestra para la determinación de triptófano.

2.6.2 Digestibilidad *in vitro*

Fundamento: Sistema multienzimático compuesto por una solución A (tripsina, quimotripsina, peptidasa) y solución B (proteasa bacteriana). El coeficiente de correlación entre el pH a los 20 minutos y la digestibilidad aparente *in vitro* es de 0.90, con un margen de error estimado de 2.23 (Hsu *et al.*, 1977).

Procedimiento: En esta determinación se calculó la cantidad de nitrógeno total equivalente a 10 mg de N₂ y se adicionaron 10 mL de agua destilada. Inmediatamente después se ajusta el pH a 8 con HCl (ácido clorhídrico) al 0.01 N e NaOH (hidróxido de sodio) al 0.001 N. Se colocó en agitación constante por 60 minutos, a 37 °C (Figura 35). Anteriormente se preparó la solución A, solución multi enzimática (Tripsina pancreática porcina, α-quimotripsina pancreática bovina y pepsina porcina de mucosa gástrica), posteriormente se ajustó el pH a 8 y se almacenó en hielo hasta su utilización. A la suspensión de la muestra se le agregó 1 mL de solución A y se mantuvo en agitación durante 10 minutos. Pasado el tiempo se añadió solución enzimática B (proteasa bacteriana) y se transfiere a un baño de agua de 55°C durante 9 minutos. Finalmente se transfiere durante un minuto al baño de agua a 37°C y se mide el pH.

Cálculo:

La ecuación 12 es la regresión obtenida experimentalmente y con la que se calculó en porcentaje la digestibilidad.

$$\% \text{ Dig} = 234.84 - 22.56 (\text{pH})$$

Ec. (12)

Dónde:

Lectura pH= pH de la suspensión de proteína

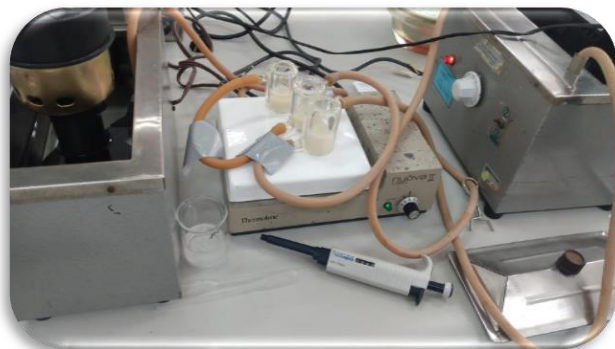


Figura 35. Montaje de baños para la determinación de digestibilidad *in vitro*.

2.6.3 Almidón total

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

Procedimiento:

Para la determinación de almidón total se pesaron 0.05 g de muestra, se agregaron 6 mL de KOH (hidróxido de potasio) al 2 M y se mantuvo en agitación constante durante 30 minutos a temperatura ambiente. Pasado el tiempo se adiciona 3 mL de un buffer acetato de sodio 0.4 M pH= 4.75. Después se agregó 80 μ l de enzima amiloglucosidasa y se colocó en un baño a 60 °C por 45 minutos para que el almidón solubilizado se gelatinizara (Figura 36). Posteriormente se dejó enfriar a temperatura ambiente y se centrifugo a 5000 rpm durante 10 minutos, recuperando el sobrenadante (usando el reactivo de glucosa oxidasa/ peroxidasa). Se tomó 1 mL de reactivo de glucosa (SPINREACT, glucosa-LQ) y se mezcló con 10 μ l del sobrenadante, usando un blanco con solo el reactivo de glucosa (SPINREACT, glucosa-LQ). Se dejó reposar por 20 minutos y se leyó a una absorbancia de 505 nm en el espectrofotómetro (JENWAY™ 6305).

Cálculos:

Se elaboró una curva patrón de glucosa a una concentración de 1 mg/ml en donde se graficó absorbancia contra mg de glucosa y se obtuvo la ecuación general de la recta (Ecuación 8). De la cual se obtiene una ordenada al origen (b) y pendiente (m). Posteriormente de la ecuación general de la recta se despeja x para conocer el contenido de almidón total:

$$X = \frac{y - (-0.058)}{0.0422}$$

Ec. (13)

Donde:

x= almidón total (mg)

b= -0.058

m= 0.0422 (mg⁻¹)

y= absorbancia

Con el valor obtenido en la ecuación 13, se sustituye en la ecuación 14 para obtener el porcentaje de almidón total.

$$X_1 = \frac{(1000\mu L)(x)}{10 \mu L}$$

Ec. (14)

Se calcula el contenido de almidón total para 10 μ L en la ecuación 15.

$$X_2 = \frac{(x_1)(\text{ml de sobrenadante})}{1 \text{ ml}}$$

Ec. (15)

Calcular el contenido de almidón total en 100 g muestra con la ecuación 16.

$$X_3 = \frac{(x_2) (100\text{g})}{\text{g de muestra}}$$

Ec. (16)

Y finalmente se calcula el porcentaje de almidón total en la ecuación 17.

$$\% \text{ Almidón total} = \frac{X^3}{\text{g de muestra}}$$

Ec. (17)



Figura 36. Muestra en baño para la determinación de almidón.

2.6.4 Almidón digerible

El contenido de almidón digerible se determinó por diferencia del almidón total menos el almidón resistente de acuerdo con la ecuación 18.

Cálculo:

$$\% \text{Almidón digerible} = (\text{Almidón total} - \text{Almidón resistente}) \quad \text{Ec. (18)}$$

2.6.5 Relación de eficiencia proteica (PER)

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 inglés PER (Protein Efficiency Ratio). 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 caja 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, 1990. Mientras que la Relación de Eficiencia Proteica fue determinada de acuerdo con el método de la AOAC 960.48 (1990).

Procedimiento:

Se utilizaron 12 ratas Wistar macho de 21 días de nacidas, cuyos pesos oscilan ± 5 g. Las cuales fueron divididas en dos lotes de 6 ratas cada uno, en uno de los lotes de ratas fue alimentado con una dieta de caseína como proteína control y el otro con la formulación seleccionada. Las ratas fueron colocadas en jaulas individuales con el método de la 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 (Figura 37). 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 ecuación 19 y 20 se muestran los cálculos realizados.

Cálculos:

$$\text{PER} = \frac{\Delta P}{\sum \text{AI} * F} \quad \text{Ec. (19)}$$

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

Ec. (20)

Donde:

ΔP = Incremento de peso (g)

ΣAI = 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



Figura 37. Jaulas para ratas Wistar.

2.6.1 Digestibilidad *in vivo*

Fundamento: 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).

Procedimiento: Para su determinación se realizó la recolección de heces en la última semana del experimento de PER para determinar el contenido de nitrógeno. Las heces se recolectaron diariamente y se mantuvieron en refrigeración a 2 °C.

Al finalizar la semana, se homogeneizaron para formar una muestra representativa. La digestibilidad aparente se determinó en base a las ecuaciones 21, 22 y 23.

Cálculos:

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

$$DA = \frac{NI - NF}{NI} \times 100 \quad \text{Ec. (21)}$$

$$NI = \frac{\% N \text{ dieta} * \text{Dieta ingerida}}{100} \quad \text{Ec. (22)}$$

$$NF = \frac{\% N \text{ heces} * \text{Total heces húmedas}}{100} \quad \text{Ec. (23)}$$

Dónde:

NI= Nitrógeno ingerido

NF= Nitrógeno fecal

2.7 Compuestos funcionales

Se realizaron las pruebas de los compuestos funcionales mediante las pruebas de fibra dietética, almidón resistente, capacidad antioxidante y compuestos fenólicos, tanto a la materia prima (harina de trigo y de lenteja) como al pan de caja control y seleccionado.

2.7.1 Fibra dietética

Fundamento: Se utiliza un método enzimático – gravimétrico. La muestra es secada, desengrasada y gelatinizada con la enzima termoestable α -amilasa y posteriormente la digestión con proteasa y amiloglucosidasa para la remoción de proteínas y almidón. El total de la fibra dietética es el peso del residuo menos el peso de la proteína, cenizas y blanco (CUNNIF, 1995).

Procedimiento: En la determinación de fibra dietética se pesó un 1 g de muestra y se adicionaron 50 mL de buffer de fosfato al 0.08 M, se ajusta el pH a 6 ± 0.02 si es necesario. Después se agrego 0.1 mL de solución de α amilasa y se cubre el matraz con papel aluminio.

Se pone en un baño de agua dejándolo en ebullición durante 15 minutos con agitación constante (Figura 38 a) y después se deja enfriar la solución a temperatura ambiente. Posteriormente se ajustó el pH a 7.5 ± 0.2 adicionando 10 mL NaOH (hidróxido de sodio) al 0.275 M. Se agregó 5 mg de proteasa, se cubren los matraces con papel aluminio y se incuban 30 minutos a 60°C con agitación continua. Transcurrido el tiempo se deja enfriar a temperatura ambiente y se adicionan 10 mL de HCL (ácido clorhídrico) al 0.325 M. Se ajustó el pH a 4.0 - 4.6 y se adicionan 0.1 mL de amiloglucosidasa que se cubrió con papel aluminio nuevamente y se llevan a una segunda incubación a 60°C por 30 minutos con agitación continua. Posteriormente se le adiciono 280 mL de etanol al 95% precalentado a 60°C y se dejó reposar por una hora a temperatura ambiente. Pasada la hora se filtró sobre un papel filtro (Figura 38 b). Se lavó el residuo con 60 mL de etanol al 78%, después se lavó nuevamente con 20 mL de etanol al 95% y seguido de esto se lavó una última vez con 20 mL de acetona. Se puso el papel filtro a secar durante la noche, luego se hizo lo requerido para llegar a peso constante. De un papel se determinó proteína y del otro, cenizas. Finalmente se calculó el contenido de fibra dietética mediante la ecuación 24.

Cálculo:

$$\%F = \frac{(R_{\text{muestra}} - P_{\text{muestra}} - A_{\text{muestra}})}{PM} \times 100$$

Ec. (24)

Dónde:

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

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

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

PM = Peso de la muestra (mg)

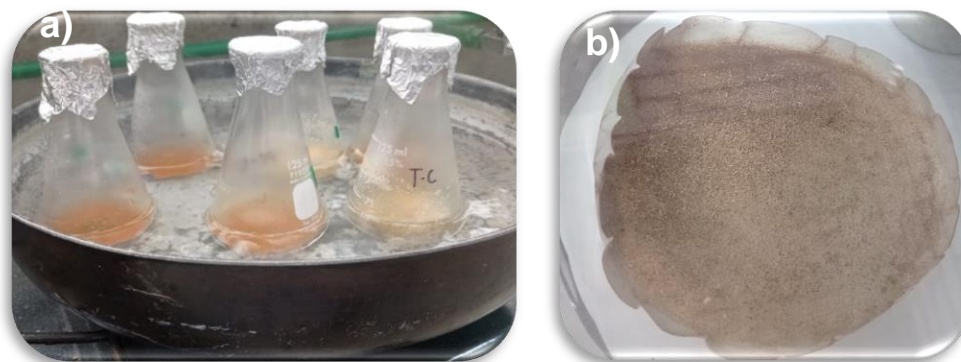


Figura 38. Baño en ebullición de las muestras y filtración.

2.7.2 Almidón resistente

Fundamento: 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: En este método se pesaron 100 mg de muestra y se agregó buffer KCl-HCl con pH de 1.5, posteriormente se agregaron 200 µL pepsina y se puso en agitación constante a 40 °C para después dejar enfriar la muestra. Se adiciono el segundo buffer Tris malato con un pH de 6.9 y 1 mL de la segunda enzima α-amilasa, se mezcló de forma suave y se dejó incubar a 37°C con agitación constante durante 16 horas (Figura 39). Transcurrido el tiempo, se centrifugo la muestra a 5000 rpm durante 15 minutos y se descartó el sobrenadante. Posteriormente al residuo se agregaron 6 mL de KOH (hidróxido de potasio) al 2 M, se mantuvo en agitación constante durante 30 minutos a temperatura ambiente. Se agregaron 3 mL del tercer buffer de acetato de sodio al 0.4 M en donde se ajustó el pH a 4.75, se adicionó 80 µL de la tercera enzima amiloglucosidasa y se colocó en baño de agua a 60 °C con agitación constante durante 45 minutos para que el almidón solubilizado se hidrolice. Posteriormente se dejó enfriar a temperatura ambiente y se centrifugó a 5000 rpm por 10 minutos, se midió el sobrenadante que se obtuvo ya que se utilizó para el cálculo. Se determinó glucosa en el sobrenadante usando reactivo de glucosa oxidasa/peroxidasa y dejando reposar para leer la absorbancia a 505 nm para finalmente realizar los cálculos correspondientes.

Cálculos:

Se elaboró una curva patrón de glucosa a una concentración de 1 mg/ml en donde se graficó absorbancia contra mg de glucosa y se obtuvo la ecuación general de la recta (Ecuación 8). De la cual se obtiene una ordenada al origen (b) y pendiente (m). De la ecuación general de la recta se despeja x para conocer el contenido de almidón resistente:

$$X = \frac{y - (-0.058)}{0.0422}$$

Ec. (25)

Donde:

x= almidón (mg)

b= -0.058

$m = 0.0422 \text{ (mg}^{-1}\text{)}$
 $y = \text{absorbancia}$

Con el valor obtenido en la ecuación 25, se sustituye en la ecuación 26 para obtener el porcentaje de almidón total.

$$X_1 = \frac{(1000\mu\text{L})(x)}{10 \mu\text{L}} \quad \text{Ec. (26)}$$

Se calcula el contenido de almidón total para 10 μL en la ecuación 27.

$$X_2 = \frac{(x_1)(\text{ml de sobrenadante})}{1 \text{ ml}} \quad \text{Ec. (27)}$$

Calcular el contenido de almidón total en 100 g muestra con la ecuación 28.

$$X_3 = \frac{(x_2) (100\text{g})}{\text{g de muestra}} \quad \text{Ec. (28)}$$

Y finalmente se calcula el porcentaje de almidón total en la ecuación 29.

$$\% \text{ Almidón resistente} = \frac{X^3}{\text{g de muestra}} \quad \text{Ec. (29)}$$



Figura 39. Muestra para la determinación de almidón.

2.7.3 Capacidad antioxidante

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

Procedimiento: Para su determinación se pesó 0.1 g de muestra, la cual se diluyó en 1 mL de metanol-HCL al 1% y se hirvió en baño maría por 10 minutos (Figura 40 a). Después se dejó enfriar a temperatura ambiente y se centrifugó a 9000 rpm por 10 minutos para obtener un sobrenadante (Figura 40 b). El sobrenadante obtenido se pasa a tubos eppendorf a 65°C en bloque de calentamiento hasta su total evaporación. Una vez evaporados, la pastilla obtenida se disuelve en 1 mL de agua desionizada, se agitó y centrifugó a 9000 rpm durante 10 minutos y se obtuvo un extracto. Para la determinación de capacidad antioxidante se toma 500 µL del extracto y se le agregaron 500 µL de solución DPPH, se deja reposar durante 30 minutos en la oscuridad absoluta. Posteriormente leer a 518 nm en el espectrofotómetro (JENWAY™ 6305), previamente calibrado con agua. Después leer la muestra de metanol + DPPH y dejarlos reposar 30 minutos como control negativo y obtener la lectura. El cálculo se realizó de acuerdo con la ecuación 30.

Cálculo:

$$\%CA = \frac{(\text{Abs control negativo} - \text{Abs. Muestra})}{\text{Abs Control Negativo}} \times 100$$

Ec. (30)

Dónde:

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

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



Figura 40. Muestras con la solución en baño maría y Centrifugación.

2.7.4 Compuestos fenólicos

Fundamento: El ensayo Folin-Ciocalteu se utiliza como medida del contenido en compuestos fenólicos totales en productos vegetales. Se basa en que los compuestos fenólicos reaccionan con el reactivo de Folin-Ciocalteu, a pH básico, dando lugar a una coloración azul susceptible de ser determinada espectrofotométricamente a 760 nm. Este reactivo contiene una mezcla de wolfrato sódico y molibdato sódico en ácido fosfórico y reacciona con los compuestos fenólicos presentes en la muestra.

El ácido fosfomolibdotúngstico (formado por las dos sales en el medio ácido), de color amarillo, al ser reducido por los grupos fenólicos da lugar a un complejo de color azul intenso, cuya intensidad es la que medimos para evaluar el contenido en polifenoles (García *et al.*, 2015).

Procedimiento: En este método se preparó el extracto como en la determinación de capacidad antioxidante antes mencionada. Se pesó 0.1 g de muestra y se agregó 1 mL de Metanol-HCl al 1%, posteriormente se hierve por 10 minutos en baño maría y se dejó enfriar. Posteriormente se centrifugó a 9000 rpm durante 10 minutos. El sobrenadante obtenido se lleva a tubos eppendorf a 65 °C en bloque de calentamiento hasta su total evaporación. Una vez evaporados, se obtiene una pastilla y se disuelve en 1 mL de agua desionizada, se agitó y se centrifugó a 9000 rpm por 10 minutos. De esta forma se obtuvo el extracto con el que se trabajó, se toma 400 µL del extracto y se le agregan 3570 µL de agua destilada, así como también, se agrega 250 µL de Folin-Ciocalteu se agita y se dejó reposar por 5 minutos. Posteriormente se agregan 500 µL de Na₂CO₃, se agita y reposa por 15 minutos (Figura 41). Finalmente se leyó la absorbancia a 760 nm en el espectrofotómetro (JENWAY™ 6305).

Cálculo:

Se elaboró una curva patrón de una solución estándar de ácido gálico de 0.5 mg/ml en donde se graficó absorbancia contra mg de ácido gálico y se obtuvo la ecuación general de la recta (Ecuación 8). Posteriormente de la ecuación general de la recta se obtiene la ordenada al origen (b) y pendiente (m). De la ecuación general de la recta se despeja x para conocer el contenido de compuestos fenólicos:

$$X = \frac{y - (0.065)}{3.492} \quad \text{Ec. (31)}$$

Donde:

x= compuestos fenólicos (mg)

b= 0.065

m= 3.492 (mg⁻¹)

y= absorbancia

Del valor obtenido en la ecuación 31, se calcula el contenido de fenoles en 1000 μL (Ecuación 32) y contenido en 1 g de muestra (Ecuación 33).

$$X_1 = \frac{(1000\mu\text{L})x}{400 \mu\text{L}} \quad \text{Ec. (32)}$$

$$X_2 = \frac{X_1(1 \text{ g muestra})}{0.1 \text{ g}} \quad \text{Ec. (33)}$$

Finalmente, se calcula el contenido de fenoles, considerando la equivalencia y el peso molecular del ácido gálico en la ecuación 34.

$$\text{Fenoles} = \frac{x_2 * E}{\text{PM}} * 10 = \frac{\text{mg EAG}}{\text{g muestra}} \quad \text{Ec. (34)}$$

Dónde:

X₂: Fenoles en 1 g de muestra.

E: Equivalencia en 6 equivalentes de ácido gálico.

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

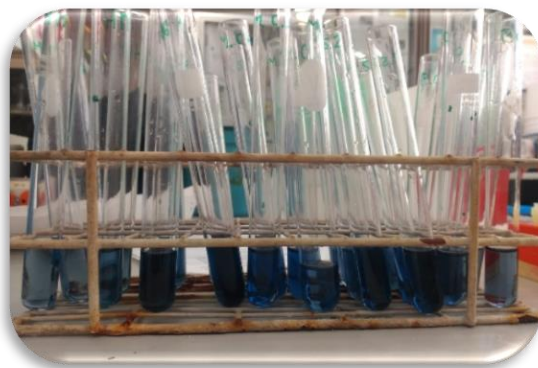


Figura 41. Muestra para la determinación de fenoles totales.

2.8 Factores anti-nutrimientales

Se realizaron las pruebas de los factores anti-nutrimientales mediante las pruebas de taninos, ácido fítico e inhibidores de tripsina a la materia prima (harina de trigo y lenteja), así como al pan de caja control y seleccionado.

2.8.1 Taninos

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

Procedimiento: Para este método se pesó 1 g de muestra y se adiciona DMF al 75%, se mantuvo en agitación durante 1 hora y se dejó reposar durante 15 minutos. Una vez transcurrido el tiempo se centrifugó a 5000 rpm por 20 minutos. Se etiquetaron 2 tubos, una para la determinación y otro como blanco, a cada uno se le agregó 1 mL de sobrenadante, 5 mL de agua destilada (6 mL para el caso del blanco), 1 mL de citrato férrico (17 – 20%) y 1 mL de hidróxido de amonio (Figura 42). Finalmente leer la absorbancia a 525 nm.

Cálculo:

Se elaboró una curva patrón de una solución estándar de ácido tánico en donde se graficó absorbancia contra mg de ácido tánico y se obtuvo la ecuación general de la recta (Ecuación 8). Posteriormente, se obtiene la ordenada al origen (b) y pendiente (m). De la ecuación general de la recta se despeja x para conocer el contenido de taninos:

$$X = \frac{y - (0.099)}{0.064}$$

Ec. (35)

Donde:

x= compuestos fenólicos (mg)

b= 0.099

m= 0.064 (mg⁻¹)

y= absorbancia

Del resultado de la ecuación 35, se realizó el cálculo correspondiente para obtener el porcentaje de taninos en la muestra correspondiente a la ecuación 36.

$$\% \text{ Taninos} = \frac{X}{m} * 100$$

Ec. (36)

Donde:

x= valor obtenido (g)

m= peso de la muestra (g)



Figura 42. Muestra en tubos.

2.8.2 Ácido fítico

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

Procedimiento: Se pesó 1 g de la muestra y se le adicionó 20 mL de HCl al 0.2 N, se mantuvo en agitación constante durante 20 minutos a temperatura ambiente y se centrifugó a 3000 rpm por 15 minutos.

Posteriormente se tomó 0.5 mL del extracto y se colocó en un tubo de ensayo, donde se agregó sulfato férrico de amoniaco 0.2%, se tapó el tubo y se calentó a 95 ± 2 °C durante 30 minutos (Figura 43). Se dejó enfriar el tubo y una vez que se encontró a temperatura ambiente se adicionó 2,2-bipiridina y se agitó. A los 30 segundos exactamente de que se adicionó el reactivo se leyó la absorbancia a 519 nm.

Cálculos:

Se elaboró una curva patrón de una solución estándar de ácido fítico en donde se graficó absorbancia contra μg de P del ácido fítico/ mL y se obtuvo la ecuación general de la recta (Ecuación 8). Posteriormente de la ecuación general de la recta se obtiene la ordenada al origen (b) y pendiente (m). De la ecuación general de la recta se despeja x para conocer el contenido de taninos:

$$X = \frac{y - (-0.031)}{0.028} \tag{Ec. (35)}$$

Donde:

- x= compuestos fenólicos (mg)
- b= -0.031
- m= 0.028 (mg^{-1})
- y= absorbancia

Para determinar el contenido de taninos se utiliza la ecuación 36, considerando que el valor de x obtenido de la ecuación 35 está dado en mg y se tiene que realizar una conversión a gramos.

$$P = \frac{x * E}{t} \tag{Ec. (36)}$$

Donde:

- P: μg de fosfato del ácido fítico / mL
- x: valor obtenido de la ecuación despejada.
- E: equivalente a 660.08 g (1 mol de ácido fítico).
- T: equivalente a 185.82 g (6 moles de fosfato).

Finalmente se determinan el porcentaje de ácido fítico con la ecuación 37.

$$\% \text{ Ácido fítico} = \frac{P}{M} * 100 \tag{Ec. (37)}$$

Dónde:

- P: μg de fosfato del ácido fítico / mL
- M: muestra (g)/20 ml HCl

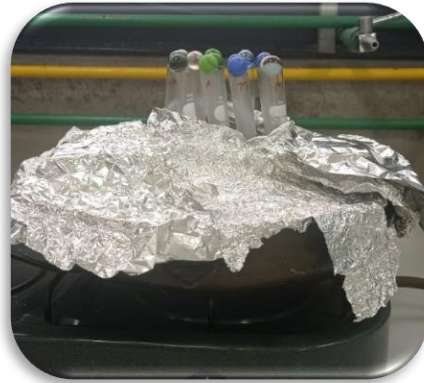


Figura 43. Baño en ebullición con la muestra.

2.8.3 Inhibidores de tripsina

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

Procedimiento: Para la determinación se pesó 1 g de la muestra y se adicionaron 45 mL de NaOH al 0.01N, se ajustó el pH a 9.6 ± 0.2 . Se transfirió esta mezcla a un vaso de precipitados y se mantuvo en agitación a temperatura ambiente. Después se dejó reposar para obtener un sobrenadante, posteriormente se centrifugó a 5000 rpm durante 5 minutos. Posteriormente se colocaron muestras de 0, 0.6, 1, 1.4 y 1.8 mL del extracto anterior en tubos de ensayo y se ajustó el volumen de cada uno a 2.0 mL con agua destilada (Figura 44). Se adicionó solución estándar de tripsina y se agitó; manteniendo contacto con el inhibidor de tripsina-tripsina en un baño de $37 \text{ }^\circ\text{C}$ por 10 minutos exactamente en el baño. Se adicionó 5 mL de solución BAPNA cada 30 segundos a los cinco tubos y se mantiene dicha mezcla de reacción por 10 minutos exactamente. Transcurrido el tiempo se añadió 1 mL de ácido acético al 30% para detener la reacción enzimática. Si al adicionar el ácido acético al tubo de reacción, este se enturbia, será necesario filtrar, para ello es necesario dejar el tubo en reposo por 5 min. El filtrado deber ser transparente. Finalmente se leyó la coloración producida en el espectrofotómetro (JENWAY™ 6305) a 410 nm.

Cálculos:

Se elaboró una curva patrón de una solución estándar de tripsina en donde se graficó mL de extracto contra unidades de tripsina inhibidas por mililitro (UTI/mL) y se obtuvo la ecuación general de la recta (Ecuación 8).

Posteriormente de la ecuación general de la recta se obtiene la ordenada al origen (b) y pendiente (m). La r (coeficiente de correlación) debe ser mayor a 0.9 y si es así, se sustituye el valor de la ordenada al origen (b) en la siguiente ecuación 38.

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

Ec. (38)

Donde:

B: Ordenada al origen

Factor: Factor de dilución



Figura 44. Colocación de la muestra en tubos.

2.9 Prueba sensorial 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 desagradó dicho producto. Para determinar la aceptabilidad de un producto se pueden usar pruebas de ordenamiento, escalas categorizadas y pruebas de comparación pareada (Ramírez, 2012).

La prueba sensorial de nivel de agrado se realizó con el pan de caja seleccionado (50% harina de lenteja, 40% harina de trigo y 10% gluten), la cual se llevó a cabo con 100 jueces no entrenados y elegidos al azar en la FES-Cuautitlán, campo 4. A cada juez se le proporcionó una muestra del producto y se les explicaron las instrucciones. Se les ofreció agua simple antes de comenzar la prueba para limpiar el paladar de cualquier otro sabor. Los resultados fueron reportados en una escala no estructurada de 10 cm que permite obtener una calificación del producto. Al final se les pidió un comentario acerca de su elección. En el Anexo B se encuentra el formato de la prueba de nivel de agrado, así como en el Anexo D los resultados obtenidos.

2.10 Análisis estadístico

Las pruebas se realizaron por triplicado, calculando su media, desviación estándar y coeficiente de variación. Para las pruebas sensoriales se determinó la frecuencia de votos y el promedio. Se analizaron las medias con la prueba de rango múltiple t student con un nivel de significancia del 95% utilizando un 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: harina de trigo tres estrellas® y la harina de lenteja se muestran en la Tabla 12.

Tabla 12. Resultados del análisis químico proximal de la harina de trigo y lenteja.

Muestra	Humedad (%)	Proteínas (%)	Grasa (%)	Cenizas (%)	Fibra (%)	Carbohidratos (%)
Harina de trigo Tres estrellas®	12.16±0.06 ^a	7.05±0.45 ^a	1.02±0.04 ^a	0.56±0.03 ^a	2.06±0.12 ^a	74.15 ^a
Harina de lenteja	10.39±0.05 ^a	21.45±0.09 ^b	0.40±0.007 ^b	2.54±0.025 ^b	6.44±0.10 ^b	58.78 ^b

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

Como se puede observar en la Tabla 10, los componentes químicos (proteína, grasa, cenizas, fibra y carbohidratos) de la harina de trigo en comparación con la harina de lenteja, presentaron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) con excepción de la humedad.

El contenido de proteína en la lenteja fue el triple en comparación con en el trigo y es un valor que coincide con lo reportado por Skejovic *et al.*, (2021), lo que confirma su potencial como fuente rica en proteínas para complementar en una dieta. Las proteínas de lentejas contienen todos los aminoácidos esenciales (39.3 g de aminoácidos esenciales por 100 g de proteínas) y son ricas en lisina y leucina (Romano *et al.*, 2021). Sin embargo, están limitadas en aminoácidos que contienen azufre (cisteína y metionina), por lo tanto, requieren mezclarse con otras fuentes de proteínas vegetales, como los granos de cereales, para obtener un perfil de aminoácidos adecuadamente equilibrado (Skejovic *et al.*, 2021).

Por otro lado, el contenido en lípidos del trigo es 2.6 veces más que la lenteja presentando diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$), predominando el contenido de ácidos grasos insaturados sobre las saturadas según reporta Cárcamo & Dickson (2016). Los ácidos grasos insaturados (linoleico, oleico y linolénico) dominan el perfil de la grasa de las lentejas con pequeñas cantidades de ácidos grasos saturados, principalmente ácido palmítico (Shyam *et al.*, 2007).

El contenido de cenizas fue 4.54 veces mayor en la lenteja en comparación con el trigo. De hecho, el contenido mineral de las lentejas se compone de niveles relativamente altos de Mg, P, Ca y S (Faris *et al.*, 2013). Sin embargo, la biodisponibilidad de los minerales de las lentejas puede ser baja, debido a la presencia de compuestos anti nutrimentales que interfieren con su absorción (Shyam *et al.*, 2007).

En cuanto al contenido de fibra es más del triple en la harina de lenteja que en la de trigo, esto es importante ya que favorece el tránsito intestinal y evita el estreñimiento, pero además ayuda a disminuir los niveles de glucosa en sangre (Valdivia & Ostos 2018).

Los carbohidratos presentaron diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$) siendo 1.24 veces más en el trigo respecto a la lenteja, esto se debe a que la harina de trigo se obtuvo del endospermo que constituyen del 77 al 87 % de la materia seca total y son los componentes más importantes, de los cuales aproximadamente el 64 % es almidón (Juárez, *et al.*, 2014). Cabe mencionar que el contenido total de carbohidratos en las lentejas (62–69 %) incluye principalmente almidón (35–53 %), con un valor de índice glucémico bajo (21–22) (Romano *et al.*, 2021).

Los resultados anteriores permiten proponer la aplicación de harina de lenteja en productos alimentarios por su alto contenido de proteína, alto contenido de fibra y bajo contenido de ácidos grasos comparado con la harina de trigo, según los requerimientos nutricionales de la población a la que está destinada o el tipo de producto en el que estas materias primas se deseen usar (Valencia & Montoya, 2021).

3.2 Análisis nutrimental de la materia prima

Los resultados de la calidad nutrimental de la harina de trigo y la harina de lenteja se muestran en la Tabla 13.

En la digestibilidad *in vitro* las harinas no presentaron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$), presentando en ambos casos una buena digestibilidad y se puede considerar normal para este tipo de alimento, ya que de acuerdo con reportes de la FAO (1970) para cereales, leguminosas y oleaginosas tienen valores de digestibilidad de proteínas que van de 75% al 85% los cuales son comparativamente más bajos respecto a la leche y huevo que en general tienen valores de digestibilidad alta de aproximadamente 97%. Esta prueba 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 (Manríquez, 2021).

Tabla 13. Resultados de la calidad nutrimental de la harina de trigo y lenteja.

Muestra	Digestibilidad <i>in vitro</i> (%)	Triptófano (g Trp/100g P)	Almidón total (%)	Almidón digerible (%)
Harina de trigo Tres estrellas®	83.68±0 ^a	0.51±0.0057 ^a	69.79±4.56 ^a	68.28 ^a
Harina de lenteja	81.43±0 ^a	1.28±0.05 ^b	32.82±1.36 ^b	8.88 ^b

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

El contenido de triptófano fue 2.5 veces mayor en la harina de lenteja que en la de trigo, presentando una diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$). De hecho, las proteínas de las lentejas son ricas en lisina y triptófano, aminoácidos deficientes en cereales. Por lo tanto, la complementación del pan o productos de panadería con proteínas de lentejas mejoran el balance de aminoácidos de estos productos. El triptófano, no solo se requiere para la síntesis de proteínas, sino que también es el precursor del neurotransmisor (serotonina) y la hormona melatonina (Comai *et al.*, 2011).

En el almidón total y almidón digerible se observó una diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$) siendo mayor el valor del trigo por más del doble y más de siete veces respectivamente en comparación con la lenteja. Este es un valor esperado ya que el almidón es el componente mayoritario del trigo, representando entre el 65-70% de la harina de este cereal; se encuentra en forma de gránulos y es la principal fuente de la energía aportada por el trigo a la dieta (Torres *et al.*, 2014). Sin embargo, que la lenteja presentara menor cantidad de almidón digerible que el trigo resulta favorable ya que se sabe que la liberación lenta de glucosa del almidón de las lentejas contribuye a un índice glucémico más bajo (Fujiwara, *et al.*, 2017).

3.3 Análisis funcional de la materia prima

Los resultados de las propiedades funcionales para la harina de trigo y harina de lenteja se muestran en la Tabla 14.

Tabla 14. Resultados de los compuestos funcionales de la harina de trigo y lenteja.

Muestra	Fenoles (mgEAG/gmtra)	Capacidad antioxidante (%)	Almidón resistente (%)	Fibra dietética (%)
Harina de trigo tres estrellas®	0.71±0.04 ^a	6.33±0.19 ^a	1.51±0.03 ^a	3.46±0.014 ^a
Harina de lenteja	1.48±0.01 ^b	49.3±0.41 ^b	2.39±1.30 ^b	39.03±1.71 ^b

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

Se observó una diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$) en el porcentaje de los compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante, siendo 2 y 7.8 veces mayor en la harina de lenteja respecto a la harina de trigo, este es un resultado que se podría esperar pues se sabe que el contenido fenólico total y la actividad antioxidante en las lentejas exhiben un valor superior o compatible con el de algunas frutas o verduras, lo que implica que los compuestos fenólicos son los principales compuestos antioxidantes en las lentejas (Faris *et al.*, 2013).

Las lentejas también representan una fuente abundante de fitoquímicos, muchos de los cuales han sido identificados como posibles candidatos quimiopreventivos y pueden contribuir a sus altas propiedades antioxidantes, antidiabéticas, anti obesidad, anticancerígenas y antiinflamatorias (Romano *et al.*, 2021).

Se ha encontrado que la oscuridad de la cubierta de legumbres coloreadas como las lentejas se correlaciona con su contenido fenólico. Las legumbres de color oscuro, como las lentejas, poseen un mayor contenido fenólico y actividades antioxidantes que las de color claro (Faris, *et al.*, 2013).

En la fibra dietética se observó una diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$), siendo 11 veces mayor en la harina de lenteja por lo que es una buena fuente de fibra dietética que contribuyen a la salud, ya que las cualidades dietéticas de las lentejas están relacionadas con niveles reducidos de colesterol y lípidos en humanos y un bajo riesgo de cáncer de colon y diabetes tipo 2 (Alrosan *et al.*, 2022).

En cuanto al almidón resistente presentó una diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$), en donde la harina de lenteja contiene 2.4 veces más de este componente que el trigo, de acuerdo con García *et al.*, (1998), se encontró que las lentejas crudas tenían valores de almidón resistente más altos (16– 21%) que las cocidas (4– 8%). Aunque moler las semillas altera parcialmente la integridad de la pared celular, la cantidad de almidón resistente en la harina sigue siendo alta porque no se ha producido la gelatinización.

3.4 Factores anti-nutrimientales de la materia prima

Fueron evaluados los factores anti nutrimientales, con el fin de conocer los constituyentes que pueden provocar efectos negativos en la absorción de los nutrientes, los resultados se muestran en la Tabla 15.

Tabla 15. Factores anti-nutrimientales de las harinas de trigo y lenteja.

Muestra	Taninos (%)	Ácido fítico (%)	Inhibidores de tripsina (%)
Harina de trigo tres estrellas®	0.057±0.006 ^a	ND	ND
Harina de Lenteja	0.65±0.01 ^b	0.91±0.07	0.11±0.01

*Las letras en la misma columna indican diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$).

El porcentaje de taninos detectados en las harinas, presentan una diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$) siendo 11.5 veces mayor este componente en la lenteja respecto al trigo, en particular, los taninos se pueden encontrar en la cubierta de la semilla y se consideran tóxicos para la salud en proporciones de 0.5 a 2 g/kg (Vázquez, 2012; Romano *et al.*, 2021).

Sin embargo, podrían reducirse en la harina de lenteja mediante métodos de pretratamiento como el descascarillado (eliminación física) y la molienda (reducción de tamaño) de semillas enteras o semillas descortezadas (Romano *et al.*, 2021).

El ácido fítico no fue detectado para la harina de trigo, sin embargo, para la harina de lenteja se encuentra presente y es la forma más importante de almacenamiento de fosfato en la mayoría de las semillas. En legumbres, el ácido fítico se encuentra asociado con las proteínas e interfiere con la acción de la pepsina en varios proteínas vegetales y animales en estudios *in vitro*.

Su acción antiproteolítica probablemente va a través de la interacción fitato: proteína que forma complejos a pH ácido. Se ha demostrado que el ácido fítico inhibe la actividad de la tripsina e inhibe significativamente (hasta un 25%) la digestión *in vitro* de la caseína (Valencia y Montoya, 2021). El ácido fítico se considera tóxico para la salud en proporciones de 2.75 g/kg (Perelló, 2014).

Los inhibidores de tripsina no fueron detectables en harina de trigo, pero si en harina de lenteja. Los inhibidores de la proteasa como los inhibidores de la tripsina y la quimotripsina pueden reducir significativamente la digestibilidad de la proteína si no se eliminan o inactivan adecuadamente durante el procesamiento (Skejovic *et al.*, 2021).

La presencia de varios componentes anti nutricionales en las lentejas como los inhibidores de tripsina, el ácido fítico y los taninos pueden limitar su consumo extensivo en las industrias alimentarias (Sharma, *et al.*, 2022). Sin embargo, a pesar de que eran componentes que se esperaban en la harina de lenteja, los valores obtenidos son bajos y no representan ningún riesgo para la salud y pueden ser consumidas sin ningún problema.

3.5 Prueba de preferencia

Como se indico en la metodología, se realizó una prueba sensorial de preferencia a las tres formulaciones del pan de caja, para seleccionar la mejor formulación. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 16. En el Anexo C se encuentran los resultados obtenidos de cada formulación y su codificación.

Tabla 16. Resultados de la prueba sensorial de preferencia.

Formulación	30-60-10% HL-HT-G	50- 40-10% HL-HT-G	70-20-10% HL-HT-G
Puntuación total	237 ^a	214 ^a	151 ^b

*Letras diferentes en la misma fila indican diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$)
HL=Harina de Lenteja-HT=Harina de Trigo-G=Glúten

Como se observa en la tabla 14 la muestra con 30% y 50% de harina de lenteja no tuvieron diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$), pero estas dos si la tuvieron con la muestra de 70% de harina de lenteja, que fue la de menor agrado para los jueces, quedando de esta manera rechazada. De las dos muestras que no presentan diferencia estadística fueron las que más gustaron y recibieron buenos comentarios por parte de los jueces.

De acuerdo con Gallo *et al.*, (2022), desde un punto de vista nutricional, la adición de un alto nivel (20-30%) de harina de lenteja puede aumentar el contenido de proteína y fibra dietética, así como reducir el índice glucémico del pan. Por lo mencionado anteriormente se tomó la decisión de seleccionar la muestra de 50% de harina de lenteja como la mejor formulación, ya que es la muestra que contiene mayor porcentaje de harina de lenteja en comparación con la de 30%, por lo tanto, se espera un mayor valor nutritivo del producto.

3.6 Análisis químico proximal del pan de caja control y seleccionado

En la Tabla 17 se presentan los resultados del análisis químico proximal del pan de caja control y seleccionado.

Tabla 17. Resultados del analisis quimico proximal del pan de caja control y seleccionado.

Muestra	Humedad (%)	Proteínas (%)	Grasa (%)	Cenizas (%)	Fibra (%)	Carbohidratos (%)
Pan de caja control	4.43±0.30 ^a	10.19±0.42 ^a	16.39±0.37 ^a	1.74±0.01 ^a	2.44±0.29 ^a	64.81 ^a
Pan de caja seleccionado (50- 40-10%)	4.18±0.09 ^a	17.46±0.5 ^b	12.31±0.4 ^b	2.17±0.4 ^b	3.82±0.19 ^b	60.06 ^a

*Las letras en la misma columna indican diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$).

El pan de caja realizado con la formulación seleccionada presentó diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$) en la mayoría de los componentes químicos analizados con respecto al pan de caja control, con excepción de la humedad y carbohidratos.

Como era de esperarse, el contenido de proteína aumentó casi al doble en el producto seleccionado en comparación con el control por la adición de harina de lenteja, como anteriormente se reportó la lenteja contiene aproximadamente el doble de proteína que el trigo, así como también es una buena fuente de aminoácidos esenciales, particularmente leucina, lisina, treonina y fenilalanina. De esta manera el alto contenido de proteínas de las lentejas las convierte en una excelente fuente de alimentos para las personas de países en desarrollo que no pueden pagar los costosos productos de proteína animal (Samaranayaka, 2017).

Por otro lado, el contenido de grasa del pan de caja control es 1.33 veces mayor presentando diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) respecto al pan de caja control. Es importante resaltar que a pesar de que se añadió la misma cantidad de mantequilla para ambos productos, el seleccionado contiene un 50% de harina de lenteja que tiene un contenido de grasa relativa bajo (Faris, *et al.*, 2013).

El contenido de cenizas en el pan de caja seleccionado fue 1.25 veces mayor en comparación con el control, presentando diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$), este aumento se debe a la adición de harina de lenteja que tiene un contenido de ceniza alto, de hecho, el contenido mineral de las lentejas se compone de niveles relativamente altos de Mg, P, Ca y S (Faris *et al.*, 2013).

La fibra cruda es 1.56 veces mayor en el producto seleccionado gracias a la harina de lenteja que como ya se mencionó, el alto contenido de fibra y la baja respuesta glucémica de las lentejas se han considerado como un medio para aumentar la saciedad, reducir la ingesta de alimentos y, por lo tanto, controlar el peso corporal (Faris *et al.*, 2013).

En general, la sustitución de harina de trigo por harina de lenteja provoca una mejora en el perfil nutricional del producto final, con una reducción en el contenido de carbohidratos totales y un aumento significativo en el contenido de proteínas (Perri, 2021).

3.7 Análisis nutrimental del pan de caja control y seleccionado

En la Tabla 18 se muestran los resultados del análisis nutrimental del pan de caja control y seleccionado.

Tabla 18. Resultados de la calidad nutrimental del pan control y seleccionado.

Muestra	Digestibilidad <i>in vitro</i> (%)	Triptófano (g Trp/100g P)	Almidón total (%)	Almidón digerible (%)
Pan de caja control	87.44±3.44 ^a	0.94±0.11 ^a	68.29±1.33 ^a	61.21 ^a
Pan de caja seleccionado (50- 40-10%)	86.69±1.3 ^a	1.04±0.090 ^a	45.64±2.95 ^b	38.67 ^b

*Las letras en la misma columna indican diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$).

Como se puede observar, en la digestibilidad *in vitro* no hubo diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$) entre el pan de caja seleccionado y control y ambos productos tuvieron una buena digestibilidad, de acuerdo con la FAO (1985), que reporta que una digestibilidad de 86-93% es una buena proteína, lo cual significa que la mayor parte de la proteína puede ser absorbida por el organismo y aprovechar los aminoácidos esenciales presentes en el pan de caja.

Los resultados obtenidos de triptófano no presentaron una diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$) entre las muestras. Que las formulaciones presenten este compuesto resulta favorable ya que es uno de los aminoácidos esenciales en la nutrición humana y juega un papel crítico en el metabolismo. Además de la biosíntesis de proteínas, el triptófano sirve como un precursor bioquímico de sustancias de actividad fisiológica típica que incluyen serotonina, melatonina, triptamina, niacina y productos de degradación de triptófano. Las prácticas de procesamiento y preparación de alimentos, incluido el proceso de calentamiento, pueden conducir a la degradación oxidativa y el entrecruzamiento entre las moléculas de proteína y disminuir la biodisponibilidad de triptófano (Çevikkalp, 2016). Es por esta razón que se puede observar una disminución en el triptófano de la harina de lenteja en el producto seleccionado, debido a que este aminoácido es el más termo sensible y sirve como un indicador para suponer que otros aminoácidos no se verán afectados por el calor (Murray *et al.*, 2005).

El almidón total y digerible tuvieron una diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$), siendo 1.5 y 1.6 respectivamente mayores en el pan de caja control que el seleccionado. El contener menor cantidad de este tipo de almidón es bueno para el producto ya que se sabe que los alimentos con un valor de índice glucémico alto liberan glucosa rápidamente en el torrente sanguíneo, mientras que los alimentos con un valor de índice glucémico bajo liberan la glucosa lentamente (Amaral *et al.*, 2022).

3.8 Digestibilidad *in vivo* y relación de eficiencia proteica (PER) del pan de caja control y seleccionado

Los resultados de la digestibilidad *in vivo* y relación de eficiencia proteica de la dieta con pan de caja control y seleccionado se muestran en la Tabla 19.

Tabla 19. Resultados de la digestibilidad *in vivo* y PER.

Muestra	PER	PER ajustado	Digestibilidad <i>in vivo</i> (%)
Formulación control	1.74 ^a	1.36 ^a	88.79±2.81 ^a
Formulación seleccionada	2.17 ^b	1.65 ^b	85.83±2.40 ^a

*Las letras en la misma columna indican diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$).

El PER de la formulación control y seleccionada presenta una diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$), de acuerdo con Friedman (1996) un PER por debajo de 1.5 indica una proteína de baja o mala calidad; entre 1.5 y 2.0, una de calidad intermedia y superior a 2.0, buena a alta calidad. Con lo mencionado anteriormente se puede decir que la calidad proteica de la formulación control es considerada de calidad intermedia, sin embargo, la formulación seleccionada presenta una alta calidad proteica. Muchos estudios usan PER ajustado, donde el PER real se ajusta por el PER observado para la caseína en la experimentación, asumiendo un PER de caseína estándar de 2.5.

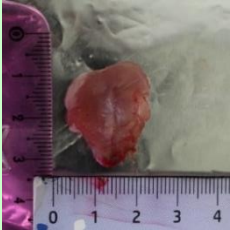

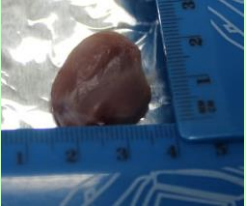
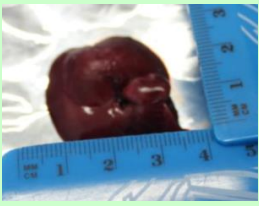

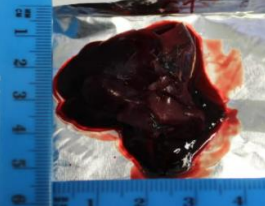
En este estudio se observó que la ingesta de dietas con harina de lenteja o pan de trigo y lenteja mejoran los parámetros fecales (mayor peso en las heces por retención de agua) probablemente relacionado con la naturaleza y contenido de fibra presente en la lenteja y la producción de ácidos grasos de cadena corta (Carboni *et al.*, 2022).

Los valores más altos de retención de agua en las heces se asocian con beneficios para el tracto intestinal, incluido un mejor tránsito intestinal, un aumento en el volumen de las heces y una mayor suavidad de las heces y, por lo tanto, con una mejora en la salud del colon (Carboni *et al.*, 2022).

En general, los resultados obtenidos sugieren que la ingesta de pan complementado con lenteja previamente tratado térmicamente para la eliminación de factores anti nutricionales, podría tener beneficios potenciales para la salud, tanto en la salud ósea como en la función intestinal (Carboni *et al.*, 2022).

En cuanto a la digestibilidad *in vivo* (Tabla 19), las dos muestras presentaron resultados recomendados, recordemos que la digestibilidad de un alimento se define como la proporción de nitrógeno del mismo que es absorbida tras su digestión. Existen reportes que indican una digestibilidad de proteínas de origen animal como huevo, leche y queso en un intervalo de 95 y 97% de digestibilidad, seguido de la carne y las leguminosas entre un 94 y 78% respectivamente (Cerón, 2006). Por lo que podemos decir que el pan de caja con la formulación seleccionada tiene una muy buena digestibilidad *in vivo* de 85.83 % y se considera normal en este alimento.

Tabla 20. Comparación entre hígados y músculos.

	Imagen de músculo	Peso (g)	Imagen de hígado	Peso (g)
Pan de caja control 100% harina de trigo		3.05 ^a		4.39 ^a
Pan de caja seleccionado		3.18 ^a		5.35 ^b
Caseína		6.24 ^b		7.37 ^c

*Las letras en la misma columna indican diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$).

En la Tabla 20 se muestran las imágenes tanto del músculo como del hígado de las ratas Wistar que obtuvieron el mayor peso durante la experimentación. Los pesos de los músculos del pan de caja control y seleccionado no presentaron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$), pero estas dos sí con el músculo de la caseína. Se han realizado relativamente pocas investigaciones sobre los efectos de la dieta de lentejas en el peso corporal, sin embargo, existe fuerte evidencia de una relación entre el consumo de lentejas con la pérdida de peso y/o la restricción del aumento de peso en animales (Siva, *et al*, 2018).

Por otra parte, los hígados presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre el pan de caja control, seleccionado y caseína, debido a que son los que presentaron mayor peso de cada dieta, sin embargo, en se mantuvo un peso constante en cada una de las pruebas. En el Anexo E y F respectivamente se encuentran los resultados de los pesos e imágenes de los hígados y músculos de las ratas Wistar alimentadas con el pan de caja seleccionado, control y la caseína.

3.8 Análisis funcional del pan de caja control y seleccionado

En la tabla 21 podemos observar los resultados de las propiedades funcionales del pan de caja control y seleccionado.

Tabla 21. Resultados de las propiedades funcionales del pan control y seleccionado.

Muestra	Fenoles (mgEAG/gmtra)	Capacidad antioxidante (%)	Almidón resistente (%)	Fibra dietética (%)
Pan de caja control	1.48±0.06 ^a	31.44±0.65 ^a	7.07±0.27 ^a	7.66±0.22 ^a
Pan de caja seleccionado (50- 40-10%)	2.56±0.18 ^b	80.69±0.60 ^b	6.97±0.66 ^a	17.31±0.30 ^b

*Las letras en la misma columna indican diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$).

En cuanto a la calidad funcional del pan de caja, se observó una diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$), en el contenido de compuestos fenólicos, siendo 1.7 mayor en la formulación seleccionada en comparación con el control. Esto se debe a que la formulación seleccionada contiene harina de lenteja donde se mostró que la materia prima también contiene un alto contenido de fenoles, lo que resulta favorable para el producto debido a que los compuestos fenólicos también juegan un papel importante como antioxidantes que evitan cambios indeseables en el color, el sabor y la calidad nutricional de los alimentos. Los estudios epidemiológicos y de intervención sugieren que las personas con un alto consumo de fenoles en la dieta tienen un riesgo significativamente menor de desarrollar estas enfermedades (Pathiraja *et al.*, 2023).

La capacidad antioxidante presentó una diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$), debido a que el pan de caja seleccionado fue 5.26 veces mayor en este componente que el control. Este es un valor esperado ya que de acuerdo con Turfani *et al.*, 2017, la capacidad antioxidante evaluada aumenta en un pan producido a partir de mezclas de harina de trigo y harina de lenteja, especialmente harinas de leguminosas no refinadas a $\geq 10\%$ de sustitución.

El almidón resistente no presentó una diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$) entre el pan control y el seleccionado. La fibra dietética tuvo una diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$), siendo 2 veces mayor en la formulación seleccionada; existen muchos beneficios para la salud relacionados con el consumo regular de cereales integrales y leguminosas que se han atribuido a su alto contenido en fibra dietética. Sin embargo, el efecto de las fibras sobre la glucemia depende de características específicas como la solubilidad y la estructura del alimento, lo que puede dar lugar a diferencias en la biodisponibilidad de los nutrientes, las tasas de absorción y los resultados que pueden modificar sus riesgos potenciales para la salud (Perri, 2021).

Especialmente la harina de lenteja mejoró las cualidades nutricionales del pan al añadir fibra dietética y sustancias bioactivas (compuestos fenólicos) que potenciaron su poder antioxidante. En conclusión, la harina de lenteja es un ingrediente útil en la formulación de recetas sencillas de pan de trigo ya que es un producto atractivo y funcional (Turfani *et al.*, 2017).

3.9 Factores anti-nutrimientales del pan de caja control y seleccionado

En la Tabla 22 se muestran los resultados de los factores anti-nutrimientales del pan de caja control y seleccionado.

Tabla 22. Factores anti-nutrimientales del pan control y seleccionado.

Muestra	Taninos (%)	Ácido fítico (%)	Inhibidores de tripsina (%)
Pan de caja control	$0.053 \pm 1.06 \times 10^{-3}^a$	ND	ND
Pan de caja seleccionado (50- 40-10%)	0.218 ± 0.011^a	1.49 ± 0.119	ND

*Las letras en la misma columna indican diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$).

Como se puede observar en la Tabla 18, el contenido de taninos no presentó una diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$) aunque el valor para la formulación seleccionada fue mayor esto se puede deber a que los taninos son compuestos que se encuentran principalmente en las cubiertas de las legumbres y se usó harina integral de la lenteja (Valencia & Montoya, 2021).

Los taninos, a pesar de ser compuestos fenólicos, presentan un efecto negativo, ya que se unen a las proteínas a través de su enlace con el hidrógeno y las dos interacciones hidrófobas, inhibiendo la acción de las enzimas digestivas y reduciendo así su calidad nutricional (Vela, 2020) pero en este caso su concentración es muy baja y no provocara daño su consumo.

El contenido de ácido fítico para el pan de caja control no fue detectable, sin embargo, para el pan de caja con la formulación seleccionada presentó un porcentaje de 1.49, las legumbres contienen ácido fítico entre el 0.4% y el 6.4%, p/p, por lo tanto, se puede decir que su concentración en el producto es baja y no debe promover efectos adversos en el pan. Por último, el contenido de inhibidores de tripsina no fue detectado en ninguno de los panes, esto nos indica que hubo una buena cocción de los panes ya que al aplicarle calor se inactivan estos inhibidores.

3.10 Prueba de nivel de agrado

Se realizó una prueba de nivel de agrado al pan de caja seleccionado (50% harina de lenteja, 40% harina de trigo y gluten) en donde el producto tuvo una aceptación del 76% por parte de los consumidores otorgándole una calificación de 7.7 (Tabla 23). Con esta prueba de nivel de agrado se determinó que el pan de caja elaborado (Figura 45) a partir de las harinas de lenteja y trigo, tuvo una buena aceptación de los jueces. Algunos de los comentarios recibidos fueron “Buen sabor”, “Buena consistencia”, “Buena textura” y “Similar a un pan de caja integral”. En el anexo D se encuentran los resultados obtenidos de la calificación de cada juez.

Si bien las legumbres son una parte esencial de la dieta de muchas poblaciones, permanecen subutilizadas en la mayor parte del mundo occidental, debido a las características sensoriales y la falta de conocimiento sobre cómo prepararlas. Sin embargo, la incorporación de ingredientes a base de legumbres en alimentos innovadores puede ser una estrategia que permita a los consumidores incrementar convenientemente su ingesta de legumbres sin alterar drásticamente los hábitos alimentarios. En este contexto, las harinas de legumbres se están utilizando para enriquecer o reemplazar ingredientes tradicionales en formulaciones de productos mayoritariamente a base de trigo (Duijsens, *et al.*, 2022).

Tabla 23. Calificación y nivel de aceptación.

Formulación	Aceptación	Calificación
50% harina de lenteja 40% harina de trigo 10% gluten	76	7.7



Figura 45. Pan de caja.

CONCLUSIONES

La harina de lenteja es una opción adecuada para utilizarse en la elaboración de productos panificados, pues su valor nutritivo puede ser aprovechado. Se comprobó con el análisis de la materia prima que la harina de lenteja tiene mejor calidad química, nutrimental y funcional que la harina de trigo pues tuvo un mayor contenido de proteínas, fibra y carbohidratos, así como menor contenido de grasa y carbohidratos. De igual forma mayor contenido de triptófano, fenoles, capacidad antioxidante y fibra dietética. Los resultados en el contenido de factores anti-nutrimientales de la materia prima nos indicaron que no presentan ningún riesgo para la salud a pesar de ser compuestos que se esperaba estuvieran presentes. Lo cual nos indica que es un buen complemento para mejorar la calidad nutrimental del pan de caja.

Se consiguió elaborar un pan de caja con harina de lenteja en proporciones de hasta un 70%, adicionándole gluten vital, conservando buenas características sensoriales. Sin embargo, la formulación seleccionada como la mejor fue la que contenía 50 % harina de lenteja, 40% harina de trigo y 10% de gluten.

La formulación seleccionada presentó mejor calidad química, nutrimental y funcional en comparación con un pan de caja control elaborado 100% con harina de trigo. Ya que el contenido de proteína y fibra fue mayor, así como el contenido de triptófano, fenoles, capacidad antioxidante y fibra dietética. También tuvo una buena digestibilidad *in vivo* y un PER que indica alta calidad proteica. El contenido de factores anti-nutrimientales tales como taninos y ácido fítico se presentaron en baja concentración mientras que los inhibidores de tripsina no fueron detectados en el pan de caja seleccionado, por lo que no representan ningún riesgo en su consumo y puede ser consumido sin ningún problema.

El pan de caja elaborado con la formulación seleccionada tuvo una aceptación del 76 % por parte del consumidor y una calificación de 7.7 en una escala del 1 al 10, por lo que se concluye que el producto tuvo una buena aceptación. Con el desarrollo del producto y su comparación con un producto de trigo control, podemos concluir que el pan de caja con harina de lenteja es un producto competitivo debido a su aporte nutricional ya que permite ofrecer una alternativa de consumo para personas interesadas en cuidar su salud, de igual manera incrementar el consumo de lenteja en México y ofrecer una forma distinta de consumir esta leguminosa.

Referencias

- Abastur (2019). Del horno a los negocios: la industria panificadora en México. Fecha de consulta: Julio 2022. Disponible en: <https://www.abastur.com/es/blog/del-horno-a-los-negocios-la-industria-panificadora-en-mexico.html>
- Aguilar V. J., Esparza R. J. R., Meza V. J. A., Candelas Cadillo M. G., Aguilera O. M. & Ramírez B. P. (2011). Efecto de la harina de la lenteja (*Lens culinaris*) sobre las propiedades reológicas y de panificación de la harina de trigo. *CIENCIA UAQ*, 4(2), 4-9.
- Alrosan M., Tan T., Easa M. A., Gammoh S. & Alu'datt H. M. (2022). Recent updates on lentil and quinoa protein-based dairy protein alternatives: Nutrition, technologies, and challenges. *Food Chemistry*, 383,132386.
- Álvarez, L. (2001). Importancia del trigo. Fecha de consulta: Marzo de 2022. Disponible en: https://members.tripod.com/lucrecia_alvarez/introduccion.htm
- Amaral O., Guerreiro C., Almeida A. & Cravo M. (2022). Bread with a high level of resistant starch influenced the digestibility of the available starch fraction. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 28,100318.
- ANPROPAN. (2016). Industria de la panificación; datos estadísticos. *MexiPan*, 14, 1–25.
- A.O.A.C (1990). Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemistry. Eds Howitz W., Washington. (Metodo 969.48)
- A.O.A.C (2005). Asociación Oficial Analytical Chemistry. Official Methods of Analysis. Eds Howitz W, Washington, D.C.
- Bellmar (2020). ¿Cómo hacer lentejas?. Saborgourmet. Fecha de consulta: septiembre 2022. Disponible en: <https://saborgourmet.com/como-hacer-lentejas/>
- Brand stocker (2021). Bimbo y el origen del pan de molde. Fecha de consulta: Abril de 2022. Disponible en: <https://www.brandstocker.com/bimbo-y-el-origen-del-pan-de-molde/>
- Calixto, M. J. (2018). Evaluación de la calidad panadera de harinas de grano entero de trigo (*Triticum aestivum L.*) mediante marcadores bioquímicos, pruebas fisicoquímicas y reológicas. Tesis doctoral. El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México.
- Cárcamo Martínez K. P. & Dickson Doria S. P. (2016). Desarrollo de un reestructurado proteico a base de leguminosas cultivadas en Colombia. Tesis de pregrado. Universidad de Córdoba.
- Carboni D. A., Weisstaub A., Ferrero C., Zuleta A. & Puppo C. M. (2022). Impact of lentil-wheat bread on calcium metabolism, cecal and serum parameters in growing Wistar rats. *Food Bioscience*, 48,101805.

- Cerón H. A. (2006). Determinación de la digestibilidad "*in vitro*" de la proteína, contenido de fitatos y lisina disponible en variedades criollas de maíz del estado de Hidalgo. Tesis de pregrado, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Çevikkalp S. A., Löker G. B., Yaman M. & Amoutzopoulos B. (2016). A simplified HPLC method for determination of tryptophan in some cereals and legumes, *Food Chemistry*, 193, 26-29.
- Chaquilla-Quilca G., Balandrán-Quintana R. R., Mendoza-Wilson A. M. y Mercado-Ruiz J. N. (2017). Propiedades y posibles aplicaciones de las proteínas de salvado de trigo. Biotecnología y ciencias agropecuarias. Editorial Ciencia UAT. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/cuat/v12n2/2007-7858-cuat-12-02-137.pdf>
- Comai S., Bertazzo A., Costa V. L. C. & Allegri G. (2011). Chapter 11 - Quinoa: Protein and Nonprotein Tryptophan in Comparison with Other Cereal and Legume Flours and Bread. Flour and Breads and their Fortification in Health and Disease Prevention, Academic Press, 113-125.
- CUNNIF, P. (1995). Official Methods of Analysis of AOAC International, 16th edition USA.
- Cruz M. (2018). El pan: el mejor acompañante de los hogares mexicanos. Fecha de consulta febrero, 2023. Disponible en: <https://www.kantarworldpanel.com/mx/Noticias-/El-pan-el-mejor-acompaante-de-los-hogares-mexicanos>
- Duijsens D., Pälchen K., Coster A., Verkempinck S. H. E., Hendrickx M. E. & T. Grauwet T. (2022) Effect of manufacturing conditions on *in vitro* starch and protein digestibility of (cellular) lentil-based ingredients. *Food Research International*, 158, 111546.
- El laboratorio Profeco reporta (2013). Sodio en bolillo y pan de caja. Revista el consumidor. Fecha de consulta septiembre 2022. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/100431/RC432_Estudios_Calidad_Pan.pdf
- Elizalde A., Portilla Y. & Chaparro D. (2009). Factores antinutricionales en semillas. *Scielo*, 7(1), 46-54.
- El maragato (2022). Lenteja verdina. Fecha de consulta: Mayo de 2022. Disponible en: <https://www.elmaragato.com/productos-maragato/lentejas/item/lenteja-verdina-lanzarote>
- Enjamio L., Rodríguez P., Valero T., Ruiz E., Ávila J. & Varela G. (2017). Informe sobre legumbres, nutrición y salud. Fecha de consulta: Marzo de 2022. Disponible en: https://www.aesan.gob.es/AECOSAN/docs/documentos/noticias/2017/Informe_Legumbres_Nutricion_Salud.pdf

- Esteban-Pérez D. C., Jiménez-Ramírez B. J., Gómez-Luna B. E., Mejía T. L., Veloz-García R. A. & Díaz P. C. (2020). Crecimiento y desarrollo de lenteja (*Lens culinaris*) mediante la aplicación de diversos fertilizantes de origen químico y biológico. Universidad de Guanajuato, Campus Celaya-Salvatierra, División de ciencias de la salud e ingeniería, 510-519.
- FAO (1970). Amino-acid content of foods and biological data on proteins. Estudio FAO Alimentación y Nutrición No. 24. Roma.
- FAO (2021). Los precios mundiales de los alimentos disminuyen en julio. Fecha de consulta: Mayo de 2022. Disponible en: <https://www.fao.org/news/story/es/item/1418911/icode/>
- FAO/OMS/ONU. (1985). Necesidades de energía y de proteínas informe de una reunión consultiva conjunta de expertos. Serie de informes técnicos No. 724. Roma.
- Faris MAI.E., Takruri H.R. & Issa A.Y. (2013). Papel de las lentejas (*Lens culinaris* L.) en la salud y nutrición humana: una revisión. *Revista Mediterránea de Nutrición y Metabolismo*, 6, 3-16.
- Financiera Rural. (2010). Monografía de la Lenteja. Dirección Ejecutiva de Análisis Sectorial. Fecha de consulta: Marzo de 2022. México. Disponible en: <https://www.yumpu.com/es/document/view/24466405/monografia-de-la-lenteja-financiera-rural>
- Friedman, M. (1996) Nutritional value of proteins from different food sources. A review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44(1), 6-29.
- Fujiwara N., Hall C. & Jenkins A.L. (2017). Development of low glycemic index (GI) foods by incorporating pulse ingredients into cereal-based products use of *in vitro* screening and *in vivo* methodologies. *Cereal Chemistry*, 94, 110-116.
- Fundación salomón (2016). Lenteja (*Lens culinaris*). Fecha de consulta: Mayo de 2022. Disponible en: <https://fundacionsalomon.org/recetas/lenteja-lens-culinaris/>
- Gallo V., Romano A., Ferranti P., D'Auria G. & Masi P. (2022). Properties and *in vitro* digestibility of a bread enriched with lentil flour at different leavening times. *Food Structure*, 33,100284.
- Garcilazo A. M. G. (2020). Análisis morfométrico y fisicoquímico de la miga de panqué elaborado con diferentes tipos de harinas. Tesis de pregrado. Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca México.
- García A. A., Goñi I. & Saura C. F. (1998). Resistant starch and potential glycaemic index of raw and cooked legumes (lentils, chickpeas and beans). *Z Lebensm Unters Forsch*, 206, 284–287.

- García C. A. (2019). Gaceta del senado. Fecha de consulta: febrero 2023. Disponible en: https://www.senado.gob.mx/65/gaceta_del_senado/documento/99889
- García E. M., Fernández S. I. & Fuentes. A. (2015). Determinación de polifenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu. Universidad Politécnica de Valencia.
- Guerrero, A. G. (1984). Cultivos herbáceos extensivos. 3ra ed. Mundi-prensa, España.
- Gil Hernández Ángel (2010). Tratado de nutrición: Composición y calidad nutritiva de los alimentos. España: Medica Panamericana.
- Gómez P. M., León, A.E & Rosell, C.M. (2007). De tales harinas tales panes. Granos, harinas y productos de panificación en Iberoamérica. Córdoba, argentina: ediciones Báez, 1, 17-72.
- Goñi, L., García, D., Mañas, E. & Calixto, S. (1996). Analysis of resistant starch: a method for foods and food products. *Food chemistry*, 56(4), 445-449.
- Goñi, P., García, A. & Calixto, S. (1997). Starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index. *Nutrition Research*, 17 (3), 427-437.
- Haug, W., & Lantzsch, H., (1983). Sensitive method for the rapid determination of phytate in cereals and products. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 34, 14232-14261.
- Hsu, H. W., D. D Vavak, Satterlee L.D & Miller G.A (1977). A multienzyme technique for estimating protein digestibility. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 42 (5), 1269-1273.
- Instituto Tomás Pascual, Universidad San Pablo y Universidad Cardenal Herrera. (2009). Cereales y legumbres. Fecha de consulta: Abril de 2022. Disponible en: https://www.infoalimentacion.com/cereales/cereales_legumbres.htm
- ISO 9648; (1988). Determinación del contenido de taninos en sorgo. International Organization of Standardizations, ISO/DIS 9648, 175-215.
- Jiménez M.C. A. & Landa R. Y. C. (2018). Propiedades nutricionales y funcionales de las distintas harinas utilizadas para la elaboración de un pan de alto valor nutricional. Tesis de pregrado. Universidad Estatal de Milagro.
- Juárez, C. (2020). ¿Cuáles son las tendencias de consumo en panificados?. Fecha de consulta: Mayo de 2022. Disponible en: <https://thefoodtech.com/tendencias-de-consumo/tendencias-de-consumo-en-panificados/>
- Juárez, Z. N., Bárcenas, M., & Hernández, L. (2014). El grano de trigo: características generales y algunas problemáticas y soluciones a su almacenamiento. *Temas Selectos de Ingeniería en Alimentos*, 8(1), 79-93.

- Kakade, M., Rackis, J., McGhee, J., & Puski, G. (1974). Determination of trypsin inhibitor activity of soy product: A collaborative analysis of an improved procedure. *Cereal Chemistry*, 51, 376-381.
- Kraut, S. F. (1991). Tablas de composición de los alimentos, 2da ed, Acribia, España.
- La salmantina (2016). Lenteja pardina (EE.UU., Canadá). Fecha de consulta: Mayo de 2022. Disponible en: <https://www.lasalmantina.com/productos/categoria-lentejas/lenteja-pardina-ee-uu-canada/>
- Lázaro, A. (2021). Tendencias de consumo actuales en pastelería y panadería. Fecha de consulta: Julio, 2022. Disponible en: <https://www.lazayafruits.com/es/blog-de-frutas-en-conserva/tendencias-de-consumo-en-panaderia-y-pasteleria/>
- León R. K. D. (2019). Determinación de gluten en harina compuesta de trigo, cebada y centeno destinada para la obtención de piezas de pan. Tesis de pregrado. Unidad Académica de Ciencias Químicas y de la Salud.
- Loayza, F. (2014). Comportamiento agronómico y calidad comercial de tres cultivares de trigo harinero (*Triticum aestivum L.*), bajo las condiciones de valle costero. Tesis de pregrado. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú.
- Londoño, J. (2012). Antioxidantes: Importancia biológica y métodos para medir su actividad. Corporación Universitaria Lasallista. Capítulo 9. Parte III. Antioquia Colombia.
- Martínez-Manrique, E. y Jiménez-Vera, V. (2022). Composición química de los cereales. Fecha de consulta: Marzo de 2022. Disponible: <http://132.247.128.60/semillas/index.php/que-son-los-cereales/composicion-quimica-de-los-cereales>
- Manríquez, J. (2021). La digestibilidad como criterio de evaluación de alimentos, su aplicación en peces y en la conservación del medio ambiente. FAO. Fecha de consulta: diciembre 2022. Disponible en: <https://www.fao.org/3/ab482s/ab482s08.htm>
- Mesas J. M. & Alegre M. T. (2002). El pan y su proceso de elaboración. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 3, 307-313.
- Morales A.S. (2004). Leguminosas silvestres usadas como alimentos y bebidas, por la población rural. Facultad de Ciencias Biológicas, UANL, San Nicolás de los Garza. Nuevo León.
- Moreiras, O., Carbajal, A., Cabrera, L. & Cuadrado, C. (2013). Tablas de composición de alimentos. 16º ed. México: Pirámide.
- Murray, M., Pizzorno, J., & Pizzorno, L. (2005). The encyclopedia of healing foods. Simon and Schuster.

- Norma mexicana, NMX-F-159-S-1983. Alimentos. Pan blanco de caja. Fecha de consulta: Abril de 2022. Disponible en: https://caisatech.net/uploads/XXI_2_MXD_C10_NMX-F-159-1983_R0_11FEB1983.pdf.
- Ortiz T. D. I. (2014). Manual de aseguramiento de calidad de un pan blanco de caja a través del cumplimiento a condiciones de operación. Título de posgrado. Universidad Nacional autónoma de México.
- Panorama agroalimentario (2021). Trigo. Dirección de investigación y evaluación económica y sectorial, FIRA. Fecha de consulta: Mayo de 2022. Disponible en: [file:///C:/Users/Admin/Downloads/Panorama%20Agroalimentario%20Trigo%202021%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/Admin/Downloads/Panorama%20Agroalimentario%20Trigo%202021%20(2).pdf)
- Paredes A. M. F. (2013). Estudio de *Triticum aestivum* para la concepción de un método estándar de extracción y caracterización de gliadinas. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Austral de Chile.
- Pathiraja D., Wanasundara P.D. J., Elessawy M.F., Purves W. R., Vandenberg A. & Shand P. J. (2023). Water-soluble phenolic compounds and their putative antioxidant activities in the seed coats from different lentil (*Lens culinaris*) genotypes. *Food Chemistry*, 407, 135145.
- Perelló J. (2004). Fitato: Estudios sobre su actividad biológica y los efectos sobre la presencia de las calcificaciones patológicas. Tesis Doctoral. Universidad de las Illes Balears.
- Perri G., Coda R., Giuseppe R. C., Celano G., Ampollini M., Gobbetti M, Angelis M. & Calasso M. (2021). Sourdough fermentation of whole and sprouted lentil flours: In situ formation of dextran and effects on the nutritional, texture and sensory characteristics of white bread. *Food Chemistry*, 355, 129638.
- Rama R. M.V., Tara, M, R. & Krishanan, C. K. (1974). Colometric estimation of tryptophan contend of pulses. *Journal of the Science of Food and Technology*, 11, 213-216.
- Ramírez J. (2012). Análisis sensorial: pruebas orientadas al consumidor. *Revista Recítela*, 12(1).
- Rivera D.J., Barquera S., Véjar L. & Buenrostro N. (2022). COVID-19, obesidad y enfermedades crónicas en México. CONACYT, Instituto Nacional de Salud Pública.
- Ritchie, S., Swanson, S.J & Gilroy, S. (2000). Physiology of the aleurone layer and starchy endosperm during grain development and early seedling growth: new insights formcell and molecular biology. *Seed science research*.

- Romano A., Gallo V., Ferranti P. & Masi P. (2021). Lentil flour: nutritional and technological properties, *in vitro* digestibility and perspectives for use in the food industry. *Current Opinion in Food Science*, 40,157-167.
- Sáenz R. J. T., Muñoz F. H. J., Ruiz R. M., Rueda S. A., Castillo Q. D. & Castillo R. F. (2022). Diagnóstico del cultivo de lenteja en unidades de producción familiar en Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 27, 35-44.
- SAGARPA. (2017). Trigo grano, cristalino y harinero mexicano. Fecha de consulta: agosto 2022. Disponible en: http://www.consejagri.mx/images/PLANEACION%20AGRINAL%20MEX/CULTIVOS%20ESTRATEGICOS%20BASICOS/Basico-Trigo_Cristalino_y_Harinero.pdf
- Samaranyaka A. (2017). Chapter 11 - Lentil: Revival of Poor Man's Meat. Sustainable Protein Sources, Academic Press, 185-196.
- Seghezzo M. L. & Molfese E.R. (2006). Calidad en trigo pan. Centro regional Buenos Aires Sur.
- Serna, S. (2013). Química, almacenamiento e industrialización de los cereales. 2da edición, A.G.T. Editor, S.A. México, D.F.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP]. (2023). Expectativas agroalimentarias. Fecha de consulta abril 2023. Disponible en: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/819645/Expectativas-2023.pdf>
- Sharma N., Sahu J.K., Joshi S., Khubber S., Bansal V., Bhardwaj A., Bangar S.P. & Bal L.M., (2022). Modulation of lentil antinutritional properties using non-thermal mediated processing techniques: A review. *Journal of Food Composition and Analysis*, 109, 104498.
- Shewry, P. R., Tatham, A. S., Forde, J., Kreis, M., & Milfin, B. J. (2002) The classification and nomenclature of wheat gluten proteins: a reassessment. *Journal of cereal science*, 4, 97-10.
- Shyam S. Y., McNeil L. D., Philip C. & Stevenson (2007). Letil. Ed Springer Dordrecht, 1ª. ed., Instituto de Recursos Naturales, Reino Unido, Pág. 461.
- Siva N., Johnson C. R., Vicente R., Jesch E. D., Whiteside G., Abood A. A., Thavarajah P., Duckett S & Thavarajah D. (2018). Lentil (Lens Culinaris Medikus) Diet Effects the Microbiome and Obesity Markers in Rat. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66, 8805-8813.
- Silva, C.L. (2007). Estudio de la digestibilidad de carbohidratos y capacidad antioxidante de leguminosas de mayor consumo en México. Tesis de grado, Centro de Desarrollo de Productos Bióticos, IPN, Yautepec, Morelos.
- Sifre, M. D., Peraire M. D., Segura A., Simó P. & Tosca P. (2018). La harina. UNIVERSITAT PER A MAJORSSEU DEL NORD - SANT MATEU. Disponible

en: <https://bibliotecavirtualesenior.es/wp-content/uploads/2019/06/LA-HARINA.pdf>

- Skejovic J. M., Jeske S., Ispiryany L., Zannini E., Arendt E. K., Bez J., Sørensen J. C. & Petersen I. L. (2021) Nutritional and anti-nutritional properties of lentil (*Lens culinaris*) protein isolates prepared by pilot-scale processing. *Food Chemistry: X*, 9, 100112.
- Torres G. M. P., Jiménez M. M. T. & Bárcenas P. M. E. (2014). Harinas de frutas y/o leguminosas y su combinación con harina de trigo. *Temas selectos de Ingeniería de Alimentos*, 8(1), 94-102.
- Turfani V., Narducci V., Durazzo A., Galli V., & Carcea M. (2017). Technological, nutritional and functional properties of wheat bread enriched with lentil or carob flours. *LWT*, 78, 361-366.
- Vanaclocha, B. (2022). Fitoterapia. Fecha de consulta: septiembre 2022. Disponible en: <https://www.fitoterapia.net/vademecum/plantas/trigo.html>
- Valdivia M. E. Y. & Ostos A. D. F. (2018). Pan fortificado con lenteja (*Lens Culinaris*) y linaza (*Linum Usitatissimum*), diseño de mezcladora-amasadora. Tesis de pregrado. Facultad Ciencias e Ingenierías Biológicas y Químicas.
- Valencia Z. L. N. & Montoya G. A. (2021). Harinas no convencionales con alto contenido proteico elaboradas a partir de legumbres y sus aplicaciones en la industria de alimentos: revisión bibliográfica. Tesis de pregrado, Universidad del Valle, Colombia.
- Vázquez A. (2012). Taninos hidrolizables y condensados: naturaleza química ventajas y desventajas de consumo. *Tecnociencia*, 1 (2), 84-93.
- Vela G.M.I. (2020). Desarrollo de un proceso orientado a la mejora del perfil nutricional y digestibilidad de harina de lentejas. Tesis de doctorado, Universidad Politécnica de Valencia. Disponible en <https://riunet.upv.es/handle/10251/138481>
- Vega, R. (2009). Proteínas de la harina de trigo: clasificación y propiedades funcionales. *Temas de Ciencia y tecnología*, 13 (38):27-32.
- Vicente, P.L. (2017) Evaluación de la capacidad antioxidante y su relación con la composición fenólica en lentejas. Título de pregrado, Construcción y agronomía, Escuela Politécnica Superior de Zamora.
- Villanueva R.M., Leong M.H., Posner E.S. & Ponte J.G. (2001). Split milling of wheat for diverse end-use products. *Cereal Food World*, 46, 363-36.

Anexos

Anexo A

Prueba sensorial de preferencia

Edad: _____

Sexo: H / M

Fecha: _____

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

INSTRUCCIONES: Pruebe las muestras y ordene según su preferencia otorgándole un valor del 1 al 3, considerando como 1 = La que menos le gusta y 3= La que más le gusta. No se permiten empates. En el espacio de abajo, explique brevemente porqué tomó esa decisión.

Muestras:

703

307

505

¿Por qué?

GRACIAS

Anexo B

Prueba de nivel de agrado

Edad: _____ Sexo: Hombre/ Mujer Fecha: _____

NOTA: Tome agua antes de iniciar la prueba

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

Escala

Disgusta mucho Es indiferente Gusta mucho

¿Por qué?

_____ ¡Gracias!

Anexo C

Tabla 24. Resultados de la prueba de preferencia del pan de caja.

Juez	703	307	505	Juez	703	307	505	Juez	703	307	505
1	1	3	2	35	1	2	3	69	1	3	2
2	1	3	2	36	2	3	1	70	1	3	2
3	1	3	2	37	3	2	1	71	3	1	2
4	1	3	2	38	1	3	2	72	2	1	3
5	2	3	1	39	1	2	3	73	1	3	2
6	3	1	2	40	2	3	1	74	1	3	2
7	1	3	2	41	1	2	3	75	1	2	3
8	3	1	2	42	1	3	2	76	2	1	3
9	1	3	2	43	3	2	1	77	1	3	2
10	1	2	3	44	1	3	2	78	1	3	2
11	2	1	3	45	2	1	3	79	1	3	2
12	2	3	3	46	1	2	3	80	1	3	2
13	1	2	3	47	1	3	2	81	1	3	2
14	2	3	1	48	1	3	2	82	3	1	2
15	1	3	2	49	1	3	2	83	2	3	1
16	2	3	1	50	1	2	3	84	3	2	1
17	1	3	2	51	2	3	1	85	2	3	1
18	2	1	3	52	2	3	1	86	1	2	3
19	1	3	2	53	1	3	2	87	2	1	3
20	3	1	2	54	3	1	2	88	2	3	1
21	1	3	2	55	1	3	2	89	3	2	1
22	1	3	2	56	1	2	3	90	1	2	3
23	2	1	3	57	1	3	2	91	1	2	3
24	3	1	2	58	1	2	3	92	1	3	2
25	2	3	1	59	1	3	2	93	2	3	1
26	3	2	1	60	1	2	3	94	2	3	1
27	1	3	2	61	1	2	3	95	1	2	3
28	1	2	3	62	1	3	2	96	1	3	2
29	2	1	3	63	1	2	3	97	1	3	2
30	3	1	2	64	1	3	2	98	1	3	2
31	1	2	3	65	1	3	2	99	1	3	2
32	1	2	3	66	1	2	3	100	1	3	2
33	1	3	2	67	1	2	3	Suma	151	237	214
34	2	1	3	68	3	1	2				

Anexo D

Tabla 25. Resultados de la prueba de nivel de agrado del pan de caja.

Juez	Calificación	Juez	Calificación	Juez	Calificación
1	10	36	8.8	71	7.2
2	9.4	37	8.8	72	7.2
3	9.4	38	8.8	73	7
4	9.3	39	8.8	74	7
5	9.3	40	8.8	75	6.7
6	9.2	41	8.7	76	6.2
7	9.2	42	8.7	77	5.4
8	9.1	43	8.7	78	5.3
9	9.1	44	8.7	79	5.2
10	9.1	45	8.7	80	5.2
11	9	46	8.7	81	5.2
12	9	47	8.7	82	5.1
13	9	48	8.7	83	5.1
14	9	49	8.7	84	5.1
15	9	50	8.7	85	5.1
16	8.9	51	8.6	86	5.1
17	8.9	52	8.6	87	5.1
18	8.9	53	8.6	88	5.1
19	8.9	54	8.6	89	5.1
20	8.9	55	8.6	90	5
21	8.9	56	8.6	91	5
22	8.9	57	8.6	92	5
23	8.9	58	8.6	93	5
24	8.9	59	8.5	94	5
25	8.9	60	8.5	95	5
26	8.9	61	8.5	96	4.9
27	8.9	62	8.5	97	4.9
28	8.8	63	8.5	98	4.1
29	8.8	64	8.2	99	3.5
30	8.8	65	8.2	100	3.1
31	8.8	66	8.1	PROMEDIO	7.707
32	8.8	67	7.5		
33	8.8	68	7.5		
34	8.8	69	7.4		
35	8.8	70	7.3		

Anexo E

Comparativa del peso ganado y fotografías de hígado y músculo en ratas Wistar macho alimentadas con una dieta de pan caja con harina de lenteja vs dieta de caseína como proteína control.

Tabla 26. Pesos de los hígados en ratas Wistar de pan de caja seleccionado.

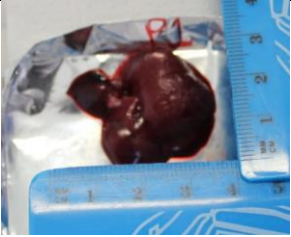
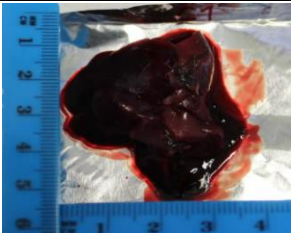
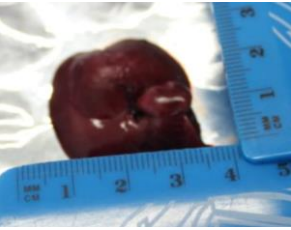

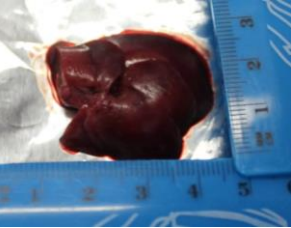
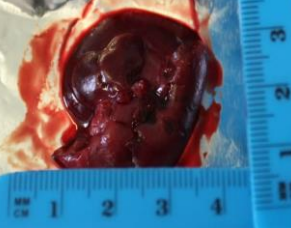
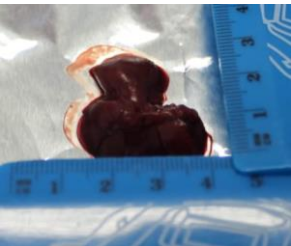
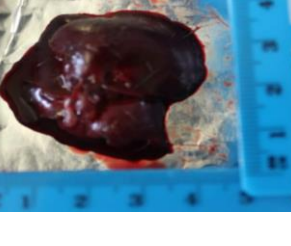
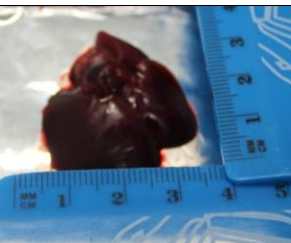

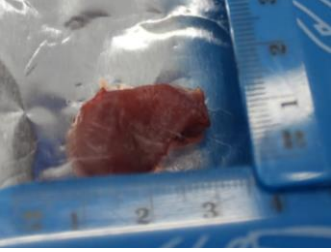
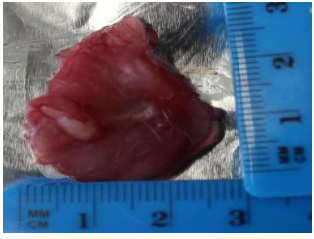
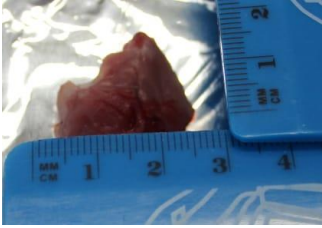

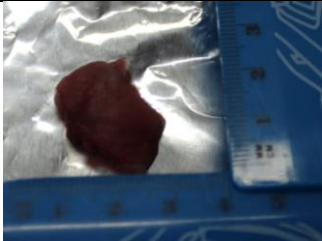

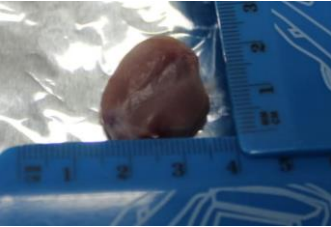

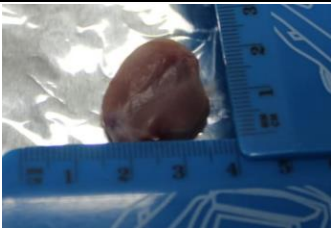

Dieta con pan de caja con harina de lenteja.			Dieta con caseína como proteína control.		
# Rata	Peso (g)	Fotografía del hígado	# Rata	Peso (g)	Fotografía del hígado
1	4.89 ^a		1	7.37 ^b	
2	5.35 ^a		2	7.28 ^b	
3	4.67 ^a		3	6.54 ^b	
4	3.39 ^a		4	7.35 ^b	
5	4.4 ^a		5	6.49 ^b	

Tabla 27. Pesos de los músculos en ratas Wistar de pan de caja seleccionado.

Dieta con pan de caja con harina de lenteja			Dieta con caseína como proteína control.		
# Rata	Peso (g)	Fotografía del músculo	# Rata	Peso (g)	Fotografía del músculo
1	2.71 ^a		1	4.45 ^b	
2	2.41 ^a		2	4.18 ^b	
3	2.55 ^a		3	4.78 ^b	
4	3.14 ^a		4	3.27 ^a	
5	3.18 ^a		5	4.18 ^b	

Anexo F

Comparativa del peso ganado y fotografías de hígado y músculo en ratas Wistar macho alimentadas con una dieta de pan caja control (100% harina de trigo) vs dieta de caseína como proteína control.

Tabla 28. Pesos de los hígados en ratas Wistar de pan de caja control.

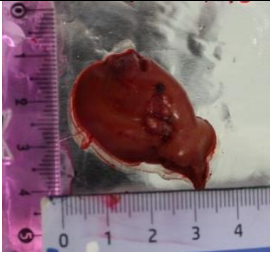

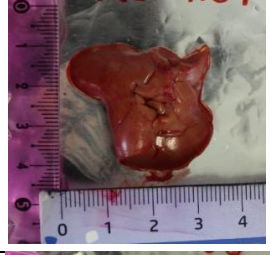

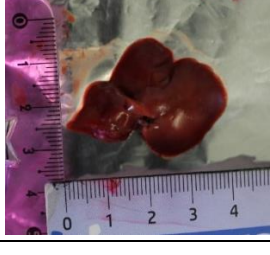
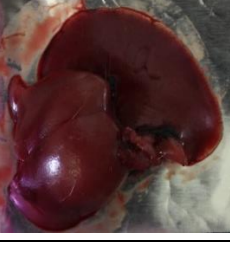
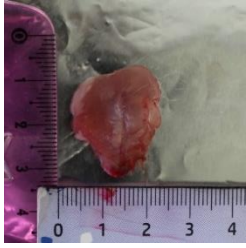
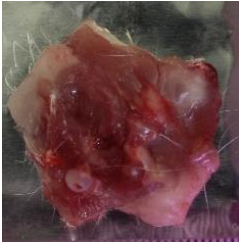
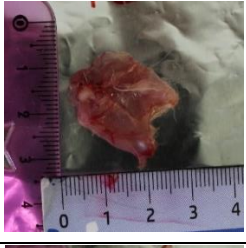

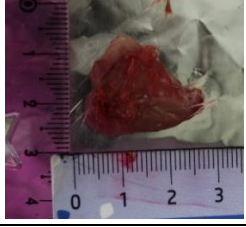
Dieta con pan de caja control			Dieta con caseína como proteína control		
# Rata	Peso (g)	Fotografía del hígado	# Rata	Peso (g)	Fotografía del hígado
1	3.84		1	6.36	
2	4.39		2	6.54	
3	3.04		3	5.49	

Tabla 29. Pesos de los músculos en ratas Wistar de pan de caja control.

Dieta con pan de caja control			Dieta con caseína como proteína control		
# Rata	Peso (g)	Fotografía del músculo	# Rata	Peso (g)	Fotografía del músculo
1	3.05		1	5.4	
2	2.56		2	5.5	
3	2.38		3	6.24	