



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA FORMULACIÓN DE PAN SIN GLUTEN A BASE DE
HARINA DE ALMENDRA Y GARBANZO CON EVALUACIÓN DE SUS CARACTERÍSTICAS
SENSORIALES, FÍSICAS Y NUTRICIONALES**

Julio Eduardo Marroquín Moscoso

Asesorado por el Msc. Ing. Vladimir Iván Pérez Soto

Guatemala, abril de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA FORMULACIÓN DE PAN SIN GLUTEN A BASE DE
HARINA DE ALMENDRA Y GARBANZO CON EVALUACIÓN DE SUS CARACTERÍSTICAS
SENSORIALES, FÍSICAS Y NUTRICIONALES**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JULIO EDUARDO MARROQUÍN MOSCOSO
ASESORADO POR EL ING. VLADIMIR IVÁN PÉREZ SOTO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, ABRIL DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Estuardo Edmundo Monroy Benítez
EXAMINADOR	Ing. Gerardo Ordóñez
EXAMINADOR	Ing. Orlando Posadas Valdez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA FORMULACIÓN DE PAN SIN GLUTEN A BASE DE HARINA DE ALMENDRA Y GARBANZO CON EVALUACIÓN DE SUS CARACTERÍSTICAS SENSORIALES, FÍSICAS Y NUTRICIONALES

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 12 de enero de 2022.

Julio Eduardo Marroquín Moscoso



EEPFI-PP-0059-2022

Guatemala, 12 de enero de 2022

Director
Williams G. Álvarez Mejía
Escuela De Ingeniería Química
Presente.

Estimado Ing. Álvarez

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE FORMULACIÓN DE PAN SIN GLUTEN A BASE DE HARINA DE ALMENDRA Y GARBANZO CON EVALUACIÓN DE SUS CARACTERÍSTICAS SENSORIALES, FÍSICAS Y NUTRICIONALES.** , el cual se enmarca en la línea de investigación: **Todas las áreas - Desarrollo y formulación de productos alimenticios funcionales y/o innovadores**, presentado por el estudiante **Julio Eduardo Marroquín Moscoso** carné número **201504316**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en ARTES en Ciencia Y Tecnología De Los Alimentos.

Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

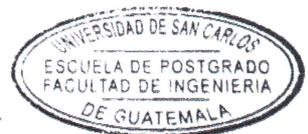
Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Vladimir Iván Pérez Soto
MSc. Ing. Químico
Colegiado No. 2232

Mtro. Vladimir Iván Pérez Soto
Asesor(a)

Mtra. Hilda Piedad Palma Ramos
Coordinador(a) de Maestría



Mtro. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería





EEP.EIQ.0059.2022

El Director de la Escuela De Ingenieria Quimica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE FORMULACIÓN DE PAN SIN GLUTEN A BASE DE HARINA DE ALMENDRA Y GARBANZO CON EVALUACIÓN DE SUS CARACTERÍSTICAS SENSORIALES, FÍSICAS Y NUTRICIONALES.** , presentado por el estudiante universitario **Julio Eduardo Marroquín Moscoso**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Williams G. Álvarez Mejía
Director
Escuela De Ingenieria Quimica

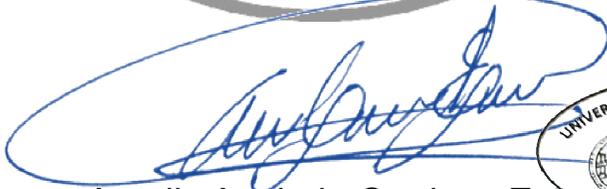
Guatemala, enero de 2022

Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101- 24189102
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.308.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA FORMULACIÓN DE PAN SIN GLUTEN A BASE DE HARINA DE ALMENDRA Y GARBANZO CON EVALUACIÓN DE SUS CARACTERÍSTICAS SENSORIALES, FÍSICAS Y NUTRICIONALES**, presentado por: **Julio Eduardo Marroquín Moscoso**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
Decana

Guatemala, abril de 2022

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por estar siempre a mi lado en cada paso del camino e iluminarme en todos mis actos.
- Mi padre** Julio Marroquín, por ser mi mayor ejemplo de vida, por enseñarme que todo esfuerzo trae recompensa, por ser un luchador y un padre cariñoso que siempre brindara sus consejos y su apoyo.
- Mi madre** Sandra Moscoso por su amor y apoyo incondicional en los momentos más difíciles de mi vida, por enseñarme a ser feliz.
- Mi hermana** Katherine Marroquín, por ser un ejemplo de superación y motivación y brindarme su apoyo sin importar la ocasión o el motivo.
- Mi hermano** Diego Marroquín, por darme ánimos en todo momento y acompañarme en cada aventura de mi vida.

Heidy Ramirez

Por mostrarme que hay que disfrutar la vida, dar gracias por las bendiciones que tenemos, escucharme en los peores momentos de mi vida, brindarme todo su amor y mostrarme que puedo ser mejor cada día.

Mis abuelos

Por todo su cariño, estar presente en mi vida y sus consejos de vida, especialmente a mi abuela Alicia Ruiz por cuidarme desde el cielo.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser una importante influencia en mi carrera, entre otras cosas.
Facultad de Ingeniería	Por ser mi casa de estudios, por brindarme las herramientas para crecer profesionalmente.
Escuela de Estudios de Postgrado	Por darme la oportunidad de culminar mi carrera y seguir avanzando en mi formación académica.
Mi asesor	Por sus conocimientos y ser un ejemplo para seguir.
Mi revisor	Por compartir sus conocimientos, experiencia y motivarme para terminar el presente diseño de investigación.
Mi ESIQ 2018	Heidy Ramirez, Daniel Estrada, Marleny Álvarez, José Pablo Morales y Henry Marroquín por compartir una aventura inolvidable, mostrarme la integridad de un equipo, brindar sus conocimientos y terminar mi primer gran proyecto.

**Departamento de
Matemática**

Al ingeniero Samayoa por brindarme la primera oportunidad laboral, Doctora Mayra Castillo por ser mi primera jefa y a todas aquellas personas que han sido parte de este excelente lugar, especialmente, a Daniel Estrada, Manuel García, José Sic, Andrés Divas, Celeste Duarte y Juan Pablo Figueroa por brindarme amistad y apoyarme en todo momento.

Mis primos

Por ser mi segunda familia y todas las experiencias vividas fuera de nuestra ciudad natal.

Mis amigos

Por acompañarme y tenerme paciencia durante toda la carrera universitaria, por brindarme su amistad y fuerza para hacer de esta carrera un sueño cumplido, y sobre todo vivir todo tipo de aventuras

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XV
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
4. JUSTIFICACIÓN	7
5. OBJETIVOS	9
5.1. General.....	9
5.2. Específicos	9
6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE LA SOLUCIÓN	11
7. MARCO TEÓRICO.....	13
7.1. Harina de garbanzo	13
7.1.1. Generalidades del garbanzo.....	13
7.1.2. Condiciones climáticas del garbanzo.....	14
7.1.3. Características nutricionales del garbanzo	15
7.2. Harina de almendras	17

7.2.1.	Almendras	18
7.2.2.	Condiciones climáticas del cultivo de almendra	18
7.2.3.	Composición nutricional y química harina de almendras.....	19
7.3.	Harinas sin gluten y características generales de las harinas	20
7.3.1.	La enfermedad celíaca.....	20
7.3.2.	Alimentos sin gluten	20
7.3.3.	Pan sin gluten.....	21
7.3.4.	Ingredientes para la panificación sin gluten.....	21
7.3.4.1.	Harinas y almidones.....	21
7.3.4.2.	Hidrocoloides.....	22
7.3.4.3.	Fibra soluble.....	22
7.3.4.4.	Almidón	23
7.3.4.4.1.	Almidón gelatinizado	23
7.3.4.4.2.	Retrogradación del almidón.....	23
7.3.4.4.3.	Endurecimiento del pan	24
7.3.4.4.4.	Factores en la retrogradación	25
7.4.	Producción de pan	26
7.4.1.	Materias primas y aditivos	26
7.4.1.1.	Harinas	26
7.4.1.2.	Levadura	27
7.4.1.3.	Azúcar	27
7.4.1.4.	Sal	28
7.4.1.5.	Grasa.....	28
7.4.1.6.	Agua.....	29

7.4.2.	Proceso de producción	29
7.4.2.1.	Amasado.....	30
7.4.2.2.	División y pesado.....	30
7.4.2.3.	Boleado	31
7.4.2.4.	Reposo	31
7.4.2.5.	Formando	31
7.4.2.6.	Fermentación.....	31
7.4.2.7.	Horneado.....	33
7.4.3.	Calidad en el pan sin gluten.....	33
7.4.3.1.	Calidad externa.....	34
7.4.3.2.	Calidad interna.....	34
7.4.3.3.	Calidad comestible	35
7.5.	Análisis de calidad del pan	35
7.5.1.	Análisis proximal.....	35
7.5.1.1.	Cenizas.....	36
7.5.1.2.	Proteínas	36
7.5.1.3.	Grasa	37
7.5.1.4.	Carbohidratos	37
7.5.1.5.	Fibra	37
7.5.2.	Análisis físico.....	37
7.5.2.1.	Humedad	38
7.5.2.2.	Volumen de pan.....	38
7.5.2.3.	Rendimiento en pan.....	38
7.5.2.4.	Peso de pan.....	39
7.5.3.	Análisis sensorial	39
7.5.3.1.	Propiedades sensoriales	39
7.5.3.2.	Tipos de pruebas sensoriales	39
7.5.3.2.1.	Pruebas de discriminación	39

	7.5.3.2.2.	Pruebas descriptivas.....	40
	7.5.3.2.3.	Pruebas afectivas.....	40
	7.5.3.3.	Establecimiento de paneles sensoriales	40
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS		43
9.	METODOLOGÍA		47
9.1.	Tipo de estudio.....		47
9.2.	Diseño de investigación		47
9.3.	Variables del estudio		47
9.4.	Fases del estudio		53
	9.4.1.	Fase 1: exploración bibliográfica	53
	9.4.2.	Fase 2: elaboración del pan sin gluten	53
	9.4.2.1.	Formulación del pan sin gluten.....	54
	9.4.2.2.	Proceso para la obtención de pan sin gluten.....	55
	9.4.2.3.	Equipo para la elaboración de pan.....	56
	9.4.3.	Fase 3: evaluación sensorial.....	58
	9.4.3.1.	Determinación de la escala	58
	9.4.3.2.	Preparación del panel	58
	9.4.3.3.	Metodología de evaluación.....	59
	9.4.4.	Fase 4: análisis de control de calidad del pan.....	62
	9.4.4.1.	Métodos de análisis físicos.....	62
	9.4.5.	Fase 5: determinación de costos.....	66
	9.4.5.1.	Materia prima	66
	9.4.5.2.	Procesos	66
	9.4.6.	Fase 6: comparación con pan de trigo	67
	9.4.6.1.	Elaboración pan de trigo.....	67

9.4.6.2.	Características físicas y nutricionales pan trigo.....	68
9.4.7.	Presentación y discusión de resultados.....	69
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.....	71
10.1.	Herramientas	71
10.2.	Herramientas estadísticas	72
11.	CRONOGRAMA.....	75
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	77
	REFERENCIAS	79
	APÉNDICES	83

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Garbanzo tipo <i>densi</i> (a) y garbanzo tipo <i>kabuli</i> (b).....	14
2.	Endurecimiento del pan.....	25
3.	Diagrama de flujo proceso de elaboración de pan de trigo (A) comparado con el proceso producción de pan sin gluten (B).....	30
4.	Reacciones de levadura.....	32
5.	Balanza digital.....	56
6.	Amasador.....	57
7.	Horno.....	57
8.	Encuesta aplicada al panel sensorial.....	59
9.	Diagrama de panel sensorial.....	61

TABLAS

I.	Composición nutricional de leguminosas.....	15
II.	Distribución de carbohidratos en el garbanzo.....	16
III.	Distribución de minerales garbanzo tipo <i>kabuli</i> (mg/100g).....	17
IV.	Propiedades químicas de la harina de almendra.....	19
V.	Composición nutricional de la harina de almendra.....	19
VI.	Descripción de variables.....	48
VII.	Ingredientes de pan sin gluten a base de harina de almendra y garbanzo.....	54
VIII.	Formulaciones de pan sin gluten.....	54
IX.	Recolección de datos panel sensorial.....	60

X.	Tabla resumen	61
XI.	Registro de características físicas	63
XII.	Comparativas características físicas	63
XIII.	Resultados de laboratorio de bromatología	65
XIV.	Evaluación de costos de materia prima para elaboración de un pan sin gluten a base de harina de almendra y garbanzo	66
XV.	Evaluación de costos proceso para elaboración de un pan sin gluten a base de harina de almendra y garbanzo.....	67
XVI.	Pan de trigo	67
XVII.	Comparativa de las propiedades nutricionales	68
XVIII.	Comparativa propiedades físicas.....	68
XIX.	Cronograma de actividades por fase	75
XX.	Gastos de estudio.....	77

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cm³	Centímetro cúbico
σ	Desviación estándar
°C	Grado centígrado
g	Gramo
H	Humedad
kg	Kilogramo
%	Porcentaje
X	Promedio
Q	Moneda Quetzal

GLOSARIO

Análisis proximal	Técnica que contiene métodos utilizados para determinar y describir las propiedades que poseen los alimentos con el fin de asegurar que estos sean nutritivos e informar al consumidor la composición del alimento, también es conocido como análisis bromatológico.
Análisis sensorial	Técnica utilizada para analizar y traducir las respuestas de los sentidos a un alimento.
Codex Alimentarius	Colección de normas, códigos de prácticas y directrices internacionalmente reconocidas relacionadas con los alimentos, inocuidad de los alimentos y proceso productivo de los alimentos.
Corteza	Zona externa de color oscura formada por el calor del horno al caramelizar la superficie del pan.
Enfermedades celiacas	Intolerancia al gluten debido al contenido de gliadina, la cual causa inflamación en el intestino delgado.
Fibra	Carbohidrato que no puede ser digerido en el intestino delgado y que provee alimentación a las bacterias benéficas.

Gluten	Proteína natural que se encuentra en el trigo, centeno y cebada, compuesta de gliadina y glutenina.
Hidrocoloides	Sustancias que en un sistema acuoso forman geles.
Humedad	Cantidad de agua que posee un alimento con respecto a su masa ya sea en función del sólido seco (base seca) o el sólido total (base húmeda).
INCAP	Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá. Organismo especializado en alimentación y nutrición del sistema de la integración centroamericana, sus funciones se orientan al desarrollo de la seguridad alimentaria y nutricional de Centroamérica y la republica dominicana.
Miga	Parte interior y blanda del pan rodeada por corteza.
Proteína	Nutrientes que contribuyen en la formación de músculos en el cuerpo, se encuentra especialmente en animales.
Retrogradación	Gel rígido que se forma por eliminación de agua del almidón en el pan, el cual causa que la amilosa y amilopectina se cristalicen y produzca un efecto de endurecimiento.
RTCA	Reglamento técnico centroamericano. Prácticas y reglamentos de las industrias alimenticias orientadas

a los procesos de fabricación, características de producto final, etiquetado, operaciones de limpieza, higiene y prohibiciones.

Textura

Apariencia exterior y consistencia del alimento el cual puede ser determinado por el tacto o el sentido del gusto al consumirlo.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación busca desarrollar un pan sin gluten a base de harina de almendra y garbanzo con el fin de elaborar un producto alternativo para personas con baja aceptabilidad de productos de panificación integrales, personas con enfermedades celíacas y el público en general. Se determinará la cantidad adecuada de harina de almendra y garbanzo para obtener un pan con aceptables propiedades físicas y nutricionales. Se evaluarán las características sensoriales, concluyendo con un estudio de costo unitario del producto elaborado.

Para la elaboración de pan sin gluten se utilizará harina de garbanzo, harina de almendra y goma xantana, estos se optimizarán en varias proporciones de fórmula, buscando la mayor cantidad de proteína y fibra con respecto a las características nutricionales y un volumen aceptable de pan con respecto a las características físicas. Las formulaciones serán estimadas a partir de los valores nutricionales de INCAP.

Se evaluará la aceptabilidad del pan sin gluten por medio de una prueba hedónica de siete puntos en un panel sin entrenamiento, como prueba inicial.

Se evaluarán las propiedades físicas del pan sin gluten por medio de pruebas de peso, volumen, rendimiento y humedad. También se confirmarán las propiedades nutricionales a partir de un análisis bromatológico, cuantificando la proteína, fibra, cenizas, lípidos y carbohidratos. Además, se determinará el costo unitario por medio de un análisis de costos de materia prima y de los equipos utilizados.

Por último, se realizará una comparación entre el pan formulado y un pan a base de harina de trigo para estimar el cambio en las propiedades físicas y nutricionales al utilizar goma xantana en lugar de gluten.

Se espera que el pan sin gluten posea aceptables propiedades físicas, nutricionales y sensoriales, siendo un aporte importante para el desarrollo productos de panificación a partir de harinas alternativas.

1. INTRODUCCIÓN

En Guatemala las industrias de panificación no utilizan una amplia variedad de harinas alternativas para la producción de sus alimentos, además los productos elaborados a partir de harina integral de trigo son un mercado en ascenso y una parte de la población aún no acepta sus propiedades sensoriales. En otros países, se han desarrollado estudios acerca del uso de harinas alternativas para la elaboración de pan, sin embargo, estos estudios no han sido explorado en su totalidad.

Al utilizar alternativas de harina para la elaboración de pan, se adiciona la propiedad de ser consumido por personas con enfermedades celiacas. El garbanzo es un alimento considerado fuente de proteína, además cuenta con alto contenido de fibra.

Las propiedades del pan serán obtenidas en los análisis y ensayos bromatológicos, físicos y sensoriales. Se espera que el pan posea un volumen apropiado, características sensoriales aceptables por los consumidores y contenga una apropiada cantidad de proteína y fibra. Este producto ofrecerá en Guatemala una fuente de alimentación que utiliza cultivos con potencia en el país.

Se evaluará la aceptabilidad del pan elaborado utilizando una prueba hedónica de siete puntos en un panel sensorial. Posteriormente se determinará las características físicas midiendo el volumen, peso, humedad y rendimiento de pan. Seguidamente se determinarán las propiedades nutricionales a partir de un análisis bromatológico para asegurar que la formulación de pan sea fuente de proteína y fibra. Además, se determinará el costo unitario del alimento a partir de

un análisis de materia prima y costos de equipos. Por último, se evaluará la sustitución de gluten por goma xantana al comparar la formulación con mayor aceptabilidad con respecto a un pan de trigo.

En el capítulo 1 se presentarán los antecedentes de la investigación, que resumen investigaciones previas sobre el tema. En el capítulo 2, se hará una exploración bibliográfica de los temas que sirvan como base teórica de la aplicación propuesta. En el capítulo 3, se presentará opciones de formulación de pan a base de harina de almendra y garbanzo, así como la evaluación sensorial para determinar la formulación con mayor aceptabilidad.

En el capítulo 4, se presentarán las evaluaciones físicas y nutricionales para asegurar que el pan cumple con la calidad nutricional esperada y las características físicas de los consumidores. En el capítulo 5, se presentará el costo unitario del alimento formulado. En el capítulo 6 se realizará una comparación entre las propiedades físicas y nutricionales del pan sin gluten con mayor aceptabilidad con respecto a un pan elaborado a partir de harina de trigo. En el capítulo 7 se hará una presentación de los resultados más relevantes de la investigación y en el capítulo 8 se hará una discusión de estos. Por último, se presentarán las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

2. ANTECEDENTES

En Guatemala, se encontraron estudios referentes a la formulación de un pan sin gluten a partir de almendra, garbanzo o alternativa de un pan sin gluten, sin embargo, no se contó con el acceso a ellos, por otro lado, en otros países se encontraron estudios sobre formulaciones y elaboración de pan sin gluten a partir de garbanzo, almendra y alternativas de harina para la elaboración de pan sin gluten. A continuación, se muestran las más relevantes:

Costa *et al.*, (2020), en su publicación *Harina de garbanzo integral como ingrediente para mejorar la calidad nutricional del pan sándwich: efectos sobre la aceptación sensorial, el perfil de textura y las propiedades tecnológicas*, desarrollaron un pan sándwich sustituyendo parcialmente la harina de trigo por 7.5 %, 15 % y 30 % de harina integral de garbanzo. Sus resultados demuestran una aceptación en las características sensoriales (color, textura, sabor, aroma, aceptación general) y una intención de compra de probablemente compraría por parte de los evaluadores. Resalta un aumento en la fibra dietética y proteína al comparar con el pan a base de harina de trigo refinada. Además, se observó que el volumen y la textura no experimentaron efectos perjudiciales.

Marcías, Sanjinez y Cornejo (2013), evaluaron y analizaron las características de un pan sin gluten elaborado a partir de harina de arroz. En sus estudios se realizaron ensayos de volumen específico, relación ancho/alto del pan, textura de miga y color de miga utilizando 6 diferentes propiedades de arroz. Los resultados muestran que la calidad del pan, es decir su volumen específico, se ve afectada por la variedad de arroz utilizada, por otro lado, los ensayos de textura indican que se asemeja a los valores del pan de trigo. Además, se

recomienda realizar sustituciones parciales para mejorar las características del pan.

Hernández y Mantilla (2019), elaboraron una galleta a partir de almidón de maíz y harina de arroz, realizando dos formulaciones, una de 50 % harina de arroz y 50 % almidón de maíz y otra de 40 % harina arroz y 60 % almidón de maíz. Los resultados muestran que al variar los porcentajes de las harinas no existió una variación significativa en las propiedades sensoriales (color, dureza y sabor), por otro se realizó una comparación entre las galletas formuladas y una galleta a base 100 % de harina de trigo, obteniendo la galleta 50 % harina de arroz y 50 % almidón de maíz con el mayor grado de aceptabilidad.

Zegarra, Muñoz y Ramos (2019), prepararon un pan sin gluten a partir de harina de cañihua. En su estudio se realizaron tres formulaciones con porcentajes de 7.6 %, 9.5 % y 8.3 % de harina de cañihua utilizando como ingredientes goma xantán, almidón de yuca y suero de leche. Los resultados muestran que la formulación con 8.3 % de harina de cañihua posee la mayor aceptabilidad con 4.5 puntos sobre 5 en una escala hedónica, entre su composición proximal destaca 11.2 % de proteína, 11.2 % de grasa y 4.74 % de fibra.

Demir, Bilgicli, Elgün y Demir (2010), formularon un cereal con reemplazo parcial de 75 % y sustitución completa de harina de trigo por harina de garbanzo con el objetivo de incrementar su cantidad de proteína. Sus resultados muestran que al utilizar 75 % o completamente la harina de garbanzo el cereal es más oscuro, desde otro punto de vista, la celulosa, magnesio, hierro y proteína aumentó al incrementar el uso de la harina de garbanzo. Además, el sabor, la pegajosidad, firmeza y aceptabilidad fueron afectados por reemplazo de harina.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el mercado de productos de panificación en Guatemala no se cuenta con una amplia variedad de productos formulados a partir de harinas alternativas, de hecho, la mayoría de industrias o pequeños productores elaboran dos alternativas, pan a base de harina de trigo y pan a partir de harina integral de trigo; una parte de los consumidores buscan alimentos que no posean gluten debido a las enfermedades celiacas, los requisitos que solicitan son alimentos con alto contenido de fibra y aceptables características organolépticas.

Generalmente es poco común encontrar panes elaborados a base de diferentes tipos de harina, por lo general se encuentran de forma artesanal o de origen extranjero, lo cual incrementa el precio del producto debido al costo de envío y baja demanda de estas industrias; además no son accesibles para todos los consumidores. Estos factores evitan la investigación y desarrollo de nuevos productos a partir de diferentes tipos de materia prima.

Ya que las industrias de panificación poseen un mercado sólido con consumidores de muchos años, no se inclinan por tomar riesgos en el desarrollo de nuevos productos, por su probabilidad de baja rentabilidad en formulación y el peligro potencial de defectos por fabricar un producto no familiar. Por ello en el mercado actual se encuentran productos de panificación formulados con harina integral de trigo que a pesar de sus beneficios no son aceptados sensorialmente por todos sus consumidores, es decir son un mercado en crecimiento.

Derivado a la falta de alternativas la población con enfermedades celíacas ha dejado de consumir productos a base de harina de trigo, lo cual provoca la pérdida de una parte de los consumidores.

Esto lleva a plantear la pregunta principal de este estudio ¿Qué características sensoriales, físicas y nutricionales tendrá un pan sin gluten formulado a partir de harina de almendra y garbanzo?

Para responder a esta interrogante se deberán contestar las siguientes preguntas auxiliares:

- ¿Cuál es la formulación de un pan sin gluten a base de harina de almendra y garbanzo?
- ¿Cuál de los panes formulados posee mayor aceptabilidad de los consumidores según pruebas sensoriales?
- ¿Cuál de los panes formulados posee las mejores propiedades nutricionales y físicas?
- ¿Qué precio unitario tendrá el producto formulado en el mercado
- ¿Qué diferencia existe en las características físicas y nutricionales de un pan formulado a partir de harina de almendra y garbanzo con respecto de un pan a partir de harina de trigo?

4. JUSTIFICACIÓN

La realización del presente trabajo se justifica en la línea de investigación del desarrollo y formulación de productos alimenticios funcionales y/o innovadores de la Maestría en Ciencia y Tecnología de los Alimentos.

El garbanzo y la almendra se caracterizan por un alto valor nutricional, siendo fuente de proteína y fibra. En Guatemala han sido poco exploradas las alternativas de productos alimenticios elaborados a partir de estas materias primas. Esta investigación aportará una formulación para la aplicación de estos productos en panificación, como un complemento a la elaboración del pan. Se presentarán los aportes nutricionales y físicos del producto desarrollado, así como su procedimiento de elaboración.

Se realizarán distintos ensayos para determinar la formulación óptima de un pan sin gluten a partir de harina de garbanzo y almendra. Los porcentajes serán determinados por ensayos físicos, evaluaciones sensoriales y análisis nutricionales que permitirán conocer la aceptabilidad de futuros consumidores y así promover su posible comercialización.

En Guatemala los productores de garbanzo son pocos, a pesar de que las condiciones climáticas en el país son favorables para su cultivo. La utilización de garbanzo y almendra como alternativas de harina promoverá el cultivo y desarrollo de los agricultores del país. Los datos obtenidos de los ensayos demostrarán alternativas de pan, algo que puede beneficiar a los productores de panificación y productos similares, al presentar una alternativa elaborada de distintas harinas.

También se beneficia el ámbito académico, al contar con un estudio sobre alternativas de harina para la elaboración de pan, que puede provocar nuevas investigaciones y propuestas de aplicaciones industriales.

Esta investigación es importante porque explora una alternativa para personas con enfermedades celíacas que además aportara alto nivel de fibra y proteína, por ello la existencia de nuevas alternativas para una alimentación de mejor calidad es relevante.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Establecer la formulación de un pan sin gluten a base de harina de almendra y garbanzo que posea aceptabilidad sensorial, física y nutricionales.

5.2. Específicos

- Determinar los porcentajes de harina de almendra y garbanzo que deben utilizarse para la elaboración de un pan sin gluten.
- Establecer el pan que obtiene el mayor porcentaje de aceptabilidad a partir de un panel sensorial.
- Definir la formulación que posea las mejores propiedades nutricionales y físicas.
- Estimar el costo unitario del pan sin gluten con mayor aceptabilidad.
- Comparar las propiedades físicas y nutricionales del pan sin gluten formulado con mayor aceptabilidad con respecto a un pan elaborado a partir de harina trigo.

6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE LA SOLUCIÓN

En Guatemala no existen alternativas de pan elaborado a partir de harinas diferentes al trigo que puede ser consumido por personas que padecen enfermedades celiacas. El garbanzo y la almendra pueden ser utilizados para los productos de panificación aportando contenido de proteína y fibra.

Se propondrá una formulación de pan sin gluten a partir de harina de garbanzo y almendra utilizando goma xantana para proporcionar volumen al pan debido a que este no contendrá gluten. Este pan brindará una alternativa de pan que aportará distintos efectos sensoriales. Además, por ser la harina de garbanzo una materia prima que puede ser cultivada en el país, brindará una disminución en el precio de fabricación de productos de panificación saludable.

Se considera que la harina de garbanzo posee un alto contenido de proteína y fibra. Estas propiedades convertirán al pan fabricado en un producto rentable debido a la presente tendencia de consumir alimentos sin gluten con alto contenido de proteína y fibra.

El producto que se elaborará ofrecerá una alternativa que captará la atención de los consumidores por ser un mercado en potencia. Esta investigación será una innovación en el mercado nacional, donde existe mucha necesidad de alimentos elaborados con cultivos con gran potencia en el país.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Harina de garbanzo

La harina de garbanzo es una de las harinas que posee mejores propiedades nutricionales debido a su alto contenido de proteína y fibra.

7.1.1. Generalidades del garbanzo

El garbanzo es una legumbre, su planta posee raíces que miden aproximadamente 60 centímetros y tiene tallos ramificados con pelos. Existen dos variedades de garbanzo: *kabuli* y *desi*, el primero tiene semillas grandes, menor grado de rugosidad y coloración blanca. El otro tipo es de color marrón, de tamaño pequeño y más gruesa que la de tipo *kabuli* (Aguilar y Vélez, 2013).

En la figura 1 se muestra los tipos de garbanzos:

Figura 1. **Garbanzo tipo *densi* (a) y garbanzo tipo *kabuli* (b)**



Fuente: Aguilar y Vélez. (2013). *Propiedades nutricionales y funcionales del garbanzo (Cicer arietinum.L)*.

7.1.2. Condiciones climáticas del garbanzo

El garbanzo es un alimento que resiste sequías y puede ser cultivado en condiciones de humedad residual siendo su crecimiento en un intervalo de precipitación de 150 a 1,000 mm, obteniendo un desarrollo ideal a los 650 mm. En relación con las temperaturas, las plantas de garbanzo resisten temperaturas bajas sin embargo en condiciones heladas el garbanzo es atacado y perjudicado cuando se encuentra en los periodos de floración y formación de vainas. El rango normal de temperatura para el crecimiento del garbanzo es entre 5 °C a 35 °C, siendo su temperatura óptima de desarrollo a los 22 °C. Con respecto al suelo el garbanzo se desarrolla en terrenos de silicio-arcillosos sin yeso, debe ser sembrado a una profundidad de 25 a 60 centímetros y sus condiciones de pH deben estar entre 4.2 a 8.6 (Aguilar y Vélez, 2013).

7.1.3. Características nutricionales del garbanzo

Al estudiar la composición nutricional del garbanzo se aprecia su elevado contenido de grasa y fibra, además del alto contenido de proteína caracterizado por un 22 % (Aguilar y Vélez, 2013).

En la siguiente tabla se muestra la composición nutricional de las leguminosas:

Tabla I. **Composición nutricional de leguminosas**

Leguminosa	Proteína*	Lípidos*	Carbohidratos*	Fibra*	Minerales*
Frijol negro	26.9	1.6	66.9	1.0	3.6
Judía mungo	26.7	2.3	64	7.2	3.6
Garbanzo	22.7	5.0	66.3	3.0	3.0
Alubias	24.1	1.8	65.2	4.5	4.4
Chícharos	27.4	1.3	66.6	0.9	3.8
Lentejas	28.6	0.8	67.3	0.8	2.4
Chícharo seco	25.7	1.6	68.6	1.6	3.0

Fuente: Aguilar y Vélez. (2013). *Propiedades nutricionales y funcionales del garbanzo (Cicer arietinum.L)*.

El garbanzo es catalogado como fuente de proteínas y carbohidratos, estos representan en el grano el 80 % del peso seco total. El porcentaje de carbohidratos en el garbanzo se encuentra entre 37.5 a 50.8 %. Entre los carbohidratos de mayor proporción se encuentra el almidón representando el 50 % por otro lado la fibra dietética soluble representa el de menor cantidad con 3.7 %. Con respecto al almidón se ha determinado que las semillas presentan una relación de 535 g/kg respecto a la base seca, estimando que el 35 %

pertenece al almidón resistente y el resto al almidón disponible. Se define al almidón resistente como aquel que no es digerido y es fermentado por las bacterias benéficas del intestino (Aguilar y Vélez, 2013).

En la siguiente tabla se observa la distribución de carbohidratos en el garbanzo:

Tabla II. **Distribución de carbohidratos en el garbanzo**

Componente	Concentración (%)
Almidón	50.4
Amilosa	20.0 - 46.5
Almidón resistente	3.4 - 16.4
Celulosa	1.1 - 13.7
Hemicelulosa	0.6 - 16.0
Lignina	Trazas a 7.1
Fibra dietética total	8.2 - 24.0
Fibra dietética soluble	3.7
Fibra dietética insoluble	7.9
NSP polisacáridos no almidón	5.5 - 35.4

Fuente: Aguilar y Vélez. (2013). *Propiedades nutricionales y funcionales del garbanzo (Cicer arietinum.L)*.

Entre las leguminosas el garbanzo es el que posee mayor contenido de grasa, oscilando entre 2.9 % a 8.8 %. Los lípidos del garbanzo se encuentran distribuidos de la siguiente forma: ácidos grasos poliinsaturados (62 % a 67 %), ácidos grasos monoinsaturados (19 %-26 %) y ácidos grasos (12-14 %). Con respecto a los minerales, posee 40 % de magnesio y cobre un 15 % de hierro y zinc, con base en la dosis recomendada diaria para adultos. También aporta el 7 % de la dosis diaria de selenio (Aguilar y Vélez, 2013).

En la siguiente tabla se observa los minerales presentes en el garbanzo *kabuli* con respecto a 100g de grano seco:

Tabla III. **Distribución de minerales garbanzo tipo *kabuli* (mg/100g)**

Mineral	Cantidad	
	mínima	máxima
Calcio	40.0	267.0
Magnesio	10.0	239.0
Fósforo	159.0	930.0
Potasio	220.0	1333.0
Sodio	2.1	64.0
Azufre	160.0	200.0
Hierro	3.2	14.3
Manganeso	0.1	9.4
Cobalto	6.0	41.0
Zinc	2.0	5.4
Selenio	0.5	10.0

Fuente: Aguilar y Vélez. (2013). *Propiedades nutricionales y funcionales del garbanzo (Cicer arietinum.L)*.

Entre los beneficios que se obtienen al consumir garbanzo se encuentran: control y disminución de la diabetes, reducción de colesterol y triglicéridos en la sangre y prevención de enfermedades cardiovasculares por el consumo de omega 3 y 6 (Torres, 2015).

7.2. Harina de almendras

La harina de almendra es utilizada para la elaboración de productos con buenas propiedades nutricionales, esto se debe a su contenido alto de proteínas,

el cual se encuentra en promedio entre 23 a 26 %; el sabor incomparable de las almendras ha provocado su uso en diferentes formas: enteras, rodajas, confitadas, galletas, tortas y pasteles (Bastidas y Del Hierro, 2021).

7.2.1. Almendras

Es el fruto del almendro y forma parte del núcleo familiar de las rosáceas, este es un fruto de forma alargada con tamaño de 1 a 2 centímetros y con cascara de color marrón. El almendro se obtiene de un árbol de aproximadamente 10 metros de elevación y flores que pueden ser de color blanco o rosado. Las almendras poseen un bajo contenido de agua y un alto contenido de nutrientes benéficos para la salud de los seres humanos. Además, son fuente de calcio, fibra que ayuda a la población que padece enfermedades digestivas por su efecto laxante y antiinflamatorio, poseen vitamina E la cual se utiliza como antioxidante y su contenido de lípidos es derivado del ácido oleico y ácido linoleico que ayuda contra enfermedades cardíacas (Bastidas y Del Hierro, 2021).

7.2.2. Condiciones climáticas del cultivo de almendra

La almendra puede ser cultivada en condiciones secas y templadas, es afectada y atacada bajo heladas entre temperaturas de -4 °C a -6 °C. El crecimiento óptimo de la almendra se encuentra a temperaturas de 15 a 16 °C, disminuyendo su desarrollo al llegar a los 12 °C. Con respecto al suelo puede ser cultivado en terrenos secos y con alto contenido de piedras, aunque se prefiere terrenos fértiles. Sus plantas poseen una alta resistencia a suelos calcáreos (Vinueza y Rugel, 2018).

7.2.3. Composición nutricional y química harina de almendras

En las siguientes tablas se muestra la composición de la harina de almendras:

Tabla IV. **Propiedades químicas de la harina de almendra**

Componentes		Unidades	Harina de almendra
Proteínas		(%)	21
Hidratos de carbono	de	(%)	4
Azúcares		(%)	4
Fibra		(%)	12
Grasas		(%)	56
Sal		(%)	0,2

Fuente: Bastidas y Del hierro. (2021). *Desarrollo de pan tipo rollo de canela sustituido parcialmente la harina de trigo con harina de arveja (Pisum Sativum), harina de almendra (Prunus Dulcis) y 2 % de chía (Salvia Hispánica), endulzada con panela (Saccharum officinarum L.).*

Tabla V. **Composición nutricional de la harina de almendra**

Parámetro	Unidades	Harina de almendras
Cobre	(mg/100g)	245
Magnesio	(mg/100g)	64

Fuente: Bastidas y Del hierro. (2021). *Desarrollo de pan tipo rollo de canela sustituido parcialmente la harina de trigo con harina de arveja (Pisum Sativum), harina de almendra (Prunus Dulcis) y 2 % de chía (Salvia Hispánica), endulzada con panela (Saccharum officinarum L.).*

7.3. Harinas sin gluten y características generales de las harinas

Entre los tipos de harina se encuentran las que no producen gluten es decir no cuentan con la unión de la proteína gliadina y glutenina, debido a esto es importante conocer el comportamiento y características de las harinas sin gluten para la formación de pan y comparar los beneficios y desventajas de utilizar este tipo de harina para brindar un alimento libre de alergen.

7.3.1. La enfermedad celíaca

Esta enfermedad se trata de la intolerancia al gluten debido al contenido de gliadina, la cual causa inflamación en el intestino delgado del consumidor (Mosquera, Pacheco, Martínez, 2012). Otra definición indica que se trata de una enfermedad provocada por una secuencia específica de aminoácidos que se encuentran en la fracción de las prolaminas de las proteínas básicas de cereales como el trigo, centeno y cebada (Fernández, 2017).

7.3.2. Alimentos sin gluten

Los alimentos sin gluten poseen fama de tener falta de cohesión y elasticidad, así como poca capacidad de retención de gases. Además, los productos acostumbran a tener textura grumosa, color pálido, poco sabor, poco volumen y un endurecimiento veloz. Aunque se han hecho estudios del uso de aditivos para incrementar las propiedades aún no se ha logrado las características de la masa elaborada a base de harina de trigo (Fernández, 2017). Según el Codex Alimentarius un alimento sin gluten es aquel producido con uno o más ingredientes que no contienen trigo, avena, cebada o sus variedades, cuya cantidad de gluten no supera los 20 mg/kg en total (Peña, 2013).

7.3.3. Pan sin gluten

Los panes sin gluten se caracterizan por una pobre calidad en todos los puntos. A partir de un criterio organoléptico, la mayor parte poseen un gusto y aroma pobres, con lo cual resultan productos que no son bien aceptados entre los consumidores. Por otro lado, los panes sin gluten son producidos con ingredientes refinados y sin fortificar, primordialmente almidones, por lo que aportan pobremente nutrientes (Fernández, 2017).

7.3.4. Ingredientes para la panificación sin gluten

Los panes formulados sin harina de trigo son conocidos por no contar con un buen desarrollo de volumen y miga. Por esta razón es importante conocer los ingredientes o aditivos que se pueden utilizar para compensar la falta de gluten y obtener un producto con aceptación sensorial.

7.3.4.1. Harinas y almidones

Las harinas y almidones que se utilizan en la producción de panes sin gluten son de diversos tipos de cereales, tubérculos, legumbres y pseudocereales tales como: maíz, arroz, yuca, amaranto y garbanzo. Estas harinas y almidones sin gluten poseen proteínas con menor número de puentes disulfuro que el trigo, lo cual dificulta el desarrollo de las redes de proteína; por tal razón para incrementar el porcentaje de proteína se mezclan las harinas con otras fuentes de proteína como el huevo, nueces y leche (Peña, 2013).

Las proteínas del garbanzo son usadas exitosamente en la producción de productos de panificación, para incrementar el valor biológico y mejorar la calidad del alimento. Con almidón de maíz y garbanzo se obtiene pan con superiores

características fisicoquímicas y un óptimo comportamiento sensorial en comparación con los panes sin gluten elaborados con otras harinas (Fernández, 2017).

7.3.4.2. Hidrocoloides

Los hidrocoloides son sustancias que en un sistema acuoso forman geles. El uso de hidrocoloides en la preparación de pan proporciona una mejor consistencia de la masa, una mayor capacidad de retención de gas y una vida eficaz más extensa del pan. Entre los hidrocoloides más utilizados se encuentran: goma de xantana y goma guar. La funcionalidad de los hidrocoloides en la panificación se puede explicar de la siguiente forma: una vez que el aire se añade durante el amasado, las burbujas se suspenden, sin embargo, no se integran o salen de la suspensión y los gránulos de levadura y almidón se sedimentan por la falta de compuestos estructurales, una forma de disminuir este fenómeno es incrementar la viscosidad de la fase líquida a temperatura ambiente al agregar hidrocoloides (Peña, 2013).

La goma xantana pospone lo suficiente la sedimentación y la coalescencia de las burbujas, con el fin que el sistema se mantenga homogéneo durante la fermentación hasta la gelatinización del almidón en la cocción, debido a que la viscosidad de la mezcla no se modifica con el aumento de la temperatura (Peña, 2013).

7.3.4.3. Fibra soluble

La fibra se define como un carbohidrato que no puede ser digerido en el intestino delgado y que provee alimentación a las bacterias benéficas. En panificación la fibra posee dos funciones importantes: por una parte, brinda

suavidad al pan y por otra alarga su vida útil. Entre las características benéficas de la fibra se encuentran: disminución del colesterol, control de la diabetes, mitiga la probabilidad de sufrir enfermedades cardiovasculares y brinda sensación de saciedad (Silva, 2016).

7.3.4.4. Almidón

Luego de la celulosa, el almidón es la segunda reserva de hidratos de carbono en la naturaleza. El almidón normal se encuentra compuesto por 25 % de amilosa y 75 % de amilopectina. Al dañarse el almidón se incrementa la absorción de agua debido a las fisuras y grietas formadas, además se destaca que es más susceptible a la acción de la α -amilosa. El almidón se puede transformar en glucosa, al hidrolizarse, lo que influye en la fermentación de la masa debido a la acción de la levadura (Manobanda, 2017).

7.3.4.4.1. Almidón gelatinizado

La gelatinización del almidón es un fenómeno que se produce cuando el almidón caliente absorbe agua lo que provoca que se expande, esta reacción se puede observar en el aumento de volumen de los granos durante la cocción. En un almidón normal la gelatinización se produce cuando existe un exceso de 30 % de agua a una temperatura mayor a 50 °C, estos parámetros del fenómeno serán variables dependiendo del tipo de almidón (Manobanda, 2017).

7.3.4.4.2. Retrogradación del almidón

Al proceso en el que las moléculas de almidón gelatinizadas se distribuyen con el fin de formar cristales por el desequilibrio termodinámico se le conoce como retrogradación, este fenómeno es parcialmente reversible en el caso de la

amilosa y reversible por completo en la amilopectina. La retrogradación afecta en la textura y vida útil del almidón, los cuales se observan en la retención de agua y recristalización de la amilopectina (Manobanda, 2017).

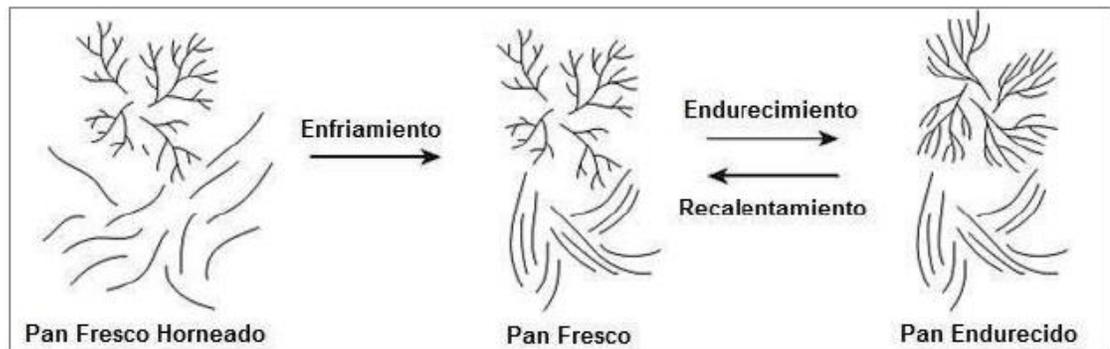
7.3.4.4.3. Endurecimiento del pan

Una de las primordiales razones del envejecimiento del pan es la retrogradación, siendo este fenómeno responsable en gran medida de los desechos en las panificadoras debido a la disminución de aceptación de los consumidores por los cambios de aroma, sabor y lo crujiente de la corteza del alimento (Manobanda, 2017).

El endurecimiento del pan se puede producir en pocas horas o al paso de varios días. El primer caso sucede cuando el pan al enfriarse, las moléculas de amilosa se unen y cristalizan provocando cambios en la textura del pan. El segundo caso se produce cuando las moléculas de amilopectina formando cambios drásticos en la textura del pan (Manobanda, 2017).

En la siguiente figura se muestra una representación del endurecimiento del pan:

Figura 2. **Endurecimiento del pan**



Fuente: Manobanda. (2017). *Estudio del efecto de la sustitución parcial de la harina de trigo por harina de arrozillo en la producción de pan.*

7.3.4.4. Factores en la retrogradación

El primer factor que posee influencia en la retrogradación es la proteína de la harina, varios estudios muestran que al aumentar la cantidad de proteína disminuye la interacción entre el almidón y el gluten, demorando la dureza de la miga. Este efecto se debe a la formación de enlaces de puentes de hidrogeno entre los grupos amidas, hidroxilos y albúmina del almidón, las cuales son formadas durante el horneado y en el almacenamiento del pan (Manobanda, 2017).

El segundo factor es la humedad, según estudios se demuestra que panes con alta humedad por lo general tienen una retrogradación lenta, este efecto es provocado por la transferencia de humedad del interior del pan a la miga, es decir la superficie externa del pan, el agua provoca que los componentes de pan desarrollen flexibilidad (Manobanda, 2017).

7.4. Producción de pan

Para la producción de pan se debe contar con los conocimientos de las materias primas, aditivos, los procesos de producción y el empaçado del producto. En la siguiente sección se explican estos temas.

7.4.1. Materias primas y aditivos

Entre los ingredientes funcionales en un proceso de panificación se encuentran: sal, harina, levadura y agua. Además, es común que los panaderos utilicen: grasa, azúcar y leche.

7.4.1.1. Harinas

La harina es la materia prima principal para la formulación y producción de pan, es conocida como un polvo fino que resulta de la molienda y tamizaje de cereales, pseudocereales y legumbres, siendo el trigo el cereal más conocido. Al combinar la harina con el agua forman la red del gluten durante la etapa de amasado, la principal función es desarrollar un producto con textura y forma adecuada (Manobanda, 2017).

La sustitución de harina trigo disminuye la elasticidad de la masa, sin embargo, el reemplazo total de trigo puede realizarse según las características que aportan las harinas alternativas para compensar la falta de gluten. Cabe mencionar que los estudios del reemplazo parcial o total se realizan para aumentar la proteína y fibra del pan (Vásquez, Verdú, Islas, Barat y Grau, 2016).

7.4.1.2. Levadura

La levadura se define como un grupo específico de hongo el cual posee la capacidad de transformar los azúcares en productos fermentados. En la fermentación del pan o masa se utilizan las levaduras de la familia *Saccharomyces cerevisiae* (Silva, 2016).

El rango de temperatura ideal para la fermentación se encuentra entre 27 °C a 38 °C obteniendo los mejores resultados a los 35 °C. Se debe tener cuidado en la etapa de mezclado de no agregar un exceso de azúcar o sal por el efecto negativo de la deshidratación osmótica. Entre las funciones que posee la levadura se encuentran: aumentar el volumen del pan resultado de la generación de dióxido de carbono y generar aromas provocados por el desarrollo de alcoholes (Manobanda, 2017).

7.4.1.3. Azúcar

El azúcar posee varias funciones en el desarrollo del pan:

- Agrega dulzor al pan.
- Ayuda en el crecimiento del volumen de pan por ser una fuente de alimentación de la levadura para la generación de CO₂, se debe tener precaución en no sobrepasar en 12 % el contenido de azúcar debido a que el volumen se reducirá en vez de aumentar.
- Participa en el desarrollo de volumen de pan como fuente de energía de la levadura para la producción de dióxido de carbono, se debe tener cuidado de no exceder 12 % del contenido ya que el volumen disminuirá en lugar de incrementar.
- Añade contenido calórico.

- Contribuye a la coloración del pan por ser una fuente de carbohidratos que participa en la reacción de Maillard.
- Incrementa la humedad por su naturaleza higroscópica, retrasando el endurecimiento de pan e incrementando su vida (Manobanda, 2017).

7.4.1.4. Sal

La sal al agregarse al pan en pequeñas cantidades produce una masa firme mejorando la textura y volumen del pan elaborado. La principal función de la sal en el proceso de panificación es detener la fermentación, inhibiendo el crecimiento de las levaduras provocando que el proceso de fermentación sea lento y no se produzca una masa muy pegajosa (Manobanda, 2017). Otras funciones importantes de la sal en panificación son suministrar sabor al pan e incrementar la capacidad de retención al agua (Mesas y Alegre, 2002).

7.4.1.5. Grasa

Las principales funciones que posee la grasa en la producción de pan son:

- Mejora del volumen del producto, al unirse con los azúcares produce celdas que atrapan aire, haciendo más fácil la extensión del pan y deteniendo la ruptura a lo largo del horneado.
- Dependiendo la naturaleza y cantidad de grasa tiene efecto en el color, sabor y textura.
- Incrementar la vida útil.
- Retrasa el endurecimiento del pan debido a sus propiedades emulsificantes, ayuda a la estabilización de la masa (Manobanda, 2017).

7.4.1.6. Agua

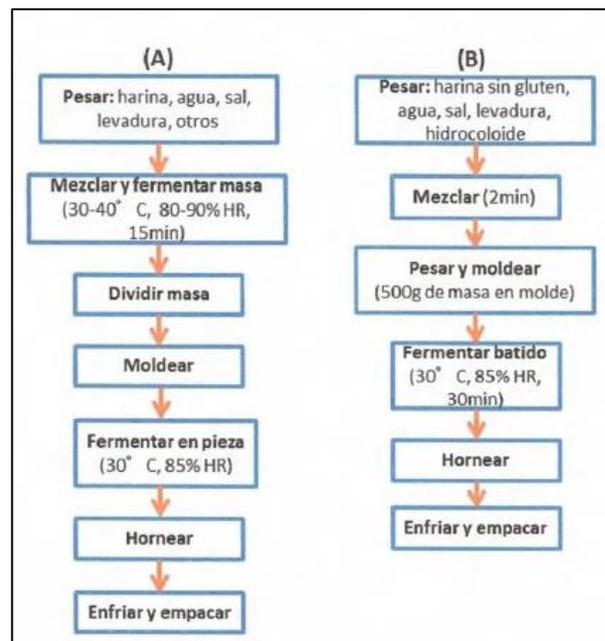
Es el segundo ingrediente con más porcentaje de la masa del pan y es el que hace posible el amasado de la harina. El agua hidrata la harina haciendo más fácil la formación del gluten en las harinas de trigo, con ello y el trabajo mecánico del amasado se le confieren a la masa sus propiedades plásticas: cohesión, plasticidad, elasticidad y tenacidad. El agua es necesaria para desarrollar las levaduras que llevarán a cabo la fermentación (Mesas y Alegre, 2002).

7.4.2. Proceso de producción

Dependiendo del pan que se quiera elaborar el proceso de producción será distinto, pero en general las etapas comunes de la producción son: mezclado y amasado, división, moldeado, fermentación y horneado.

En la siguiente figura se muestra un diagrama de flujo de los pasos para elaborar pan a base de trigo (A) y a base de harinas sin gluten (B).

Figura 3. Diagrama de flujo proceso de elaboración de pan de trigo (A) comparado con el proceso producción de pan sin gluten (B)



Fuente: Peña. (2013). *Formulación de un pan sin gluten y descripción de características externas e internas de calidad.*

7.4.2.1. Amasado

Los objetivos del amasado son lograr una mezcla íntima de los ingredientes, oxigenación perfecta de la masa y desarrollar las propiedades plásticas por medio del trabajo físico (Mesas y Alegre, 2002).

7.4.2.2. División y pesado

El objetivo de esta etapa es dar a cada pieza de pan un peso determinado. Generalmente se suelen pesar a mano y dividir las piezas para ajustarlas y conseguir un peso homogéneo (Mesas y Alegre, 2002).

7.4.2.3. Boleado

Se refiere a moldar y proporcionar forma a la bola de masa, su propósito es restaurar la estructura de la masa después de la etapa de división (Mesas y Alegre, 2002).

7.4.2.4. Reposo

Se refiere a dejar reposar la masa para que se recupere de la desgasificación experimentada luego de la etapa de división y boleado. Este proceso es posible realizarlo a temperatura ambiental (Mesas y Alegre, 2002).

7.4.2.5. Formando

Su objetivo es proporcionar al pan una forma definida y terminada. Al tener una pieza de pan redonda el resultado de esta etapa será un pan con la misma forma. Si la pieza es grande o tiene forma especial es común ajustarla a mano (Mesas y Alegre, 2002).

7.4.2.6. Fermentación

La fermentación es conocida como el proceso en el que la masa del pan se transforma en una masa suave con capacidad de expandirse (Manobanda, 2017).

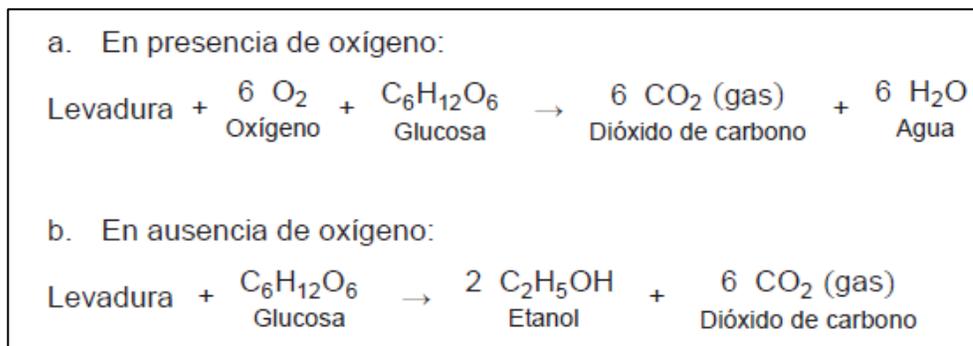
Este proceso es clave debido a que aumenta el volumen del pan con respecto al tiempo, es decir, se infla por la producción de dióxido de carbono generado por la levadura, para aumentar la reacción es indispensable el control de la temperatura siendo de 35 °C a 47 °C las condiciones ideales. La forma del

pan es generada en esta etapa aplicando fuerza es decir apretando durante el inflado de pan para darle una forma alargada o redonda, la medida de la fuerza aplicada es determinada por la tenacidad de la masa, cuando es floja se requiere más fuerza al contrario cuando la masa es dura se requiere menos fuerza para no generar bolsas de aire (Mosquera *et al*, 2012).

En la etapa de fermentación participan dos enzimas, amilasa y diastasa, las cuales tienen como objetivo convertir las fuentes de hidratos de carbono en alcohol y dióxido de carbono. En la primera etapa de fermentación la diastasa produce CO₂ y alcohol a partir de la glucosa y sacarosa de la harina. En la segunda etapa la amilasa y diastasa producen maltosa a partir de los almidones, estos carbohidratos serán consumidos por la levadura para producir CO₂ y alcohol (Silva, 2016).

Las reacciones de la levadura pueden ser de dos tipos dependiendo de la presencia (aerobias) o ausencia de oxígeno (anaerobias). En la siguiente figura se observa las reacciones que experimentan las levaduras en el proceso de pan.

Figura 4. **Reacciones de levadura**



Fuente: Manobanda. (2017). *Estudio del efecto de la sustitución parcial de la harina de trigo por harina de arrozillo en la producción de pan.*

7.4.2.7. Horneado

En esta etapa la masa se transforma a pan, al evaporar el agua al inicio de la cocción, la masa es lo suficiente elástica para incrementar su volumen en el horno. Los gases dilatan el pan, es decir, incrementan el volumen, además en esta etapa el almidón se hincha ligeramente. Al alcanzar el pan los 75 °C en el horno se desactivan las enzimas, el gluten se coagula y posteriormente se genera la humedad y el color final del producto (Mosquera *et al*, 2012).

Existen tres etapas en el horneado de pan:

- En la primera etapa se produce dióxido de carbono por la degradación de los azúcares a una temperatura de 25 °C a 30 °C, deteniendo la generación a 50 °C.
- En la segunda fase, se genera la dilatación del pan al calentar el dióxido de carbono presente en la masa en un rango de temperatura de 50 °C a 80 °C, este desarrollo del pan se le conoce como la formación de los alveolados en el interior. Paralelamente la amilasa degrada el almidón y produce maltosa y dextrina, por último, en esta etapa al llegar a los 70 °C el gluten coagula y termina el crecimiento del pan.
- En la tercera fase, se consume las dextrinas por la reacción de Maillard formando una coloración en la corteza de pan y una textura crocante (Silva, 2016).

7.4.3. Calidad en el pan sin gluten

Entre los atributos fundamentales para la aceptabilidad del pan se encuentran el volumen y la textura. Un pan con buena reputación posee una miga elástica, flexible y de bajo peso, por otro lado, un pan con textura dura, denso o

quebradizo se percibe como un pan viejo o de mala calidad. Este fenómeno es causado normalmente por una gran cantidad de almidón presente en la formulación del pan y a la ausencia de gluten. Las propiedades que determina la aceptabilidad de un pan suelen agruparse en tres clases: calidad externa, calidad interna y calidad comestible (Peña, 2013).

7.4.3.1. Calidad externa

Entre las principales propiedades que se evalúan son las dimensiones del pan, el volumen, color y la apariencia de la corteza. Las dimensiones que se evalúan en los panes son la longitud y altura por medio de instrumentos simples como por ejemplo cintas métricas, vernier o reglas graduadas. Por otro lado, el volumen se puede medir por medio de desplazamiento de semillas, el aparato consta de un recipiente de volumen conocido, el cual previamente ha sido calibrado con una semilla determinada, el pan se introduce y la semilla se deja caer midiendo así el volumen desplazado sin comprimir la estructura del producto. La apariencia externa es importante debido a que es lo primero que atrae a los consumidores, este atributo es calificado por medio de una comparación con un producto previamente aceptado.

El color de la corteza de pan se evalúa por generalmente se suelen usar cartas de color estándar para su evaluación. La presencia de defectos en la superficie suele ser evaluado en la calidad externa como parte de la calidad total del pan (Peña, 2013).

7.4.3.2. Calidad interna

Los atributos de calidad interna en un pan son normalmente: la cantidad y distribución de granos en la miga, los agujeros indeseados y la coloración de la

miga. Para evaluar el grano de miga se suele utilizar una foto de referencia con un producto previamente aceptado debido a que cada pan con formulaciones distintas tendrá estructuras de las celdas específicas. Utilizando la referencia se evalúan la forma, el tamaño, distribución de los poros y la porosidad global. Con respecto a la textura, se caracteriza mediante un dispositivo el cual mide la elasticidad y firmeza de la miga (Peña, 2013).

7.4.3.3. Calidad comestible

La textura sensorial es evaluada mediante las propiedades de la miga del pan como por ejemplo la dureza y elasticidad. La suavidad o dureza de la miga permanecen estrechamente relacionadas en relación con la percepción humana de la frescura (Peña, 2013).

7.5. Análisis de calidad del pan

Para garantizar que los alimentos producidos sean adquiridos por los consumidores es primordial que cumplan con parámetros de calidad, es decir, cumplir con las propiedades nutricionales, físicas y de inocuidad del producto.

7.5.1. Análisis proximal

El análisis proximal es un conjunto de métodos que determinan las propiedades que poseen los alimentos con el fin de asegurar de informar la composición nutricional del alimento.

7.5.1.1. Cenizas

Las cenizas conforman la materia inorgánica que pertenece a los alimentos (sales minerales). Las cenizas están como residuos después de la incineración de la materia orgánica del alimento (Torres, 2015). Una vez que los alimentos son tratados térmicamente a temperaturas entre 500 y 600 °C, el agua y otros constituyentes volátiles son expulsados como vapores en tanto los constituyentes orgánicos son transformados en presencia del oxígeno del aire en dióxido de carbono y óxido de nitrógeno mientras que el hidrógeno es expulsado en forma de vapor de agua.

Los minerales constituyentes están en el residuo en forma de óxidos, sulfatos, fosfatos, silicatos y cloruros, en dependencia de las condiciones de incineración y la estructura del producto examinado (Fon y Fernández, 2019).

7.5.1.2. Proteínas

Las proteínas son nutrientes contenidos en especial en alimentos de origen animal, y estos contribuyen en la formación de músculos en el cuerpo, a pesar de ello el cálculo de estos es necesario para el etiquetado de todo tipo de alimentos. El procedimiento usado para el cálculo de las proteínas del pan integral ha sido el método Microkjeldahl, el cual se fundamenta en la determinación del nitrógeno total de una muestra de alimento y se efectúa en tres etapas: mineralización o digestión, destilación y titulación. En la fase de mineralización la muestra es sometida a la acción del ácido sulfúrico concentrado e hirviente, donde es convertido en dióxido de carbono y agua a medida que el nitrógeno orgánico es fijado en forma de sulfato de amonio. Este procedimiento dura aproximadamente entre 3 y 4 horas (Torres, 2015).

7.5.1.3. Grasa

Las grasas, aceites o llamados globalmente lípidos son extraídos mediante el uso de éter de petróleo y presentados como el porcentaje de masa luego de evaporar el solvente. Los equipos utilizados para este procedimiento son los siguientes: Horno de laboratorio, desecador y aparato de extracción Soxhlet.

7.5.1.4. Carbohidratos

El porcentaje de hidratos de carbono se obtienen por diferencia al restar los valores porcentuales de humedad, proteínas, lípidos y cenizas del 100 % (Torres, 2015).

7.5.1.5. Fibra

La fibra o fibra cruda, es la parte inorgánica no nitrogenada de un alimento, su determinación se lleva a cabo utilizando un digestor con soluciones de ácido sulfúrico e hidróxido de sodio para luego calcinar el residuo resultante. El peso luego de la calcinación nos muestra la cantidad de fibra en el alimento.

7.5.2. Análisis físico

En la norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 530:2013 se explican los métodos para cuantificar las características de los productos de panadera de la harina a base de trigo y procedimientos para comparar un pan formulado a base de harina de trigo y otros elaborados a partir de mezcla de diferentes harinas alternativas. Entre los métodos que se detallan en la norma están la determinación de volumen, estructura de la miga del pan, corteza, aroma,

coloración de miga y textura. Para ello se evalúan cinco panes elaborados con un tipo específico de harinas o sus mezclas y se evalúan con puntos para cada rubro, los resultados de la calificación de cada uno de ellos no deben diferir en más de 10 puntos para poder brindar un resultado objetivo.

7.5.2.1. Humedad

La humedad se define como la cantidad de agua que posee un alimento con respecto a su masa ya sea en función del sólido seco (base seca) o el sólido total (base húmeda). Determinar esta característica es fundamental en los alimentos debido a que la mayoría posee elevadas cantidades de agua lo cual provoca un rápido deterioro y un ambiente óptimo para el crecimiento y reproducción de microorganismos (Fon y Fernández, 2019).

7.5.2.2. Volumen de pan

Se refiere al volumen ocupado por el pan, expresado en cm^3 . En el caso de los panes se debe utilizar el dispositivo volumenómetro de pan, en dado caso no se cuente con este equipo se puede utilizar el siguiente procedimiento para determinarlo: se llena una balde o recipiente pequeño con semillas de forma y tamaño iguales, luego se retira una cantidad de semillas y se coloca el pan, para después rellenar el recipiente con las semillas retiradas, la diferencia de semillas indica el volumen que mide el pan.

7.5.2.3. Rendimiento en pan

Se refiere al peso que se obtiene del pan, preparado con 100 gramos de harina, una hora después de la salida del horno expresado en gramos.

7.5.2.4. Peso de pan

Se define como la cantidad de masa que posee un alimento medida en una balanza digital.

7.5.3. Análisis sensorial

El análisis sensorial es una técnica utilizada para analizar y traducir las respuestas de los sentidos a un alimento, esta clase de estudio es fundamental debido a que no se rige solamente por el aspecto o el sabor, más bien, por la manera en la que los alimentos son percibidos por un conjunto de personas conectándose con todos sus sentidos (Zuluaga, 2017).

7.5.3.1. Propiedades sensoriales

Cualquier característica o cualidad que se percibe por medio de los sentidos es conocido como propiedad sensorial, entre estas se encuentran: olor, gusto, textura y flavor, conocido como la percepción de aromas luego que el alimento es colocado en la boca (Abad y Vasena, 2020).

7.5.3.2. Tipos de pruebas sensoriales

Entre los tipos de pruebas sensoriales se encuentran: discriminación, descriptivas y afectivas.

7.5.3.2.1. Pruebas de discriminación

Estas pruebas son dirigidas a la comparación entre dos muestras para determinar si existe una diferencia perceptible entre ellas, estas son utilizadas en

casos de sustitución de materias primas en las que se desea evitar la existencia de diferencias en sus propiedades sensoriales (Zuluaga, 2017).

7.5.3.2.2. Pruebas descriptivas

Las pruebas descriptivas evalúan un producto alimentario de acuerdo con las propiedades organolépticas de forma cualitativa y cuantitativa, estos estudios son realizados con panelistas medianamente expertos o expertos, también son útiles en la evaluación de cambios sensoriales a través del tiempo y apoyados por métodos instrumentales y análisis para establecer en qué momento se pierden los parámetros de calidad establecidos o requeridos para cierto producto (Zuluaga, 2017).

7.5.3.2.3. Pruebas afectivas

En estas pruebas no se establecen escalas ni se espera una respuesta subjetiva del evaluador o panelista, por lo regular se realizan evaluaciones en posibles consumidores que indican simplemente si el producto es de su agrado o no, o si prefieren algún otro producto sin realizar una escala real de evaluación las que se obtienen grados de satisfacción y aceptación (Mazón, Hermida, Machado, Murillo y Mena, 2018).

7.5.3.3. Establecimiento de paneles sensoriales

Un panel sensorial es un grupo de personas que realizan un análisis de evaluación de los atributos relacionados con las propiedades sensoriales de un alimento (Zuluaga, 2017). El panel sensorial puede ser conformado por panelistas entrenados o no dependiendo del enfoque al cual va dirigido el mismo, este se puede realizar con el fin de saber si un alimento es o no agradable para

sus degustadores o puede dirigirse a determinar diferencias entre distintas muestras, para lo que se requerirá una mejor percepción de las propiedades del alimento por discriminación.

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

RESUMEN DEL MARCO TEÓRICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Harina de garbanzo

1.1.1. Generalidades del garbanzo

1.1.2. Condiciones climáticas del garbanzo

1.1.3. Características nutricionales del garbanzo

1.2. Harina de almendras

1.2.1. Almendra

1.2.2. Condiciones climáticas del cultivo de almendra

1.2.3. Composición nutricional y química harina de almendras

1.3. Harinas sin gluten y características generales de harinas

1.3.1. La enfermedad celíaca

1.3.2. Alimentos sin gluten

1.3.3. Pan sin gluten

1.3.4. Ingredientes para la panificación sin gluten

- 1.3.4.1. Harinas y almidones
- 1.3.4.2. Hidrocoloides
- 1.3.4.3. Fibra soluble
- 1.3.4.4. Almidón
 - 1.3.4.4.1. Gelatinización del almidón
 - 1.3.4.4.2. Retrogradación del almidón
 - 1.3.4.4.3. Endurecimiento del pan
 - 1.3.4.4.4. Factores en la retrogradación
- 1.4. Producción de pan
 - 1.4.1. Materias primas y aditivos
 - 1.4.1.1. Harinas
 - 1.4.1.2. Levadura
 - 1.4.1.3. Azúcar
 - 1.4.1.4. Sal
 - 1.4.1.5. Grasa
 - 1.4.1.6. Agua
 - 1.4.2. Proceso de producción
 - 1.4.2.1. Amasado
 - 1.4.2.2. División y pesado
 - 1.4.2.3. Boleado
 - 1.4.2.4. Reposo
 - 1.4.2.5. Formando
 - 1.4.2.6. Fermentación
 - 1.4.2.7. Horneado
 - 1.4.3. Calidad en el pan sin gluten
 - 1.4.3.1. Calidad externa

- 1.4.3.2. Calidad interna
 - 1.4.3.3. Calidad comestible
 - 1.5. Análisis de calidad del pan
 - 1.5.1. Análisis proximal
 - 1.5.1.1. Cenizas
 - 1.5.1.2. Proteínas
 - 1.5.1.3. Grasa
 - 1.5.1.4. Carbohidratos
 - 1.5.1.5. Fibra
 - 1.5.2. Análisis físico
 - 1.5.2.1. Humedad
 - 1.5.2.2. Volumen de pan
 - 1.5.2.3. Rendimiento en pan
 - 1.5.2.4. Peso de pan
 - 1.5.3. Análisis sensorial
 - 1.5.3.1. Propiedades sensoriales.
 - 1.5.3.2. Tipos de pruebas sensoriales
 - 1.5.3.2.1. Pruebas de discriminación
 - 1.5.3.2.2. Pruebas descriptivas
 - 1.5.3.2.3. Pruebas afectivas
 - 1.5.3.3. Establecimiento de paneles sensoriales

2. PROCESO DE ELABORACIÓN DE PAN SIN GLUTEN

- 2.1. Elaboración del pan sin gluten
 - 2.1.1. Formulación del pan sin gluten
 - 2.1.2. Determinación inicial de alternativas
- 2.2. Evaluación sensorial

3. ANÁLISIS DE CALIDAD
 - 3.1. Evaluación física
 - 3.1.1. Preparación de la muestra
 - 3.1.2. Método de análisis
 - 3.2. Evaluación nutricional
 - 3.2.1. Preparación de la muestra
 - 3.2.2. Método de análisis

4. DETERMINACIÓN DE COSTOS
 - 4.1. Costo de materia primas
 - 4.2. Costo del proceso

5. COMPARACIÓN DE PAN SIN GLUTEN Y PAN DE TRIGO
 - 5.1. Elaboración del pan de trigo
 - 5.2. Evaluación física
 - 5.3. Evaluación nutricional
 - 5.4. Comparativa física y nutricional

6. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICES

ANEXOS

9. METODOLOGÍA

9.1. Tipo de estudio

El presente estudio es de tipo cuantitativo, dado que se considera el fenómeno de la formulación de un pan sin gluten a base de almendra y garbanzo, midiendo sus propiedades y definiendo las variables de formulación.

9.2. Diseño de investigación

Se realizará un diseño de tipo experimental, ya que se hará una toma de datos a pequeña escala al momento de realizar las formulaciones. Estas muestras serán no probabilísticas, dado que se harán varias combinaciones de los ingredientes a conveniencia de los mejores resultados.

9.3. Variables del estudio

En la tabla VI se muestra la descripción de las variables que serán evaluadas en el presente estudio.

Tabla VI. Descripción de variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional
Aceptabilidad	Conjunto de propiedades que provocan que un alimento cumpla con especificaciones.	Determinar porcentaje de aceptabilidad del pan por medio de una prueba hedónica.
Apariencia y simetría	Aspecto exterior de pan	característica que se mide según el criterio de cada persona, el cual puede estar entre los siguientes comentarios: me gusta extremadamente, me gusta mucho, me gusta poco, ni me gusta ni me disgusta, me disgusta ligeramente, me disgusta mucha, me disgusta extremadamente
Cantidad Ceniza	Materia inorgánica que pertenece a los alimentos (sales minerales)	Cálculo de valor nutricional utilizando la tabla de composición de los alimentos del INCAP, en peso (g)
Cantidad de carbohidratos	Grupo de sustancias que está formada por carbono, hidrógeno y oxígeno; estos aportan 4 Kcal/g de energía	Diferencia entre el peso del alimento: menos humedad proteínas, lípidos y cenizas
Cantidad de fibra cruda	Polímeros de carbohidratos no digeribles, dentro estas se encuentran las células, hemicelulosas, hidrocoloides y almidones resistentes	Cálculo de valor nutricional utilizando la tabla de composición de los alimentos del INCAP, en peso (g)

Continuación de la tabla VI.

Variables	Definición conceptual	Definición operacional
Cantidad de proteína cruda	Polímeros de aminoácidos unidos por enlaces peptídicos, esos aportan 4 Kcal/g de energía	Cálculo de valor nutricional utilizando la tabla de composición de los alimentos del INCAP, en peso (g)
Cantidad lípidos crudos	Conjunto de sustancias insolubles en agua, pero solubles en solventes orgánicos, que incluyen los triglicéridos, fosfolípidos y esteroides; los cuales aportan 9 Kcal/g de energía.	Cálculo de valor nutricional utilizando la tabla de composición de los alimentos del INCAP, en peso (g)
Color corteza	característica de la corteza producida por la luz y que se detecta por el sentido de la vista	característica que se mide según el criterio de cada persona, el cual puede estar entre los siguientes comentarios: me gusta extremadamente, me gusta mucho, me gusta poco, ni me gusta ni me disgusta, me disgusta ligeramente, me disgusta mucha, me disgusta extremadamente
Color de miga	característica de porción de pan pequeña producida por la luz y que se detecta por el sentido de la vista	característica que se mide según el criterio de cada persona, el cual puede estar entre los siguientes comentarios: me gusta extremadamente, me gusta mucho, me gusta poco, ni me gusta ni me disgusta, me disgusta ligeramente, me disgusta mucha, me disgusta extremadamente

Continuación de la tabla VI.

Variables	Definición conceptual	Definición operacional
Composición	Porcentaje o cantidad en masa de cada elemento presente en un compuesto o en un todo.	Fórmula en porcentaje de almendra y garbanzo que presenta mejores características nutricionales (%)
Costo	Cantidad monetaria que se debe pagar por algún artículo o servicio.	Costo de producir pan sin gluten a base de harina de almendra y garbanzo, tomando en cuenta materia prima, aditivos, equipo, utensilios y mano de obra (dólares)
Desviación estándar	Medida que cuantifica la dispersión o variación de un rango de datos	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x_i - x)^2}{n}}$ Donde: σ es desviación estándar x_i son datos X es promedio n es número de sumandos (Adimensional)
Formulación	Conocimientos y operaciones que se realizan para elaborar un producto con especificaciones. Se considera para la formulación de un producto su análisis proximal, análisis sensorial y características físicas.	Determinación de ingredientes y aditivos que se utilizarán en la elaboración de un alimento (%)

Continuación de la tabla VI.

Variables	Definición conceptual	Definición operacional
Humedad	La cantidad de agua que posee un alimento con respecto a su masa en función del sólido total. El grado de humedad está directamente relacionado, con la porosidad de las partículas. La porosidad depende a su vez del tamaño de los poros, su permeabilidad y la cantidad o volumen total de los poros.	La humedad se puede calcular mediante la siguiente formula: $H = ((T-S)/T) * 100$ Donde H es el contenido de humedad (%) S es la masa de la muestra seca (Kg) y T es la masa total de la muestra (Kg).
Olor	Sensación que se experimenta en el sentido del olfato	característica que se mide según el criterio de cada persona, el cual puede estar entre los siguientes comentarios: me gusta extremadamente, me gusta mucho, me gusta poco, ni me gusta ni me disgusta, me disgusta ligeramente, me disgusta mucha, me disgusta extremadamente
Promedio	Valor que representativo de un conjunto de datos. El cual se calcula al dividir la suma de datos entre cantidad de sumandos	$X = \frac{\sum xi}{n}$ Donde: X es promedio Xi son datos n es número de sumandos (Adimensional)
Peso	Cantidad de masa que posee un cuerpo, en este caso un alimento.	Cantidad de masa en gramos obtenida en balanza (g)
Rendimiento	Peso que se obtiene del pan, preparado con 100 gramos de harina, una hora después de la salida del horno expresado en gramos	Cantidad de masa en gramos obtenida en balanza (g)

Continuación de la tabla VI.

Variables	Definición conceptual	Definición operacional
Sabor	Cualidad que posee un alimento para ser detectado por el sentido del gusto.	característica que se mide según el criterio de cada persona, el cual puede estar entre los siguientes comentarios: me gusta extremadamente, me gusta mucho, me gusta poco, ni me gusta ni me disgusta, me disgusta ligeramente, me disgusta mucha, me disgusta extremadamente
Temperatura	Representación del grado de energía cinética promedio de las partículas de un cuerpo	Dimensión que se mide tradicionalmente con un termómetro (°C)
Textura de miga	Sensación que se experimenta en el sentido del tacto, los dedos se oprimen ligeramente contra la superficie de un pedazo cortado de pan.	característica que se mide según el criterio de cada persona, el cual puede estar entre los siguientes comentarios: me gusta extremadamente, me gusta mucho, me gusta poco, ni me gusta ni me disgusta, me disgusta ligeramente, me disgusta mucha, me disgusta extremadamente
Tiempo	Dimensión física que representa la sucesión de eventos	Dimensión que se mide con un cronometro (s)
Volumen	El volumen es la cantidad de espacio ocupado por un cuerpo	El volumen es la magnitud derivada, que encuentra multiplicando 3 dimensiones: ancho, profundidad y longitud (cm ³).

Fuente: elaboración propia.

9.4. Fases del estudio

Entre las fases de estudio se encuentran: exploración bibliográfica, elaboración de pan sin gluten, evaluación sensorial, análisis de control de calidad del pan, determinación de costos y comparación con pan de trigo.

9.4.1. Fase 1: exploración bibliográfica

Se realizará una investigación sobre los conceptos generales sobre la elaboración de pan sin gluten, las propiedades de la almendra y el garbanzo, los usos de estas materias primas en alimentos y los aditivos que se le pueden agregar al pan para mejorar sus características y calidad. Se hará una exploración de documentos sobre la harina de almendra y garbanzo, sus características nutricionales, sus características físicas. Se tratará el tema de pan sin gluten desde su formulación, su proceso de elaboración, el equipo que se utilizará, y el costo de elaboración. Finalmente se dará contexto sobre las pruebas a realizar en un pan sin gluten, como lo son las físicas, nutricionales y sensoriales, así como las instituciones o laboratorios en Guatemala que pueden realizarlas.

9.4.2. Fase 2: elaboración del pan sin gluten

La fase de elaboración del pan sin gluten contiene: formulación de pan sin gluten, proceso para la obtención de pan sin gluten y equipo para la elaboración de pan.

9.4.2.1. Formulación del pan sin gluten

Al realizar la investigación anterior, se determinará el resto de los ingredientes para la formulación de un pan sin gluten a partir de sus aportes nutricionales, sensorial, físicos y funcionales.

Tabla VII. **Ingredientes de pan sin gluten a base de harina de almendra y garbanzo**

Ingrediente	Justificación
Harina de garbanzo	Sensorial y nutricional
Harina de almendra	Sensorial y nutricional
Goma Xantana	Física
Agua	Funcional
Sal	Funcional
Mantequilla (g)	Funcional y nutricional
Huevo (g)	Funcional
Leche en polvo (g)	
Polvo para hornear	Funcional

Fuente: elaboración propia.

Se establecerán tres posibles formulaciones definiendo las cantidades de cada ingrediente según sus aportes nutricionales y aportes físicos al producto final.

Tabla VIII. **Formulaciones de pan sin gluten**

Ingrediente	Formulación 1	Formulación 2	Formulación 3
Harina de garbanzo (g)			
Harina de almendra (g)			
Goma Xantana (g)			

Continuación de la tabla VIII.

Ingrediente	Formulación 1	Formulación 2	Formulación 3
Agua (ml)			
Sal (g)			
Mantequilla (g)			
Huevo (g)			
Leche en polvo (g)			
Polvo para hornear (g)			

Fuente: elaboración propia.

Se realizará un ajuste de las formulaciones, si fuera necesario, con el propósito que el pan elaborado se pueda declarar fuente de proteína y fibra según el RTCA 67.01.60:10 etiquetado nutricional de productos alimenticios preenvasados para consumo humano para la población a partir de 3 años.

Para que un alimento sea declarado como fuente de fibra debe poseer no menos de 3 g por 100g del alimento, por otro lado, para que un alimento sea declarado como fuente de proteína debe contener no menos del 10% del VRN por 100 g del alimento. Por último, para que un alimento sea declarado como buena fuente de fibra o buena fuente de proteína debe poseer el doble de los valores para ser declarado fuente.

9.4.2.2. Proceso para la obtención de pan sin gluten

- Medición de ingredientes: se realiza para la composición de la mezcla utilizada para la elaboración de pan.

- Amasado: se realizará con el objetivo de lograr una mezcla íntima entre los ingredientes, oxigenación de la masa y desarrollo de las características plásticas.
- Boleado y formado: su objetivo es moldear y proporcionar una forma definida y terminada a la masa que se utilizará para elaborar el pan.
- Horneado: su objetivo es llevar a cabo las transformaciones de la masa para obtener un pan, entre estas se encuentran evaporar agua, acelerar la reacción de producción de dióxido de carbono y alcohol por parte de la levadura y acelerar la reacción de Maillard que proporciona el color final de la corteza del pan.

9.4.2.3. Equipo para la elaboración de pan

A continuación, se muestran los equipos que se utilizarán para la elaboración de pan sin gluten:

Figura 5. **Balanza digital**



Fuente: [Fotografía de Julio Eduardo Marroquín Moscoso]. (Monterrico, Santa Rosa. 2021).
Colección particular. Guatemala.

Figura 6. **Amasador**



Fuente: [Fotografía de Julio Eduardo Marroquín Moscoso]. (Monterrico, Santa Rosa. 2021).
Colección particular. Guatemala.

Figura 7. **Horno**



Fuente: [Fotografía de Julio Eduardo Marroquín Moscoso]. (Monterrico, Santa Rosa. 2021).
Colección particular. Guatemala.

9.4.3. Fase 3: evaluación sensorial

La evaluación sensorial consiste en cuantificar la calidad de un producto asignando una ponderación de las propiedades que una persona puede percibir a partir de sus sentidos.

9.4.3.1. Determinación de la escala

Para la evaluación sensorial se realizará una prueba de escala hedónica de 5 puntos, esta prueba se hará con el objetivo de conocer la aceptabilidad o agrado que posee el producto para el consumidor. Las características que se evaluarán sensorialmente son: color de corteza, apariencia y simetría, sabor y color de miga, textura de miga y olor. Las posibles respuestas o valores indicadores para estas características sensoriales son:

- Me gusta extremadamente (7 puntos)
- Me gusta mucho (6 puntos)
- Me gusta un poco (5 puntos)
- No me gusta ni me disgusta (4 puntos)
- Me disgusta ligeramente (3 puntos)
- Me disgusta mucho (2 puntos)
- Me disgusta extremadamente (1 punto)

9.4.3.2. Preparación del panel

Para que el panel sensorial tenga relevancia se tomará una muestra de 30 personas para que sean calificadores o jueces y así indiquen la aceptabilidad de las 3 formulaciones. Las personas seleccionadas serán aleatorias y se les proporcionará una rebanada de pan de 2 centímetros. Para la preparación se

realizará una encuesta con el siguiente formato, esta deberá ser rellenada por los participantes del panel.

Figura 8. Encuesta aplicada al panel sensorial

Encuesta panel sensorial

Nombre: _____

Edad: _____

Fecha: _____

Género: Masculino Femenino Indefinido

Instrucciones: Se le presenta un pan elaborado a partir de harina de garbanzo y almendra. Por favor observe y deguste la muestra. Marque con una x la opción que percibe de cada indicativo.

Indicativo	Me gusta extremadamente	Me gusta mucho	me gusta un poco	Ni me gusta ni me disgusta	Me disgusta ligeramente	Me disgusta mucho	Me disgusta extremadamente
Apariencia y simetría							
sabor							
textura de miga							
Olor							
Color de corteza							
Color de miga							

Comentario:

Fuente: elaboración propia.

9.4.3.3. Metodología de evaluación

El puntaje máximo que se puede obtener según este panel es 30 puntos. A los jueces se les proporcionará una rebanada de pan y su encuesta, luego de terminar la recolección de datos, se tabularán los resultados en la siguiente tabla.

Tabla IX. **Recolección de datos panel sensorial**

No.	Apariencia y simetría	Sabor	Textura de miga	Olor	Color de corteza	Color de miga
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						
Promedio						
Desviación estándar						

Fuente: elaboración propia.

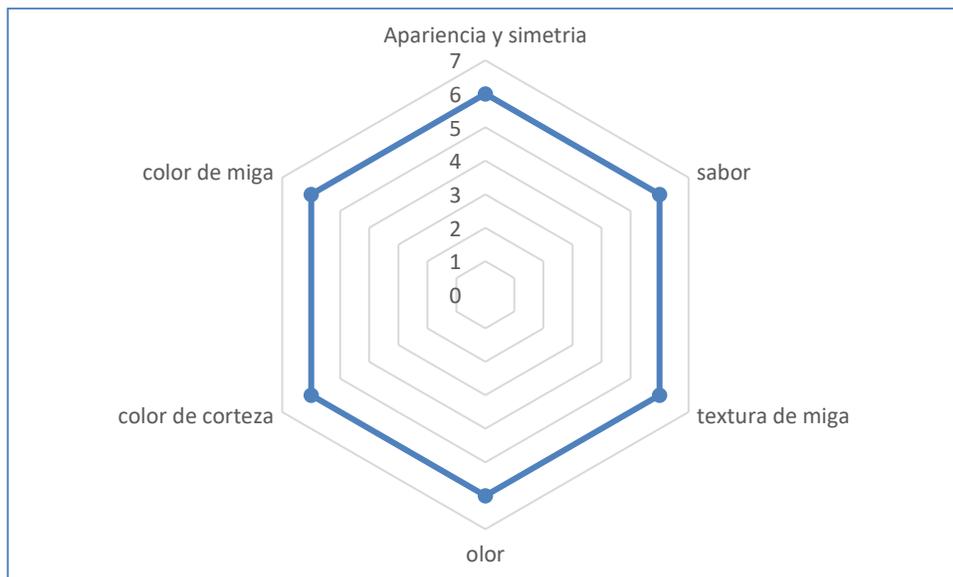
Se realizará un promedio y desviación estándar de las calificaciones obtenidas de las 3 formulaciones de pan sin gluten, para luego elaborar una tabla resumen y graficar un diagrama de hexágono. Como se muestra a continuación.

Tabla X. **Tabla resumen**

Características	Formulación 1		Formulación 2		Formulación 3	
	Promedio	σ	Promedio	σ	Promedio	σ
Apariencia y simetría						
Sabor						
Textura de miga						
Olor						
Color de corteza						
Color de miga						

Fuente: elaboración propia.

Figura 9. **Diagrama de panel sensorial**



Fuente: elaboración propia.

A partir de los resultados de la tabla resumen y los diagramas de panel sensorial se determinará el pan sin gluten con mayor aceptabilidad por los consumidores.

9.4.4. Fase 4: análisis de control de calidad del pan

En esta fase se incluye los métodos físicos para cuantificar la calidad de un pan a partir de su peso, volumen y humedad.

9.4.4.1. Métodos de análisis físicos

Se realizarán los siguientes análisis físicos para las tres formulaciones de pan sin gluten: humedad, rendimiento de pan, volumen de pan y peso de pan. Para la determinación de humedad se pesarán 100 gramos de miga en una termobalanza. Con respecto al volumen de pan se medirá por el método de semillas utilizando semillas de ayote secas, este consiste en llenar un recipiente con semillas hasta un cierto nivel para luego retirar una porción de semillas, introducir el pan y rellenarlo nuevamente hasta el nivel de referencia, la cantidad de semillas sobrantes determinarán el volumen de pan. Por otra parte, se medirá el peso del pan por medio de una balanza. Finalmente, el rendimiento de pan se realizará por medio del método descrito en el marco teórico el cual consiste en pesar el pan una hora después de su producción en el horno.

Se realizarán 3 repeticiones de cada característica física para cada formulación y se registrarán en el siguiente formato.

Tabla XI. **Registro de características físicas**

Característica	1	2	3	Promedio
Humedad (%)				
Volumen (cm ³)				
Peso (g)				
Rendimiento (g)				

Fuente: elaboración propia.

Luego se realizará una tabla comparativa entre las características físicas de cada pan para determinar qué formulación presenta las mejores propiedades.

Tabla XII. **Comparativas características físicas**

Característica	Formulación 1	2	3
Humedad (%)			
Volumen (cm ³)			
Peso (g)			
Rendimiento (g)			

Fuente: elaboración propia.

- Método de análisis bromatológico

Se cotizaron los precios de por lo menos 3 laboratorios o instituciones para realizar un análisis de proteína cruda, fibra cruda, lípidos crudos, ceniza (minerales o materia inorgánica) y carbohidratos (extracto libre de nitrógeno). Entre la lista de laboratorios se encuentran: Mycotox lab, UAI y biolab. El laboratorio seleccionado fue UAI (Unidad de Análisis Instrumental) de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Se trasladarán los panes formulados, se realizará una preparación de las muestras el cual consiste en reducir el alimento a un tamaño de partícula adecuado por medio de una trituración mecánica, esto con el objetivo de obtener muestras homogéneas.

El análisis de proteína cruda se realiza por medio del método de Kjeldahl, el cual consiste en pesar un gramo de la muestra y mezclarla con una tableta de Kjeldahl (compuesta de cobre y zinc) y 500 mililitros de ácido sulfúrico de grado reactivo, para luego introducirla en el digestor por un tiempo 1 hora a 400^aC, al enfriarse el producto se le agregan 75 mililitros de agua destilada y se introduce en el aparato de Kjeldahl, este por medio de titulaciones y utilizando fotoceldas en un tiempo de 5 minutos determina la cantidad de nitrógeno de la muestra. Para convertir este valor en proteína cruda se multiplica por un factor de 6.25.

El análisis de fibra cruda se realiza mediante la digestión de muestra con soluciones de ácido sulfúrico e hidróxido de sodio y la calcinación del residuo resultante. Es importante utilizar el producto obtenido del análisis de lípidos crudos debido a que los resultados son más confiables al no tener grasas. Se introduce un gramo en una bolsa de polietileno para luego colocarlo en el digestor de fibra en donde se agregan 2000 mililitros de ácido sulfúrico al 1.25 % y comenzar la primera digestión a una temperatura de 100 °C por un tiempo de 30 minutos, seguidamente se agregan 200 mililitros de agua destilada caliente para realizar el primer lavado durante 5 minutos, luego de dos lavados se realiza una digestión con hidróxido de sodio al 1.25 %, la muestra se retira del digestor y se traslada a una mufla para calcinarlo durante 2 horas a 600 °C. La cantidad de fibra es determinada a partir de la diferencia de pesos tomados en el transcurso del procedimiento.

El análisis de lípidos crudos se realiza por medio del uso de éter de petróleo, el procedimiento inicia con el peso de 2 gramos de la muestra, luego se introduce junto a un dedal de celulosa en el aparato de velp (extractor de solventes) y se agregan 50 mililitros de bencina de petróleo, al iniciar el aparato de velp realizará su función en varias fases, la primera tiene una duración de 60 minutos en la cual la bencina de petróleo ebulle, la segunda fase consiste en un lavado de 30 minutos, la última fase (recuperación) tiene una duración de 30 minutos, seguidamente se retira la muestra sin grasas y el residuo con grasa y se introducen en un horno a 60 °C por 24 horas, finalmente se pesa el residuo determinando así los lípidos crudos de la muestra.

El análisis de cenizas se realiza por medio de la calcinación, se pesan 4 gramos de la muestra y se introducen en una mufla a 600 °C por tiempo de 2 horas, para luego determinar la cantidad de minerales al pesar las cenizas resultantes.

Por último, la determinación de carbohidratos se realiza en conjunto con los análisis anteriores; restando a 100 el porcentaje de lípidos crudo, proteína cruda, minerales y fibra cruda de la muestra. Luego de obtener los resultados del laboratorio estos se introducirán en la siguiente tabla y se analizará para determinar qué formulación posee las mejores características nutricionales.

Tabla XIII. **Resultados de laboratorio de bromatología**

Característica	Formulación 1	Formulación 2	Formulación 3
Humedad			
Proteína cruda			
Fibra cruda			
Lípidos crudos			
Cenizas			

Fuente: elaboración propia.

Según los resultados se determinará la formulación que posea un mejor equilibrio entre sus propiedades sensoriales, físicas y nutricionales.

9.4.5. Fase 5: determinación de costos

La meta de toda formulación de un producto es la comercialización y la obtención de ganancias a partir de la venta de este. Por tal razón en esta fase se determinará el costo de la producción de las formulaciones con el objetivo de conocer la rentabilidad de cada uno.

9.4.5.1. Materia prima

Se realizará el cálculo de costo de proveedores y materia prima que se necesitan para elaborar una unidad de pan con la fórmula con mayor aceptabilidad.

Tabla XIV. **Evaluación de costos de materia prima para elaboración de un pan sin gluten a base de harina de almendra y garbanzo**

Materia prima	Cantidad de venta	Costo materia prima (Q)	Cantidad de formulación	Costo por unidad (Q)

Fuente: elaboración propia.

9.4.5.2. Procesos

Se calculará el costo de proceso de elaboración de pan, incluyendo tiempo de elaboración y uso de los equipos necesarios para su proceso.

Tabla XV. **Evaluación de costos proceso para elaboración de un pan sin gluten a base de harina de almendra y garbanzo**

Proceso	Energía (Q)	Depreciación del equipo (Q)	Costo total (Q)

Fuente: elaboración propia.

9.4.6. Fase 6: comparación con pan de trigo

Debido a que la formulación a realizar es sin harina de trigo es importante comparar y cuantificar la diferencia existente de las características sensoriales, nutricionales y físicas de un pan con y sin trigo.

9.4.6.1. Elaboración pan de trigo

Se fabricará un pan a base de harina de trigo en base a la formulación del pan sin gluten con mayor aceptabilidad.

Tabla XVI. **Pan de trigo**

Ingrediente	Formulación pan de trigo
Harina de trigo (g)	
Agua (ml)	
Sal (g)	
Mantequilla (g)	
Huevo (g)	
Leche en polvo (g)	
Polvo para hornear (g)	

Fuente: elaboración propia.

9.4.6.2. Características físicas y nutricionales pan trigo

Se determinará las características físicas y nutricionales del pan a base de trigo utilizando los métodos explicados en la fase 4 luego se realizará una comparativa entre estas propiedades con las obtenidas con respecto al pan sin gluten formulado con mayor aceptabilidad.

Tabla XVII. **Comparativa de las propiedades nutricionales**

Característica	Pan sin gluten	Pan de trigo
Humedad		
Proteína cruda		
Fibra cruda		
Lípidos crudos		
Cenizas		

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Comparativa propiedades físicas**

Característica	Pan sin gluten	Pan de trigo
Humedad (%)		
Volumen (cm ³)		
Peso (g)		
Rendimiento (g)		

Fuente: elaboración propia.

9.4.7. Presentación y discusión de resultados

Se presentará una formulación de pan sin gluten a base de harina de almendra y garbanzo que posea aceptables propiedades nutricionales, sensoriales y físicas, así como el costo que implica producirlo. Se darán los resultados de todos los análisis de calidad del producto y se discutirá sobre los mismo.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Para el análisis de la información se utilizarán las siguientes herramientas de recolección y posteriormente los resultados obtenidos se analizarán con base en las siguientes técnicas:

10.1. Herramientas

- Tabla valor nutricional de las materias primas para la elaboración de un pan sin gluten.
- Tabla determinación de formulación por medio del valor nutricional.
- Formulario de escala hedónica de 7 puntos de pan 1.
- Formulario de escala hedónica de 7 puntos de pan 2.
- Formulario de escala hedónica de 7 puntos de pan 3.
- Tabla de registro de características físicas (humedad, volumen, peso y rendimiento) de pan 1.
- Tabla de registro de características físicas (humedad, volumen, peso y rendimiento) de pan 2.
- Tabla de registro de características físicas (humedad, volumen, peso y rendimiento) de pan 3.
- Tabla de registro de análisis bromatológico (humedad, proteína cruda, fibra cruda, lípidos crudos y cenizas) de pan 1.
- Tabla de registro de análisis bromatológico (humedad, proteína cruda, fibra cruda, lípidos crudos y cenizas) de pan 2.
- Tabla de registro de análisis bromatológico (humedad, proteína cruda, fibra cruda, lípidos crudos y cenizas) de pan 3.
- Tabla de registro de costos de materia prima y costos de unidad.

- Tabla de registro de costos de proceso (energía y equipo).
- Tabla de registro propiedades físicas pan de trigo.
- Tabla de registro propiedades nutricionales pan de trigo.

10.2. Herramientas estadísticas

- Tabla declaraciones nutricionales del pan 1, 2 y 3.
- Histograma de frecuencia de escala hedónica de 7 puntos pan 1.
- Histograma de frecuencia de escala hedónica de 7 puntos pan 2.
- Histograma de frecuencia de escala hedónica de 7 puntos pan 3.
- Tabla comparativa de moda y mediana del análisis sensorial entre formulaciones de pan.
- Tabla comparativa de promedio y desviación estándar del análisis sensorial entre formulaciones de pan.
- Gráfica radial del análisis sensorial para los panes 1, 2 y 3.
- Tabla de análisis de varianza del panel sensorial de las formulaciones de pan 1,2 y 3.
- Tabla comparativa de características físicas entre formulaciones de pan.
- Tabla comparativa de características nutricionales (proteína, fibra cruda, lípidos, minerales y carbohidratos) entre formulaciones de pan.
- Tabla declaraciones nutricionales de las formulaciones de pan 1, 2 y 3 según el análisis bromatológico.
- Tabla costo unitario de pan a partir del costo de la materia prima y costo de proceso.
- Gráfica comparativa entre costo de materias primas y costos de proceso para la elaboración de pan.
- Tabla comparativa de propiedades físicas del pan sin gluten con mayor aceptabilidad con respecto al pan de trigo.

- Tabla comparativa de propiedades nutricionales del pan sin gluten con mayor aceptabilidad con respecto al pan de trigo.

11. CRONOGRAMA

A continuación, se presenta en la tabla XIX, el cronograma de la ejecución de la investigación por desarrollar. Este se presenta de acuerdo con las fases definidas en la metodología.

Tabla XIX. **Cronograma de actividades por fase**

Actividad	2022					
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Fase 1: Exploración bibliográfica	■					
Fase 2: Elaboración del pan sin gluten		■				
Fase 3: Evaluación sensorial			■			
Fase 4: Análisis de control de calidad del pan				■		
Fase 5: Determinación de costos					■	
Fase: Comparativa entre pan sin gluten y pan de trigo						■
Fase 6: Presentación y discusión de resultados						■

Fuente: elaboración propia.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

La elaboración de las formulaciones de pan sin gluten se realizará en un horno convencional. Las evaluaciones sensoriales se realizarán en la Universidad de San Carlos con panelistas no entrenados. El análisis bromatológico se realizará en el laboratorio UAI (Unidad de Análisis Instrumental) de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

A continuación, en la tabla XX se presentan detalles de los gastos que se proyectan para la realización del estudio.

Tabla XX. **Gastos de estudio**

Rubro	Costo
Asesor	Q2,500
Insumos de formulación	Q400
Papelería	Q100
Materias primas	Q1,300
Análisis bromatológico	Q1,200
Insumos para panel sensorial	Q200
Insumos para análisis físicos	Q300
Energía eléctrica	Q200
Gas propano	Q300
Total	Q6,500

Fuente: elaboración propia.

Los gastos serán sufragados en su totalidad por el estudiante. Dado que la cantidad es asequible, la realización de estudio es posible.

REFERENCIAS

1. Abad, R., y Vasena, M. (2020). *Cúrcuma fresca: composición química-nutricional, utilización en producto de panificación y valoración sensorial* (Tesis de licenciatura). Facultad de ciencias médicas. Universidad Nacional de Córdoba, España.
2. Aguilar, V. y Vélez, J. (marzo, 2013). Propiedades nutricionales y funcionales del garbanzo (*Cicer arietinum*.L). *Temas selectos de Ingeniería de Alimentos*, 7(2), 25-34.
3. Bastidas, J. y Del Hierro, J. (2021). *Desarrollo de pan tipo rollo de canela sustituido parcialmente la harina de trigo con harina de arveja (*Pisum Sativum*), harina de almendra (*Prunus Dulcis*) y 2% de chía (*Salvia Hispánica*), endulzada con panela (*Saccharum officinarum* L.)* (Tesis de licenciatura). Universidad de Guayaquil. Guayaquil.
4. Costa, R.; Silva, S.; Silva, L.; Silva, W., Goncalves, A., Pires, C., Martins, A.; Chávez, D., y Trombete, F. (junio 2020). Whole chickpea flour as an ingredient for improving the nutritional quality of sandwich bread: Effects on sensory acceptance, texture profile, and technological properties. *Revista chilena de nutrición*, 47(6), 933-940.

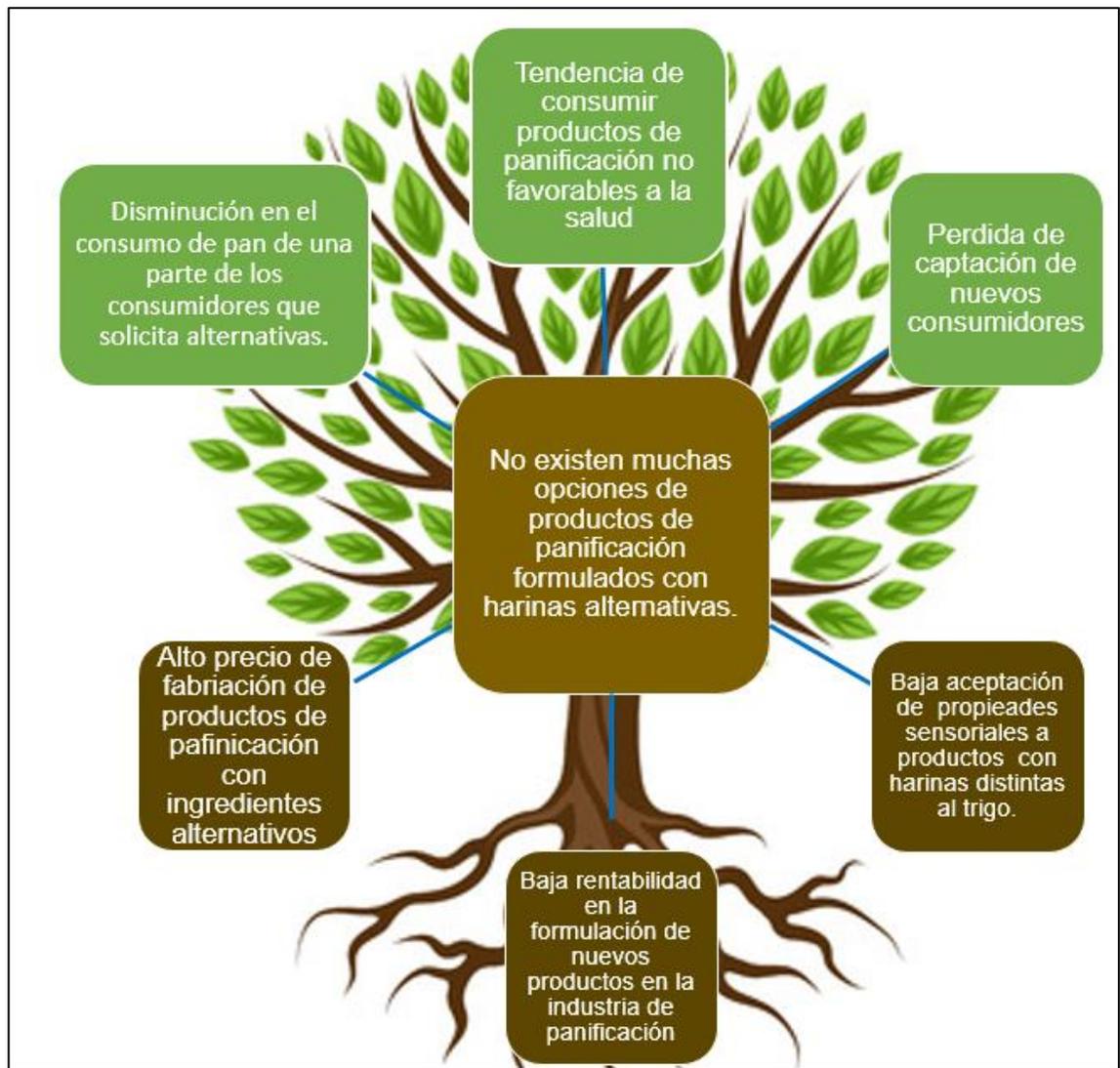
5. Demir, B.; Bilgili, N.; Elgün, A. y Dermir, K. (mayo, 2010). The effect of partial substitution of wheat flour with chickpea flour on the technological, nutritional, and sensory properties of couscous. *Journal of Food Quality*, 33(6), 728–741.
6. Fernández, A. (2017). *Elaboración de masa madre de pan sin gluten* (Tesis de licenciatura). Universidad politécnica de Catalunya, Barcelona.
7. Fon, F., y Fernández, H. (2019). *Análisis proximal en alimentos Fundamentos teóricos y técnicas experimentales*. Ecuador: Editorial Colloquium.
8. Hernández, M. y Mantilla, M. (junio, 2019). Desarrollo de una galleta dulce sin gluten a base de almidón de maíz, harina de arroz y de zanahoria. *Revista Infometric@ - Serie Ingeniería, Básicas y Agrícolas*, 1(1), 1-10.
9. Manobanda, G. (2017). *Estudio del efecto de la sustitución parcial de la harina de trigo por harina de arrocillo en la producción de pan* (Tesis de licenciatura). Escuela Politécnica Nacional. Ecuador.
10. Marcías, K.; Sanjinez, L. y Cornejo, F. (2013). *Efecto de la variedad de arroz en las características físicas del pan de arroz sin gluten* (Tesis de licenciatura). Escuela Superior Politécnica Del Litoral, Ecuador.

11. Mazón, N., Hermida, C., Yacelga, J., Machado, E., Murillo, P., y Mena, M. (junio, 2018). Uso de pruebas afectivas, discriminatorias y descriptivas de evaluación sensorial en el campo gastronómico. *Dominio de las Ciencias*, 4(3), 253-263.
12. Mesas, J., y Alegre, M. (diciembre, 2002). El pan y su proceso de elaboración. *Cienc. Technol. Aliment*, 3(5), 307-313.
13. Mosquera, M.; Pachecho, J. y Martínez, E. (2012). *Diseño de una línea de producción para la elaboración de pan a partir de la harina de amaranto (Amaranthus hybridus) y harina de arroz (Oryza sativa) para celíacos* (Tesis de licenciatura). Escuela Superior Politécnica del Litoral Guayaquil, Ecuador.
14. Peña, Q. (2013). *Formulación de un pan sin gluten y descripción de características externas e internas de calidad* (Tesis de maestría). Universidad de Sonora. México.
15. Silva, C (2016). *Elaboración de pan con harina de trigo, enriquecido con harina de soya y fibra soluble para mejorar su valor nutritivo* (Tesis maestría). Universidad de Guayaquil, Ecuador.
16. Torres, C (2015). *Elaboración y evaluación nutricional de un cupcake a base de harina de archira (Canna_edulis) fortificado con harina de garbanzo (Cicer arietinum l) y papaya (Carica papaya)* (Tesis de licenciatura). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Ecuador.

17. Vásquez, F.; Verdú, S.; Islas, A., Barat, J. y Grau, R. (septiembre, 2016). Efecto de la sustitución de harina de trigo por harina de quinoa (*Chenopodium quinoa*) sobre las propiedades reológicas de la masa y texturales del pan. *Rev. Iber. Tecnología Postcosecha*, 17(2), 307-317.
18. Vinueza, M. y Rugel, D. (2018). *Desarrollo y estudio de factibilidad de una hojuela de maíz enriquecido con harina de almendra en la ciudad de Guayaquil* (Tesis de licenciatura). Universidad de Guayaquil, Ecuador.
19. Zegarra, S.; Muñoz, A. y Ramos, F. (abril, 2019). Elaboración de un pan libre de gluten a base de harina de cañihua. *Revista chilena de nutrición*, 46(5), 561-570.
20. Zuluaga, N. (2017). *El análisis sensorial de alimentos como herramienta para la caracterización y control de calidad de derivados lácteos. Departamento de Ingeniería Agrícola y de Alimentos* (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia. Colombia.

APÉNDICES

Apéndice 1. **Árbol del problema**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Matriz de coherencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	VARIABLES	METODOLOGÍA	PLAN DE ACCIÓN
<p>Pregunta Principal ¿Cuál debe ser la formulación óptima para elaborar un pan sin gluten a base de harina de almendra y garbanzo que posea aceptabilidad sensorial, física y nutricional?</p>	<p>Establecer la formulación de un pan sin gluten a base de harina de almendra y garbanzo que posea aceptabilidad sensorial, física y nutricionales</p>	<p>-Formulación óptima</p>		
<p>Preguntas auxiliares 1. ¿Qué porcentajes de harina de almendra y garbanzo deben utilizarse para la elaboración de un pan sin gluten?</p>	<p>Determinar los porcentajes harina de almendra y garbanzo que deben utilizarse para la elaboración de un pan sin gluten.</p>	<p>-Porcentajes en peso de harina de almendra y harina de garbanzo. -Características físicas: Volumen - Declaraciones de fuente de fibra y proteína de la tabla nutricional.</p>	<p>-Cálculo de formulaciones basadas en el volumen del pan a elaborar. -Cálculo de formulaciones basadas en el valor nutricional de cada ingrediente. -Medición del volumen de los panes obtenidos. -Evaluación en la tabla nutricional de los panes obtenidos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Investigar sobre las propiedades físicas de la harina de garbanzo y almendra (2 días). • Investigar sobre las propiedades nutricionales de la harina de garbanzo y almendra (2 días). • Determinar el resto de los ingredientes del pan y su aporte nutricional (3 días). • Establecer tres posibles formulaciones definiendo las cantidades de cada ingrediente (1 día). • Investigar en el RTCA la

Continuación del apéndice 2.

				<p>cantidad de fibra y proteína que debe poseer un alimento para ser <u>declarado</u> como fuente de proteína y fibra (1 día).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ajustar las formulaciones para que el pan sea fuente de proteína y fibra (2 días). • Elaborar los panes de las tres formulaciones ajustadas (2 días).
<p>2. ¿Cuál es la formulación con mayor aceptabilidad según sus propiedades sensoriales?</p>	<p>Establecer cuál de los panes formulados obtiene mayor porcentaje de aceptabilidad a partir de un panel sensorial.</p>	<p>Porcentajes de aceptabilidad de:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Color -Olor -Sabor -textura 	<p>Panel sensorial y prueba de escala hedónica de 5 puntos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Seleccionar a 30 personas para que sean calificadores del panel sensorial e indiquen su aceptabilidad a partir de los 3 panes formulados (3 días). • Mediante una prueba de escala hedónica de 5 puntos, los panelistas determinarán la formulación con mayor aceptabilidad sensorial (2 días). • Tabulación de los resultados

Continuación del apéndice 2.

				<p>del panel sensorial (1 día).</p> <ul style="list-style-type: none"> Realizar un análisis de promedio y desviación estándar para determinar el pan sin gluten con mayor aceptabilidad (2 días).
<p>3. ¿Cuál es la formulación con mayor aceptabilidad según sus propiedades nutricionales y físicas?</p>	<p>Definir la formulación que posea las mejores propiedades nutricionales y físicas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Proteína cruda (Nitrógeno total) -Fibra cruda -Lípidos crudos -Ceniza -Extracto libre de nitrógeno en la Muestra. - Humedad -Rendimiento del pan. -Volumen de pan. -Peso de pan. 	<ul style="list-style-type: none"> -Análisis proximal. -Mediciones físicas del pan. 	<ul style="list-style-type: none"> Investigar sobre los análisis físicos que se deben realizar al pan según la norma INEN 530: 2013 Ensayo de Panificación (1 día). Investigar laboratorios para realizar un análisis bromatológico en Guatemala (2 días). Cotizar precios en los diferentes laboratorios de análisis bromatológico en Guatemala (1 día). Establecer el laboratorio en el cual se realizará el análisis bromatológico (1 día). Los panes formulados

Continuación del apéndice 2.

				<p>serán sometidos al análisis bromatológico (15 días).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los panes formulados serán evaluados mediante un análisis físico: absorción de agua, rendimiento del pan y volumen de pan. (7 días). • Tabulación de resultados del análisis químico proximal y físico (2 días). • Establecer cuál es el mejor pan según el panel sensorial, el análisis bromatológico y el análisis físico (3 días).
4. ¿Cuál será el costo unitario del pan integral con mayor aceptabilidad general?	Estimar el costo unitario del pan integral con mayor aceptabilidad.	Costo -Materia prima -Equipo -Procedimientos	Análisis de costo	<ul style="list-style-type: none"> • Calcular el costo de las materias primas del pan con mayor aceptabilidad general (2 días). • Calcular el costo de los materiales utilizados en la elaboración del pan (1 día). • Estimar el costo unitario del pan seleccionado (2 días).

Continuación del apéndice 2.

<p>5. ¿Qué diferencia existe entre las propiedades físicas y nutricionales del pan sin gluten con mayor aceptabilidad con respecto al pan de trigo?</p>	<p>Comparar las propiedades físicas y nutricionales del pan sin gluten formulado con mayor aceptabilidad con respecto a un pan elaborado a partir de harina trigo.</p>	<p>- Proteína cruda (Nitrógeno total) -Fibra cruda -Lípidos crudos -Ceniza -Extracto libre de nitrógeno en la Muestra. - humedad -Absorción de agua. -Rendimiento del pan. -Volumen de pan.</p>	<p>-Análisis proximal. -Mediciones físicas del pan.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Someter al pan de trigo al análisis bromatológico (15 días) • El pan de trigo será evaluado mediante un análisis físico: absorción de agua, rendimiento del pan y volumen de pan. (3 días). • Tabulación de resultados del análisis químico proximal y físico (2 días). • Comparación de los resultados del pan sin gluten y pan de trigo (2 días).
---	--	---	--	--

Fuente: elaboración propia.