



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

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE LA ELABORACIÓN DE HARINA DE PLÁTANO (*MUSA PARADISIACA L.*) PARA SU APLICACIÓN EN LA FORMULACIÓN DE PAN SIN GLUTEN

Katherine Odette Quintanilla Cáceres

Asesorado por el Msc. Ing. Vladimir Iván Pérez Soto

Guatemala, mayo de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE LA ELABORACIÓN DE HARINA DE PLÁTANO (*MUSA PARADISIACA L.*) PARA SU APLICACIÓN EN LA FORMULACIÓN DE PAN SIN GLUTEN

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

KATHERINE ODETTE QUINTANILLA CÁCERES
ASESORADO POR EL MSC. ING. VLADIMIR IVÁN PÉREZ SOTO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, MAYO 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

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Julio David Vargas García
EXAMINADOR	Ing. Gerardo Ordoñez
EXAMINADOR	Ing. David Samuel Fiorini Morales
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

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 DE LA ELABORACIÓN DE HARINA DE PLÁTANO (*MUSA PARADISIACA L.*) PARA SU APLICACIÓN EN LA FORMULACIÓN DE PAN SIN GLUTEN

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 09 de octubre de 2021.

Katherine Odette Quintanilla Cáceres



EEPFI-PP-0050-2022

Guatemala, 12 de enero de 2022

Director
Williams G. Álvarez Mejía
Escuela De Ingenieria 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 ELABORACIÓN DE HARINA DE PLÁTANO (MUSA PARADISIACA L.) PARA SU APLICACIÓN EN LA FORMULACIÓN DE PAN SIN GLUTEN.**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Todas las áreas - Desarrollo y formulación de productos alimenticios funcionales y/o innovadores**, presentado por la estudiante **Katherine Odette Quintanilla Cáceres** carné número **201314652**, 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,

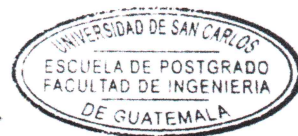
"Id y Enseñad a Todos"

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.0050.2022

El Director de la Escuela De Ingenieria Quimica de la Facultad de Ingenieria 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 ELABORACIÓN DE HARINA DE PLÁTANO (MUSA PARADISIACA L.) PARA SU APLICACIÓN EN LA FORMULACIÓN DE PAN SIN GLUTEN.**, presentado por el estudiante universitario **Katherine Odette Quintanilla Cáceres**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingenieria 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.338.2022

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 DE LA ELABORACIÓN DE HARINA DE PLÁTANO (MUSA PARADISIACA L.) PARA SU APLICACIÓN EN LA FORMULACIÓN DE PAN SIN GLUTEN**, presentado por: **Katherine Odette Quintanilla Cáceres**, 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, mayo de 2022

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por guiar mis pasos y permitirme llegar hasta este punto.
Mi madre	Por ser mi apoyo incondicional, mí ejemplo para seguir, por alentarme y motivarme.
Mi padre	Por su amor, por su apoyo y palabras de aliento
Mis hermanos	Por estar a mi lado y brindarme su apoyo.
Mis abuelas	Por su cariño, sus enseñanzas y consejos a lo largo de mi vida.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser la <i>alma mater</i> que permitió nutrirme de conocimientos.
Facultad de Ingeniería	Por proporcionarme los conocimientos que me han permitido realizar este trabajo de graduación.
Escuela de Estudios de Postgrado	Por darme la oportunidad de culminar n mi carrera profesional y seguir adquiriendo conocimientos.
Msc. Ing. Vladimir Iván Pérez	Por su guía y consejos durante la realización del presente trabajo
Dr. José Antonio Rosal	Por la motivación y apoyo para desarrollar el presente diseño de investigación.
Familia y amigos en general	Por ser parte importante en mi vida y haber aportado consejos, apoyo, palabras de aliento y motivarme para llegar hasta aquí.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VII
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN.....	XI
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	9
4. JUSTIFICACIÓN	11
5. OBJETIVOS.....	13
5.1. General	13
5.2. Específicos	13
6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN	15
7. MARCO TEÓRICO.....	17
7.1. Generalidades del plátano (<i>Musa paradisiaca</i> L.)	17
7.1.1. Morfología y taxonomía.....	17
7.1.2. Maduración	18
7.1.3. Composición nutricional	19
7.2. Pardeamiento y cambios enzimáticos	20

7.2.1.	Tecnología de barreras y métodos de conservación	21
7.3.	Generalidades de las harinas	22
7.3.1.	Tipos de harinas	22
7.3.2.	Proceso de elaboración	24
7.3.2.1.	Operaciones previas	25
7.3.2.2.	Secado	25
7.3.2.3.	Molienda	25
7.3.2.4.	Empaque	26
7.3.3.	Harinas alternativas o no convencionales	26
7.4.	Gluten	27
7.4.1.	Enfermedad celíaca	28
7.4.2.	Alternativas de consumo	29
7.5.	Producción de pan	29
7.5.1.	Tipos de pan	30
7.5.2.	Pan sin gluten	32
7.5.3.	Características fisicoquímicas del pan	34
7.5.3.1.	Humedad	34
7.5.3.2.	Volumen y densidad aparente	34
7.5.3.3.	Capacidad de absorción de agua	35
7.6.	Análisis fisicoquímicos y bromatológicos	35
7.6.1.	Análisis proximal	35
7.6.1.1.	Grasas	35
7.6.1.2.	Proteínas	36
7.6.1.3.	Minerales	36
7.6.1.4.	Fibra dietética	36
7.6.1.5.	Carbohidratos	37
7.6.2.	Análisis sensorial	37
7.6.2.1.	Escala hedónica	37

8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	41
9.	METODOLOGÍA	45
9.1.	Tipo de estudio	45
9.2.	Diseño de investigación	45
9.3.	Variables del estudio.....	45
9.4.	Fases del estudio.....	47
9.5.	Fase 1: exploración bibliográfica.....	47
9.6.	Fase 2: operaciones unitarias en la obtención de la harina.....	47
9.7.	Fase 3: análisis fisicoquímico y bromatológico de la harina	50
9.7.1.	Métodos para análisis físicos	50
9.7.2.	Métodos de análisis bromatológicos	51
9.8.	Fase 4: elaboración del pan sin gluten.....	53
9.9.	Fase 5: análisis de control de calidad del pan.....	55
9.10.	Fase 6: evaluación sensorial.....	58
9.11.	Fase 7: presentación y discusión de resultados	59
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS	61
11.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	63
12.	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	65
	REFERENCIAS	67
	APÉNDICES.....	73

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Niveles de madurez del plátano (<i>Musa paradisiaca L.</i>)	19
2.	Efecto de HPMC sobre el volumen de un pan de arroz	32
3.	Diagrama de flujo del proceso de elaboración de harina	49
4.	Diagrama de flujo del proceso de elaboración de pan	55

TABLAS

I.	Taxonomía del plátano (<i>Musa paradisiaca L.</i>)	18
II.	Composición nutricional del plátano (<i>Musa paradisiaca L.</i>)	19
III.	Tecnología de barreras en frutas y hortalizas	21
IV.	Clasificación de harinas según su fuerza	23
V.	Clasificación del pan	31
VI.	Ingredientes y aditivos presentes en la formulación de panes comerciales libres de gluten	31
VII.	Escala hedónica de 7 puntos	38
VIII.	Prueba hedónica	39
IX.	Descripción de variables	45
X.	Parámetros del proceso de secado	48
XI.	Resultados del análisis físico y bromatológico	53
XII.	Formulaciones propuestas	54
XIII.	Resultados de análisis de calidad del pan	57
XIV.	Resultados de análisis bromatológico del pan	57
XV.	Formato para análisis sensorial	59

XVI.	Recursos necesarios para la investigación	63
XVII.	Cronograma de actividades	65

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
H	Altura
ρa	Densidad aparente
W	Fuerza
°	Grados
°C	Grados Celsius
g	Gramos
HPMC	Hidroxipropilmetilcelulosa
h	Horas
H	Humedad
>	Mayor que
<	Menor que
m^3	Metro cúbico
mg	Miligramos
mm	Milímetro
w	Peso
PFO	Polifenoloxidasa
%	Porcentaje
pH	Potencial de hidrógeno
Q	Quetzales

GLOSARIO

Densidad aparente	Propiedad de polvos, gránulos y otros sólidos. Se define como la masa de muchas partículas de un material dividido el volumen que ocupan.
Enfermedad celíaca	Mecanismo inmunológico que afecta el intestino delgado debido a la ingestión de gluten.
Enzimas	Moléculas orgánicas que actúan como catalizadores de reacciones químicas.
Extracto etéreo	Sustancias liposolubles como grasas y aceites.
Fibra	Parte comestible de las plantas que no es absorbida ni digerida por el intestino delgado.
Gluten	Proteína que forma parte de semillas como trigo, cebada y centeno.
Harina	Polvo que resulta de la molienda de cereales u otras semillas o materiales.
Hidrocoloides	Aditivos destinados a cumplir funciones como espesar, estabilizar o gelificar.
HPMC	Polímero sintético viscoelástico.

**Potencial de
hidrógeno**

Medida de la acidez o alcalinidad de una sustancia.

Proteínas

Moléculas formadas por aminoácidos.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación busca elaborar harina utilizando la pulpa del plátano (*Musa paradisiaca L.*) para luego ser utilizada en la formulación de un pan sin gluten, describiendo las operaciones unitarias adecuadas para el proceso y determinando las propiedades físicas y nutricionales de la harina y el pan.

Se realizará la formulación de tres panes utilizando una mezcla parcial de harina de plátano (*Musa paradisiaca L.*) y harina de arroz, variando en cada formulación los porcentajes de cada harina utilizados para posteriormente determinar la aceptabilidad del producto por medio de una prueba sensorial.

Para la elaboración de la harina se hará un proceso de lavado y desinfección del fruto, será retirada la cáscara y la pulpa se cortará en piezas de tamaño homogéneo, seguidamente se realizará un proceso adecuado para inhibir el pardeamiento enzimático, inmediatamente después se realizará el proceso de secado o deshidratación para reducir el contenido de humedad. El producto deshidratado se molerá y tamizará para obtener un polvo fino y de tamaño de partícula uniforme.

Se llevará a cabo la determinación de las características nutricionales de la harina evaluando el contenido de proteínas, carbohidratos, grasas, fibra y cenizas, por medio del análisis bromatológico.

Para evaluar la aplicación de la harina esta será utilizada en la formulación de un pan sin gluten realizando tres formulaciones diferentes en donde se

realizará una mezcla parcial entre la harina elaborada previamente y harina de arroz que será obtenida de forma comercial. Se realizará un análisis físico y bromatológico a los panes obtenidos determinando la formulación que presenta las mejores características físicas y la mejor composición nutricional.

Finalmente se evaluará la aceptabilidad del pan elaborado por medio de un grupo de panelistas no entrenados y donde se utilizará una prueba hedónica de siete puntos, determinando cuál de las tres formulaciones presenta mejores perfiles de sabor, olor y textura.

Se espera establecer el proceso adecuado para la obtención de la harina y que esta pueda ser aplicada en la formulación de un pan sin gluten, realizando una mezcla con harina de arroz, evaluando el porcentaje adecuado de harina de plátano (*Musa paradisiaca L.*) por utilizar para obtener un pan que presente características físicas adecuadas, que presente un sabor dulce agradable y un buen nivel de aceptación sensorial.

1. INTRODUCCIÓN

Dentro de los productos de panadería que se encuentran en el mercado local la gran mayoría son elaborados utilizando harina de trigo u otras harinas tradicionales. Si bien estos productos son de consumo diario y aportan variedad de nutrientes, no toda la población puede consumirlos debido a la presencia de gluten en los mismos lo que afecta a personas que padecen de enfermedad celíaca.

Se han formulado algunos productos utilizando harinas alternativas sin gluten, sin embargo, aún existen diversas opciones que pueden ser exploradas para ampliar el mercado de productos para celíacos o para personas que desean llevar una dieta sin consumo de este.

Las harinas alternativas se presentan como una opción viable en la formulación de productos de panadería, si son combinadas con los ingredientes y aditivos adecuados. Esta investigación aportará la elaboración de una harina de plátano (*Musa paradisiaca* L.) evaluando su uso como ingrediente en la formulación de pan libre de gluten, realizando una mezcla a diferentes proporciones con harina de arroz, aprovechando las propiedades nutricionales de la misma y presentando una aplicación viable para este producto.

Con los datos que serán obtenidos de los análisis fisicoquímicos y bromatológicos se dará a conocer la efectividad de la aplicación de la harina elaborada. Se espera que la harina presente una buena composición nutricional, que aporte un sabor dulce agradable y además se espera demostrar que su uso

es aplicable a productos de panadería obteniendo pan con características adecuadas.

Por medio de las operaciones unitarias adecuadas se obtendrá la harina para luego realizar el análisis bromatológico para la determinación de sus propiedades nutricionales y posteriormente poder aplicar la harina obtenida en una formulación óptima que permita obtener un pan con buena aceptabilidad lo cual se evaluará por medio de análisis físicos, bromatológicos y un análisis sensorial con prueba hedónica de 7 puntos.

En el capítulo 1 se presentan los antecedentes de la investigación en donde se muestra un breve resumen de investigaciones previas acorde al tema.

En el capítulo 2 se hará una exploración bibliográfica de los temas relacionados a la investigación la cual servirá como sustento de los procesos a realizar.

En el capítulo 3 se presentará la descripción de los procesos y operaciones unitarias que serán utilizados para la elaboración de la harina, definiendo los parámetros adecuados en cada etapa, además se hará la presentación de los análisis bromatológicos realizados para la determinación de las propiedades nutricionales.

En el capítulo 4 se hará la presentación de las formulaciones y el proceso de elaboración del pan sin gluten, describiendo las operaciones unitarias y las etapas por realizar, también se mencionará los análisis físicos y bromatológicos aplicables para determinar la calidad del pan elaborado.

En el capítulo 5 se presentará la evaluación sensorial del producto. En el capítulo 6 se hará una presentación de los resultados obtenidos en la investigación y en el capítulo 7 se realizará la discusión de los mismos. Para finalizar se hará la presentación de las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

2. ANTECEDENTES

En Guatemala se encontraron estudios acerca de la producción de harina a partir de plátano verde (*Musa paradisiaca L.*), tanto de la pulpa, como de la cáscara, para luego ser aplicados en la formulación de alimentos. Dichos estudios se mencionan a continuación:

Ramírez (2018) en su estudio titulado *Formulación de harina de plátano verde fortificada con Zinc y Hierro* realizó la elaboración de harina utilizando plátano verde (*Musa paradisiaca L.*). Elaboró 3 pruebas haciendo variar en cada una las temperaturas de secado, posteriormente seleccionó la muestra con el menor contenido de humedad, la cual fue secada a 130 °C durante 1h 15 minutos presentando un grado de humedad de 3 %. La muestra seleccionada fue fortificada con hierro y zinc para luego ser evaluada por un panel sensorial experimentado, demostrando que únicamente el 40 % de los panelistas seleccionaron la muestra fortificada. También fue realizado un estudio de vida de anaquel en el que demuestra que la harina puede pasar almacenada hasta tres semanas sin presentar cambios significativos en apariencia.

Por otro lado, Melgar (2016) realizó un estudio para la obtención de harina de plátano (*Musa paradisiaca L.*), tanto con cáscara, como sin esta para la formulación de un atol. Realizó una comparación de contenido nutricional de ambas harinas, además de evaluar la aceptabilidad sensorial del atol formulado con cada una. Sus resultados demuestran que las harinas obtenidas presentan un elevado contenido de carbohidratos y vitaminas, por otro lado, se demostró por medio del análisis sensorial que el atol elaborado con ambas harinas obtiene una puntuación de 6 en una escala de 10.

En otros países como Perú, Colombia y Ecuador se encontraron estudios donde se ha utilizado harina de cáscara y pulpa de plátano (*Musa paradisiaca L.*) en la formulación de productos de panadería sustituyendo parcialmente la harina de trigo, dentro de los estudios más destacados se pueden mencionar los siguientes:

Ponce (2018) quien realizó un estudio doctoral sobre la sustitución parcial de harina de trigo con harina de cáscara de plátano verde (*Musa paradisiaca L.*) en la formulación de un pan de molde. Elaboró harina, tanto de la cáscara, como de la pulpa, para ser comparadas posteriormente en la formulación del pan. Sus resultados demuestran que la harina elaborada con cáscara de plátano presenta mayor contenido de fibra, grasa, proteína y ceniza, con valores de 10.08, 5.04, 8.26 y 9.89 % respectivamente, indicando que esta harina posee una elevada concentración de nutrientes que pueden ser aprovechados en la formulación de alimentos. En la elaboración del pan se determinó que el mejor porcentaje de sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de plátano (*Musa paradisiaca L.*) fue de 10 %, formulación en la que no se aprecian diferencias significativas en comparación con un pan elaborado únicamente con harina de trigo.

López y Zapata (2019), realizaron la formulación de un pan integral utilizando tres harinas diferentes, obtenidas de cáscara de plátano (*Musa paradisiaca L.*) en diferentes estados de madurez siendo éstos: verde, semi maduro y maduro. Hicieron el análisis proximal para cada tipo de harina, posteriormente a las muestras de pan se les realizó una evaluación de porcentaje de fibra cruda, capacidad de absorción de agua, absorción de aceite, hinchamiento y textura, además de evaluar sus propiedades sensoriales por 50 panelistas, no entrenados, obteniendo como resultado un nivel medio de aceptación.

Girón (2016) realizó un estudio sobre la formulación de una galleta funcional utilizando harina de cáscara de plátano verde (*Musa paradisiaca* L.) para evaluar su composición nutricional. Elaboró tres formulaciones diferentes, haciendo variar los porcentajes de harina y demás ingredientes utilizados. Sus resultados demuestran que la formulación que contiene 50 % harina de cáscara, 25 % harina de trigo y 25% harina de semillas de zambo presenta los mejores resultados del análisis bromatológico, con contenidos de 5.13 % de fibra, 12.89 % proteína, 4.27 % cenizas y 7.21 % grasas, además de ser la formulación mejor calificada en la prueba sensorial con 52 % de aceptación.

Montoya (2020), evalúa el proceso de transformación de plátano (*Musa paradisiaca* L.) en harina con la finalidad de sustituir harinas convencionales como la harina de trigo. En su estudio fueron evaluadas las propiedades fisicoquímicas, reológicas, texturales y estructurales de las masas elaboradas, además se fortificó la harina con complejo B, vitamina D, Calcio y Hierro. Sus resultados demuestran que la harina elaborada obtiene algunas propiedades similares a la harina de trigo, entre ellas el porcentaje de humedad (11 %), el porcentaje de carbohidratos (84.86 %) y el valor energético (349.99 Kcal/100 g), sin embargo, el porcentaje de proteína y cenizas es inferior con resultados de 2.21 % y 0.37 % respectivamente.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La enfermedad celíaca es un desorden intestinal producido por una intolerancia al gluten, proteína presente en todos los alimentos que contienen trigo, centeno y cebada, constituyendo el 90 % de las proteínas de estos cereales. Se estima que en Guatemala la enfermedad celíaca afecta a una de cada 1,000 personas, principalmente entre las edades de 30 y 50 años.

En el mercado local una de las harinas más comercializadas es la de trigo, siendo esta la base para la preparación de productos de consumo diario como el pan, pastas, cereales, entre otros, ya que aporta diversos nutrientes como carbohidratos y proteínas. Sin embargo, no toda la población puede consumir dichos productos ya sea por intolerancia al gluten o por mantener dietas especiales.

Se han realizado investigaciones para sustituir parcial o totalmente las harinas convencionales por harinas de origen vegetal elaboradas con materias primas alternativas y así poder brindar diversas opciones de consumo que sean de beneficio, sin embargo, es poco habitual encontrar comercialmente productos elaborados a partir de dichas harinas y las pocas opciones que se encuentran no son accesibles para toda la población interesada.

Esto lleva a plantear la pregunta principal de este estudio: ¿Es posible formular un pan sin gluten utilizando harina de plátano (*Musa paradisiaca* L.)? Para responder a esta interrogante se deberán responder las preguntas auxiliares:

- ¿Cuáles son las operaciones unitarias y parámetros adecuados para la elaboración de harina de plátano (*Musa paradisiaca* L.)?
- ¿Cuáles serán las propiedades físicas y nutricionales de la harina de plátano (*Musa paradisiaca* L.)?
- ¿Cuáles es la formulación adecuada para la elaboración de un pan sin gluten utilizando harina de plátano (*Musa paradisiaca* L.)?
- ¿Cuáles es la formulación de pan que obtendrá las mejores propiedades físicas y nutricionales?
- ¿Cuál es la formulación que obtendrá mayor aceptabilidad?

4. JUSTIFICACIÓN

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

En Guatemala se tienen diversos cultivos de plátano (*Musa paradisiaca* L.), siendo este un alimento consumido cotidianamente utilizado en diversas preparaciones, dentro de sus beneficios se puede mencionar que posee un elevado valor nutricional ya que es buena fuente de fibra, rico en potasio y posee efectos antioxidantes, también constituye una fuente de energía por su contenido de hidratos de carbono cuando está en un adecuado estado de madurez, además puede ser utilizado en dietas libres de gluten. Por otro lado, una de las alternativas comúnmente utilizadas en dietas especiales es la harina de arroz, la cual aporta un alto contenido de proteínas, es baja en grasa y favorece el proceso digestivo debido a su base alcalina.

Durante la realización de esta investigación se llevarán a cabo los procesos adecuados para la obtención de harina a partir de la pulpa del plátano (*Musa paradisiaca* L.), aprovechando de esta forma, las propiedades nutricionales que posee. Posteriormente se realizará la formulación de un pan utilizando la harina antes mencionada en conjunto con harina de arroz, esta última será obtenida de forma comercial. Para cada formulación realizada se utilizará una proporción diferente de la harina de plátano (*Musa paradisiaca* L.), comparando los diferentes perfiles de sabor que se obtienen y evaluando la sinergia entre la mezcla de ambas harinas

Mediante análisis fisicoquímico, bromatológico y análisis sensorial se evaluará cuáles son las propiedades físicas, organolépticas y nutricionales de cada formulación comparando los resultados en función de la cantidad de harina de plátano (*Musa paradisiaca* L.) utilizada para determinar la que presenta los mejores resultados. Se determinará si las materias primas utilizadas son adecuadas para la elaboración de un pan que tenga características físicas aceptables, que aporte un adecuado contenido de nutrientes y que posea propiedades organolépticas aceptables para su consumo.

Esta investigación explora el uso de materias primas no convencionales para la elaboración de harinas alternativas que tengan un alto valor nutricional. También se evalúa la aplicación de la harina elaborada en la formulación de un pan sin gluten que posea propiedades físicas y organolépticas aceptables y sea una alternativa de consumo viable.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Realizar la formulación de un pan sin gluten utilizando harina elaborada a partir de la pulpa del plátano (*Musa paradisiaca L.*).

5.2. Específicos

- Definir las operaciones unitarias y parámetros de operación adecuados para la obtención de harina de plátano (*Musa paradisiaca L.*).
- Determinar las propiedades físicas y nutricionales de la harina elaborada
- Establecer el porcentaje de harina de plátano (*Musa paradisiaca L.*) adecuado para la formulación de un pan sin gluten.
- Determinar las propiedades físicas y nutricionales de cada formulación realizada.
- Establecer la formulación que obtendrá mayor aceptabilidad por medio de un panel sensorial.

6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

En Guatemala no se ha explorado ampliamente el uso de harinas alternativas que puedan ser una buena fuente de nutrientes al ser utilizadas en la formulación de productos de panificación, además de poder ser una opción de consumo para personas que padecen de enfermedad celíaca. El plátano (*Musa paradisiaca* L.) es un fruto que puede aportar un alto contenido de fibra y carbohidratos por lo que se puede evaluar su uso como materia prima en la elaboración de harinas.

Una de las harinas que es utilizada comúnmente para dietas sin gluten es la harina de arroz, la cual además de poseer beneficios nutricionales, como el alto aporte de energía y bajo aporte de grasas, presenta una fácil digestión, también puede ser combinada fácilmente con otros ingredientes debido al sabor leve que posee.

Se propondrá una formulación para un pan en donde se utilizará una harina alternativa elaborada a partir de la pulpa del plátano (*Musa paradisiaca* L.) en conjunto con harina de arroz ya que esta última, al poseer un sabor suave puede ser combinada con la harina de plátano (*Musa paradisiaca* L.) para obtener un perfil de sabor agradable, también se aplicará el uso de hidrocoloides que puedan aportar una adecuada consistencia al pan la cual será evaluada por medio de pruebas físicas como el volumen, contenido de humedad y rendimiento, además de sus propiedades nutricionales. Finalmente se determinará la aceptabilidad del pan elaborado por medio de un panel sensorial.

Existe una tendencia en la exploración de harinas alternativas que puedan reemplazar parcial o totalmente a las harinas convencionales. El plátano (*Musa paradisiaca L.*) al ser un fruto ampliamente cosechado en Guatemala y del cual se puede disponer con facilidad, se presenta como una buena opción para ser utilizado en la elaboración de harinas. La transformación de dicho fruto en materia prima utilizada para formulación de productos innovadores beneficia a la población que padece de la enfermedad celíaca además de presentar una alternativa saludable para el consumo de plátano (*Musa paradisiaca L.*).

El producto que será formulado será una alternativa innovadora en el mercado local para poder ofrecer una opción de consumo libre de gluten, que aporte un alto valor nutritivo y que además tenga alta aceptabilidad entre los consumidores.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Generalidades del plátano (*Musa paradisiaca* L.)

El plátano (*Musa paradisiaca* L.) se define como una musácea que es originaria de las regiones tropicales del sur de Asia, se encuentra entre los cultivos comunes de países que tienen un clima tropical por lo que se distribuye por más de cien países con este clima. También es considerado uno de los cultivos de mayor importancia a nivel mundial después del trigo, el arroz y el maíz (Montoya, 2020).

7.1.1. Morfología y taxonomía

Según Montoya (2020) el plátano (*Musa paradisiaca* L.) consta de una raíz de la cual salen haces que se internan en el suelo en busca de nutrientes para la planta, un tallo del cual se generan distintos brotes en la parte lateral, a los cuales se les da el nombre de retoños, posee un falso tallo de donde salen hojas de tamaño considerable las cuales se superponen una sobre otra permitiendo que la planta llegue a medir hasta ocho metros de alto. Cuando las hojas se secan se mantienen sostenidas al tallo, al momento en que la planta produce aproximadamente 50 % de las hojas se da la formación del racimo en la parte superior de la planta. EL racimo formado aumenta su tamaño de forma vertical.

Tabla I. **Taxonomía del plátano (*Musa paradisiaca* L.)**

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Lilopsida
Orden	Zingiberales
Familia	Musaceae
Género	Musa
Especie	Paradisiaca

Fuente: Calderón (2018). *Cultivo de plátano harton (Musa paradisiaca)*

7.1.2. Maduración

La serie de cambios que ocurren en la estructura, aroma y sabor se conoce como maduración. Este proceso implica alteraciones en el dulzor, astringencia, acidez y coloración, también se ve alterado el contenido de azúcares, fenoles y componentes que son volátiles, finalmente también existen cambios en la estructura de la fruta. El nivel de madurez del producto determina los métodos de transporte, manipulación y comercialización del producto.

La madurez de un fruto se mide por medio del Ratio el cual es un indicador de la calidad organoléptica que posee el este. Al momento de alcanzar el nivel de azúcar total aumenta la cantidad de sólidos solubles y se ve disminuida la acidez titulable (López y Zapata, 2019)

Figura 1. Niveles de madurez del plátano (*Musa paradisiaca* L.)



Fuente: Zapata y López (2019) *Influencia de la madurez y tamaño de partícula de harina de la cáscara de plátano dominico harton (musa aab simmonds) en la calidad de pan integral.*

7.1.3. Composición nutricional

El plátano (*Musa paradisiaca* L.) en estado verde tiene un alto contenido de micronutrientes como vitamina A y ácido ascórbico, también aporta minerales como fósforo, sodio, magnesio y potasio, los cuales son de importancia para el funcionamiento vital del cuerpo además de que ayudan a la generación de energía celular (Montoya, 2020).

Tabla II. Composición nutricional del plátano (*Musa paradisiaca* L.)

Componente	Cultivar				
	Guineo AAA	Cachaco ABB	Dominico AAB	Hartón AAB	Dominico Hartón AAB
Pulpa (%)	60	60	60	65	77
Humedad (%)	75,2	68,9	59,7	59,4	57,9
Proteínas (%)	1,21	1	1,2	1,2	1,3
Grasa (%)	0,1	0,2	0,1	0,2	
Carbohidratos (%)	21,5	27,9	37,4	37,8	37,64
Fibra (%)	0,58	1,1	0,7	0,5	0,11
Cenizas (%)	1,12	0,9	0,9	0,9	0,9
Ca (mg)	3,5	6	5	4	7
P (mg)	82,8	40	31	39	75
Fe (mg)	1,1	0,4	0,5	0,5	1,3
Vitamina A (U.I)	160	140	1000	1060	
Tiamina B1 (mg)	0,04	0,03	0,07	0,06	0,06
Ácido ascórbico (mg)	15	20	20	20	20
K (mg)	380-507*				

Fuente: Montoya (2020). *Formulación de una matriz alimentaria a base de harina de plátano Dominico Hartón (Musa paradisiaca L.) para el diseño de alimentos funcionales libres de gluten.*

7.2. Pardeamiento y cambios enzimáticos

El deterioro en los alimentos puede ser causado por la presencia de microorganismos de deterioro, también puede ser provocado por reacciones fisicoquímicas que pueden ocurrir desde el momento de la cosecha hasta el procesamiento del alimento (FAO, 2004).

Dentro de los cambios que se pueden producir en un alimento se puede mencionar a los que son causados por diversas reacciones bioquímicas, o enzimáticas, alteraciones físicas y reacciones químicas. Independientemente de la causa, la consecuencia en el alimento será la disminución de su calidad al ser alteradas sus características físicas como la consistencia, el color, sabor y aroma (Villanueva, 2006).

El plátano (*Musa paradisiaca* L.), como todos los frutos, se ve afectado por el deterioro y disminución de su calidad debido a cortes o lesiones celulares, dichos cortes favorecen que se dé el contacto con enzimas que reaccionan provocando el deterioro del fruto. Este presenta un alto contenido de compuestos fenólicos y en él se encuentra presente la enzima polifenoloxidasa (PFO), por lo que al momento del corte se da de forma rápida el oscurecimiento enzimático o pardeamiento provocando que se pierda la calidad y las características nutricionales del mismo (Dussán, Gaona y Hleap, 2017).

Las reacciones de pardeamiento, que ocurren durante los procesos de recolección, almacenamiento y procesamiento del fruto, se deben a la presencia de la PFO, dicha enzima se activa al momento de ocurrir algún daño celular en el fruto reaccionando con los fenoles provocando el oscurecimiento (Orozco, 2011).

7.2.1. Tecnología de barreras y métodos de conservación

Para controlar los cambios que se puedan dar en un alimento y extender su vida útil se aplican diferentes técnicas de conservación. El objetivo principal es reducir el crecimiento de microorganismos, sin embargo, los procesos aplicados también son efectivos para minimizar los cambios generados por reacciones bioquímicas. Dentro de las técnicas de conservación se pueden mencionar los cambios de pH, tratamientos térmicos, tratamientos por presiones, entre otros (FAO, 2004).

La tecnología de barreras o tecnología de métodos combinados consiste en utilizar dos o más procedimientos, que actúen sinérgicamente, para inhibir o retardar el crecimiento de microorganismos y para evitar reacciones químicas y bioquímicas que puedan presentarse en el alimento. Las técnicas de conservación comúnmente utilizadas pueden clasificarse como tratamientos térmicos, tratamientos no térmicos y procesos químicos (Villanueva, 2006).

Tabla III. **Tecnología de barreras en frutas y hortalizas**

Alimento	Tecnología de barrera	Resultados
Cebolla de rama	Desinfección + atmosferas controladas + refrigeración	Conservación de la calidad visual, vida útil de 2 semanas
Pera	Desinfección + inmersión en solución química + refrigeración	Inhibición de la pérdida de firmeza y reducción del pardeamiento enzimático
Apio	Desinfección + tratamiento térmico + refrigeración	Reducción del pardeamiento enzimático
Zanahoria	Desinfección + atmosfera modificada + refrigeración	Reducción de mesófilos, vida útil de 24 días
Kiwi	Tratamiento térmico + refrigeración	Preservación de la firmeza de tejidos, vida útil de 10 días
Manzana, fresa, melocotón, sandía	Impregnación a vacío + refrigeración	Disminución del metabolismo respiratorio
Banano	Desinfección + Inmersión en solución química + recubrimiento comestible + atmósfera modificada	Reducción del pardeamiento enzimático y mantenimiento de firmeza, vida útil de 5 días

Fuente: Escobar, (2013). *Aplicación de la tecnología de barreras para la conservación individual y de mezclas de hortalizas mínimamente procesadas.*

7.3. Generalidades de las harinas

Se puede definir como el polvo fino obtenido a partir de la molienda de cereales o de alimentos que posean un elevado contenido de almidón. Generalmente el término empleado únicamente como “Harina” hace referencia al producto proveniente del trigo, sin embargo, también existen harinas elaboradas a partir de otros cereales, como como el maíz, arroz, la cebada y el centeno, e incluso se pueden obtener de leguminosas, como la soja, y también de raíces y tallos, como la patata o tapioca. Independientemente de la fuente de obtención de la harina, en todas se tiene el almidón como factor en común.

7.3.1. Tipos de harinas

Las harinas pueden clasificarse de diferentes formas, dependiendo su origen, su composición o funcionalidad. A continuación, se describen algunas clasificaciones.

Pueden clasificarse según la cantidad de proteína y fuerza que poseen:

- Harina débil

Principalmente es utilizada en repostería, su contenido de proteínas se encuentra en el rango de 7 % a 9 %, este tipo de harina es más refinada y presenta poca formación de gluten.

- Harina panificable

Esta posee proteína en un rango de 10 % a 11 %, es comúnmente utilizada para la elaboración de pan debido a la adecuada formación de gluten, además permiten conseguir un leudado adecuado.

- Harina fuerte

Este tipo de harinas posee una cantidad de proteínas entre 12 % y 13 %, es utilizada para la elaboración de pan blanco ya que su elevado contenido de proteínas permite la formación de gluten con buena retención de gas además de tener buena elasticidad.

- Harina especial

Este tipo de harina es menos refinada que las anteriores, su contenido de proteínas supera el 13 %, su uso está destinado a la elaboración de pastas.

Tabla IV. **Clasificación de harinas según su fuerza**

Tipo de harina	Fuerza (W)	Proteínas (%)
Harina floja (0000)	<100	7% - 9%
Harina panificable (000)	140-250	10%-11%
Harina fuerte (00)	250-300	12% - 13%
Harina especial (extra fuerte) (0)	>300	>13%

Fuente: elaboración propia.

Según Carias (2015), las harinas se pueden clasificar según su composición:

- Harina enriquecida

A la cual se adiciona cierta cantidad de vitaminas y minerales, de acuerdo con lo establecido por las normativas vigentes, con la finalidad de aumentar su valor nutricional y resolver ciertas deficiencias alimentarias.

- Harina mezclada

Se obtienen como resultado de la mezcla de harinas que provienen de distintos cereales, tubérculos o legumbres.

- Harina acondicionada

Este tipo de harina posee características organolépticas que han sido mejoradas por medio de distintos tratamientos físicos, mecánicos o fisicoquímicos.

- Harina integral

Esta se obtiene por medio de la molienda de un grano de cereal que aún conserva la cáscara y el germen, es decir sin que se separe ninguna parte de este, lo que permite que el grano conserve todos sus nutrientes. El propósito de este tipo de harinas es ser una buena fuente de fibra.

- Harinas malteadas

Se obtienen por medio de la molienda de cereales que han pasado por un proceso de malteado o tueste previamente, generalmente el grano utilizado es la cebada.

7.3.2. Proceso de elaboración

La elaboración de harinas consta generalmente de un proceso de selección y limpieza del grano, o componente del cual será elaborada, seguido de un proceso de secado, si aplica, luego un proceso de molienda, tamizado y

empacado final. Adicional a esto, pueden incluirse operaciones unitarias adicionales según sea requerido para obtener harina de calidad adecuada.

7.3.2.1. Operaciones previas

El proceso comienza con la selección del grano o material del cual será obtenida la harina, dicho material debe pasar por un proceso de análisis de diferentes características como humedad, contenido de impurezas, daños físicos, entre otros. El material que ha pasado el proceso de inspección pasa a la etapa de recepción y almacenamiento en donde es trasladado a los silos donde será almacenado hasta su uso. Los silos se mantienen bajo condiciones adecuadas de temperatura y humedad relativa para impedir el desarrollo de microorganismos. El material que será utilizado se somete al proceso de limpieza para la remoción de partículas, materiales extraños e impurezas (Zamora, 2019).

7.3.2.2. Secado

Este proceso es aplicado cuando la harina se elabora a partir de materiales no convencionales, como tubérculos. El material es cortado en piezas de tamaño uniforme para obtener un secado homogéneo y evitar tener producto de consistencia gomosa, luego es colocado en un secador para reducir el contenido de humedad antes de pasar al proceso de molienda (Ponce, 2018).

7.3.2.3. Molienda

El objetivo de la operación unitaria es la reducción del tamaño de partícula del material. Inicialmente el grano es triturado para poder separar el endospermo de salvado y germen, cuando se trata de trigo. El tamaño de partícula se reduce haciendo pasar el material por medio de rodillos con ranura. Al finalizar, se separa

el producto que pasará a un cernidor, la separación se da por tamaño de partícula. Cuando se utiliza harina de trigo se realiza previamente un proceso de purificación en donde se utilizan sensores con movimiento vibratorio para la eliminación del salvado. Luego de que se obtiene el polvo fino, posterior a la molienda, se pasa por un tamiz para volver homogéneo el tamaño de partícula (Zamora, 2019).

7.3.2.4. Empaque

Luego de obtener el producto finalizado este se empaca en sacos o bolsas adecuadas según la presentación que se requiera. La harina empacada es trasladada a su lugar de almacenamiento o distribución manteniendo condiciones ambientales adecuadas.

7.3.3. Harinas alternativas o no convencionales

Las harinas alternativas aquellas que no se elaboran a partir del trigo, generalmente son elaboradas con la finalidad de aportar distintas características nutricionales y ser una opción viable de consumo para personas veganas y para celíacos ya que por su naturaleza no contienen gluten.

Dentro de los cereales sin gluten utilizados para la elaboración de harinas alternativas se pueden mencionar el arroz, maíz y trigo sarraceno. De estos el arroz es de los más utilizados debido a sus propiedades organolépticas y su hipoalergenicidad, sin embargo, el uso de estas harinas requiere de la adición de enzimas, emulgentes o proteínas que puedan conferir las propiedades viscoelásticas características del gluten (Molina-Rosell, 2013).

La harina de arroz es una de las más adecuadas para la elaboración de productos sin gluten ya que esta tiene un reducido número de prolaminas, además posee un sabor agradable, suave, contiene bajos niveles de sodio y presenta una alta digestibilidad del almidón (Merino, 2013).

Otra alternativa en la elaboración de harinas sin gluten es el uso de los pseudocereales como la quínoa, el sorgo, amaranto y mijo, los cuales están siendo introducidos como ingredientes alternativos en la formulación de productos de panificación. Los panes elaborados a partir de harina de amaranto han conseguido mejorar la composición nutricional ya que poseen una mayor cantidad de fibra, proteína y minerales, por otro lado, las harinas elaboradas con el mijo son ricas en minerales y proteínas por lo que se han utilizado como alternativa en productos enriquecidos (Molina-Rosell, 2013).

Según Ponce (2018) dentro de las harinas no convencionales, que están siendo exploradas, se pueden mencionar las que provienen de leguminosas e incluso de frutas inmaduras, como el plátano o el mango, estas son una buena fuente de fibra dietética, lo cual representa una ventaja en la aplicación de estas en diversas formulaciones e incluso para realizar sustituciones parciales o totales de la harina de trigo.

7.4. Gluten

El gluten es el componente que queda cuando se retiran los compuestos solubles de la harina de trigo, cebada o centeno. El gluten representa de 80 a 85 % de las proteínas presentes en el trigo. Tiene la función de actuar como proteína de reserva y como fuente de nitrógeno durante el proceso de germinación del grano. Las gliadinas son proteínas monoméricas que son solubles en etanol al 60 % las cuales se pueden clasificar en tres grupos según

su secuencia aminoácida en la región terminal. Se clasifican en: α -gliadinas, ω -gliadinas y γ -gliadinas (Brugos, 2019).

Por otro lado, se encuentran las gluteninas, las cuales tienen solubilidad en alcohol, con conformaciones poliméricas. Cuando se reducen sus uniones se rompen y se generan subunidades, clasificadas de acuerdo con su peso molecular. Las de bajo peso molecular representan un 20 % de las proteínas del gluten y las proteínas de alto peso molecular poseen 10 % (Burgos, 2019).

El gluten es el componente encargado de conferir a la harina sus propiedades elásticas y consistencia y esponjosidad al pan. Las propiedades viscoelásticas del gluten se deben a su composición proteica formada por gluteninas y gliadinas. La fracción de gluteninas le confiere la fuerza y elasticidad a la masa mientras que las gliadinas contribuyen con la extensibilidad de la masa y la viscosidad, por tanto, el contenido de estas proteínas tiene efecto sobre las propiedades funcionales de las masas (Molina-Rosell, 2013).

7.4.1. Enfermedad celíaca

La enfermedad celíaca puede definirse como un desorden intestinal autoinmune crónico, sus síntomas se derivan de la ingestión de la proteína del gluten la cual se encuentra presente en el trigo, cebada y centeno. El efecto de dicha proteína en los pacientes que padecen la enfermedad es un proceso inflamatorio crónico en el intestino delgado (Parada y Araya, 2010).

Se ha demostrado que se ha tenido un aumento en la prevalencia de la enfermedad celíaca durante los últimos años, se estima que en 2013 el 1 % de la población a nivel mundial padecía de la enfermedad. Aún se desconoce la causa de la enfermedad, pero se sabe que intervienen factores ambientales y

genéticos que desencadenan la enfermedad por medio de la ingesta (Aisa y Bárcenas, 2013).

7.4.2. Alternativas de consumo

La elaboración de productos adecuados para quienes padecen de la enfermedad celíaca supone un enorme reto tecnológico para diversas industrias debido a que en ocasiones los productos libres de gluten no poseen la calidad nutricional adecuada. (Merino, 2013).

La eliminación del gluten de la formulación de algunas masas, como la masa del pan, provoca que no tengan la consistencia adecuada, adquiriendo una apariencia líquida, generando panes con textura desagradable además de color y sabor no agradables, es por esto que la formulación de productos de panificación con harinas libres de gluten requiere el uso de aditivos que imiten las propiedades del gluten y permitan obtener un producto con las características deseadas (Molina-Rosell, 2013).

Una de las alternativas para el consumo se basa en la incorporación de enzimas las cuales tienen como objetivo mejorar las propiedades de manipulación de las masas (Merino, 2013).

7.5. Producción de pan

El pan conforma la base de la alimentación humana desde hace más de siete mil años. Comenzó siendo una pasta plana, sin fermentación la cual estaba elaborada utilizando una masa de granos que habían sido machacados y cocidos. Es el producto perecedero que resulta de la cocción de una masa que fue obtenida por una mezcla de harinas y fermentada (Bravo y Moreno, 2015).

7.5.1. Tipos de pan

Según Bravo y Moreno (2015) se pueden diferenciar dos tipos de pan según su composición:

- **Pan común**

Es el pan de consumo diario el cual es elaborado con harina de trigo, agua, sal y levadura. Dentro de esta clasificación se incluyen el pan bregado y el pan de flama.

- **Pan especial**

El pan especial es el que tiene incorporado algún aditivo especial o ya sea algún otro tipo de harina, a la mezcla se pueden añadir leche, huevos, grasas, entre otros. También se le denomina especial porque se pudo omitir el proceso de fermentación. Como ejemplos de este pan se tienen el pan integral, el pan Viena, pan de molde, pan de cereales, entre otros.

Estos autores mencionan que se puede clasificar el pan de la siguiente forma:

Tabla V. Clasificación del pan

Tipo de pan	Descripción
Pan de corteza	Son generalmente redondos con una corteza crujiente y dura, poseen una miga densa y tierna.
Pan plano	La masa de este pan no lleva un trabajo muy elaborado, la cocción se realiza durante un minuto generalmente en hornos tradicionales de barro.
Pan de molde	Es el tipo de pan más fabricado, contiene ingredientes como mantequilla, leche y harina de trigo.
Pan negro	Elaborados con harina de centeno o con harina integral, lo que le confiere un color oscuro. Se agregan acidulantes ya que la masa es pegajosa.
Panes dulces	En su elaboración se utilizan ingredientes como mantequilla, azúcar, leche, huevos y harina de trigo.

Fuente: Bravo y Moreno (2015) *Evaluación de las propiedades fisicoquímicas y sensoriales del pan tipo molde con sustitución parcial de harina de chontaduro (Bactris Gasipaes)*

Tabla VI. Ingredientes y aditivos presentes en la formulación de panes comerciales libres de gluten

Tipo de pan	Composición
Pan de molde	Almidón de maíz, agua, azúcar, huevo, margarina vegetal, acidulante, conservante, levadura, espesante, sal, gasificantes, antioxidantes
Pan Rústico	Almidón de maíz, agua, margarina vegetal, acidulante, conservante, antioxidantes, aromas, colorantes, huevos, azúcar, levadura, emulgente, dextrosa, humectantes, estabilizantes, sal
Pan Carré	Almidón de maíz, agua, margarina vegetal, acidulante, conservante, antioxidantes, aromas, colorantes, huevos, azúcar, levadura, emulgente, dextrosa, humectante, estabilizante, sal
Panecillo redondo	Almidón de patata, almidón de maíz, agua, caseinatos, azúcar, aceite vegetal, harina de maíz, levadura, proteína de soja, estabilizantes, sal, conservantes
Brioche	Almidón de maíz, agua, azúcar, huevo, margarina vegetal, acidulante, conservante, aromas, colorante, espesante, levadura, emulgente, sal, gasificantes, anís, canela, antioxidantes
Pan Carré	Almidón de maíz, harina de arroz, agua, aceite vegetal, azúcar, espesante, proteína de altramuz, levadura, sal, fibra vegetal, aromas, emulgente
Pan de molde	Almidón de maíz, agua, azúcar, huevo, margarina vegetal, acidulante, conservante, aromas, colorante, levadura, espesante, emulgente, sal, gasificantes, antioxidante
Baguette precocido	Almidón de maíz, agua, azúcar, levadura, espesantes, sal, gasificantes, acidulante, conservante, aroma, colorante
Baguette precocido	Almidón de maíz, agua, azúcar, espesante, emulgente, sal, levadura, conservante, gasificantes, antioxidante

Fuente: Molina-Rosell (2013). *Alimentos sin gluten derivados de cereales. Enfermedad celíaca y sensibilidad al gluten no celíaca.*

7.5.2. Pan sin gluten

La formulación de productos de panificación sin gluten supone numerosos retos e inconvenientes tecnológicos lo que ha llevado a crear formulaciones que den como resultado productos con características sensoriales lo más similares posibles a los productos elaborados con harina de trigo.

Según Molina-Rosell (2013) los ingredientes y aditivos utilizados en la formulación de productos de panificación, para compensar la ausencia de gluten, son los siguientes:

- Hidrocoloides

Son aditivos esenciales en la formulación de un pan libre de gluten debido a sus propiedades viscoelásticas. Estos compuestos mejoran la textura del alimento, mejoran la capacidad de retención de agua, retardan el envejecimiento e incrementan la calidad del producto durante su almacenamiento. Dentro de este grupo de aditivos se pueden mencionar la goma guar, goma xantana, goma de garrofín, hidroxipropilmetil celulosa (HPMC) y el agar. Se ha demostrado que el uso de estos compuestos aumenta el volumen específico del pan y disminuyen la dureza de la miga.

Figura 2. **Efecto de HPMC sobre el volumen de un pan de arroz**



Fuente: Molina-Rosell (2013). *Alimentos sin gluten derivados de cereales. Enfermedad celíaca y sensibilidad al gluten no celíaca.*

- Proteínas

Por lo general el pan sin gluten contiene un bajo nivel de proteínas en comparación con uno elaborado con harina de trigo. Se han propuesto distintas alternativas para poder aumentar el contenido proteico de alimentos libres de gluten derivados de cereales. Algunos productos son enriquecidos con harina de soja, hasta en un 25 %, lo cual permite mejorar las características sensoriales a un bajo costo. También se está incrementando el uso de harinas provenientes de legumbres como las lentejas, judías y garbanzos, debido a su alto contenido de proteínas.

- Fibra dietética

El enriquecimiento con fibra dietética mejora la textura, capacidad espesante, gelificante y emulgente de los productos sin gluten. La adición de fibra mejora la composición nutricional del producto sin alterar significativamente las características sensoriales. Para el enriquecimiento en fibra comúnmente son utilizados el maíz y la avena, sin embargo, también se ha incorporado el uso de frutas y vegetales como la remolacha, zanahoria y manzana ya que aportan hasta un 30 % de fibra.

- Enzimas

Son utilizadas para mejorar la calidad de los panes sin gluten. Dentro de las más utilizadas se pueden mencionar amilasas, proteasas, lipasas, hemicelulasas y oxidasas. El solo uso de las enzimas no mimetiza completamente las funciones del gluten por lo que deben ser utilizadas en conjunto con hidrocoloides.

- Masas madre

Son una atractiva alternativa para mejorar la calidad del pan sin gluten. Estas se obtienen al mezclar harina, agua y otros ingredientes y posteriormente son fermentadas por bacterias ácido-lácticas y levaduras. Su uso en panificación mejora la textura, aroma, sabor, incrementa el valor nutritivo y aumenta la vida útil del producto.

7.5.3. Características fisicoquímicas del pan

Dentro de las principales características fisicoquímicas que determinan la calidad del pan se pueden mencionar las siguientes:

7.5.3.1. Humedad

Para poder garantizar la calidad de los alimentos se requiere determinar el contenido de humedad de estos. Para esto generalmente son utilizados métodos termogravimétricos en donde se coloca la muestra a secar y se mide su masa cada determinado tiempo.

7.5.3.2. Volumen y densidad aparente

Es un indicador de la frescura y calidad del pan. Para su determinación se utiliza un recipiente de volumen conocido el cual se llena con semillas de hortalizas, posteriormente se vacía el recipiente para colocar el pan en su interior, se vuelven a añadir las semillas comparando la cantidad de semillas añadidas al recipiente vacío con las que se agregan al recipiente que contiene el pan. Se mide el volumen de las semillas sobrantes con una probeta. Por una diferencia se determina el volumen del pan (Pino, 2011).

7.5.3.3. Capacidad de absorción de agua

Es una medida de la digestibilidad del pan. Se pesa una fracción del pan equivalente a cinco gramos y se coloca dentro de un recipiente que debe contener un litro de agua destilada. Se deja el pan durante un minuto, luego se saca el pan y se escurre el agua. Se realiza una diferencia entre el volumen de agua destilada inicial y el volumen recuperado luego de retirar el pan (Pino, 2011).

7.6. Análisis fisicoquímicos y bromatológicos

La determinación de la calidad del pan puede realizarse por medio de análisis proximal, para la determinación de nutrientes y análisis sensorial para la evaluación de aceptabilidad del producto.

7.6.1. Análisis proximal

Según Martínez (2016), el análisis de alimentos es fundamental para poder conocer sus características y componentes por medio del uso de métodos analíticos. Se le llama Análisis Bromatológico Proximal al conjunto de análisis que describen la composición nutricional de un alimento.

7.6.1.1. Grasas

La determinación de grasas es de importancia ya que los componentes grasos presentes en los alimentos se componen de diversas sustancias de lípidos que contienen algunos elementos como carbón, hidrógeno y oxígeno. El contenido de lípidos se puede determinar por métodos de extracción con disolventes orgánicos, uno de los más comunes es el Método Soxhlet (Ortiz, 2016)

7.6.1.2. Proteínas

La determinación de proteínas es de importancia ya que estas son de los principales compuestos de los alimentos. El método más utilizado para la determinación de proteínas es el procedimiento de Kjeldahl el cual se basa en la determinación del total de nitrógeno orgánico en la muestra. (Ortiz, 2016)

7.6.1.3. Minerales

Uno de los métodos más utilizados es la Espectrofotometría por Absorción Atómica. El método consiste en que los átomos libres que se producen en un atomizador a partir de una muestra pueden absorber radiación de su longitud de onda específica de resonancia generada por una fuente externa. Si la luz de esta longitud de onda específica pasa a través del atomizador que contiene el vapor atómico del elemento, parte de la luz será absorbida, y el grado de absorción será proporcional a la densidad de átomos en el paso de la luz. Es un método útil y práctico por medio del cual se pueden determinar macroelementos y microelementos luego de que estos se liberan del material orgánico por medio de residuo seco.

7.6.1.4. Fibra dietética

Para la determinación de fibra dietética se utilizan métodos enzimático-químicos y métodos gravimétricos. Los métodos enzimático-químicos aíslan los residuos de fibra dietética por medio de acción enzimática y liberan los azúcares neutros que constituyen los polisacáridos de la fibra por medio de hidrólisis, posteriormente se realiza la medición por medio de cromatografía líquida de alta presión (HPLC), colorimétricamente o por cromatografía de gases. Por otro lado, los métodos gravimétricos determinan el contenido de fibra pesando el residuo

que queda luego de un proceso de sublimación enzimática de los demás componentes de la muestra (FAO, 2021).

7.6.1.5. Carbohidratos

Se determina el contenido de carbohidratos por medio del análisis proximal de Weende, donde la cuantificación de los carbohidratos se determina por diferencia luego de haber determinado humedad, grasa, proteínas, fibra y cenizas.

7.6.2. Análisis sensorial

El análisis sensorial es el proceso de identificación, análisis e interpretación de la respuesta que se tiene ante un producto por medio de la percepción de los sentidos gusto, olfato, tacto, vista y oído. Este tipo de análisis se utiliza en el desarrollo de productos nuevos, para determinar la preferencia de los consumidores o también como control de calidad en la producción. Dependiendo de los resultados que se requieran, las técnicas para análisis sensorial pueden clasificarse en pruebas analíticas y pruebas de consumidores (González, Rodeiro, Sanmartín y Vila, 2014).

7.6.2.1. Escala hedónica

La escala hedónica es utilizada para realizar pruebas de aceptación o rechazo de un determinado producto, la prueba requiere un planteamiento que se requiere realizar de manera rigurosa para poder obtener resultados significativos. Se debe tener en cuenta que los individuos de prueba pueden ser seleccionados al azar o también pueden seleccionarse por ciertos aspectos concretos (Ruiz, 2011).

Tabla VII. **Escala hedónica de 7 puntos**

1	Me gusta muchísimo
2	Me gusta mucho
3	Me gusta un poco
4	Me es indiferente
5	Me disgusta un poco
6	Me disgusta mucho
7	Me disgusta muchísimo

Fuente: elaboración propia.

Al momento de plantear la prueba se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos:

Se debe precisar de forma inequívoca la naturaleza de la cuestión a resolver y analizar el comportamiento, tipo de consumo del producto estudiado. También utilizar sólo grupos correctamente definidos de sujetos no entrenados. Se deben plantear preguntas hedónicas sencillas o pedir comparaciones fáciles. Se debe tener consciencia de las limitaciones en cuanto a la validez de los resultados en función de la situación artificial impuesta a los individuos (Ruiz, 2011).

Tabla VIII. **Prueba hedónica**

Planteo o problemática	Prueba de laboratorio	Prueba en situación natural
Preferencia momentánea o inmediata	Consumidores no experimentados	Consumidores (en calle o sala)
	Prueba pareada	Prueba pareada
	Prueba de ordenación	Prueba de ordenación
	Evaluación hedónica	Evaluación hedónica
Preferencia a largo plazo	Consumidores seleccionados	Consumidores (en domicilio)
	Prueba de cansancio	Prueba de comparación
	Prueba de aversión	Prueba monomuestral
	Prueba de consumo	Agenda y consumo
Imagen del producto	Consumidores seleccionados	Consumidores seleccionados
	Prueba de autenticación	Prueba de autenticación
Aceptación	Consumidores seleccionados	Consumidores seleccionados
	Prueba pareada	Prueba pareada
	Evaluación de la aceptación	Evaluación de la aceptación

Fuente: Sancho (1999). *Introducción al análisis sensorial de los alimentos*.

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

HIPÓTESIS

RESUMEN DEL MARCO TEÓRICO

INTRODUCCIÓN

1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Generalidades del plátano (*Musa paradisiaca* L.)

2.1.1. Morfología y taxonomía

2.1.2. Maduración

2.1.3. Composición nutricional

2.2. Pardeamiento y cambios enzimáticos

2.2.1.1. Tecnología de barreras y métodos de conservación

2.3. Generalidades de las harinas

2.3.1. Tipos de harinas

2.3.2. Proceso de elaboración

2.3.2.1. Operaciones previas

- 2.3.2.2. Secado
 - 2.3.2.3. Molienda
 - 2.3.2.4. Empaque
 - 2.3.3. Harinas alternativas o no convencionales
 - 2.4. Gluten
 - 2.4.1. Enfermedad celíaca
 - 2.4.2. Alternativas de consumo
 - 2.5. Producción de pan
 - 2.5.1. Tipos de pan
 - 2.5.2. Pan sin gluten
 - 2.5.3. Características fisicoquímicas del pan
 - 2.5.3.1. Humedad
 - 2.5.3.2. Volumen y densidad aparente
 - 2.5.3.3. Capacidad de absorción de agua
 - 2.6. Análisis fisicoquímicos y bromatológicos
 - 2.6.1. Análisis proximal
 - 2.6.1.1. Grasas
 - 2.6.1.2. Proteínas
 - 2.6.1.3. Minerales
 - 2.6.1.4. Fibra dietética
 - 2.6.1.5. Carbohidratos
 - 2.6.2. Análisis sensorial
 - 2.6.2.1. Escala hedónica
3. PROCESO DE ELABORACIÓN DE HARINAS
- 3.1. Operaciones unitarias
 - 3.2. Diagrama de flujo
 - 3.3. Análisis fisicoquímico y bromatológico
 - 3.3.1. Métodos de análisis

- 4. PROCESO DE ELABORACIÓN DE PAN
 - 4.1. Formulación del pan
 - 4.2. Operaciones unitarias
 - 4.3. Diagrama de flujo
 - 4.4. Análisis de calidad del pan
 - 4.4.1. Métodos de análisis
- 5. EVALUACIÓN SENSORIAL
 - 5.1. Preparación del panel sensorial
 - 5.2. Prueba de aceptabilidad
- 6. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS
- 7. DISCUSION DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICES

ANEXOS

9. METODOLOGÍA

9.1. Tipo de estudio

El presente estudio es de tipo cuantitativo con un alcance descriptivo, dado que considera el fenómeno de la formulación de un pan libre de gluten utilizando harina de plátano (*Musa paradisiaca* L.), midiendo sus propiedades fisicoquímicas 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, cuando se realicen 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 I se presenta la descripción de las variables que serán evaluadas en el presente estudio.

Tabla IX. Descripción de variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional
Composición	Porcentaje o cantidad en masa de cada elemento presente en un compuesto o en un todo.	Formula en porcentaje de harina de plátano que presenta mejores características físicas. (%)

Continuación tabla IX.

Variables	Definición conceptual	Definición operacional
Humedad	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.	El contenido de humedad se puede calcular mediante la siguiente formula: $\%H = ((W1-W2) / \text{Peso de la muestra}) * 100.$ Donde % es el contenido de humedad (%); W1 es la masa inicial de muestra (Kg) y W2 es la masa de la muestra seca (Kg).
Tamaño de partícula	El tamaño de partícula se puede describir por el diámetro obtenido luego del proceso de molienda	Medido por medio de tamices
Densidad aparente	Propiedad asociada a polvos y gránulos. Se define como la masa de muchas partículas del material dividida por el volumen total que ocupan.	Propiedad de las harinas. La densidad aparente puede calcularse por medio de la siguiente fórmula: $\rho_a = \text{masa de la harina (g)} / \text{Volumen de la probeta (ml)}$ Donde ρ_a es la densidad aparente
Rendimiento	Comparación entre la cantidad inicial de materia prima con la cantidad de producto final obtenida	Rendimiento en la elaboración de harinas $\% \text{ Rendimiento} = \frac{w_h}{w_i} * 100$ Donde: w_i = masa de materia prima inicial (g) w_h = masa de harina obtenida (g)
Cantidad de Proteínas.	El sistema proximal, en el que se miden las «proteínas» como el nitrógeno total multiplicado por un factor específico	Determinación de la cantidad de proteínas en un laboratorio (g)
Cantidad de fibra cruda	Se entiende por Fibra cruda a todas aquellas sustancias orgánicas no nitrogenadas, que no se disuelven tras hidrólisis sucesivas; una en medio ácido y otro en medio alcalino.	Determinación de la cantidad de fibra cruda en un laboratorio (g)
Contenido de cenizas	Análisis de residuos inorgánicos que quedan después de la ignición u oxidación completa de la materia orgánica de un alimento.	Determinación del contenido de cenizas en un laboratorio (g)
Cantidad de grasas	Contenido total de lípidos presentes en el alimento	Determinación de la cantidad de grasas en un laboratorio (g)
Cantidad de carbohidratos	Contenido total de hidratos de carbono presentes en el alimento	Determinación de la cantidad de carbohidratos en un laboratorio (g)
Volumen	El volumen es la cantidad de espacio ocupado por un cuerpo.	La medición se realiza midiendo el volumen de las semillas por el espacio ocupado por el pan. (cm3)

Continuación tabla IX.

Variables	Definición conceptual	Definición operacional
Capacidad de absorción de agua	Expresa la máxima cantidad de agua que puede ser retenida por gramo de material seco en presencia de un exceso de agua y posteriormente bajo la acción de una fuerza	Determinación en un laboratorio de análisis

Fuente: elaboración propia

9.4. Fases del estudio

Se describirán a continuación las fases que serán llevadas a cabo durante el estudio:

9.5. Fase 1: exploración bibliográfica

Se hará una exploración sobre los conceptos generales de las harinas, tipos, propiedades y aplicaciones, incluyendo las harinas alternativas. Se realizará una revisión de documentos sobre el pan, incluyendo las materias primas utilizadas, el proceso de elaboración y los análisis de calidad aplicables.

También se dará contexto sobre las pruebas bromatológicas y sensoriales utilizadas para determinar la calidad nutricional y organoléptica de las formulaciones a realizar.

9.6. Fase 2: operaciones unitarias en la obtención de la harina

Para la obtención de la harina de plátano (*Musa paradisiaca L.*) se realizarán una serie de pasos y operaciones unitarias que se describen a continuación:

Lavado y desinfección: inicialmente la fruta será lavada y desinfectada para asegurar la remoción de adherencias y otras impurezas que puedan implicar una contaminación en el producto final.

Pelado y cortado: al concluir las operaciones de lavado la fruta será pelada para retirar la cáscara en su totalidad. La pulpa será cortada en trozos pequeños de tamaño uniforme con la finalidad de aligerar el proceso de secado y evitar gomosidad en el producto.

Inhibición de pardeamiento enzimático: los trozos pulpa serán sometidos a diferentes procesos con la finalidad de inactivar la polifenoloxidasas e inhibir el pardeamiento, evitando cambios físicos y organolépticos no deseados en el producto.

Secado: inmediatamente después, el plátano (*Musa paradisiaca* L.) será sometido a un proceso de secado para reducir el contenido de humedad. Los parámetros que serán controlados se registrarán en la siguiente tabla:

Tabla X. **Parámetros del proceso de secado**

Variable	Resultado
Peso inicial de la muestra (g)	
Temperatura de deshidratado (°C)	
Tiempo de secado	
Peso final de la muestra	
Porcentaje de humedad (%)	

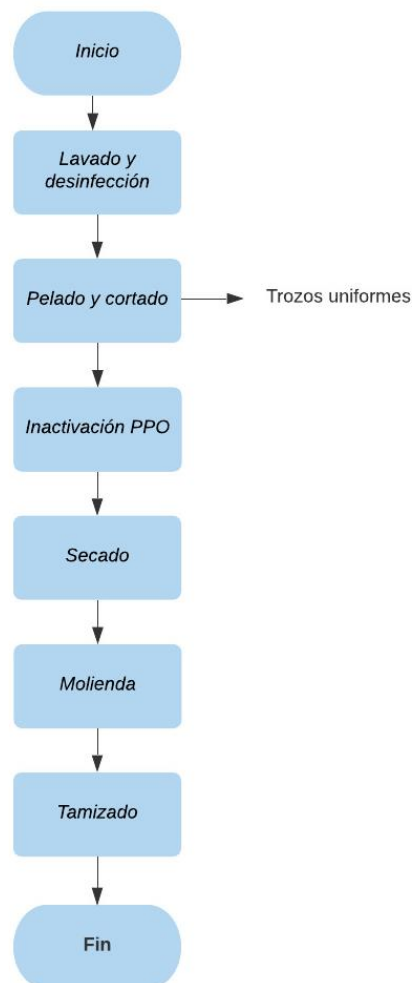
Fuente: elaboración propia.

Molienda: el fruto deshidratado será sometido a un proceso de molienda hasta obtener un polvo fino.

Tamizado: la harina que se obtiene posee distintos tamaños de partícula, para poder homogenizarlos se cernirá utilizando un tamiz.

El proceso de elaboración se muestra en el siguiente diagrama:

Figura 3. **Diagrama de flujo del proceso de elaboración de harina**



Fuente: elaboración propia, utilizando Lucidchart.

9.7. Fase 3: análisis fisicoquímico y bromatológico de la harina

A continuación, se describen las metodologías de análisis fisicoquímico y bromatológico que serán aplicadas.

9.7.1. Métodos para análisis físicos

Serán enviadas las muestras debidamente identificadas a un laboratorio de análisis para la determinación de la humedad y densidad aparente de la harina.

Porcentaje de humedad: uno de los principales factores que influyen en la calidad de una harina es el contenido de humedad, el porcentaje máximo de humedad que puede tener una harina depende de su uso. Para su determinación comúnmente se utiliza el método de secado, colocando la muestra en un horno a temperatura de 120 – 130 °C durante una hora.

$$\%H = \frac{(w_1 - w_2)}{\text{Peso de la muestra}} * 100 \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

$\%H$ = Porcentaje de humedad (%)

w_1 = masa inicial de la muestra (g)

w_2 = masa de la muestra seca (g)

Densidad aparente: para la determinación de la densidad aparente se utiliza una probeta de 100 ml en la cual se agrega una cantidad conocida de la harina, pesada previamente, para luego identificar el volumen que ocupa dentro de la probeta.

$$\rho_a = \frac{\text{masa de harina (g)}}{\text{volumen ocupado (ml)}} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde:

ρ_a = Densidad aparente (g/ml)

Porcentaje de rendimiento: el rendimiento de la elaboración de las harinas consiste en el pesaje de la materia prima inicial y la cantidad de harina obtenida al final del proceso.

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{w_h}{w_i} * 100 \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

w_i = masa de materia prima inicial (g)

w_h = masa de harina obtenida (g)

9.7.2. Métodos de análisis bromatológicos

El análisis bromatológico será utilizado para la caracterización de las propiedades nutricionales de la harina por medio de la determinación del contenido de proteínas, grasas, carbohidratos, cenizas y fibra cruda. Las muestras serán enviadas a un laboratorio externo, por lo cual deberán estar debidamente identificadas.

A continuación, se describen los métodos de análisis comúnmente empleados:

Determinación de proteínas: el contenido de proteínas se determina utilizando el método de Kjeldahl. Se fundamenta en la destrucción de la materia orgánica con ácido sulfúrico concentrado, en presencia de un catalizador con

acción de calor, con posterior destilación y titulación del nitrógeno proveniente de la muestra.

Determinación de grasas: para la determinación de la cantidad de grasas que contiene la muestra el producto es hidrolizado con ácido clorhídrico diluido. De la masa seca resultante, las materias grasas son extraídas con éter, el solvente evaporado y el residuo pesado.

Determinación de carbohidratos: se realizará por análisis proximal de Weende, cuantificación de carbohidratos por diferencia después de determinar humedad, proteína, grasa, cenizas y material no digerible (fibra cruda).

Determinación de cenizas: el contenido de cenizas se determina por medio de calcinación de una muestra de la harina la cual se coloca en un crisol vacío, previamente tarado y pesado, dentro de una mufla a 550 °C durante 2 horas. Posteriormente la muestra es colocada en un desecador hasta obtener un peso constante.

Determinación de fibra cruda: para este método se requiere tratar la muestra con soluciones de ácido sulfúrico y potasio hidróxido de concentraciones conocidas. Se separa el residuo por filtración, se lava, se deseca y finalmente se pesa el residuo insoluble, determinando posteriormente su pérdida de masa por calcinación a 550 °C.

Los resultados de los análisis fisicoquímicos y bromatológicos serán detallados en la siguiente tabla:

Tabla XI. **Resultados del análisis físico y bromatológico**

Variable	Resultado
Contenido de humedad (%)	
Densidad aparente (g/ ml)	
Proteínas (g)	
Cenizas (g)	
Carbohidratos (g)	
Grasas (g)	
Fibra cruda (g)	

Fuente: elaboración propia.

9.8. Fase 4: elaboración del pan sin gluten

La formulación del pan se realizará por medio de la mezcla de la harina elaborada previamente junto con harina de arroz, también se hará uso de hidrocoloides para generar características similares a las aportadas generalmente por el gluten. La formulación será realizada a escala laboratorio con la finalidad de determinar la cantidad adecuada de harinas y demás ingredientes que permitan obtener un pan con las mejores características físicas.

Se realizará la formulación de tres panes diferentes haciendo variar los porcentajes de cada una de las harinas, manteniendo constante la cantidad del resto de los ingredientes.

En la siguiente tabla se detallará el listado de ingredientes a incluir en cada formulación:

Tabla XII. **Formulaciones propuestas**

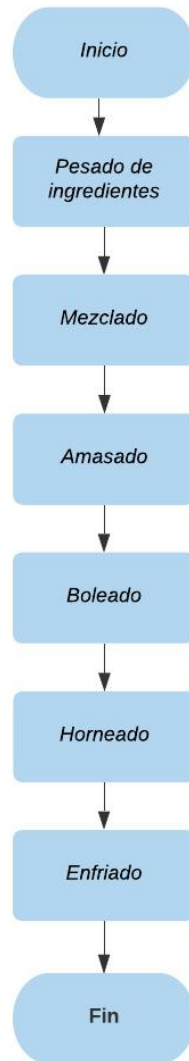
Ingrediente	Formulaciones		
(%)	1	2	3
Harina de arroz			
Harina de plátano			
Hidrocoloides			
Agua			
Margarina			
Levadura / Polvo para hornear			
Sal			
Huevo			
Azúcar			

Fuente: elaboración propia.

Para la elaboración del pan se iniciará con el pesado de los ingredientes, seguidamente los mismos serán colocados dentro del recipiente de una batidora en donde se realizará la mezcla, una vez que todos los ingredientes se han incorporado se hará el amasado. La masa será colocada en moldes y luego se realizará el horneado del pan. Los panes serán retirados del horno para dejarse enfriar y proceder con las pruebas correspondientes.

A continuación, el proceso descrito previamente se muestra en un diagrama de flujo:

Figura 4. **Diagrama de flujo del proceso de elaboración de pan**



Fuente: elaboración propia, utilizando Lucidchart.

9.9. Fase 5: análisis de control de calidad del pan

Al finalizar la elaboración de los panes, se tomarán muestras de cada una de las formulaciones para realizar los análisis correspondientes.

Volumen: En un recipiente de volumen conocido se llena con semillas de hortalizas, tratando de nivelarse en una hoja de cuchillo. Se vacía el contenido y

en su reemplazo se coloca el pan, llenándose nuevamente el recipiente con las semillas, nivelándose nuevamente. Las semillas sobrantes, deberán ser medidas en una probeta. La diferencia entre el volumen del recipiente y el volumen ocupado con las semillas sobrantes será el volumen del pan.

Coeficiente de elevación: indica calidad y buena elaboración del pan. Se divide el diámetro mayor del pan (sección transversal) sobre la altura del mismo. Se puede decir que cuanto más pequeña es esta relación más elevada es la calidad del pan.

Capacidad de absorción de agua: está relacionada con la digestibilidad del pan. Se pesa una fracción del pan (5 g) y se coloca en un recipiente (cap. 1 lt) el que debe contener un volumen de agua destilada, se deja en contacto con el pan durante 1 minuto, transcurrido este tiempo se debe escurrir el exceso de agua. Por diferencia del volumen inicial de agua destilada empleada y el volumen de líquido recuperado se obtiene el grado de imbibición de la muestra empleada.

En panes de buena calidad el grado de absorción es elevado, fluctuando entre 380 a 400 por 100 g. de muestra. En panes mediocres, este valor fluctúa entre 300 a 350 y tipos de panes pobres esta cantidad está por debajo de 200.

En la siguiente tabla se presentarán los resultados obtenidos para cada formulación

Tabla XIII. **Resultados de análisis de calidad del pan**

Variable	Formulaciones		
	1	2	3
Volumen (cm3)			
Capacidad de absorción de agua			
Coefficiente de elevación			

Fuente: elaboración propia

Posterior al análisis físico del pan, se enviarán muestras para análisis bromatológico. En la siguiente tabla se presentarán los resultados del análisis para cada formulación.

Tabla XIV. **Resultados de análisis bromatológico del pan**

Variable	Resultado
Contenido de humedad (%)	
Proteínas (g)	
Cenizas (g)	
Carbohidratos (g)	
Grasas (g)	
Fibra cruda (g)	

Fuente: elaboración propia.

9.10. Fase 6: evaluación sensorial

Para determinar la aceptación de cada una de las formulaciones se realizará un panel sensorial el cual estará conformado por 30 panelistas no entrenados que participarán voluntariamente. Para la realización de la prueba se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos:

El ambiente en que será realizado debe estar libre de malos olores y ruidos y no deben existir distracciones. Los panelistas no deben conocer la identidad del producto por lo que las muestras serán identificadas por códigos de tres dígitos y serán entregadas en orden aleatorio a cada panelista. Luego de probar cada muestra los panelistas deberán limpiar el paladar bebiendo agua. Se debe dar tiempo suficiente a cada participante para poder evaluar cada una de las muestras.

Se utilizará una escala hedónica de 7 puntos la cual es útil para calificar las características físicas y organolépticas de un alimento

A cada panelista se le será entregado el formato para la calificación de cada una de las muestras:

Tabla XV. **Formato para análisis sensorial**

Nombre: _____ Fecha: _____

Instrucciones: Probar cada una de las muestras que le serán entregadas y califíquelas indicando su nivel de agrado para cada uno de los atributos. Utilizar la escala que se presenta a continuación.

1	Me gusta muchísimo
2	Me gusta mucho
3	Me gusta un poco
4	Me es indiferente
5	Me disgusta un poco
6	Me disgusta mucho
7	Me disgusta muchísimo

Muestra 01	1	2	3	4	5	6	7
Apariencia							
Olor							
Sabor							
Textura							

Muestra 02	1	2	3	4	5	6	7
Apariencia							
Olor							
Sabor							
Textura							

Muestra 03	1	2	3	4	5	6	7
Apariencia							
Olor							
Sabor							
Textura							

Muestra 04	1	2	3	4	5	6	7
Apariencia							
Olor							
Sabor							
Textura							

Muchas gracias

Fuente: elaboración propia.

9.11. Fase 7: presentación y discusión de resultados

Se presentará el método y operaciones necesarias para obtener la harina de plátano (*Musa paradisiaca* L.) así como la formulación más aceptable estableciendo los porcentajes adecuados de cada una de las harinas y demás ingredientes para la elaboración de pan sin gluten. Se darán los resultados de los análisis nutricionales de la harina elaborada y de los análisis de calidad del pan formulado, finalmente se presentarán los resultados de la prueba de aceptación del producto final y se discutirá sobre los mismos.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS

Para realizar el análisis de la información serán utilizadas las herramientas de recolección que se mencionan a continuación, posteriormente los resultados serán analizados con estadística descriptiva.

Herramientas de recolección de la información:

- Tabla de parámetros de secado.
- Tablas de datos análisis fisicoquímico y bromatológico de la harina.
- Tablas de resultado análisis físico del pan.
- Tablas de resultados de análisis bromatológico del pan.
- Formularios de evaluación sensorial utilizando escala hedónica de 7 puntos.
- Tabla de con resultados del análisis sensorial.

Las herramientas estadísticas por utilizar serán:

- Tabla comparativa de las características físicas del pan con cada formulación.
- Tabla comparativa de composición nutricional de cada formulación.
- Histograma de frecuencia con resultados de análisis sensorial.
- Tabla comparativa de media y moda de resultados del análisis sensorial.
- Análisis de varianza de la prueba sensorial.

11. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

El estudio se realizará a escala laboratorio, los análisis fisicoquímicos y bromatológicos serán realizados en el laboratorio de bromatología de la Facultad de Medicina, Veterinaria y Zootecnia de la Universidad de San Carlos de Guatemala. El análisis sensorial será realizado en las instalaciones de la Universidad de San Carlos de Guatemala por medio de 30 panelistas no entrenados.

A continuación, en la tabla XVI se presenta un detalle de los gastos que se proyectan para la realización del estudio.

Tabla XVI. **Recursos necesarios para la investigación**

Recurso	Costo
Materia prima	Q. 300.00
Energía eléctrica	Q. 300.00
Gas propano	Q. 200.00
Análisis fisicoquímico y bromatológico	Q.1, 120.00
Insumos para análisis sensorial	Q. 350.00
Papelería	Q.100.00
TOTAL	Q. 2,370.00

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.

12. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

A continuación, se presenta el cronograma de realización de cada una de las fases del estudio.

Tabla XVII. Cronograma de actividades

Actividad	2021											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio						
Fase 1: Exploración bibliográfica												
Fase 2: Operaciones unitarias en la obtención de la harina												
Fase 3: Análisis físicoquímico y bromatológico de las harinas												
Fase 4: Elaboración del pan sin gluten												
Fase 5: Análisis de control de calidad del pan												
Fase 6: Evaluación sensorial												
Fase 7: Discusión y evaluación de resultados												

Fuente: elaboración propia.

REFERENCIAS

1. Bravo, E. y Moreno, L. (2015) *Evaluación de las propiedades fisicoquímicas y sensoriales del pan tipo molde con sustitución parcial de harina de chontaduro (Bactris Gasipaes)*. (Tesis de licenciatura). Universidad de La Salle. Bogotá, Colombia. Recuperado de https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_alimentos/3/
2. Brugos, E. (2019). *El gluten: repercusión en la salud*. (Tesis de licenciatura). Universidad de Cantabria. Santander, España. Recuperado de <https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/16472>
3. Chumo, N. y Rodríguez, J. (2018). *Influencia de la sustitución parcial de harinas de cáscara de frutas en perfil de textura y calidad nutricional de una galleta*. (Tesis de licenciatura). Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Ecuador. Recuperado de <https://repositorio.espam.edu.ec/xmlui/handle/42000/886>.
4. Girón, J. (2016). *Elaboración y valoración bromatológica de galletas funcionales a base de cáscara de plátano verde (Musa paradisiaca) enriquecidas con semillas de zambo (Cucurbita ficifolia) y endulzadas con Stevia*. (Tesis de licenciatura). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador. Recuperado de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/5040>.
5. Dussán, S.; Gaona, A. y Hleap, J. (marzo 2017). Efecto del uso de antioxidantes en plátano verde Dominico-Hartón (Musa AAB

Simmonds) cortado en rodajas. *Información tecnológica*, 28(4), 03-10.
Recuperado de <https://www.scielo.cl/pdf/infotec/v28n4/art02.pdf>

6. Escalante, M.; Santos, I.; Rojas, L. y Velásquez, C. (agosto 2012). Aprovechamiento de desechos orgánicos: 1. Extracción y caracterización del aceite de semillas de naranja colectadas en expendios ambulantes de jugos. *Avances en Química*, 7(3), 181-186.
7. Escobar, A. (2013). *Aplicación de la tecnología de barreras para la conservación individual y de mezclas de hortalizas mínimamente procesadas*. (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Colombia. Recuperado de <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/21091>.
8. Falla, F. y Ramón, M. (2019). *Obtención y evaluación sensorial de galletas a diferentes concentraciones de harina de cáscara de plátano (Musa paradisiaca)*. (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Perú. Recuperado de <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/3970>.
9. Martínez, E. (2016) *Determinación del análisis bromatológico proximal y calidad culinaria de Phaseolus vulgaris L. (Frijol común) grano negro creiollo cultivado en la zona occidental de el Salvador*. (Tesis de licenciatura). Universidad de El Salvador, El Salvador. Recuperado de <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/9996/1/16103662.pdf>.
10. Melgar, A. (2016). *Evaluación del proceso de producción de harina de plátano (Musa paradisiaca L.) para la preparación de atol y su caracterización proximal y sensorial*. (Tesis de licenciatura).

Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/5098/>.

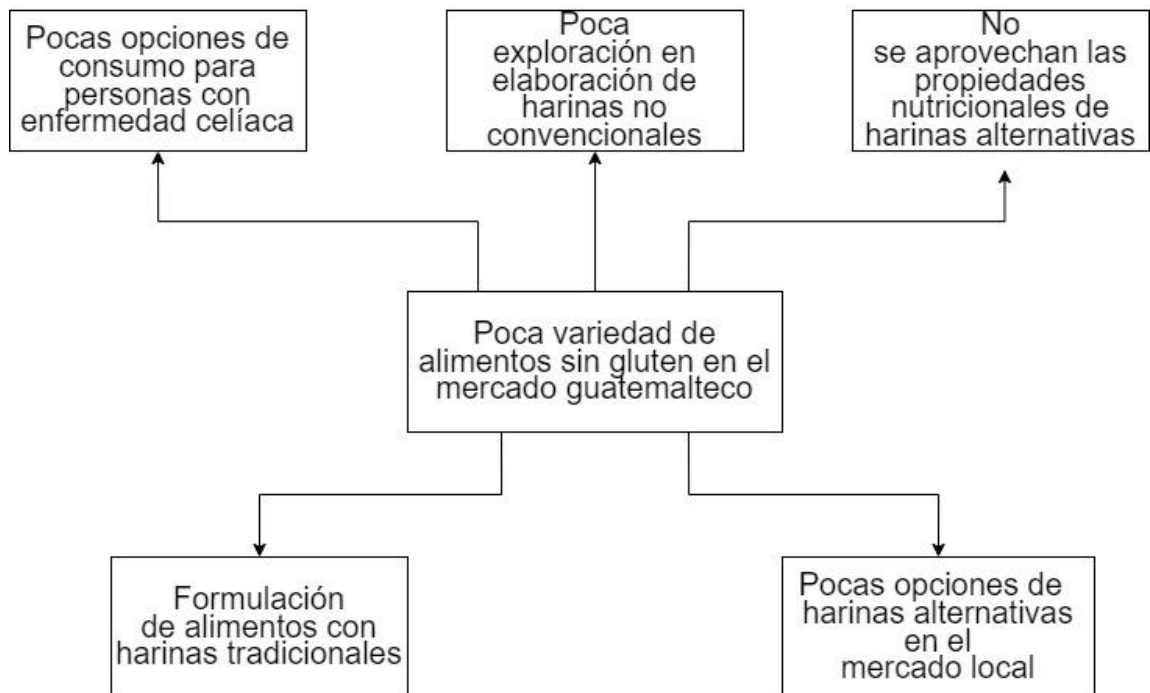
11. Merino, S. (2013). *Mejora de la calidad de panes sin gluten a través de la mezcla de almidones y harinas*. España: Universidad de Valladolid. Recuperado de <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/3886/TFML67.pdf;sequence=1>.
12. Mesas, J. y Alegre, M. (5 de diciembre 2002). El pan y su proceso de elaboración CYTA-*Journal of Food*, 3(5), 307-313. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/724/72430508.pdf>.
13. Molina-Rosell, C. (2013). *Alimentos sin glúten derivados de cereales. Enfermedad celíaca y sensibilidad al gluten no celíaca*. Barcelona, España. Líder.
14. Montoya, J. (2020) *Formulación de una matriz alimentaria a base de harina de plátano Dominico Hartón (Musa paradisiaca L.) para el diseño de alimentos funcionales libres de gluten*. (Tesis de doctorado). Universidad Nacional de Colombia, Colombia. Recuperado de <https://repositorio.unal.edu.co › 7563112.2020.pdf>.
15. Orozco, M. (2011) *Efecto de la tecnología de barreras sobre la polifenoloxidasa presente en puré de aguacate*. (Tesis de maestría). Universidad de la Sabana, Colombia. Recuperado de https://www.academia.edu/24859901/Tesis_martha_version_12_de_diciembre_2_.

16. Ortiz, J. (2016) *Análisis proximal y caracterización nutricional de productos de la línea "Q' ATU del restaurant gustu*. (Tesis de licenciatura). Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia. Bolivia. Recuoerado de <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/18159>.
17. Pino, J. (2011) *Caracterización fisicoquímica de la harina de maíz criollo (Zea mays amylacea) y su aplicación en la elaboración de pan*. (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional de San Martín, Perú. Recuperado de <https://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/2267>.
18. Ponce, F. (2018). *Características fisicoquímicas, sensoriales y bioactivas del pan de trigo sustituido parcialmente con harina de cáscara de plátano (Musa paradisiaca L.)*. (Tesis de doctorado). Universidad Nacional Federico Villareal, Perú. Recuperado de <http://repositorio.unfv.edu.pe/handle/UNFV/2389>.
19. Regueiro, G.; Rodeiro, C.; Sanmartín, C. y Vila, S., (2014). *Introducción al análisis sensorial Estudio hedónico del pan en el IES Mugardos. Certificacion En Evaluacion Sensorial*. España: SGAPEIO.
20. Rivera, M., Pérez, M. y Martínez, G. (marzo, 2020). Evaluación microbiológica y valor nutricional de una galleta libre de gluten. *Revista Ciencia Administrativa*. Número especial 1. 1-22. Recuperado de <https://www.uv.mx/iiesca/files/2019/10/volumen-1ligas.pdf>.
21. Sancho, J. (1999) *Introducción al análisis sensorial de los alimentos*. (1ª edición). España: Editorial Universidad de Barcelona.

22. Tierra, J. (2013). *Elaboración de alfajores con la utilización de harinas de amaranto, quinua, cebada, machica, maíz para la Empresa Galtier de la ciudad de Riobamba* (tesis de licenciatura). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador. Recuperado de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/9634>.
23. Villanueva, C. (2006). *Caracterización parcial y evaluación de la estabilidad de la pulpa del fruto de cyrtocarpa procera conservada por métodos combinados*. (Tesis de licenciatura). Universidad Tecnológica de la Mixteca, México. Recuperado de http://jupiter.utm.mx/~tesis_dig/9880.pdf.
24. Zamora, M. (2019) *Incidencia de las etapas clave del proceso de transformación del grano de trigo que afectan el control de los indicadores de desempeño (KPI'S) de la calidad de la harina*. (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/14059/>.
25. Zapata, K. y López S. (2019). *Influencia de la madurez y tamaño de partícula de harina de la cáscara de plátano dominico harton (musa aab simmonds) en la calidad de pan integral*. (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional del Santa, Perú. Recuperado de <http://repositorio.uns.edu.pe/handle/UNS/3301>.

APÉNDICES

Apéndice 1. Árbol del problema



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Matriz de coherencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	VARIABLES	METODOLOGÍA	PLAN DE ACCIÓN
Pregunta principal ¿Es posible formular un pan sin gluten utilizando harina de plátano (<i>Musa paradisiaca</i> L.)?	Objetivo general Realizar la formulación de un pan sin gluten utilizando harina elaborada a partir de la pulpa del plátano (<i>Musa paradisiaca</i> L.).	Formulación óptima		
Preguntas auxiliares ¿Cuáles son las operaciones unitarias y parámetros adecuados para la elaboración de harina de plátano (<i>Musa paradisiaca</i> L.)? ?	Objetivos específicos Definir las operaciones unitarias y parámetros de operación adecuados para la obtención de harina de plátano (<i>Musa paradisiaca</i> L.).	Operaciones unitarias: - Escaldado - Secado - Molienda - Tamizado	Determinación de parámetros: - Temperatura y tiempo de escaldado. - Temperatura y tiempo de secado	- Revisión bibliográfica sobre elaboración de harinas (2 días) - Elaboración de harina de plátano. (10 días)

Continuación apéndice 2.

PROBLEMA	OBJETIVOS	VARIABLES	METODOLOGÍA	PLAN DE ACCIÓN
¿Cuáles serán las propiedades físicas y nutricionales de la harina de plátano?	Determinar las propiedades físicas y nutricionales de la harina elaborada	- Propiedades físicas de la harina. - Composición nutricional: - Proteína - Fibra - Cenizas - Extracto libre de nitrógeno - Extracto etéreo	- Porcentaje de humedad (Secado). - Granulometría (Tamizado) - Densidad aparente - Análisis proximal: - Proteínas (Método de Kjeldahl) - Fibra (Determinación de fibra cruda) - Cenizas (Calcinación) - Extracto etéreo (método de Soxhlet)	- Selección de laboratorio de análisis y envío de muestras (20 días) - Tabulación e interpretación de resultados (3 días)
¿Cuáles es la formulación adecuada para la elaboración de un pan sin gluten utilizando harina de plátano (<i>Musa paradisiaca</i> L.)?	Establecer el porcentaje de harina de plátano (<i>Musa paradisiaca</i> L.) adecuado para la formulación de un pan sin gluten.	Fórmulas	- Porcentaje de harina de plátano (<i>Musa paradisiaca</i> L.) - Porcentaje de otros ingredientes	- Investigación y selección de ingredientes para formulación de pan (5 días) - Formulación y elaboración de panes (5 días).

Continuación apéndice 2.

PROBLEMA	OBJETIVOS	VARIABLES	METODOLOGÍA	PLAN DE ACCIÓN
¿Cuál es la formulación de pan que obtendrá mejores propiedades físicas y nutricionales?	Determinar las propiedades físicas y nutricionales de cada formulación realizada.	Propiedades físicas: Contenido de humedad CAA Volumen Rendimiento	Determinación de: -Porcentaje de humedad. (Secado) -Capacidad de absorción de agua. -Medición del volumen del pan. -Cálculo del porcentaje de rendimiento.	-Selección de laboratorio y envío de muestras (15 días) -Tabulación e interpretación de resultados (2 días)
¿Cuál es la formulación que obtendrá mayor aceptabilidad?	Establecer la formulación que obtendrá mayor aceptabilidad por medio de un panel sensorial.	Porcentajes de aceptabilidad	Panel sensorial, prueba hedónica de 7 puntos	-Convocatoria de panelistas y realización de panel sensorial (3 días). -Tabulación e interpretación de resultados (2 días)

Fuente: elaboración propia.