



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

**FORMULACIÓN DE UNA HARINA LIBRE DE GLUTEN COMPUESTA DE HARINA DE
SEMILLA DE CHÍA (*Salvia hispanica*) Y HARINA DE YUCA (*Manihot esculenta*) CON BASE
EN DOS TAMAÑOS DE PARTÍCULA A NIVEL LABORATORIO**

María Alexandra Marckwordt Aguilar

Asesorado por la Inga. Hilda Piedad Palma Ramos de Martini

Guatemala, mayo de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

FORMULACIÓN DE UNA HARINA LIBRE DE GLUTEN COMPUESTA DE HARINA DE SEMILLA DE CHÍA (*Salvia hispanica*) Y HARINA DE YUCA (*Manihot esculenta*) CON BASE EN DOS TAMAÑOS DE PARTÍCULA A NIVEL LABORATORIO

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

MARÍA ALEXANDRA MARCKWORDT AGUILAR
ASESORADO POR LA INGA. HILDA PIEDAD PALMA RAMOS DE MARTINI

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, MAYO DE 2021

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. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO


DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Jorge Rodolfo García Carrera
EXAMINADORA	Inga. Ana Gloria Montes Peña
EXAMINADOR	Ing. Julio David Vargas García
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

FORMULACIÓN DE UNA HARINA LIBRE DE GLUTEN COMPUESTA DE HARINA DE SEMILLA DE CHÍA (*Salvia hispanica*) Y HARINA DE YUCA (*Manihot esculenta*) CON BASE EN DOS TAMAÑOS DE PARTÍCULA A NIVEL LABORATORIO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 19 de julio de 2019.

(f) 

María Alexandra Marckwordt Aguilar

Guatemala, 13 de mayo del 2020

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
Director de Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente.

Estimado Ingeniero Álvarez:

Le saludo cordialmente, deseándole éxitos en sus actividades. Por medio de la presente hago constar que ha revisado y aprobado el Informe Final de Trabajo de Graduación titulado: "FORMULACIÓN DE UNA HARINA LIBRE DE GLUTEN COMPUESTA DE HARINA DE SEMILLA DE CHÍA (*Salvia hispanica*) Y HARINA DE YUCA (*Manihot esculenta*) CON BASE EN DOS TAMAÑOS DE PARTÍCULA A NIVEL LABORATORIO", de la estudiante de Ingeniería Química María Alexandra Markwordt Aguilar quien se identifica con el GUI 2718 48677 0108 y registro académico 2015-04320.

Sin otro particular me suscribo de usted.

Atentamente,



Hilda Palma de Martini
Ingeniera Química
Colegiada no. 453
Asesora

INGA. HILDA PALMA DE MARTINI
COLEGIADO No. 453



Guatemala, 28 de enero de 2021.
Ref. EIQ.TG-IF.003.2021.

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mojia
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el registro de evaluación, correlativo 023-2019, le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL

Solicitado por el estudiante universitario: **María Alexandra Marckwordt Aguilar**.
Identificado con número de carné: 2718496770108.
Identificado con registro académico: 201504320.
Previo a optar al título de la carrera: Ingeniería Química.
En la modalidad: Informe Final, Seminario de Investigación.

Seguendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a APROBARLO con el siguiente título:

FORMULACIÓN DE UNA HARINA LIBRE DE GLUTEN COMPUESTA DE HARINA DE SEMILLA DE CHÍA (*Salvia hispanica*) Y HARINA DE YUCA (*Manihot esculenta*) CON BASE EN DOS TAMAÑOS DE PARTÍCULA A NIVEL LABORATORIO

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por:

Hilda Piedad Palma Ramos de Martíni, profesional de la Ingeniería Química

Habiendo encontrado el referido trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"D Y ENSEÑAD A TODOS"

Mercedes Estephan Chiriqui
profesora de Ingeniería Química
COORDINADORA QUIMICA
Tricentenario No. 451
Trabajo de Graduación

C.c.: archivo





Guatemala, 16 de abril de 2021.

Ref. EIQ.053.2021

Aprobación del informe final del trabajo de graduación

Ingeniera
Aurelia Anabela Cordova Estrada
Decana
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Revisado el INFORME FINAL DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN (TESIS), DENOMINADO **FORMULACIÓN DE UNA HARINA LIBRE DE GLUTEN COMPUESTA DE HARINA DE SEMILLA DE CHÍA (*Salvia hispanica*) Y HARINA DE YUCA (*Manihot esculenta*) CON BASE EN DOS TAMAÑOS DE PARTÍCULA A NIVEL LABORATORIO** del(la) estudiante María Alexandra Marckwordt Aguilar, se conceptúa que el documento presentado, reúne todas las condiciones de calidad en materia administrativa y académica (rigor, pertinencia, secuencia y coherencia metodológica), por lo tanto, se procede a la autorización del mismo, para que el(la) estudiante pueda optar al título de Ingeniería Química.

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Williams Álvarez Mejía, M.I.Q. M.U.I.E.
DIRECCIÓN
Escuela de Ingeniería Química

Cc. Archivo
WGAM/mpea



Asociación de Ingenieros Químicos de Guatemala
Comité de Administración y Control



DTG. 194.2021.

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: **FORMULACIÓN DE UNA HARINA LIBRE DE GLUTEN COMPUESTA DE HARINA DE SEMILLA DE CHÍA (*Salvia hispanica*) Y HARINA DE YUCA (*Manihot esculenta*) CON BASE EN DOS TAMAÑOS DE PARTÍCULA A NIVEL LABORATORIO**, presentado por la estudiante universitaria: **María Alexandra Marckwordt Aguilar**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana

Guatemala, mayo de 2021.

ACTO QUE DEDICO A:

Mis padres

Carlos Marckwordt y Sussan Aguilar. Su amor incondicional es mi inspiración para perseverar, cada triunfo en mi vida es por y para ustedes, los amo.

Mi hermano

José Marckwordt. Por ser mi apoyo incondicional a lo largo de cada adversidad y alentarme a nunca dudar de mis capacidades.

Mis abuelos

Enrique Marckwordt e Irma de Marckwordt. Por su amor y cariño.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por darme la oportunidad de recibir una educación con excelencia.
Facultad de Ingeniería	Por brindarme el conocimiento necesario para formarme como una profesional en la ingeniería.
Mis amigos de la Facultad	Por su apoyo y amistad incondicionales a lo largo de la carrera.
Inga. Hilda Palma	Por su apoyo y paciencia, siendo un ejemplo como profesional.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XI
OBJETIVOS.....	XIII
HIPÓTESIS.....	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. CAPÍTULO UNO	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Justificación	4
1.3. Determinación del problema.....	5
1.3.1. Definición	5
1.3.2. Alcances y delimitaciones.....	6
1.3.2.1. Alcances	6
1.3.2.2. Delimitaciones	6
2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Chía (<i>Salvia hispanica</i>).....	7
2.1.1. Información botánica	7
2.1.2. Cultivo.....	7
2.1.3. Origen.....	8
2.1.4. Composición química y valor nutricional.....	9
2.1.5. Usos	10
2.1.5.1. Alimentación animal.....	10

2.1.6.	Comercio	10
2.2.	Yuca (<i>Manihot esculenta</i>).....	11
2.2.1.	Información botánica	11
2.2.2.	Cultivo	12
2.2.3.	Composición química y valor nutritivo	13
2.2.4.	Usos	13
2.2.4.1.	Alimento para animales	14
2.2.5.	Métodos de producción	14
2.2.6.	Mercado y comercialización	14
2.3.	Harina.....	15
2.3.1.	Harina compuesta	15
2.3.2.	Harina de semilla de chía (<i>Salvia hispanica</i>).....	16
2.3.2.1.	Valor nutricional.....	16
2.3.2.2.	Procesamiento en seco	17
2.3.3.	Harina de yuca	17
2.3.3.1.	Características físicas y químicas de la harina de yuca	18
2.4.	Gluten.....	18
2.4.1.	Celiaquía	19
2.4.2.	Harina sin gluten	20
2.5.	Sólidos	20
2.5.1.	Caracterización de los sólidos.....	20
2.5.1.1.	Forma.....	21
2.5.1.2.	Tamaño	21
2.5.1.3.	Dureza.....	21
2.5.1.4.	Densidad	21
2.5.1.5.	Higroscopicidad.....	22
2.5.2.	Almacenaje de sólidos	22
2.5.2.1.	Granel.....	22

	2.5.2.2.	Discreto	22
	2.5.3.	Separación de sólidos	22
	2.5.3.1.	Análisis granulométrico.....	23
	2.5.4.	Reducción del tamaño de partícula	25
	2.5.4.1.	Molienda	25
	2.5.5.	Mezclado de sólidos	26
	2.5.6.	Secado	26
	2.5.7.	Seguridad en el manejo de sólidos.....	27
2.6.		Análisis químico proximal	27
	2.6.1.	Determinación de humedad.....	28
	2.6.2.	Análisis de minerales.....	28
	2.6.3.	Análisis de lípidos	28
	2.6.4.	Cuantificación de proteínas	29
	2.6.5.	Determinación de carbohidratos.....	30
	2.6.6.	Determinación de fibra.....	30
2.7.		Pruebas de aceptación.....	30
	2.7.1.	Percepción sensorial	31
	2.7.1.1.	Los sentidos.....	31
	2.7.2.	Panel	32
	2.7.2.1.	Escala hedónica	33
3.		DISEÑO METODOLÓGICO	35
	3.1.	Variables.....	35
	3.2.	Delimitación del campo de estudio	36
	3.3.	Recursos humanos disponibles.....	37
	3.4.	Recursos materiales disponibles	37
	3.5.	Técnica cuantitativa.....	39
	3.5.1.	Obtención de la harina de semilla de chía (<i>Salvia hispanica</i>)	39

3.5.2.	Obtención de la harina de yuca (<i>Manihot esculenta</i>).....	40
3.5.3.	Preparación de harina compuesta.....	40
3.5.4.	Determinación del valor nutricional de la harina compuesta.....	40
3.5.5.	Caracterización de la aceptación del producto dulce elaborado con la harina compuesta de mayor valor nutricional	42
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información	42
3.7.	Tabulación y ordenamiento de la información.....	43
3.8.	Análisis estadístico.....	47
3.9.	Plan de análisis de los resultados	50
3.9.1.	Métodos y modelos de los datos según tipo de variables.....	50
3.9.2.	Programas a utilizar para el análisis de datos	50
4.	RESULTADOS.....	51
5.	INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS	55
	CONCLUSIONES.....	61
	RECOMENDACIONES	63
	BIBLIOGRAFÍA.....	65
	APÉNDICES.....	69

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Semilla de chía (<i>Salvia hispanica</i>).....	8
2.	Yuca (<i>Manihot esculenta</i>).....	12
3.	Prueba hedónica de la muestra de mayor valor nutricional.....	54

TABLAS

I.	Composición proximal y valor calorífico	9
II.	Rendimiento y análisis químico proximal de la harina de chía obtenida por vía seca.....	16
III.	Propiedades físicas y químicas de la harina de yuca.....	18
IV.	Conversión de malla en pulgadas, micrones y milímetros.....	24
V.	Definición de las variables de la evaluación nutricional.....	35
VI.	Definición operacional para la evaluación sensorial	36
VII.	Clasificación de las variables como dependientes o independientes	36
VIII.	Proporciones de la harina compuesta	40
IX.	Granulometría de la harina de yuca (<i>Manihot esculenta</i>).....	43
X.	Granulometría de la harina de semilla de chía (<i>Salvia hispanica</i>).....	43
XI.	Humedad presente en las muestras.....	44
XII.	Materia seca total presente en las muestras	44
XIII.	Extracto etéreo presente en las muestras	44
XIV.	Fibra cruda presente en las muestras	45
XV.	Proteína presente en las muestras.....	45
XVI.	Minerales presentes en las muestras	45

XVII.	Carbohidratos presentes en las muestras.....	46
XVIII.	Recolección de datos respecto al nivel de aceptación.....	46
XIX.	Experimento de dos factores.....	48
XX.	Varianza en un experimento de dos factores.....	49
XXI.	Granulometría de la harina de yuca (<i>Manihot esculenta</i>).....	51
XXII.	Granulometría de la harina de semilla de chía (<i>Salvia hispanica</i>).....	51
XXIII.	Humedad presente en las muestras	52
XXIV.	Materia seca total presente en las muestras.....	52
XXV.	Extracto etéreo presente en las muestras.....	52
XXVI.	Fibra cruda presente en las muestras.....	53
XXVII.	Proteína presente en las muestras	53
XXVIII.	Minerales presentes en las muestras.....	53
XXIX.	Carbohidratos presentes en las muestras.....	54

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
°C	Centígrados.
cm ²	Centímetros cuadrados.
Z	Confiabilidad.
F	Distribución de probabilidad de Fisher.
E	Error.
g	Gramo.
Nc	Intervalo de confianza.
α	Intervalo de rechazo.
kcal	Kilocalorías.
kg	Kilogramo.
$\bar{Y}_i..$	Media de las observaciones para el i-ésimo nivel del factor A.
$\bar{Y}_j..$	Media de las observaciones para el j-ésimo nivel del factor B.
$\bar{Y} \dots$	Media de todas las abn observaciones.
μm	Micrómetro.
mL	Mililitro.
mm	Milímetro.
mm ³	Milímetros cúbicos.
A	Número de malla.
N	Número de muestras.
n	Número de tratamientos.
%	Porcentaje.

pH	Potencial de hidrógeno.
P	Probabilidad de éxito.
Q	Probabilidad de fracaso.
B	Proporción de la mezcla.
Y_{i.}	Suma de las observaciones para el i-ésimo nivel del factor A.
Y_{.j.}	Suma de las observaciones para el j-ésimo nivel del factor B.
Y	Suma de todas las abn observaciones.
V	Voltio.

GLOSARIO

Base húmeda	Cantidad de sustancia respecto a la cantidad de humedad.
Base seca	Cantidad de sustancia respecto a la cantidad de materia seca.
Hidrólisis	Ruptura de la molécula de agua.
HSC	Harina de semilla de chía.
HY	Harina de yuca.
Operación unitaria	Etapa de un proceso que implica una transformación química o física de la materia prima.
SCA	Suma de cuadrados para los efectos principales de A.
SC(AB)	Suma de cuadrados de la interacción para A y B.
SCB	Suma de cuadrados para los efectos principales de B.
SCE	Suma de los cuadrados del error.
Tamiz	Cedazo.

RESUMEN

En el presente estudio se desarrolló la formulación de una harina compuesta de semilla de chía (*Salvia hispanica*) y yuca (*Manihot esculenta*) en tres diferentes proporciones y dos tamaños de partícula, se realizó un análisis del valor nutricional de cada mezcla, se determinó la aceptación de la harina aplicada en un producto dulce y se presentó un compendio de aplicaciones de la harina para diferentes productos alimenticios.

Para seleccionar el tamaño de partícula se utilizaron los tamices 60 y 120, y se realizó un análisis proximal con cada mezcla. En primer lugar, se cuantificó la presencia de fibra alimentaria en la harina compuesta, después se determinó el extracto etéreo de cada muestra y los minerales totales, luego se evaluó la proteína en la harina por medio del método de Kjeldahl y, finalmente, se determinó la cantidad de carbohidratos y minerales por medio de la prueba de extracto libre de nitrógeno y cenizas, respectivamente.

Se determinó que la mezcla de mayor valor nutricional es aquella conformada por un 70 % de harina de yuca (*Manihot esculenta*) y un 30 % de harina de semilla de chía (*Salvia hispanica*), utilizando el tamiz 60.

Se realizó el análisis de aceptabilidad, en una escala hedónica de 7 puntos y 31 panelistas, a una galleta dulce con la harina de mayor valor nutricional. Se determinó que al 78 % de los panelistas les gustó mucho el producto, a 19 % les gustó y al 3 % les gustó ligeramente.

OBJETIVOS

General

Evaluar la formulación de una harina compuesta de semilla de chía (*Salvia hispanica*) y yuca (*Manihot esculenta*) en 3 proporciones y 2 tamaños de partícula a nivel laboratorio.

Específicos

1. Formular en diferentes proporciones (0:100, 15:85, 30:70) y tamaños de partícula (tamices 60 y 120) una harina compuesta de semilla de chía (*Salvia hispanica*) y yuca (*Manihot esculenta*) en función del tamaño de partícula.
2. Determinar el valor nutritivo de las combinaciones de harina de semilla de chía (*Salvia hispanica*) y yuca (*Manihot esculenta*) por el método de análisis químico proximal.
3. Realizar pruebas de aceptación de un producto dulce, preparado con la mezcla de mayor valor nutricional de harina de semilla de chía (*Salvia hispanica*) y yuca (*Manihot esculenta*), utilizando una escala hedónica de 7 puntos.
4. Elaborar un compendio de aplicaciones de la harina compuesta para la preparación de diferentes productos alimenticios.

HIPÓTESIS

- **Hipótesis científica**

Es factible determinar el valor nutritivo de la harina compuesta de harina de semilla de chía (*Salvia hispanica*) y harina de yuca (*Manihot esculenta*), por medio de un análisis químico proximal.

- **Hipótesis nula**

$H_{0,1}$: no existen diferencias significativas entre el valor nutricional de la harina de semilla de chía (*Salvia hispanica*) y harina de yuca (*Manihot esculenta*), para la diferencia de proporciones.

$H_{0,2}$: no existen diferencias significativas entre el valor nutricional de la harina de semilla de chía (*Salvia hispanica*) y harina de yuca (*Manihot esculenta*), para el tamaño de partícula.

- **Hipótesis alternativa:**

$H_{a,1}$: existen diferencias significativas entre el valor nutricional de la harina de semilla de chía (*Salvia hispanica*) y harina de yuca (*Manihot esculenta*), para la diferencia de proporciones.

$H_{a,2}$: existen diferencias significativas entre el valor nutricional de la harina de semilla de chía (*Salvia hispanica*) y harina de yuca (*Manihot esculenta*), para el tamaño de partícula.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad se ha observado un cambio de tendencia a necesidad en el desarrollo de la producción de alimentos sin gluten, esto debido a una mayor demanda del mercado global en ofrecer productos que cubran los requisitos de cada tipo de consumidor, que pueden variar desde valor nutritivo hasta condiciones de salud.

En los últimos años se ha dado a conocer un incremento en las personas que padecen de la enfermedad celíaca, comúnmente conocida como sensibilidad al gluten, en la cual el paciente que la padece presenta una reacción inmunológica al gluten que afecta al intestino y provoca un decaimiento en la calidad de vida de la persona, puesto que debe suprimir la ingesta de esta proteína en su vida diaria.

Conforme se da a conocer más casos de pacientes con la enfermedad celíaca, a su vez hay un incremento en la tecnología de alimentos para el desarrollo de productos que son enfocados en este tipo de consumidores, los cuales requieren de una dieta libre de gluten y el refuerzo de la ingesta de macronutrientes que podrían perder.

La chía (*Salvia hispanica*) es una semilla nativa de Centroamérica que presenta un elevado valor nutricional, ya que tiene un alto contenido de aminoácidos esenciales, proteína, minerales y fibra. Su disposición es versátil, puesto que puede alternarse su consumo como semilla entera, gel o procesada.

En Guatemala el consumo de la chía (*Salvia hispanica*) no ha presentado un auge debido a que no se ha aplicado a un producto que cumpla con los requerimientos del consumidor y que capte la atención del mercado global, incidiendo en el interés de la población.

La yuca (*Manihot esculenta*) es un arbusto perenne nativo de Suramérica que crece en ambientes tropicales y subtropicales. Presenta alto contenido de hidratos de carbono y es una fuente de energía. Es un cultivo que no requiere de condiciones rigurosas para su cosecha y es parte de la alimentación básica de muchas personas desde Latinoamérica hasta Asia y África.

Tanto la yuca (*Manihot esculenta*) como la semilla de chía (*Salvia hispanica*) son alimentos libres de gluten que resultan una alternativa al consumidor celíaco que busca establecer su dieta con un alto valor nutritivo y de fácil acceso. Son alimentos que se adquieren fácilmente en Guatemala, son cosechados durante todo el año y su consumo puede provocar un impacto positivo en la economía del país.

Debido a que el gluten es una proteína que se encuentra presente en una gran parte de la industria de alimentos y de bebidas (productos con trigo, centeno y cebada), es importante enfocarse en la necesidad del consumidor y evaluar alternativas.

Este estudio se enfoca en el desarrollo de una harina sin gluten como opción nutritiva para su consumo diario. Utilizando el análisis químico proximal de las variantes en proporción y tamaño de partícula de la harina compuesta, se podrá seleccionar la mejor opción en términos nutricionales. Se hará uso de la prueba hedónica para evaluar la opinión de las personas con respecto al alimento de mejor contenido nutricional.

1. CAPÍTULO UNO

1.1. Antecedentes

En la Universidad de Guanajuato se realizó un trabajo de investigación denominado *Caracterización de harinas libres de gluten y su incorporación en productos de panificación*, por parte de Nieto, Rangel, Saldaña, Abraham y Ozuna. La investigación consistió en el desarrollo de un producto libre de gluten utilizando una harina compuesta de sorgo, arroz y amaranto. El análisis químico proximal reveló un alto nivel de carbohidratos en todas las harinas, pero la de amaranto tiene un contenido lipídico y proteínico superior que las demás. El estudio concluyó que es posible sustituir la harina compuesta de sorgo, arroz y amaranto por harina de trigo, como alternativa para el consumo de personas celíacas.

En el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agropecuarias y pecuarias de México, los autores Xingú, González, De La Cruz, Sangerman, Orozco y Rubí realizaron el trabajo denominado *Chía (Salvia hispanica L.) situación actual y tendencias futuras*. Con base en un análisis bibliográfico se determinó que la chía es un cultivo que tiende al aumento en producción y que es requerido en varias partes del mundo por su alto valor nutricional, características que lo hacen un cultivo de gran interés y potencial para su explotación.

En el artículo de investigación *Evaluación de galletas dulces preparadas con harina de yuca (Manihot esculenta Crantz) deshidratada al sol como sustituto del trigo*, los panelistas Roddy Colina, Ninoska Laguado y Alexis Fainete

evaluaron el sabor, color, olor, textura, consistencia y apariencia de las galletas, y se cuantificó la humedad de la muestra de harina. Se determinó que la humedad de la harina era inferior al 13 % establecido por la norma Codex 176, se cumplió con la norma Covenin 1 483 para galletas sin relleno, las cuales presentaron un pH de 7,65. Se obtuvo un rendimiento de 40,24 % y se estableció una buena aceptabilidad de las galletas con harina de yuca como sustituto de la harina de trigo.

En la Universidad Tecnológica del Sureste de Veracruz, Moisés Mata y María Vásquez presentaron el estudio *Caracterización de harina de yuca (Manihot esculenta) como materia prima para la elaboración de pastel*. Ellos evaluaron las características de una harina obtenida a partir de la yuca para su aplicación en la elaboración de pasteles. El objetivo era la caracterización de la harina obtenida por rallado y papilla, y su aceptabilidad en la elaboración de pasteles. Se determinó que la yuca es un tubérculo que puede utilizarse como base para la obtención de una harina alternativa a la proveniente del trigo.

Silveira y Salas-Mellado, de la Universidad Federal de Río Grande, Brasil, realizaron dos estudios enfocados en los *Efectos que tiene la sustitución de harina de chía o semillas por harina de trigo en la calidad del pan*, y la *Caracterización química de la chía (Salvia hispanica L.) para su uso en productos alimenticios*, respectivamente.

En el primer estudio determinaron que la presencia de chía en los productos provocó un aumento del contenido de omega-3, fibra y elevados niveles de aceptabilidad. En el segundo estudio se concluyó que la semilla de chía tiene un alto contenido lipídico, proteínico y de fibra, y que su gran capacidad de retención de agua puede ser útil para producir emulsificantes.

En la Universidad del Valle de Guatemala, Alvarado realizó el estudio *Caracterización de la semilla de Chan (Salvia hispanica L.) y diseño de un producto funcional que la contiene como ingrediente*. Determinó que la semilla contiene: 19 % proteína, 30 % grasa, 5 % humedad, 5 % cenizas, 20 % fibra cruda y 31 % fibra dietética. Se cuantificó una elevada cantidad de ácido graso alfa-linolénico, lo que significa una alta presencia de omega-3. La barra nutritiva fue aceptada por las pruebas sensoriales.

Vanesa Ixtaina, en la Universidad Nacional de La Plata, realizó el estudio *Caracterización de la semilla de chía (Salvia hispanica L.) obtenido mediante distintos procesos. Aplicación en tecnología de alimentos*. Se determinó un contenido de proteínas de 19-29 %, lípidos 25-32 %, fibra 27-29 % y cenizas entre 4-5 %. Se evidenció la presencia de tocoferoles como antioxidantes. En el aceite se estableció la posibilidad de ser utilizado para mejorar la cantidad de omega-6 y omega-3 en las dietas, pero debe desarrollarse métodos de conservación debido a su elevada facilidad para oxidarse.

Los autores Vázquez, Rosado, Chel y Betancur, de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Autónoma de Yucatán, publicaron el estudio *Procesamiento en seco de harina de chía (Salvia hispanica L.): Caracterización química de fibra y proteína*. Se determinó que por medio de la malla 45 se obtiene una mayor proporción de fibra cruda, en cuanto a la proteína corresponde a la malla 200. Se estableció que en la malla 100 se obtienen fracciones ricas de ambos componentes.

En la Escuela Politécnica del Litoral, Alvarado y Cornejo realizaron un estudio titulado *Obtención de harina de yuca para el desarrollo*

llo de productos dulces destinados para la alimentación de celíacos. Se determinó que el área de empaque para 500 g de producto es de 375 cm² y que utilizando un empaque de polietileno el tiempo de vida útil es de 200 días. Se concluyó, con base en las pruebas sensoriales con 30 panelistas y escala hedónica de 5 puntos, que las formulaciones con aditivo DATEM tuvieron mayor aceptación.

1.2. Justificación

La semilla de chía ha sido un alimento cultivado desde la época precolombina en ambientes tropicales y subtropicales, que se extienden desde México hasta Guatemala. Solía emplearse como alimento básico en la cultura maya y durante el tiempo de la conquista disminuyó su cosecha.

En la actualidad no se ha explotado todo el potencial de la semilla de chía en Guatemala, debido a que no se ha dado a conocer en su totalidad todos los beneficios a la salud que puede ofrecer este alimento. A pesar de que esta semilla tiene un alto valor nutricional, no ha ocurrido un auge de su cosecha y se utiliza solamente en ensaladas o en bebidas.

La yuca tiene origen en México, Centroamérica y el noroeste de Brasil. En Guatemala se cultiva la yuca principalmente en clima cálido húmedo o cálido seco. Después de su cosecha requiere de una limpieza y preparación apropiada para eliminar toxinas. Es empleada en la cocina para recetas de uso diario, así como para extraer su almidón en forma de harina o perlas.

Debido a las características de ambos alimentos y la condición de las personas con sensibilidad al gluten, surge la necesidad de desarrollar una harina sin gluten con un alto valor nutricional que pueda utilizarse en alimentos de

consumo diario, debido al alto contenido de macronutrientes, vitaminas, minerales y fibra en la chía, y de energía en la yuca, la harina compuesta es ideal como alternativa para los celíacos.

La disposición de alimentos nativos de Guatemala, como los son la semilla de chía (*Salvia hispanica*) y la yuca (*Manihot esculenta*), para la producción de harinas ocasiona un impacto social por la inclusión en el desarrollo de alimentos para celíacos, cultural respecto a la propagación de información de nutrientes que aportan estos cultivos y su historia a lo largo de las décadas, y económico para la agricultura e industria de alimentos y bebidas.

Por medio de este proyecto se desarrolla una harina sin gluten de un alto valor nutritivo, que no interfiere con la dieta de las personas celíacas, que puede ser empleada para diferentes alimentos y bebidas, ingerida por cualquier tipo de consumidor, que es de fácil acceso a su materia prima debido a que pertenece a la agricultura nacional y se puede elaborar sin la necesidad de adquirir equipos de elevada tecnología.

1.3. Determinación del problema

El alto contenido de gluten en muchos alimentos puede afectar la dieta de y disminuir la calidad de vida de las personas celíacas, razón por la cual es importante analizar el valor nutritivo de las mezclas entre las diferentes proporciones para seleccionar la que aporte el mejor valor nutricional y verificar su aceptabilidad entre consumidores.

1.3.1. Definición

La harina de semilla de chía (*Salvia hispanica*) y yuca (*Manihot esculenta*) son alternativas en el consumo de harinas procesadas para la preparación de

diversos alimentos y bebidas que serán ingeridos por personas intolerantes al gluten, debido a que carecen de esa proteína y proveen de un valor nutricional equilibrado, cuando ambas son combinadas.

1.3.2. Alcances y delimitaciones

Análisis de la harina compuesta de semilla de chía (*Salvia hispanica*) y yuca (*Manihot esculenta*) por la elevada demanda de alimentos sin gluten.

1.3.2.1. Alcances

Estudio sobre la harina compuesta de semilla de chía (*Salvia hispanica*) y yuca (*Manihot esculenta*), considerando las variables que afectan su formulación.

1.3.2.2. Delimitaciones

La escasa producción de harina de chía (*Salvia hispanica*) y yuca (*Manihot esculenta*) a nivel industrial.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Chía (*Salvia hispanica*)

El género *Salvia* es uno de los más diversos del mundo, siendo México la región con mayor presencia. Se han descrito dos tipos entre poblaciones naturales provenientes de Michoacán, México y Santa Rosa, Guatemala.

2.1.1. Información botánica

S. hispanica L. es una planta que crece a lo largo del año, de 1,3 m de altura aproximada, con tallos ramificados y vellos cortos y blancos en su superficie. La semilla tiene forma ovalada y su color varía desde el blanco, gris hasta el rojo. Según Hernández y Miranda, la planta de origen guatemalteco se caracteriza por tener más días de floración, tallos más anchos y una mayor presencia de ramas, en comparación con las de origen mexicano.

2.1.2. Cultivo

La siembra de chía es de mayo a mediados de junio, para aprovechar el verano.¹ El ciclo de cultivo y floración son sensibles a características geográficas y ambientales. No requiere de terrenos profundos para su plantación. Una mayor cantidad de siembra mejora el rendimiento de la cosecha. Una concentración media de sal afecta en un nivel intermedio el crecimiento de la planta.

¹ XINGÚ, Andrés; GONZÁLEZ, Andrés; DE LA CRUZ, Eulogio.; SANGERMAN-JARQUÍN Dora; OROZCO, Guillermo; ARRIAGA Rubí. Chía (*Salvia hispánica* L.) situación actual y tendencias futuras. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. p. 1 619.

Figura 1. **Semilla de chía (*Salvia hispanica*)**



Fuente: MONTES, Yadira. *La chía es pequeña pero grande en nutrientes.*
https://www.prensalibre.com/vida/chia-comida-semilla-ingredientes_0_1309069255/.
Consulta: 19 de marzo de 2021.

2.1.3. Origen

La semilla de chía o chan ha sido un alimento cultivado principalmente en México y Centroamérica, ambientes tropicales y subtropicales. Formó parte de la alimentación básica de las culturas maya y azteca, dado que representaba una forma de pago o tributo a los guerreros y mujeres embarazadas. Durante la conquista, su cosecha disminuyó y fue abandonada como resultado de la imposición de los nuevos cultivos españoles y adaptación de la cultura precolombina a la europea.

Actualmente se utiliza en bebidas frías como la limonada, enriquecedor de alimentos, producción de proteína hidrolizada, producción de mayonesa y su aceite se dispone como base en pinturas. Como medicamento se dispone para regular el intestino.

2.1.4. Composición química y valor nutricional

La chía es conocida por su elevado contenido de ácidos grasos, en los cuales destaca el omega-3, siendo superior en la chía en comparación con cualquier otra fuente vegetal. Presenta un gran contenido de proteínas, vitamina B, calcio, fósforo, potasio, zinc, cobre, fibra y antioxidantes.

Los antioxidantes protegen al ser humano de los radicales libres, inhiben enfermedades crónicas y reducen la oxidación lipídica en alimentos. Un mayor contenido de fibra dietética soluble aumenta la capacidad de retención de agua y tiene la capacidad de formar una masa gelatinosa, lo que aumenta la viscosidad del material gastrointestinal y mejora la digestión.

Silveira y Salas-Mellado presentaron que la relación omega-3 respecto a omega-6 es de 3,57, la cual es mucho mayor para la mayoría de los aceites vegetales y resulta en un alimento con aceites saludables para el consumidor.

Tabla I. Composición proximal y valor calorífico

Componente	Base húmeda (%)	Base seca (%)
Humedad (g/100 g)	6,2 ± 0,517	-
Cenizas (g/100 g)	4,3 ± 0,035	4,6 ± 0,035
Proteína (g/100 g)	18,3 ± 1,613	19,6 ± 1,720
Fibra (g/100 g)	22,2 ± 0,323	23,7 ± 0,424
Lípidos (g/100 g)	32,4 ± 0,214	34,4 ± 0,353
Carbohidratos (g/100 g)	16,5 ± 1,628	17,7 ± 1,465
Valor calorífico (kcal/100 g)	431,2 ± 3,123	459,9 ± 2,394

Fuente: SILVEIRA, Michele; SALAS-MELLADO, Myriam. *Chemical Characterization of chia (Salvia hispanica L.) for use in Food Products*. p. 3

2.1.5. Usos

Es utilizado en suplementos dietéticos y bebidas para disminuir la cantidad de triglicéridos, como tratamiento para el síndrome del colon irritable, para desórdenes de respuesta inmunológica y como acompañante de alimentos de tipo ensaladas preparadas. Es aplicado para el enriquecimiento nutritivo de diversos alimentos como fórmulas para bebés, productos salados y dulces.

Los antioxidantes de la semilla son extraídos para su aplicación diversa en alimentos y prolongar la vida útil de los mismos. Su aceite esencial es obtenido para emplearlo en la industria de fragancias.

2.1.5.1. Alimentación animal

La semilla de chía es dispuesta a algunos animales de corral como la gallina, lo que permite la reducción de colesterol en los huevos y ácidos grasos saturados en la carne.

2.1.6. Comercio

La demanda de chía es creciente y es liderada por Estados Unidos. Es un cultivo que tiene un importante mercado potencial a nivel nacional e internacional, según Xingú y otros autores. La demanda ha aumentado en los últimos 4 ó 5 años debido a un mayor interés por la salud y valor nutricional del consumidor, este suele localizarse en ciudades con un alto poder adquisitivo.

En los últimos años se ha presentado la semilla de chan ante el comercio y exportación con el resto del mundo, como en el año 2017 en Taiwán, utilizando medios como ferias de alimentos.

2.2. Yuca (*Manihot esculenta*)

Es un arbusto perenne conocido comúnmente como yuca o mandioca que crece principalmente en América, Asia y África, de la especie *Manihot esculenta* de la familia *Euphorbiaceae*. Está constituida por células secretoras que liberan una secreción lechosa y Heinrich Crantz fue quien estableció por primera vez su nombre científico en el año 1766, según Aristizábal y Sánchez. Su mayor productor es Nigeria. Conformó parte de la alimentación de los mayas y actualmente es uno de los alimentos más cosechados y consumidos por millones de personas alrededor del mundo.

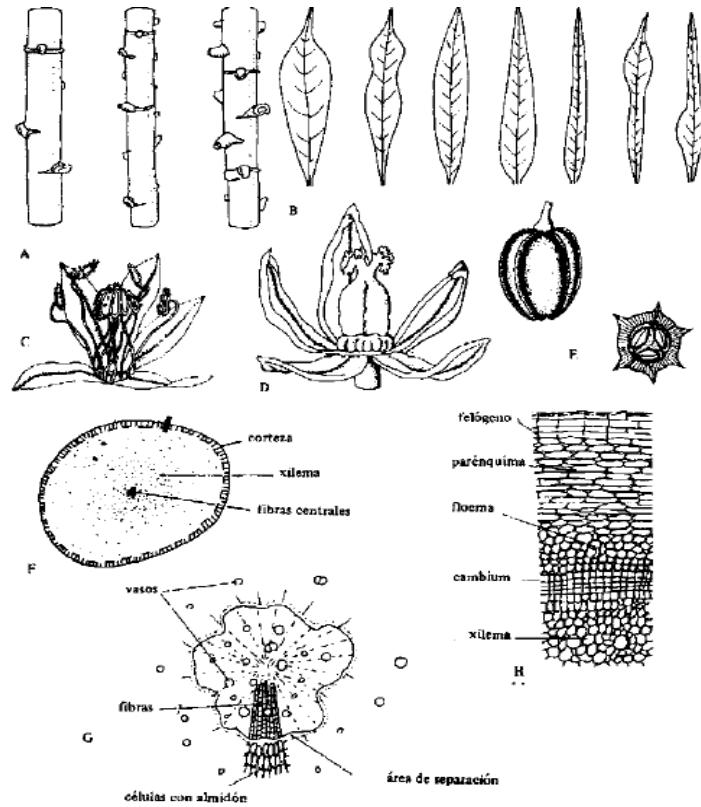
2.2.1. Información botánica

Por lo general alcanza 3 metros de alto y su raíz puede llegar a alcanzar 1 metro de largo, diámetro de 8 centímetros y un peso de 0,5 a 2,5 kilogramos. El tallo en la mayoría de casos presenta 3 ramificaciones. Se asocia el diámetro del tallo con un mayor rendimiento.

El fruto presenta una forma capsular ovalada de 1 a 1,5 centímetros de diámetro. Las hojas tienen un largo máximo de 0,15 metros. Las flores son masculinas y femeninas, con una mayor presencia de masculinas.

En la figura 2 se puede observar las diferentes partes que conforman a la yuca: a) muestra los diferentes tallos que se pueden presentar; b) diferentes tipos de hojas; c) flor estaminada; d) flor pistilada; e) fruto; f) raíz; g) fibra de la raíz, y h) estructura de la corteza.

Figura 2. **Yuca (*Manihot esculenta*)**



Fuente: LEÓN, Jorge. *Botánica de los cultivos tropicales*. p. 248.

2.2.2. Cultivo

Es cultivado en abundancia en climas tropicales. No requiere de muchos cuidados o suelos fértiles, aunque no crece en ambientes salinos. Su crecimiento inicial puede ser lento. Su siembra óptima es en una temperatura de 24 °C, humedad relativa de 72 % y precipitación anual de 1500 mm.²

² ARISTIZÁBAL, Johanna; SÁNCHEZ, Teresa. *Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca*. p. 1.

Su crecimiento es más rápido para áreas cálidas en comparación con las frías. Por debajo de los 16 °C el crecimiento es interrumpido y una elevada exposición a la luz solar no afecta negativamente su cultivo.

2.2.3. Composición química y valor nutritivo

Las raíces son una fuente importante de carbohidratos. Las hojas contienen proteínas, vitamina C, vitamina E y minerales. Aristizábal y Sánchez indican que la presencia de glucósidos cianogénicos tanto en raíces como en hojas es un factor determinante en el uso final de la yuca.

La yuca conocida normalmente como dulce hace referencia a la variedad de yuca que contiene bajos niveles de glucósidos cianogénicos, por lo que su consumo es más fácil respecto a las amargas.

2.2.4. Usos

La yuca de uso culinario hace referencia a la que se dispondrá de forma directa a su consumo, la de tipo industrial es aquella que debe ser procesada para su consumo y por último está la de doble propósito que puede ser dispuesta a cualquiera de los dos usos antes mencionados.

La yuca es preparada para alimentos funcionales. Debido a su alto contenido de carbohidratos su aplicación es factible en la producción de harinas o extracción de almidón, las cuales son libres de gluten. Su fácil digestión la hace preferible para aplacar problemas estomacales. En algunas culturas se utiliza la harina para calmar las molestias de la dermatitis o quemaduras, e inclusive como antiinflamatorio para los pacientes con problemas articulares.

2.2.4.1. Alimento para animales

Debido al alto contenido energético de la yuca, su disposición para el consumo animal también resulta importante para la industria. Su consumo puede ser por diferentes presentaciones, como lo son las hojuelas, gránulos y harina.

2.2.5. Métodos de producción

Debido a la alta demanda de la yuca, su producción puede ser clasificada en tres niveles:

- Pequeña: todo el proceso de obtención de yuca, desde su siembra hasta cosecha se basa en la disponibilidad de mano de obra.
- Mediana: se puede disponer de equipos mecanizados o mano de obra, así como terrenos cultivables más grandes.
- Grande: los terrenos dispuestos para cultivo son grandes y la labor es mecanizada.

Como resultado de su mejoramiento en productividad permite que el agricultor escale a un nivel industrial, lo que provee de un valor agregado. Esta industrialización permitiría la consolidación del cultivo en más regiones.

2.2.6. Mercado y comercialización

La yuca es un cultivo de mayor importancia para la seguridad alimentaria en regiones propensas a la desnutrición por condiciones de baja calidad en el suelo. Es el cuarto producto básico más importante a nivel mundial.³ Si se le diera

³ ARISTIZÁBAL, Johanna; SÁNCHEZ, Teresa. *Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca*. p. 13.

la importancia que requiere este cultivo para su mayor producción, provocaría la mejora económica en países en vía de desarrollo, industria agroalimentaria y una mejor calidad alimentaria de su población. Lamentablemente, el cultivo no ha captado la atención del sector industrial debido a su poca rentabilidad y baja competencia contra el maíz. Regiones en Asia, África y Brasil proveen de tecnología, plantaciones y capacitaciones a los agricultores para el desarrollo de este cultivo.

2.3. Harina

Es comúnmente el resultado del procesamiento de cereales con alto contenido de almidón a través de la molienda; sin embargo, puede ser de origen animal para un mayor consumo de proteína y se puede obtener de la pulverización de huesos. La harina de mayor consumo alrededor del mundo es la que proviene del trigo.

2.3.1. Harina compuesta

Es una harina que está conformada por más de una harina, puede ser de tipo harina de trigo diluida, en la cual hay un reemplazo de la harina de trigo en forma parcial, la harina compuesta sin trigo que puede ser con base en la harina de un tubérculo con proteína, según Luis Elías. Además, se puede incluir harina de un cereal al que se le agrega proteína y la harina conformada por cereales u otros.

Debido a las características reológicas de la harina compuesta de trigo y otra harina o la de un tubérculo y proteínas, pueden ser dispuestas para la elaboración de pan, pastas y galletas, entre otros.

2.3.2. Harina de semilla de chía (*Salvia hispanica*)

Producto obtenido de la semilla de chía, a través del secado y molienda, que puede presentar una pérdida en la cantidad de proteína y aminoácidos debido a la desnaturalización de nutrientes, ocurrida en su procesamiento.

2.3.2.1. Valor nutricional

Debe observarse la siguiente tabla:

Tabla II. Rendimiento y análisis químico proximal de la harina de chía obtenida por vía seca

Tamiz	Fracción (µm)	Rendimiento (g/kg)	Humedad (g/kg base húmeda)	Proteína cruda	Fibra cruda
45	>280	550,4	65,6	257,7	283
60	240-280	38,2	65,9	270,6	266,7
100	140-240	32,3	68,9	305,3	223,5
150	104-140	74,9	75,3	355,6	139,3
200	73-104	18,3	73,9	422,9	74,1
<200	<73	4,6	No determinado	No determinado	No determinado

Fuente: VÁZQUEZ, Alfredo; ROSADO, José; Guerrero, Luis; BETANCUR, Alex. *Procesamiento en seco de harina de chía (Salvia hispanica L.): caracterización química de fibra y proteína*. p.

121.

Según la tabla II se observa que conforme disminuye el tamaño de partícula hay una mayor presencia de proteína, y que conforme el tamaño de partícula aumenta se refleja un contenido de fibra mayor. El extracto libre de nitrógeno y contenido de grasa no presentan una diferencia significativa con base en la variación de los tamaños de partícula de la harina. Se verificó que el rendimiento

de la harina obtenida también decrece conforme se dispone de un tamaño de partícula inferior.

2.3.2.2. Procesamiento en seco

Presenta ventajas frente aquel realizado en húmedo, debido a su facilidad de procesamiento, reducción de disposición de agua y/o solventes, mayor rendimientos y nula producción de residuos. Vázquez, Rosado, Guerrero y Betancur presentaron un rendimiento cercano a 998 g/kg durante el proceso de trituración de la semilla y rendimientos mayores por medio del fraccionamiento vía seca para tamices 45 y 100.

Las globulinas tienen una mayor presencia en la fracción rica en proteína, con respecto a las prolaminas, y que tienen un elevado contenido de aminoácidos esenciales azufrados y no esenciales ácidos, además que presenta una digestibilidad in vitro limitada

2.3.3. Harina de yuca

Es el producto de la molienda y pulverización de la raíz de yuca sin cáscara previamente limpiada y secada. Por lo general se utiliza como sustituto de la harina de trigo por su nula presencia de gluten y su alto contenido de almidón, lo que permite que se pueda aplicar en la elaboración de diferentes productos alimenticios. En el caso de la yuca amarga, se deben eliminar los glucósidos cianogénicos por medio de la sumersión en agua por varios días para su posterior secado.

La yuca es un tubérculo perecedero, por lo que después de su cosecha el tiempo de vida es reducido entre uno a dos días. Su procesamiento en harina se

convierte en una herramienta factible para el mejor manejo de la cosecha y la disminución de pérdidas, como comentan Colina, Laguado y Fainete.

2.3.3.1. Características físicas y químicas de la harina de yuca

Como se observa en la tabla III, a través de los meses el potencial de hidrógeno disminuye ligeramente y prevalece una humedad baja en la harina, lo que permite una vida útil y prolongada del producto.

Tabla III. Propiedades físicas y químicas de la harina de yuca

Fecha	pH	Humedad (%) Base húmeda	Biomasa seca (%) Base húmeda	Cenizas (%) Base seca
Octubre 2014	6,42 ± 0,01	7,52 ± 0,07	92,48	2,08 ± 0,06
Noviembre 2014	6,43 ± 0,01	7,81 ± 0,09	92,20	2,17 ± 0,02
Diciembre 2014	6,41 ± 0,01	7,64 ± 0,17	92,36	2,13 ± 0,04
Enero 2015	6,12 ± 0,01	7,62 ± 0,00	92,38	2,03 ± 0,07

Fuente: COLINA, Roddy; LAGUADO, Ninoska; FANEITE, Alexis. *Evaluación de galletas dulces preparadas con harina de yuca (Manihot esculenta Crantz) deshidratada al sol como sustituto del trigo*. p. 367.

2.4. Gluten

El gluten es una proteína presente en diversos cereales como el trigo, centeno, avena, malta y cebada. No presenta un valor nutritivo alto y debido a su capacidad para retener aire y aumentar el volumen de los alimentos, se utiliza en la elaboración de panes y pasteles. La característica aglutinante permite que los

ingredientes permanezcan unidos y mezclados, mejorando la calidad del producto final.

2.4.1. Celiaquía

La enfermedad celíaca es aquella en la cual la persona que la presenta no es capaz de digerir la proteína del gluten, por lo que hay un desorden autoinmune intestinal crónico.⁴ Actualmente se sabe que cada persona puede presentar síntomas variados o atípicos, lo que puede concluir en un mal diagnóstico, más en aquellos países donde la desnutrición es frecuente y resulte fácil confundir la condición del paciente.

Se ha determinado que después de ingerir la proteína, estas son resistentes a enzimas que deberían facilitar su digestión. Este efecto dura alrededor de 20 horas, por lo que permite el tiempo suficiente para que sea dañino a la persona.⁵ Los efectos son inmediatos, provocando una respuesta inflamatoria.

Luego de varios años de estudio respecto a la enfermedad y su desencadenante, se estableció que la única forma eficaz de contrarrestar los efectos negativos es reducir la ingesta de la proteína en la dieta de por vida al valor mínimo delimitado por el *Codex Alimentarius*.

Debido a nuevos casos descubiertos con sintomatologías diferentes a las conocidas con anterioridad, se estima que aproximadamente 1 de cada 250 personas padecen de la enfermedad, por lo que debido al alto riesgo que presenta para el paciente y su frecuencia, provocan una necesidad para que la tecnología de los alimentos provea de alternativas alimenticias, que no solo sean

⁴ PARADA, Alejandra; ARAYA, Magdalena. El gluten: Su historia y efectos en la enfermedad celíaca. *Revista Médica de Chile*. p. 1 319.

⁵ *Ibíd.*

nutritivas sino que además cumplan con otros beneficios a la salud, intereses que han ido en aumento para el consumidor actual.

Para el correcto diagnóstico de esta enfermedad se requiere de un estudio del perfil clínico del paciente con base en un análisis de sangre. Sin embargo, se ha dado a conocer recientemente que existen diferentes tipos de variantes de la afección, por lo que si existen indicios de su presencia en la persona y no hay resultados clínicos que lo confirmen, se debe realizar una biopsia como última y certera instancia.

2.4.2. Harina sin gluten

Como respuesta a la necesidad de la población celíaca, la industria de la panificación ha desarrollado diferentes harinas en la elaboración de productos alimenticios como la harina de arroz, aunque la falta de gluten puede resultar en el decaimiento de las características organolépticas del mismo.

2.5. Sólidos

Un sólido es un cuerpo cuya forma y volumen son definidos. Ante un esfuerzo no se deforma, aunque si experimenta traslado o rotación. Las partículas de las cuales está integrado están organizadas en un retículo y pueden vibrar sin cambiar su posición relativa.

2.5.1. Caracterización de los sólidos

Existen diferentes pautas para clasificar sólidos a granel, dependiendo del tamaño, fluidez, abrasividad y características especiales.

2.5.1.1. Forma

La morfología de un sólido es consecuencia de la estructura molecular interna. Los cuerpos amorfos son carentes de forma definida y por lo general dependen del proceso que los generó. En el caso de partículas homogéneas y regulares, su forma puede ser evaluada en términos de esfericidad, pero aquellas provenientes de fraccionar una materia prima puede que no cumplan con una característica en particular.

2.5.1.2. Tamaño

Representa las dimensiones físicas del cuerpo, considera la longitud, altura y anchura. Este afecta su densidad aparente y por lo general esta característica se basa en un tamaño promedio por partículas.

2.5.1.3. Dureza

Es la oposición que presenta el cuerpo al rayado. Esta incrementa la abrasión del sólido hacia los contenedores que lo retengan, por lo que generalmente la dureza se mide en términos de abrasión. Frecuentemente se relaciona con la friabilidad del material o tendencia a quebrarse.

2.5.1.4. Densidad

La densidad real es aquella que es intrínseca al sólido y no considera las cavidades que se forman entre partículas. La densidad aparente es aquella que considera los espacios entre cada partícula del sólido, por lo que depende de su forma, estado de compactación, almacenaje, transporte y tiempo de reposo.

2.5.1.5. Higroscopicidad

Característica de un sólido por la cual tiende a absorber la humedad proveniente del aire que le rodea. Es importante considerar esta cualidad del material para evitar su rápida descomposición, plagas y reacciones químicas.

2.5.2. Almacenaje de sólidos

Los sólidos pueden ser almacenados a granel o en forma discreta. Se selecciona a granel si el producto es barato o se disponen grandes cantidades para su consumo inmediato. Se utiliza el método discreto si el sólido es sensible, caro o se consume con lentitud.

2.5.2.1. Granel

Puede disponerse del uso de montículos o silos para almacenar el sólido, este no debe sufrir daño ante la intemperie o por su propio peso.

2.5.2.2. Discreto

El sólido se almacena en depósitos pequeños, los cuales le protegen, cuantifican y presentan el producto al consumidor. El empaque y embalaje de la empresa son responsables en gran parte de esta etapa y puede realizarse en bolsas, cajas o tambos.

2.5.3. Separación de sólidos

En términos generales un sólido puede ser separado de otro si entre ambos existe diferencia de: tamaño, densidad, forma, actividad magnética o eléctrica.

2.5.3.1. Análisis granulométrico

Es la clasificación de sólidos por medio de tamaños de partículas evaluados con tamices. Los tamices hacen referencia a mallas o cedazos conformadas por telas de alambre por las cuales pasan las partículas y son retenidas de tener un diámetro mayor al de la malla.

El tamizado tiene la ventaja de ser un proceso de selección de partícula simple mecánica y operativamente, y que se encuentra rigurosamente estandarizado. Sirve para medir el tamaño de la partícula y para separar fases.

Para llevar a cabo el proceso de tamizado se debe disponer de una serie de tamices colocados en orden decreciente vertical, hasta colocar el fondo. Se hacen pasar las partículas con tamaños heterogéneos por el equipo por medio de vibración. Las partículas retenidas en los cedazos permiten acotar el tamaño.

La partícula tiene el tamaño comprendido en un rango del valor del tamiz anterior hasta la luz del tamiz que lo retiene. Una fase obtenida entre tamiz 12 y 16 se denominaría fase 12-16, que comprende tamaño de partícula entre 1,68 y 1,19 milímetros.

Si se divide el peso retenido en el tamiz respecto al peso total de la muestra se obtiene el porcentaje de peso de material según tamaño de partícula. Se han diseñado dos tipos de análisis de tamaño de partícula conocidos como método acumulativo y el diferencial, por medio de los cuales se puede determinar el número de partículas, factores de forma, tamaño promedio, entre otros.

Como se puede observar en la tabla IV, existen datos de conversión entre el tamaño de abertura del tamiz y unidades de medida para facilitar el manejo de

datos. Las partículas gruesas se miden en pulgadas o milímetros, las partículas finas en función de la abertura del tamiz, y las partículas muy finas en micrómetros o nanómetros, como indican McCabe, Smith y Harriet.

Tabla IV. **Conversión de malla en pulgadas, micrones y milímetros**

US Malla	Pulgadas	Micrones	Milímetros
2,5	0,3120	7925	7,925
3	0,2650	6730	6,730
3,5	0,2210	5613	5,613
4	0,1870	4760	4,760
5	0,1570	4000	4,000
6	0,1320	3360	3,360
7	0,1110	2830	2,830
8	0,0937	2380	2,380
10	0,0787	2000	2,000
12	0,0661	1680	1,680
14	0,0555	1410	1,410
16	0,0469	1190	1,190
18	0,0394	1000	1,000
20	0,0331	841	0,841
25	0,0280	707	0,707
30	0,0232	595	0,595
35	0,0197	500	0,500
40	0,0165	400	0,400
45	0,0138	354	0,354
50	0,0117	297	0,297
60	0,0098	250	0,250
70	0,0083	210	0,210
80	0,0070	177	0,177
100	0,0059	149	0,149
120	0,0049	125	0,125
140	0,0041	105	0,105
170	0,0035	88	0,088
200	0,0029	74	0,074
230	0,0024	63	0,063
270	0,0021	53	0,053

Continuación de la tabla IV.

325	0,0017	44	0,044
400	0,0015	37	0,037

Fuente: BASURTO, Lorenzo. *Venta de mallas de acero inoxidable*.
<https://taninos.tripod.com/mallas.htm>. Consulta: 21 de agosto de 2019.

2.5.4. Reducción del tamaño de partícula

Operación a través de la cual se logra hacer que partículas grandes se hagan más pequeñas y a su vez se facilita el transporte, extracción de masa y reacción química.

Los mecanismos básicos por los cuales se reduce el tamaño de partícula comprenden: prensado, golpeo, frotación, cortado, choque térmico y sónico. La selección del mecanismo depende de las características del material a reducir.

2.5.4.1. Molienda

Operación unitaria que consiste en reducir el tamaño de partícula de un sólido por medio de compresión, impacto o abrasión. Puede ser de vía seca, en la cual se obtiene un material seco, o de vía húmeda, por la que se obtiene una pulpa, ambos casos dependen del contenido de humedad de la materia prima. La selección de la vía en la molienda está sujeta a las características requeridas del producto final y de la capacidad del molino.

El equipo a utilizar para vía húmeda requiere de protección a la corrosión y la materia prima no debe reaccionar con el agua. Pueden ser utilizados para diferentes aplicaciones como humectación y dispersión.

La molienda es el paso previo a la granulometría debido a que antes de seleccionar el tamaño de partícula es necesario reducir el sólido, este a su vez delimita los rendimientos del producto requerido al aumentar el área superficial de contacto.

2.5.5. Mezclado de sólidos

A partir de la Segunda Guerra Mundial la industria se encargó de tecnificar el proceso de mezclado, siendo la industria farmacéutica la mayor beneficiada en aquel tiempo y como resultado se presentó un auge en la industria de concentrados, del cemento y las pinturas.

Mezclar consiste en repartir uno o más cuerpos dentro de otro, por medio de la agitación. En la mezcla de sólidos se consume mayor energía y representa una operación más compleja que aquella con los líquidos.

2.5.6. Secado

Operación unitaria que consiste en la remoción de agua de un material por medio de métodos no mecánicos. Por medio de este proceso se puede preservar un producto, concentrar la especie útil o reducir el peso del producto final.

Los métodos para realizar un secado pueden ser calentar o agitar un medio. En él está involucrada la transferencia de calor y masa, debido al suministro de calor necesario para el cambio de fase y la pérdida de agua del sólido al medio, respectivamente.

Los parámetros de secado como temperatura y tiempo de secado influyen en el resultado final del producto. Existen productos que son sensibles al aumento

de temperatura (termolábiles). Los productos más sensibles al cambio de temperatura son por lo general alimentos, vitaminas y aromatizantes, debido a la posible degradación o volatilización que puede ocurrir en los componentes activos.

2.5.7. Seguridad en el manejo de sólidos

El manejo de sólidos en una línea de producción puede presentar peligro a la salud como la muerte, enfermedades progresivas y degeneración teratogénica, o de tipo seguridad como riesgo a explosiones, incendios y deterioro de materiales, esto como resultado de la formación de polvos suspendidos en el aire.

La gravedad de los daños fisiológicos dependerá directamente del tiempo de exposición, tipología del individuo, toxicidad de la sustancia, concentración ambiental y vía de exposición.

Existen normas como el límite de exposición recomendado y permitido bajo las cuales debe regirse la empresa y evitar riesgos, así como realizar limpieza general meticulosa, que exista ventilación en el área de trabajo, reducción de zonas calientes o con chispas electrostáticas, evitar concentración crítica de polvillo humedecer atmósfera, trabajar con líneas de procesos húmedas y en procesos cerrados dentro de la planta se debe utilizar gases inertes inyectados.

2.6. Análisis químico proximal

Consiste en la determinación de grasa, humedad, minerales, proteínas, carbohidratos y fibra, por métodos analíticos, para establecer el nivel de calidad de los alimentos. Es una herramienta útil para definir las propiedades del producto y verificar que se cumplan los requisitos alimentarios.

2.6.1. Determinación de humedad

Se cuantifica la cantidad de humedad en la muestra por diferentes métodos. Uno de los más utilizados es por medio del secado, en el cual se utilizan los datos de peso antes y después del secado. La ventaja de este método es que permite la obtención de varias muestras de forma rápida y convencional.

2.6.2. Análisis de minerales

Las cenizas son el material inorgánico residual de la calcinación de materia orgánica. Para la determinación de cenizas primero debe realizarse una etapa de secado previa, se aconseja que el producto no libere humo y que la temperatura no supere los 500 °C.

Los elementos inorgánicos son en su mayoría metales que están en los alimentos. Si se realiza la calcinación en vía seca se pueden cuantificar cenizas totales como las solubles en agua, insolubles y solubles en ácido. Es un método más simple en comparación a la vía húmeda y no requiere de la disposición de reactivos peligrosos que pongan en riesgo al investigador.

2.6.3. Análisis de lípidos

Los lípidos son macromoléculas hidrofílicas constituyentes de los alimentos, conformadas por carbono, hidrógeno y oxígeno. En menor grado pueden estar constituidos por nitrógeno, fósforo y azufre.

Para determinar la cantidad de lípidos presentes en alimentos existen varias técnicas, entre las cuales está la extracción Soxhlet. Por medio de este método las grasas se disuelven con el solvente orgánico caliente, para ser posteriormente

separadas con la evaporación del solvente. Con el peso determinado de las grasas recuperadas dividido el peso total de la muestra se obtiene el rendimiento.

2.6.4. Cuantificación de proteínas

Las proteínas son macromoléculas constituidas por aminoácidos. Algunas veces acompañadas de elementos como azufre, cinc, hierro, cobre y fósforo. Por lo general en el análisis químico se desea determinar el contenido de proteínas totales, por lo que el método Kjeldahl es uno de los más empleados para este procedimiento.

El método Kjeldahl se basa en la cuantificación de nitrógeno total orgánico en la muestra. Comprende dos pasos:

- Transformación de material orgánico
- Conteo de amoníaco formado

Por medio de la determinación de nitrógenos y la relación promedio establecida de nitrógeno respecto a la proteína (16:100) se puede cuantificar la proteína presente en el alimento, realizando procedimientos aritméticos sencillos o algunos equipos realizan los cálculos de manera automática.

Las ventajas de este método son su aplicabilidad a varios tipos de muestras, elevada confiabilidad y aprobación a escala internacional. Las desventajas del método incluyen la liberación de humos durante la digestión de la muestra, uso de reactivos tóxicos, el tiempo prolongado de espera para obtener los resultados y mayor utilización de componentes dañinos para el medio ambiente, los cuales son más difícil de tratar.

2.6.5. Determinación de carbohidratos

Los carbohidratos son moléculas orgánicas constituidas por carbono, hidrógeno y oxígeno. El cuerpo descompone los azúcares y almidones para utilizarlos como energía.

Para la determinación de carbohidratos totales se utiliza el método de fenol-sulfúrico, el cual se basa en el conocimiento de que los hidratos de carbono son susceptibles a potenciales de hidrógeno muy bajos y temperaturas elevadas.

2.6.6. Determinación de fibra

La fibra dietética es aquella conformada por lignina y polisacáridos que no son compatibles con enzimas humanas. La cuantificación se realiza por medio de una precipitación selectiva y la determinación del peso.

El método se llama Southgate Modificado y consiste en la eliminación de carbohidratos digeribles utilizando digestión enzimática, luego los monosacáridos son cuantificados a través de la hidrolización de la fibra.

2.7. Pruebas de aceptación

La evaluación organoléptica es una disciplina antigua que surge por la necesidad de medir la calidad de productos alimenticios.⁶ Comprende la recopilación de datos respecto a la reacción o percepción de los sentidos que provoca el consumo del alimento en el consumidor.

⁶ HERNÁNDEZ, José; MIRANDA, Salvador. *Caracterización morfológica de la chíá. Revista Fitotécnica Mexicana.* p. 105.

Las ventajas de la aplicación de este procedimiento en alimentos son la determinación de aceptabilidad del producto por parte del consumidor, la posibilidad de mejorar el producto y la relativa facilidad que conlleva su aplicación.

2.7.1. Percepción sensorial

Es la habilidad que tiene cada persona para asignar una información percibida y categorizarla. La forma en que una persona categoriza la información conlleva una secuencia que va desde la vista a olor, tacto, sabor y sonido. El consumidor establece su opinión provocada por la primera impresión, cualidad y por último la escala de la cualidad. El propósito de la realización de una prueba sensorial radica en:

- Realizar mejoramiento en la producción.
- Evaluar la calidad de la producción de un alimento en cada una de sus etapas.
- Observación de cambios en el alimento a largo plazo.
- Obtener información sobre la aceptabilidad del alimento entre los consumidores.
- Definir tiempo de anaquel del producto.

2.7.1.1. Los sentidos

Son los receptores en el cuerpo que permiten recopilar información externa y permiten percibir el mundo, pueden ser de tipo físicos (tacto, vista, audición) o de tipo químicos (olfato y gusto). El sistema nervioso recopila la información y la procesa.

2.7.2. Panel

Grupo de personas o jueces que evalúan el alimento y con base en la escala hedónica van a brindar su opinión de aceptación o rechazo respecto al producto. Los panelistas pueden ser entrenados, parcialmente entrenados o no entrenados.

Los panelistas entrenados o parcialmente entrenados son requeridos cuando la finalidad de la prueba es determinar la calidad o mejorar las propiedades de un producto. Los panelistas no entrenados son requeridos cuando el objetivo de la prueba es determinar la impresión del alimento.

Para evitar interferencias sensoriales se le requiere al panelista que:

- No consuma alimentos o bebidas fuertes, como café, previo a la realización de la prueba.
- No haber consumido demasiado alimento o no haber comido por mucho tiempo antes de la prueba.
- No haber fumado recientemente previo a la prueba.
- Disponer de buena actitud.

Para la realización de la prueba se debe disponer de un lugar fresco, tranquilo, limpio, con buena iluminación y con ventilación. Las características del lugar deben ser específicas para que los sentidos de los jueces no estén sobresaturados de información.

La muestra no debe tener temperaturas muy elevadas o bajas, debe ser específica al tipo de alimento que se pruebe para de esta forma evitar que el panelista se pueda lastimar o que las características del producto sean diferentes

a las de su consumo normal. De ser panelistas parcialmente o no entrenados se recomienda no superar las 5 muestras para evitar la interferencia de los sentidos y resultados que no sean certeros.

Las pruebas sensoriales se dividen en tres: discriminativas, descriptivas y afectivas. Las pruebas de tipo afectivas se basan en la aceptación del producto por parte del consumidor, como por ejemplo la escala hedónica. Las pruebas de tipo discriminativas comparan cualidades del alimento, como por ejemplo la suavidad del alimento al paladar del panelista y las de tipo descriptivas permiten que el consumidor marque una escala de atributos para cada sentido.

2.7.2.1. Escala hedónica

Consiste en solicitar a los jueces que den su opinión sobre el grado de satisfacción que tienen respecto a un producto.⁷

Las ventajas de este método son: mayor facilidad al panelista para establecer y comprender la escala, el procedimiento es simple y permite obtener bastante información respecto al producto.

Para este tipo de prueba no se requiere que el panelista sea entrenado. La evolución puede ser de tipo verbal, en donde el panelista brinda su opinión del alimento desde un grado de aceptación nulo hasta uno elevado, o de tipo gráfico, que presenta mayor facilidad de relación entre la reacción del panelista y la escala de la prueba.

⁷ HERNÁNDEZ, José; MIRANDA, Salvador. *Caracterización morfológica de la chía*. Revista *Fitotécnica Mexicana*. p. 106.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables

VARIABLES involucradas en la producción, evaluación sensorial y la mezcla de harina de yuca y harina de semilla de chía, clasificadas como: factores perturbadores de diseño, factor potencial de diseño, independientes y dependientes.

Tabla V. Definición de las variables de la evaluación nutricional

Variable	Factores perturbadores de diseño		Factor potencial de diseño	
	Controlables	No controlables	Variable	Constante
Cantidad de harina de yuca	x			x
Cantidad de harina de semilla de chía	x			x
Tamaño de partícula	x			x
Cantidad de proteína		x	x	
Cantidad de fibra cruda		x	x	
Cantidad de carbohidratos		x	x	
Cantidad de extracto etéreo		x	x	
Cantidad de minerales		x	x	

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Definición operacional para la evaluación sensorial**

Variable	Factores perturbadores de diseño		Factor potencial de diseño	
	Controlables	No controlables	Variable	Controlables
Escala hedónica	x		X	

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Clasificación de las variables como dependientes o independientes**

Variable	Tipo de variable	
	Independiente	Dependiente
Tamaño de partícula	x	
Cantidad de harina de yuca	x	
Cantidad de harina de semilla de chí	x	
Cantidad de proteína en la mezcla		x
Cantidad de fibra cruda alimentaria en la mezcla		x
Cantidad de carbohidratos en la mezcla		x
Prueba sensorial		x

Fuente: elaboración propia.

3.2. **Delimitación del campo de estudio**

Se realizó el análisis granulométrico en el Laboratorio DSG de análisis industrial de alimentos en Guatemala y se caracterizó el valor nutricional en el

Laboratorio de Bromatología del Centro de Investigaciones de Alimentos en la Facultad de Veterinaria del *campus* central de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

La investigación corresponde al área de alimentos, siendo el proceso el desarrollo de la formulación de una harina libre de gluten compuesta de harina de semilla de chía (*Salvia hispanica*) y harina de yuca (*Manihot esculenta*) con base en el tamaño de partícula a nivel laboratorio.

3.3. Recursos humanos disponibles

El estudio se realizó por la investigadora: María Alexandra Marckwordt Aguilar y la asesora Ingeniera Química Hilda Palma de Martini.

3.4. Recursos materiales disponibles

- Materia prima:
 - Semilla de chía (*Salvia hispanica*)
 - Yuca (*Manihot esculenta*)

- Equipo de laboratorio:
 - Tamizadora
 - Balanza analítica digital BOECO de 120 V
 - Espátula
 - Equipo de Kjeldahl
 - Aparato fibertec
 - Matraz de fondo redondo

- Extractor de solventes VELP
 - Mufla
 - Vaso de precipitados de 50 mL
 - Vaso de precipitados de 100 mL
 - Balón aforado 250 mL
 - Horno de convección forzada
 - Probeta 100 mL
 - Termómetro
 - Crisol
 - Erlenmeyer de 200 mL
 - Guantes
 - Papel filtro
 - Tamiz de malla 120 y 60
 - Molino de cuchillas de 240 V
 - Vaso de precipitados de VELP
 - Dedales de celulosa
 - Tubos de VELP
 - Digestor de proteína
- Materia reactiva:
 - Determinación de proteínas:
 - Ácido sulfúrico 98 %
 - Hidróxido de sodio 40 %
 - Solución de ácido clorhídrico
 - Sulfato de cobre pentahidratado
 - Rojo de metilo
 - Pastilla de Kendall

- Determinación de fibra cruda:
 - Etanol 95 %
 - Solución de glucosa
 - Ácido sulfúrico 98 %
 - Hidróxido de sodio

- Determinación de extracto etéreo:
 - Éter de petróleo

- Laboratorios:
 - Laboratorio de Soluciones en Calidad e Inocuidad para la Industria Alimenticia DSG.
 - Laboratorio de Bromatología, Escuela de Zootecnia, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad de San Carlos de Guatemala.

3.5. Técnica cuantitativa

Es importante la información de los siguientes incisos:

3.5.1. Obtención de la harina de semilla de chía (*Salvia hispanica*)

Para elaborar la harina se procedió a obtener la semilla de chía (*Salvia hispanica*), lavarla para luego ser secada en un secador de bandejas a 60 °C por

24 horas, y finalizar con la molienda y tamizado de la semilla por un tamiz de malla 120 y 60.

3.5.2. Obtención de la harina de yuca (*Manihot esculenta*)

Para hacer la harina, primero se obtuvo la yuca (*Manihot esculenta*) y se lavó con agua a temperatura ambiente, fue retirada la cáscara y cortada. Se secó la materia en un secador de bandejas a 60 °C por 24 horas. Para finalizar, se redujo el tamaño de partícula en un molino y se tamizó con mallas 120 y 60.

3.5.3. Preparación de harina compuesta

Como se observa en la siguiente tabla, se llevaron a cabo 3 diferentes proporciones utilizando tamaños de partícula mayor a 0,250 mm para la malla 60 y entre 0,250 a 0,125 mm para la malla 120.

Tabla VIII. **Proporciones de la harina compuesta**

Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3
HSC 0 % HY 100 %	HSC 15 % HY 85 %	HSC 30 % HY 70 %

Fuente: elaboración propia.

3.5.4. Determinación del valor nutricional de la harina compuesta

La determinación de carbohidratos, proteínas y fibra cruda alimentaria se realizó en el Laboratorio de Bromatología, Escuela de Zootecnia, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad de San Carlos de Guatemala.

El tamaño de partícula fue seleccionado en la tamizadora que se encuentra en el Laboratorio de Soluciones en Calidad e Inocuidad para la Industria Alimenticia DSG.

En la cuantificación de materia seca parcial se dispuso de 400 gramos de muestra fresca cortada. La muestra se colocó en un horno de bandejas a 60 °C por 24 horas. Por último, se pesó la materia remanente. Se dispuso de la norma AOAC 925.04 para realizar esta prueba.

Para determinar la materia seca total se utilizaron entre 3 y 5 gramos de muestra molida y se secó en un horno de bandejas a 105 °C por 24 horas. Por último, se pesó la materia remanente. Se dispuso de la norma AOAC 930.15 para realizar esta prueba.

Para la determinación de proteínas, con base en la norma AOAC 976.05, se preparó 1 gramo de la muestra y se envolvió en papel sin nitrógeno para ser colocado en un tubo de Kendall con 15 mL de ácido sulfúrico al 98 %, junto con una pastilla de Kendall. El tubo se calentó en un digestor de proteína y luego se colocó en un equipo de análisis de proteína.

Para la determinación del extracto etéreo se pesaron 2 gramos de la muestra en un pedazo de papel mayordomo blanco, y se colocó en un dedal de celulosa. Se pesó un vaso de precipitados de VELP y se preparó el equipo de VELP utilizando éter de petróleo como solvente, esto según la norma Bateman 9.110.

Para la cuantificación de fibra cruda alimentaria, con base en la norma AOAC 962.09, se utilizó la muestra remanente del extracto etéreo y se colocó en una bolsa de polietileno sellada. La bolsa se dispuso en un analizador de fibra

utilizando ácido sulfúrico 98 %, agua destilada e hidróxido de sodio. El remanente se incineró en una mufla a 600 °C por dos horas. Por último, se pesó la muestra en una balanza analítica.

Para determinar las cenizas o minerales totales de cada muestra, con base en la norma AOAC 942.05, se pesaron entre 3 a 5 gramos de muestra en un crisol para ser llevado a incinerar a 600 °C en una mufla por 2 horas. Se dejó enfriar por 10 minutos y se determinó el peso. Para la determinación de carbohidratos se siguió el método Bateman 10.200 por el cual se realizan cálculos matemáticos con los datos obtenidos anteriormente.

3.5.5. Caracterización de la aceptación del producto dulce elaborado con la harina compuesta de mayor valor nutricional

Este procedimiento se llevó a cabo por medio de la elaboración de un producto dulce utilizando la harina compuesta con mayor valor nutricional. Se dio a probar a una población variada y se recolectaron los datos de aceptación del producto.

3.6. Recolección y ordenamiento de la información

En el presente estudio de investigación se recolectaron y ordenaron los datos obtenidos en la cuantificación de porcentaje de proteínas, carbohidratos, extracto etéreo, minerales totales y fibra cruda alimentaria presentes en las muestras, así como las pruebas de aceptación del producto dulce con la harina compuesta de mayor valor nutricional a un grupo poblacional seleccionado de 31 panelistas.

3.7. Tabulación y ordenamiento de la información

Es importante tener en cuenta las siguientes tablas:

Tabla IX. **Granulometría de la harina de yuca (*Manihot esculenta*)**

Tamiz	Material retenido (g)
60	
120	
Fondo	
Total	

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Granulometría de la harina de semilla de chía (*Salvia hispanica*)**

Tamiz	Material retenido (g)
60	
120	
Fondo	
Total	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Humedad presente en las muestras**

Tamaño de partícula	Resultado (%)		
	Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3
Tamiz 60			
Tamiz 120			

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Materia seca total presente en las muestras**

Tamaño de partícula	Resultado (%)		
	Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3
Tamiz 60			
Tamiz 120			

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. **Extracto etéreo presente en las muestras**

Tamaño de partícula	Resultado (%)		
	Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3
Tamiz 60			
Tamiz 120			

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Fibra cruda presente en las muestras**

Tamaño de partícula	Resultado (%)		
	Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3
Tamiz 60			
Tamiz 120			

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Proteína presente en las muestras**

Tamaño de partícula	Resultado (%)		
	Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3
Tamiz 60			
Tamiz 120			

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Minerales presentes en las muestras**

Tamaño de partícula	Resultado (%)		
	Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3
Tamiz 60			
Tamiz 120			

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Carbohidratos presentes en las muestras**

	Resultado (%)		
	Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3
Tamiz 60			
Tamiz 120			

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Recolección de datos respecto al nivel de aceptación**

Evaluación organoléptica del producto dulce con harina de yuca (<i>Manihot esculenta</i>) y harina de semilla de chía (<i>Salvia hispanica</i>)		
Nombre:		
Fecha:		
Se presenta una muestra. Por favor, pruébela y seleccione con una X la descripción que amerita la muestra respecto al sabor		
Descripción	Número	Muestra
Me disgusta mucho	1	
Me disgusta	2	
Me disgusta ligeramente	3	
Me es indiferente	4	
Me gusta ligeramente	5	
Me gusta	6	
Me gusta mucho	7	

Fuente: elaboración propia.

3.8. Análisis estadístico

Determinación de la confiabilidad:

$$Z = Nc + \frac{\alpha}{2} \text{ (Ecuación 1)}$$

Donde:

Z: confiabilidad

Nc: intervalo de confianza

α : intervalo de rechazo

Calculando la confiabilidad:

$$Z = 0,95 + \frac{0,05}{2} = 0,975$$

Se utilizó un nivel de confianza del 95 % y se consideró un error del 25 % en los resultados. Se estimó un 75 % de aceptación de los datos.

Determinación del número de muestras:

$$N = \frac{Z^2 * P * Q}{E^2} \text{ (Ecuación 2)}$$

Donde:

N: número de muestras

Z: confiabilidad

P: probabilidad de éxito

Q: probabilidad de fracaso

E: error

Determinando el número de muestras:

$$N = \frac{0,975^2 * 0,75 * 0,25}{0,25^2} = 2,85 \cong 3$$

Análisis de varianza:

Se realizaron pruebas nutricionales y de aceptación a 6 muestras diferentes de harina compuesta, el análisis estadístico se realizó por medio de análisis de varianza (ANOVA), en el cual se tomaron los datos de las medias para aceptar o rechazar la hipótesis. Para determinar si la hipótesis planteada era aceptada o rechazada, los resultados se compararon con la distribución de Fisher, utilizando el nivel de confianza de 95 %:

- Si $F > F$ crítica, se acepta la hipótesis alternativa
- Si $F < F$ crítica, se acepta la hipótesis nula

Tabla XIX. Experimento de dos factores

A	B			Total	Media
	Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3		
Malla 60	y(1,1,1)	y(1,2,1)	y(1,3,1)	Y1..	$\bar{y}1..$
	y(1,1,2)	y(1,2,2)	y(1,3,2)		
	y(1,1,3)	y(1,2,3)	y(1,3,3)		
Malla 120	y(2,1,1)	y(2,2,1)	y(2,3,1)	Y2..	$\bar{y}2..$
	y(2,1,2)	y(2,2,2)	y(2,3,2)		
	y(2,1,3)	y(2,2,3)	y(2,3,3)		
Total	Y.1.	Y.2.	Y.3.	Y...	
Media	$\bar{y}.1.$	$\bar{y}.2.$	$\bar{y}.3.$		$\bar{y}...$

Fuente: RAYMOND, Walpole. *Probabilidad y estadística para ingeniería*. p. 565.

Tabla XX. Varianza en un experimento de dos factores

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	f calculada
A	SCA	a-1	$s_1^2 = \frac{SCA}{a-1}$	s_1^2/s^2
B	SCB	b-1	$s_2^2 = \frac{SCB}{b-1}$	s_2^2/s^2
AB	SC(AB)	(a-1)(b-1)	$s_3^2 = \frac{SC(AB)}{(a-1)(b-1)}$	s_3^2/s^2
Error	SCE	ab(n-1)	$s^2 = \frac{SCE}{ab(n-1)}$	
Total	SCT	abn-1		

Fuente: RAYMOND, Walpole. *Probabilidad y estadística para ingeniería*. p. 569.

Determinación de la suma de cuadrados:

$$SCT = SCA + SCB + SC(AB) + SCE \text{ (Ecuación 3)}$$

$$SCA = bn \sum_{i=1}^a (\bar{Y}_{i..} - \bar{Y} \dots)^2 \text{ (Ecuación 4)}$$

$$SCB = an \sum_{j=1}^b (\bar{Y} \cdot j - \bar{Y} \dots)^2 \text{ (Ecuación 5)}$$

$$SC(AB) = n \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b (\bar{Y}_{ij.} - \bar{Y}_{i..} - \bar{Y} \cdot j + \bar{Y} \dots)^2 \text{ (Ecuación 6)}$$

$$SCE = n \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n (Y_{ijk} - \bar{Y}_{ij.})^2 \text{ (Ecuación 7)}$$

Donde:

$Y_{i..}$: suma de las observaciones para el i-ésimo nivel del factor A

$Y \cdot j$: suma de las observaciones para el j-ésimo nivel del factor B

$Y \dots$: suma de todas las abn observaciones

A: número de malla

B: proporción de la mezcla

\bar{Y}_i ..: media de las observaciones para el i-ésimo nivel del factor A

\bar{Y}_j ..: media de las observaciones para el j-ésimo nivel del factor B

\bar{Y} ...: media de todas las abn observaciones

SCA: suma de cuadrados para los efectos principales de A

SCB: suma de cuadrados para los efectos principales de B

SC(AB): suma de cuadrados de la interacción para A y B

SCE: suma de los cuadrados del error

n: número de tratamientos

3.9. Plan de análisis de los resultados

Consta de los métodos, modelos y programas utilizados para el manejo de los datos recopilados acerca del valor nutricional, tamaño de partícula, aceptación y caracterización de la harina compuesta.

3.9.1. Métodos y modelos de los datos según tipo de variables

Se utilizó un análisis de varianza (ANOVA) con confiabilidad del 95 % para analizar los resultados, los cuales son de tipo cuantitativo. Para presentar los resultados de las pruebas de aceptación se utilizó diagrama circular.

3.9.2. Programas a utilizar para el análisis de datos

- Microsoft Word 2016
- Microsoft Excel 2016

4. RESULTADOS

Los resultados se presentan en las siguientes tablas:

Tabla XXI. **Granulometría de la harina de yuca (*Manihot esculenta*)**

Tamiz	Material retenido (kg)
60	0,643
120	0,193
Fondo	0,590
Total	1,426

Fuente: elaboración propia, con datos del laboratorio DSG de análisis industrial de alimentos en Guatemala.

Tabla XXII. **Granulometría de la harina de semilla de chía (*Salvia hispanica*)**

Tamiz	Material retenido (kg)
60	0,363
120	0,037
Fondo	-
Total	0,400

Fuente: elaboración propia, con datos del laboratorio DSG de análisis industrial de alimentos en Guatemala.

Tabla XXIII. **Humedad presente en las muestras**

Tamaño de partícula	Resultado (%)		
	Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3
Tamiz 60	12,78	11,36	11,96
Tamiz 120	14,66	11,71	11,53

Fuente: elaboración propia, con información del Laboratorio de Bromatología, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, USAC.

Tabla XXIV. **Materia seca total presente en las muestras**

Tamaño de partícula	Resultado (%)		
	Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3
Tamiz 60	87,22	88,64	88,04
Tamiz 120	85,34	88,29	88,47

Fuente: elaboración propia, con información del Laboratorio de Bromatología, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, USAC.

Tabla XXV. **Extracto etéreo presente en las muestras**

Tamaño de partícula	Resultado (%)		
	Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3
Tamiz 60	0,19	5,31	9,84
Tamiz 120	0,23	6,37	11,34

Fuente: elaboración propia, con información del Laboratorio de Bromatología, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, USAC.

Tabla XXVI. **Fibra cruda presente en las muestras**

Tamaño de partícula	Resultado (%)		
	Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3
Tamiz 60	2,61	5,91	8,78
Tamiz 120	2,35	1,53	6,19

Fuente: elaboración propia, con información del Laboratorio de Bromatología, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, USAC.

Tabla XXVII. **Proteína presente en las muestras**

Tamaño de partícula	Resultado (%)		
	Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3
Tamiz 60	3,46	6,10	10,16
Tamiz 120	3,54	7,17	10,37

Fuente: elaboración propia, con información del Laboratorio de Bromatología, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, USAC.

Tabla XXVIII. **Minerales presentes en las muestras**

Tamaño de partícula	Resultado (%)		
	Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3
Tamiz 60	2,89	3,40	3,37
Tamiz 120	2,96	3,32	3,31

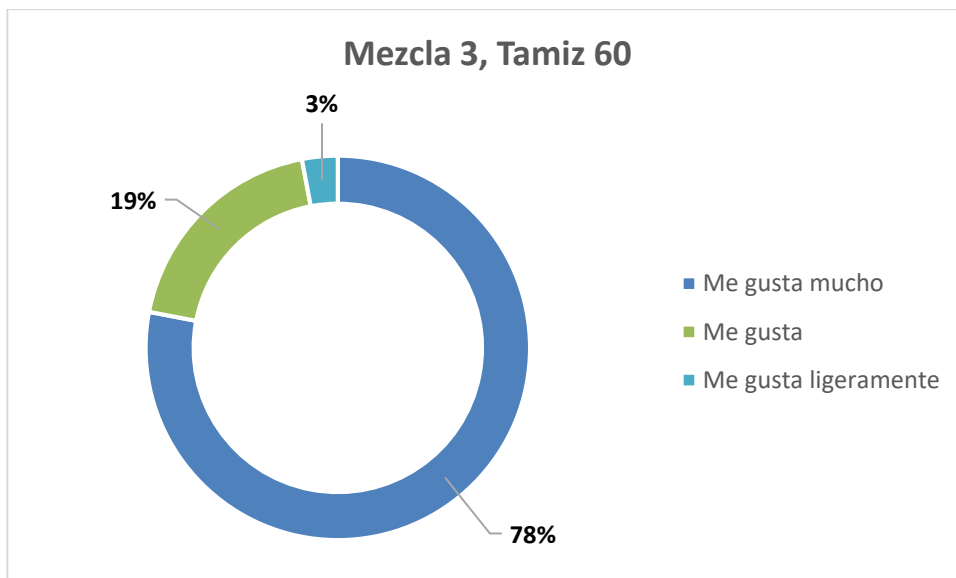
Fuente: elaboración propia, con información del Laboratorio de Bromatología, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, USAC.

Tabla XXIX. **Carbohidratos presentes en las muestras**

Tamaño de partícula	Resultado (%)		
	Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3
Tamiz 60	89,85	76,62	63,50
Tamiz 120	89,00	79,18	64,73

Fuente: elaboración propia, con datos del Laboratorio de Bromatología, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, USAC.

Figura 3. **Prueba hedónica de la muestra de mayor valor nutricional**



Fuente: elaboración propia.

5. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

En el presente estudio de investigación se realizó la formulación de una harina compuesta por harina de yuca y harina de chíá, evaluando su valor nutricional y aceptabilidad para la elaboración de productos de panificación sin gluten apta para personas celíacas.

Se seleccionaron las harinas de yuca y chíá como materias primas debido a su facilidad de producción a nivel nacional, alto consumo a nivel mundial y por las características nutricionales propias de estos alimentos. El Dr. Luis G. Elías mencionó que la combinación de un tubérculo y una proteína suplementaria obedece a una mejora en la tecnología de harinas para adicionar valor nutricional a los alimentos de mayor consumo en el mundo, supliendo los nutrientes escasos en pocas proporciones sin afectar las propiedades del alimento final.

A partir de las variantes en el tamaño de partícula y diferentes proporciones de las harinas en la mezcla total se obtuvieron seis muestras, a las cuales se les realizó un análisis químico proximal para cuantificar sus nutrientes y lograr, de esta manera, identificar aquella muestra que cumpla de mejor forma con los requerimientos nutricionales que dicta el Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá.

Los carbohidratos son biomoléculas necesarias para el almacenamiento y consumo de energía en un ser vivo, por lo general se encuentran en una gran cantidad de alimentos disponibles en el mercado y ante su consumo se debe constatar que la persona no ingiera de más o menos para evitar bajas en la salud. Para una dieta apropiada de 2 000 kilocalorías, en una persona de proporciones

promedio, una harina debe contener alrededor de 70 % de carbohidratos y 15 % de proteínas.

La determinación de carbohidratos o extracto libre de nitrógeno se fundamenta en la reacción entre sulfato cuproso con azúcar reductor, en un pH elevado, para determinar los azúcares totales y cuantificarlos respecto al macronutriente.

La yuca comprende un alto contenido de carbohidratos, más de los que podría requerir el consumidor, y la chía presenta una disminución de rendimiento, muy por debajo de lo necesario al día, por lo que al mezclarse en ciertas proporciones permite un equilibrio del macronutriente, como es observable en los resultados del análisis nutricional. Para el tamiz 60 la presencia de carbohidratos es de 89,85 %, 76,62 % y 63,50 % para 100:0, 85:15 y 70:30, respectivamente. Para el tamiz 120 la presencia de carbohidratos es de 98,00 %, 79,18 % y 64,73 % para 100:0, 85:15 y 70:30, respectivamente.

Se observa una mayor cantidad de carbohidratos conforme aumenta el porcentaje de yuca en la harina debido a que este tubérculo está conformado por almidón, puesto que es una combinación de dos tipos de polímeros de glucosa, es una fuente rica en hidratos de carbono.

La chía presenta un alto contenido de ácidos grasos alfa-linolénico, mucho mayor al que podría presentar la yuca, lo cual se traduce en omega 3, omega 6 y omega 9. Las grasas insaturadas son saludables para el consumo humano porque permiten la disminución de las grasas saturadas en la sangre. Para el tamiz 60 la presencia de extracto etéreo es de 0,19 %, 5,31 % y 9,84 % para 100:0, 85:15 y 70:30, respectivamente. Para el tamiz 120 la presencia de extracto

etéreo es de 0,23 %, 6,37 % y 11,34 % para 100:0, 85:15 y 70:30, respectivamente.

La semilla de chía tiene un alto contenido de fibra en comparación con otras semillas, por lo que en conjunto con la yuca se formula una harina compuesta de alto valor en fibra cruda alimentaria. Para el tamiz 60 la presencia de fibra es de 2,31 %, 5,91 % y 8,78 % para 100:0, 85:15 y 70:30, respectivamente. Para el tamiz 120 la presencia de fibra es de 2,65 %, 1,53 % y 6,19 % para 100:0, 85:15 y 70:30, respectivamente.

La proteína es una sustancia química que realiza el trabajo de formar membranas en las células vivas, su principal objetivo es el de permitir el correcto funcionamiento del metabolismo. El proceso se llevó a cabo por medio de una simulación de la digestión humana utilizando ácido sulfúrico caliente para obtener amonio y recolectarlo. Para el tamiz 60 la presencia de proteína es de 3,46 %, 6,10 % y 10,16 % para 100:0, 85:15 y 70:30, respectivamente. Para el tamiz 120 la presencia de proteína es de 3,54 %, 7,17 % y 10,37 % para 100:0, 85:15 y 70:30, respectivamente.

La chía se compone de proteínas de alto valor biológico respecto a otros alimentos de origen vegetal, por ello al combinarse con un alimento como la yuca refuerza el contenido de los aminoácidos esenciales y la composición de una proteína completa en el producto final. Se observa que al aumentar el porcentaje de chía en la harina hay un incremento en el porcentaje de proteína.

Las cenizas en un alimento contemplan todo aquel material que no es orgánico. Es la cantidad de minerales totales presentes y reúne al sodio, calcio, potasio, fósforo y aquellos necesarios para una correcta alimentación. Su valor delimita la calidad del producto final, ya que una mayor o menor presencia de

minerales puede afectar las características organolépticas del alimento y la vida de anaquel. Debido a que la presencia de ciertos minerales puede afectar el crecimiento bacteriano y su proceso de elaboración, muchas de las propiedades fisicoquímicas de los alimentos dependen del contenido de minerales.

Se observa que el porcentaje de minerales totales aumenta a partir de un incremento en la cantidad de harina de chíá, esto significa que la semilla de chíá contiene una mayor cantidad de minerales que la yuca. Para el tamiz 60 la presencia de minerales es de 2,89 %, 3,40 % y 3,37 % para 100:0, 85:15 y 70:30, respectivamente. Para el tamiz 120 la presencia de proteína es de 2,96 %, 3,32 % y 3,31 % para 100:0, 85:15 y 70:30, respectivamente.

Con base en el análisis estadístico ANOVA, a un grado de significancia del 95 %, se observó que la variabilidad del tamaño de partícula entre los tamices 60 y 120 no afecta significativamente el valor nutricional de la harina compuesta, por lo que al momento de producirlo se debería tomar en consideración otros factores como el costo y rendimiento de las harinas para seleccionar un tamaño de partícula fijo entre ambas mallas.

En la evaluación estadística ANOVA de las diferencias entre las tres proporciones se determinó que, a un grado de significancia del 95 %, el extracto etéreo, proteína, minerales y carbohidratos, sí varían significativamente respecto al contenido de chíá en la harina. Esto indica que un alto contenido de chíá en la harina compuesta refuerza el valor nutricional de la harina de yuca.

Se observó en todas las muestras que, al aumentar el porcentaje de harina de semilla de chíá, a su vez se incrementa el valor nutricional de la harina combinada. Debido a que el perfil nutricional de la semilla, en comparación con el del tubérculo, presenta porcentajes similares entre los macronutrientes, la

semilla de chía es la opción ideal para mejorar las calidades de una harina y conformar aquella denominada harina compuesta.

La harina obtenida de un tubérculo utilizada de manera aislada presenta deficiencia en macronutrientes, aparte de los carbohidratos, la semilla de chía utilizada sin combinar no presenta la relación entre macronutrientes apropiada para una alimentación balanceada, por ello es importante la mezcla.

Antes de realizar la prueba hedónica se analizó la muestra de mayor contenido nutricional para que los panelistas dieran su opinión respecto a ella. Se seleccionó la muestra 3 del tamiz 60, que siendo aquella con mayor porcentaje de chía, presenta una cantidad de carbohidratos del 63,50 % y proteínas del 10,16 %, valores que se aproximan a los requeridos, mencionados por el INCAP.

El tamiz 60 resulta de mayor utilidad para su selección debido al alto rendimiento de la harina, respecto del tamiz 120, lo cual podría traducirse en mayor facilidad de producción e inclusive menor costo.

La prueba hedónica se realizó con 31 panelistas no entrenados en las instalaciones del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social, tanto médicos como pacientes del área de geriatría. El producto a probar estaba constituido por una galleta de naranja con ingredientes adicionales que no contenían gluten, la cual fue aprobada por todas las personas. 78 % de las personas indicaron que les gustó mucho, a 19 % personas les gustó y al 3 % les gustó ligeramente.

Esta harina provee de una base nutricional para productos de panificación cuando, por lo general, otras harinas se enfocan solo en las características organolépticas y económicas de ellas. No se requiere de un proceso altamente complejo para su elaboración y se brinda a los intolerantes al gluten un producto

que no solo es consumible para ellos, sino que tiene un alto valor nutricional para cualquier consumidor.

En las aplicaciones de la harina se observa que, para productos secos como galletas, la harina indicada en las recetas normales no es suficiente y se requiere más harina compuesta, por ello debe igualarse en masa la cantidad de productos líquidos con la de productos secos.

CONCLUSIONES

1. La mezcla compuesta por 70 % yuca y 30 % chíá es la de mayor valor nutricional, según su análisis químico proximal.
2. El tamiz 60 presenta un mayor rendimiento en la obtención de las harinas de yuca y chíá.
3. La mezcla fue aprobada por todos los panelistas, con un 78 % de votos a favor de me gusta mucho, 19 % respecto a me gusta y 3 % me gusta ligeramente, según la escala hedónica.
4. El porcentaje de proteína, extracto etéreo, carbohidratos y minerales aumenta conforme se agrega más chíá a la mezcla total.
5. El tamaño de partícula según los tamices 60 y 120 no afecta significativamente el valor nutricional de la mezcla final.

RECOMENDACIONES

1. Efectuar un estudio de las curvas de secado de la semilla de chía.
2. Realizar un estudio del balance de masa involucrado en la obtención de la harina compuesta de semilla de chía y yuca.
3. Diseñar una línea de producción para la obtención de harina compuesta de semilla de chía y yuca.
4. Realizar un análisis químico proximal de los productos de panificación utilizando la harina compuesta de semilla de chía y yuca, para verificar si existe un cambio debido al horneado.
5. Realizar un análisis de la viabilidad para escalar el proceso de nivel laboratorio a industrial.
6. Cuantificar el tiempo de vida útil de la harina compuesta.
7. Evaluar si es factible realizar postres húmedos con la harina compuesta, debido al efecto de la presencia de gluten en la estructura y volumen final de los alimentos.

BIBLIOGRAFÍA

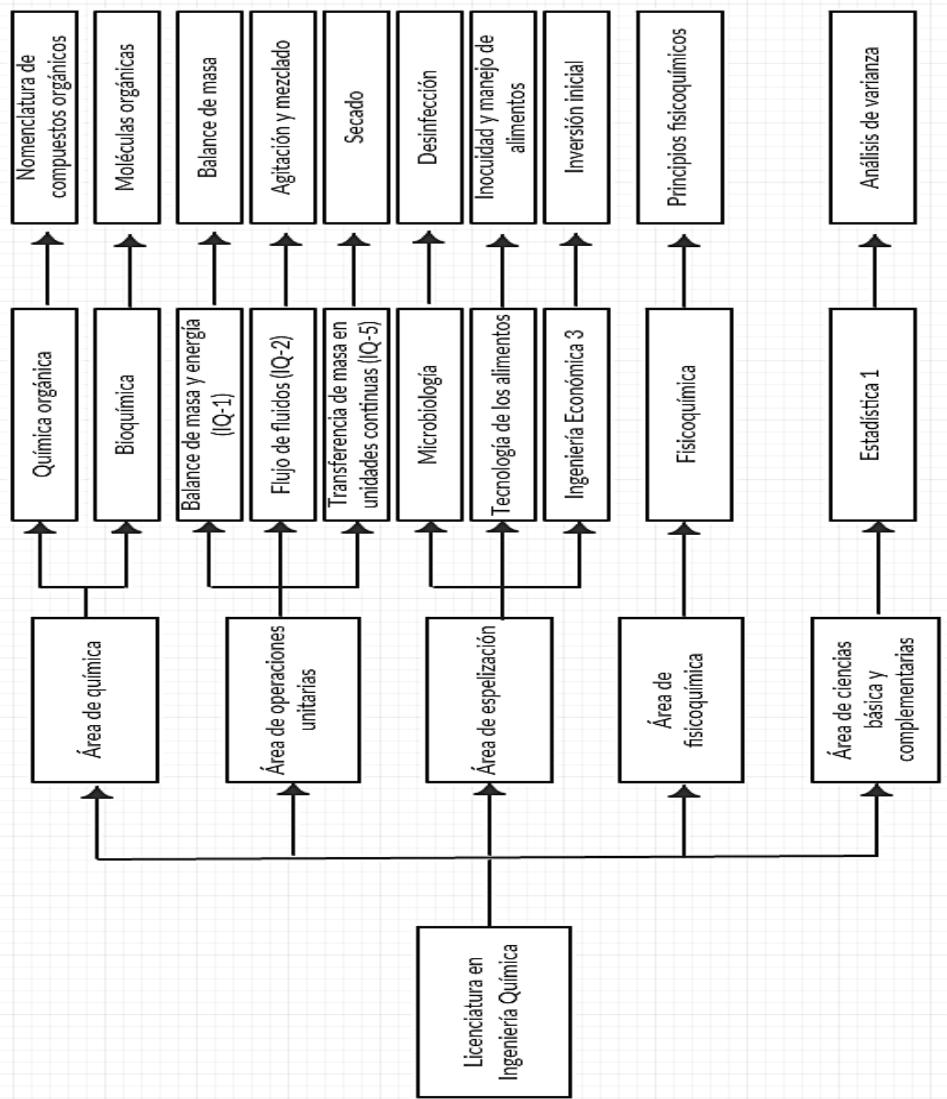
1. ALVARADO, Dolores. *Caracterización de la semilla del chan (Salvia hispánica L.) y diseño de un producto funcional que la contiene como ingrediente. Revista de la Universidad del Valle de Guatemala*, 2011, vol. 23, 78 p.
2. ALVARADO, Gabriela; CORNEJO, Fabiola. *Obtención de la harina de yuca para el desarrollo de productos dulces destinados para la alimentación de celíacos*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica Superior del Litoral, Ecuador, 2009. 112 p.
3. ARISTIZÁBAL, Johana; SÁNCHEZ, Teresa. *Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca*. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2007. 153 p.
4. COLINA, Roddy; LAGUADO, Ninoska; FANEITE, Alexis. *Evaluación de galletas dulces preparadas con harina de yuca (Manihot esculenta Crantz) deshidratada al sol como sustituto del trigo. Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia, Venezuela*: 2016, vol. 33 (3).370 p.
5. ELÍAS, Luis. *Concepto y tecnologías para la elaboración y uso de harinas compuestas*. Ciudad de Panamá, Panamá: Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá. 1996. 4 p.

6. HERNÁNDEZ, José; MIRANDA, Salvador. Caracterización morfológica de la chíá. *Revista Fitotécnica Mexicana*, 2008, vol. 31 (2), pp. 105-113
7. MATA, Moisés; VÁZQUEZ, María. Caracterización de harina de Yuca (Manihot esculenta) como materia prima para la elaboración de Pastel. *Ciencias de la Ingeniería y Tecnología Handbook T-IV: Congreso Interdisciplinario de Cuerpos Académicos*, España: 2014, vol. 1, p. 261-272. p.
8. MCCABE, Warren; SMITH, Julian; HARRIOT, Peter. *Operaciones unitarias en ingeniería química*. 7a ed. México D.F., México: McGraw-Hill, 2007. 1 012 p.
9. NIETO, Elizabeth; RANGEL, Ana; SALDAÑA, Adriana.; ABRAHAM, María; OZUNA, César. *Caracterización de harinas libres de gluten y su incorporación en productos de panificación. Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, México: 2018, vol. 3, 16 p.
10. PARADA, Alejandra; ARAYA, Magdalena. *El gluten: su historia y efectos en la enfermedad celíaca*. *Revista Médica de Chile*, 2010, vol. 138 (10), 1 325 p.
11. SILVEIRA, Michele; SALAS-MELLADO, Myriam. *Chemical characterization of chia (Salvia hispanica L.) for use in food products*. Brasil: *Journal of Food and Nutrition Research*, 2014, vol. 2 (5), 269 p.

12. SILVEIRA, Michele; SALAS-MELLADO, Myriam. *Effects of substituting chia (Salvia hispanica L.) flour or seeds for wheat flour on the quality of the bread. LWT-Food Science and Technology*, 2015, vol. 60 (2), 736 p.
13. WALPOLE, Ronald; MYERS, Raymond; MYERS, Sharon; YE, Keying. *Probabilidad y estadísticas para ingeniería y ciencias*. 9a ed. México D.F., México: Pearson Educación, 2007. 792 p.
14. XINGÚ, Andrés; GONZÁLEZ, Andrés; DE LA CRUZ, Eulogio; SANGERMAN-JARQUÍN, Dora; OROZCO, Guillermo; RUBÍ, Martín. *Chía (Salvia hispánica L.) situación actual y tendencias futuras*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2017, vol.8 (7), 1 631 p
15. VÁZQUEZ-OVANDO, Alfredo; ROSADO, José; CHEL, Luis; BETANCUR, Alex. *Procesamiento en seco de harina de chía (Salvia hispanica L.): caracterización química de fibra y proteína*. *CyTA– Journal of Food*, 2010, vol. 8 (2), 127 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. Requisitos académicos



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Costo de materia prima**

Descripción	Cantidad (lb)	Costo unitario (Q)	Costo total (Q)
Semilla de chíá	1,3	27,55	35,82
Yuca	20	5	100
		Subtotal	135,82

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Costo de los análisis experimentales**

Descripción	Cantidad	Costo unitario (Q)	Costo total (Q)
Tamizaje	4	120	480
Análisis de proteína cruda	6	144	864
Materia seca y humedad	6	27	162
Cenizas	6	40	240
Extracto etéreo	6	43	258
Fibra cruda	6	27	162
Prueba hedónica	31	5,30	164,30
		Subtotal	2 330,30

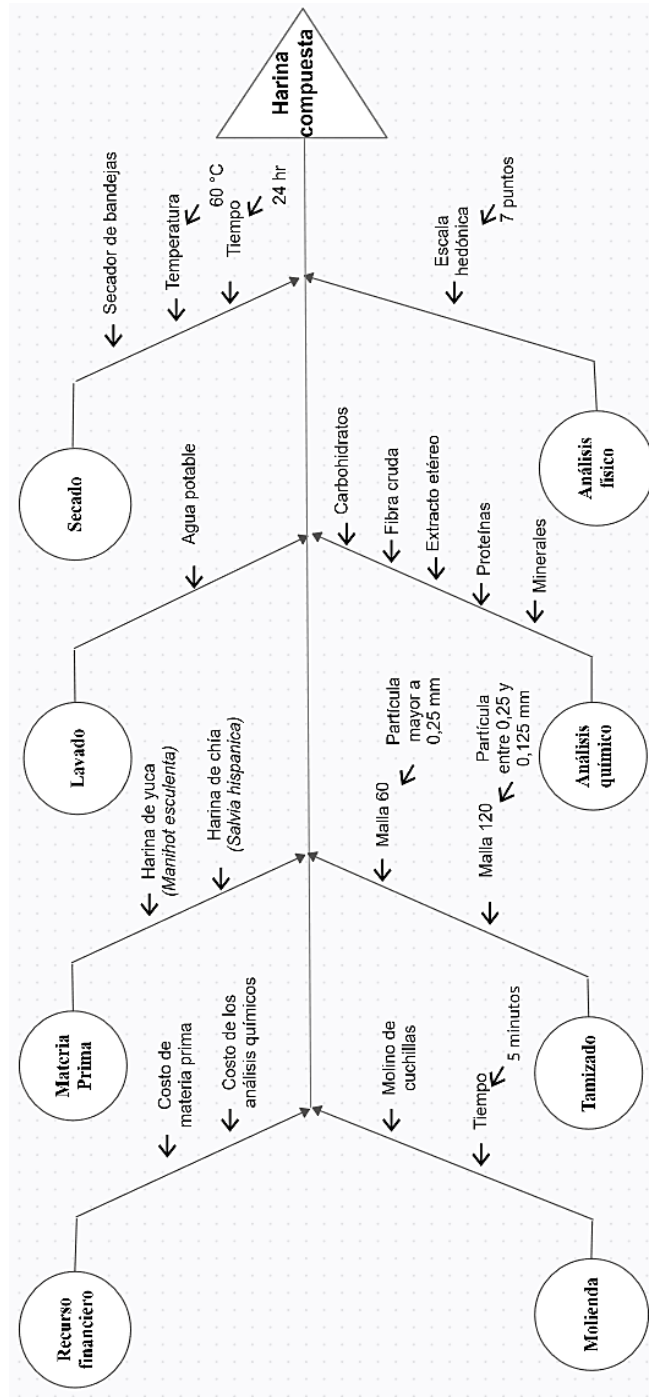
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. **Costo total de la investigación**

Descripción	Costo (Q)
Materia prima	135,82
Costo experimental	2 330,30
Total	2 466,12

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. Diagrama de Ishikawa



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. Muestra de cálculo

- Análisis estadístico
 - Análisis de varianza de dos factores
 - Suma de cuadrados

$$SCT=SCA+SCB+SC(AB)+SCE \text{ (Ecuación 3)}$$

$$SCA=bn \sum_{i=1}^a (\bar{Y}_{i..} - \bar{Y} \dots)^2 \text{ (Ecuación 4)}$$

$$SCB= an \sum_{j=1}^b n_j (\bar{Y} \dots - \bar{Y}_{.j.})^2 \text{ (Ecuación 5)}$$

$$SC(AB)= n \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b (\bar{Y}_{ij.} - \bar{Y}_{i..} - \bar{Y}_{.j.} + \bar{Y} \dots)^2 \text{ (Ecuación 6)}$$

$$SCE=n \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n (Y_{ijk} - \bar{Y}_{ij.})^2 \text{ (Ecuación 7)}$$

Donde:

$Y_{i..}$ = suma de las observaciones para el i-ésimo nivel del factor A

$Y_{.j.}$ = suma de las observaciones para el j-ésimo nivel del factor B

$Y \dots$ = suma de todas las abn observaciones

A= número de malla

B= proporción de la mezcla

$\bar{Y}_{i..}$ = media de las observaciones para el i-ésimo nivel del factor A

$\bar{Y}_{.j.}$ = media de las observaciones para el j-ésimo nivel del factor B

$\bar{Y} \dots$ = media de todas las abn observaciones

SCA= suma de cuadrados para los efectos principales de A

SCB= suma de cuadrados para los efectos principales de B

SC(AB)= suma de cuadrados de la interacción para A y B

SCE= suma de los cuadrados del error

Continuación apéndice 6.

n= número de tratamientos

Datos de la cantidad de extracto etéreo presente en las muestras:

Mezcla 1, tamiz 60= 0,19 %

Mezcla 1, tamiz 120= 0,23 %

Mezcla 2, tamiz 60= 5,31 %

Mezcla 2, tamiz 120= 6,37 %

Mezcla 3, tamiz 60= 9,84 %

Mezcla 3, tamiz 120= 11,34 %

Determinación de medias:

$$\bar{Y} = \frac{0,19+5,31+9,84+0,23+6,37+11,34}{6} = 5,55$$

$$\bar{Y}_{i,1} = \frac{0,19+0,23}{2} = 0,21$$

$$\bar{Y}_{i,2} = \frac{5,31+6,37}{2} = 5,84$$

$$\bar{Y}_{i,3} = \frac{9,84+11,34}{2} = 10,59$$

$$\bar{Y}_{j,1} = \frac{0,19+5,31+9,84}{3} = 5,11$$

$$\bar{Y}_{j,2} = \frac{0,23+6,37+11,34}{2} = 5,98$$

Determinación de suma de cuadrados:

$$SCT = (0,19-5,55)^2 + (0,23-5,55)^2 + (5,31-5,55)^2 + (6,37-5,55)^2 + (9,84-5,55)^2 +$$

Continuación apéndice 6.

$$(11,34-5,55)^2= 109,69$$

$$SCA=(3)(1)[(0,21-5,55)^2+(5,84-5,55)^2+(10,59-5,55)^2]= 108,00$$

$$SCB=(3)(1)[(5,11-5,55)^2+(5,98-5,55)^2]= 1,13$$

$$SCE=(1)[(0,19-5,11-0,21+5,55)^2+(5,31-5,11-5,84+5,55)^2+(9,84-5,11-10,59+5,55)^2+(0,23-5,98-0,21+5,55)^2+(6,37-5,98-5,84+5,55)^2+(11,34-5,98-10,59+-5,55)^2]= 0,56$$

- Grados de libertad

Para la fuente de variación A los grados de libertad son:

$$G= a-1 \text{ (Ecuación 8)}$$

$$G= 2-1= 1$$

Para la fuente de variación B los grados de libertad son:

$$G= b-1 \text{ (Ecuación 9)}$$

$$G= 3-1= 2$$

- Cuadrados medios

Para la fuente de variación A los cuadrados medios son:

$$s1^2= \frac{SCA}{a-1} \text{ (Ecuación 10)}$$

Continuación apéndice 6.

$$s_1^2 = \frac{108,00}{3-1} = 54,00$$

Para la fuente de variación B los cuadrados medios son:

$$s_2^2 = \frac{SCB}{b-1} \text{ (Ecuación 11)}$$

$$s_2^2 = \frac{1,13}{2-1} = 1,13$$

Para el error los cuadrados medios son:

$$s^2 = \frac{SCE}{ab(n-1)} \text{ (Ecuación 12)}$$

$$s^2 = \frac{0,56}{2} = 0,28$$

- Varianza F

Para la el factor A la F calculada es:

$$F = \frac{s_1^2}{s^2} \text{ (Ecuación 13)}$$

$$F = \frac{54,00}{0,28} = 192,86$$

Para la el factor B la F calculada es:

$$F = \frac{s_2^2}{s^2} \text{ (Ecuación 14)}$$

$$F = \frac{1,13}{0,28} = 4,04$$

Continuación apéndice 6.

- Varianza F crítica

Los valores críticos de la distribución F se obtuvieron de la tabla A.6 del libro: *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*, de Walpole y otros autores. Para el factor A es de 18,51 y para el factor B de 19,00.

- Regla de decisión

Se rechaza hipótesis nula si $F > F$ crítica, por lo tanto: para el factor A se acepta hipótesis nula y para el factor B se rechaza la hipótesis nula.

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 7. **ANOVA del extracto etéreo presente en las muestras**

RESUMEN	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Fila 1	3	15,34	5,11	23,31
Fila 2	3	17,94	5,98	30,97
Columna 1	2	0,42	0,21	8,00E-4
Columna 2	2	11,68	5,84	0,56
Columna 3	2	21,18	10,59	1,12

ANOVA							
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	F crítico	
Filas	1,13	1	1,13	4,02	0,18	18,51	
Columnas	108,00	2	54,00	192,54	5,17E-3	19,00	
Error	0,56	2	0,28				
Total	109,69	5					

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 8. **ANOVA de la fibra cruda presente en las muestras**

RESUMEN	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Fila 1	3	17,00	56,66	10,51
Fila 2	3	10,37	3,46	5,92
Columna 1	2	4,96	2,48	0,06
Columna 2	2	7,44	3,72	9,59
Columna 3	2	14,97	7,48	3,35

ANOVA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	F crítico
Filas	7,33	1	7,33	2,58	0,25	18,51
Columnas	27,18	2	13,59	4,79	0,17	19,00
Error	5,68	2	2,84			
Total	40,18	5				

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 9. **ANOVA de la proteína presente en las muestras**

Resumen	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Fila 1	3	19,72	6,57	11,39
Fila 2	3	21,08	7,03	11,67
Columna 1	2	7,00	3,50	3,20E-3
Columna 2	2	13,27	6,64	0,57
Columna 3	2	20,53	10,26	0,02

ANOVA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	F crítica
Filas	0,31	1	0,31	2,13	0,28	18,51
Columnas	45,85	2	22,92	158,40	6,27E-3	19,00
Error	0,29	2	0,14			
Total	46,44	5				

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 10. **ANOVA de los minerales presentes en las muestras**

Resumen	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Fila 1	3	9,66	3,22	8,19E-2
Fila 2	3	9,59	3,20	4,20E-2
Columna 1	2	5,85	2,92	2,40E-3
Columna 2	2	6,72	3,36	3,20E-3
Columna 3	2	6,68	3,34	1,80E-3

ANOVA						
Origen de las variaciones	Suma de los cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	F crítica
Filas	8,17E-4	1	8,17E-4	0,25	0,67	18,51
Columnas	0,24	2	0,12	36,37	0,03	19,00
Error	6,63E-3	2	3,32E-3			
Total	0,25	5				

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 11. **ANOVA de los carbohidratos presentes en las muestras**

RESUMEN	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Fila 1	3	229,97	76,66	173,58
Fila 2	3	232,91	77,64	149,04
Columna 1	2	178,85	89,42	0,36
Columna 2	2	155,80	77,90	3,28
Columna 3	2	128,23	64,12	0,76

ANOVA						
Origen de las variaciones	Suma de los cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	F crítica
Filas	1,44	1	1,44	0,98	0,43	18,51
Columnas	642,30	2	321,15	217,44	4,58E-3	19,00
Error	2,95	2	1,48			
Total	646,69	5				

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 12. Compendio de aplicaciones de la harina compuesta



Compendio de aplicaciones para postres sin gluten

Guatemala, marzo de 2020

Trabajo de graduación

Formulación de una harina sin gluten compuesta de harina de semilla de chía (Salvia hispanica) y harina de yuca (Manihot esculenta) con base en dos tamaños de partícula a nivel laboratorio.

Asesora: Ing. Qca. Hilda Piedad Palma de Martini



María Alexandra Marckwordt Aguilar

Continuación de apéndice 12.

ÍNDICE

Galletas Danesas.....	2
Galletas de azúcar.....	3
Polvorosas.....	4
Torta de elote.....	5
Volteado de manzana.....	6
Bolas Berlín.....	7

Continuación de apéndice 12.

Galletas Danesas

20 minutos • 20 porciones

Ingredientes

- ½ libra de mantequilla
- ½ taza de azúcar
- 1 huevo
- 2 tazas de harina cernida

Preparación

Batir mantequilla con azúcar y agregar el resto de ingredientes hasta obtener una consistencia sólida.

Formar bolas de masa individual y colocar sobre una bandeja engrasada. Aplanar con un tenedor.

Hornear a 180°C por 15



Fuente: diariocontraste.com. Consulta: 13 de marzo de 2020.

Continuación de apéndice 12.

Galletas de azúcar

25 minutos • 120 porciones



Fuente: picuki.com. Consulta: 13 de marzo de 2020

Ingredientes

1 lb mantequilla
½ cucharadita de sal
3 tazas de azúcar
6 tazas de harina
2 cucharaditas de polvo para
hornear

6 huevos

Preparación

Amasar todos los ingredientes y
estirar, cortar con cortador de
formas.

Hornear a 180°C por 20
minutos.

*Nota: se puede
decorar al final con
glaseado real*

3

Povorosas

25 minutos - 30 unidades

Ingredientes

- 1 lb harina
- ½ lb Manteca vegetal
- 3 yemas de huevo
- 7 onzas de azúcar AAA
- 1 onza de canela en polvo

Preparación

Amasar la harina con manteca vegetal y yemas incorporando 4 onzas de azúcar y canela. Hacer bolas pequeñas con la masa y aplanar con las manos.

180°C.
Espolvorear con el resto del azúcar.

Nota: se puede agregar 1 onza de ajonjolí a los ingredientes

Colocar en una bandeja previamente engrasada.
Hornear por 20 minutos a



Fuente: recetas360.com. Consulta: 13 de marzo de 2020.

Torta de elote



Fuente: patichief.es. Consultado el 15 marzo de 2020.

Ingredientes

- 3 elotes tiernos o ½ lata de elote dulce
- 1 vaso de leche
- 3 onza mantequilla derretida
- 2 cucharadas de queso seco
- Azúcar al gusto
- 1 pizca de sal

Preparación

- Licuar todos los ingredientes y verter en un molde.
- Hornear durante 45 minutos a 180°C.

Nota: agregar la harina lentamente

Volteado de manzana



Ingredientes

4 barras de margarina
1 ½ taza de azúcar
8 huevos
4 tazas de harina
4 cucharaditas royal
1 barra de queso crema
½ taza de leche
8 manzanas cocidas en rodajas

Preparación

Batir la margarina con el azúcar hasta obtener una consistencia cremosa. Agregar los huevos y queso crema.
Agregar la harina, royal y leche, batir hasta obtener masa homogénea.
Engrasar molde y colocar papel mantequilla en el fondo.
Colocar las manzanas y rociar de azúcar. Verter la masa.
Hornear por 45 minutos a 180°C.

Continuación de apéndice 12.

Bolas Berlín



Ingredientes

3 libras de harina
7 onzas de azúcar
½ onza de sal
8 onzas de margarina
2 onzas de levadura
6 onzas de huevo
18 onzas de agua

Preparación

Hacer pileta con los ingredientes secos (harina y sal).
Colocar el azúcar, levadura y agua adentro; disolver.
Incorporar harina lentamente y agregar la margarina y el huevo.
Amasar y reposar por 20 minutos.
Hacer bolas de 2 onzas y dejar reposar por 20 minutos.
Freír.
Enfriar y decorar.

7

Fuente: eventos.guatemala.com. Consulta: 13 de marzo de 2020.

Fuente: elaboración propia, con base en: www.diariocontraste.com; www.picuki.com; www.recetas360.com; www.petichef.es; www.cocinadelirante.com; www.eventos.guatemala.com. Consulta: 13 de marzo de 2020.

Apéndice 13. **Secado de materia prima**



Fuente: elaboración propia fotografía tomada en el Laboratorio de Bromatología, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, USAC.

Apéndice 14. **Harina de chía tamizada**



Fuente: elaboración propia, fotografía tomada en el Laboratorio DSG de análisis industrial de alimentos en Guatemala.

Apéndice 15. Harina de yuca tamizada



Fuente: elaboración propia, fotografía tomada en el Laboratorio DSG de análisis industrial de alimentos en Guatemala.

Apéndice 16. Mezclas de harina combinada



Fuente: elaboración propia, fotografía tomada en el Laboratorio DSG de análisis industrial de alimentos en Guatemala.

Apéndice 17. Prueba de humedad



Fuente: elaboración propia, fotografía tomada en el Laboratorio de Bromatología, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, USAC.

Apéndice 18. Prueba de extracto etéreo



Fuente: elaboración propia, fotografía tomada en el Laboratorio de Bromatología, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, USAC.

Apéndice 19. **Determinación de proteína**



Fuente: elaboración propia, fotografía tomada en el Laboratorio de Bromatología, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, USAC.

Apéndice 20. **Digestión de fibra cruda**



Fuente: elaboración propia, fotografía tomada en el Laboratorio de Bromatología, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, USAC.