



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios de Postgrado
Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos

**DESARROLLO DE UNA GALLETA CON SUSTITUCIÓN PARCIAL DE
HARINA DE MAÍZ Y FRIJOL BIOFORTIFICADOS**

Ing. Erick Ricardo Aguilar Castillo

Asesorado por M.Sc. Ing. Byron Rolando Rodas Aroche

Guatemala, marzo de 2024

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DESARROLLO DE UNA GALLETA CON SUSTITUCIÓN PARCIAL DE
HARINA DE MAÍZ Y FRIJOL BIOFORTIFICADOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ING. ERICK RICARDO AGUILAR CASTILLO

ASESORADO POR EL M.SC. ING. BYRON ROLANDO RODAS AROCHE

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

MAESTRÍA EN ARTES EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS

GUATEMALA, MARZO DE 2024

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. José Francisco Gómez Rivera (a. i.)
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Ing. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Ing. Fernando José Paz Gonzáles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. José Francisco Gómez Rivera (a. i.)
DIRECTORA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADORA	Inga. Hilda Piedad Palma Ramos
EXAMINADOR	Licda. Blanca Azucena Méndez Cerna
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:

DESARROLLO DE UNA GALLETA CON SUSTITUCIÓN PARCIAL DE HARINA DE MAÍZ Y FRIJOL BIOFORTIFICADOS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 29 de octubre de 2022.

Ing. Erick Ricardo Aguilar Castillo

LNG.DECANATO.OI.120.2024



El Decano 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 Estudios de Posgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **DESARROLLO DE UNA GALLETA CON SUSTITUCIÓN PARCIAL DE HARINA DE MAÍZ Y FRIJOL BIOFORTIFICADOS**, presentado por: **Ing. Erick Ricardo Aguilar Castillo**, que pertenece al programa de Maestría en artes en Ciencia y tecnología de alimentos después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
DECANO a.i.
Facultad de Ingeniería

Ing. José Francisco Gómez Rivera

Decano a.i.

Guatemala, marzo de 2024

JFGR/gaac



EEPM-1168-2023

Guatemala, 21 de julio de 2023

Profesional
Erick Ricardo Aguilar Castillo
Carné: null
Ciencia Y Tecnologia De Los Alimentos

Distinguido(a) Profesional Aguilar Castillo

De manera atenta hago constar que de acuerdo con la aprobación del coordinador de maestría y docente-revisor doy el aval a su Informe Final y Artículo Científico titulado: **"DESARROLLO DE UNA GALLETA CON SUSTITUCIÓN PARCIAL DE HARINA DE MAÍZ Y FRIJOL BIOFORTIFICADOS."**

Con base en la evaluación realizada hago constar la originalidad, calidad, coherencia según lo establecido en el **Normativo de Tesis y Trabajos de Graduación aprobados por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería Punto Sexto inciso 6.10 del Acta 04-2014 de sesión celebrada el 04 de febrero de 2014**. Cumpliendo tanto en su estructura como en su contenido, **por lo cual el trabajo evaluado cuenta con mi aprobación.**

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"



M.A. Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
Directora

Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería

Oficina Virtual





Guatemala, marzo de 2024

LNG.EEP.OI.120.2024

En mi calidad de Directora de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del asesor, verificar la aprobación del Coordinador de Maestría y la aprobación del Área de Lingüística al trabajo de graduación titulado:

“DESARROLLO DE UNA GALLETA CON SUSTITUCIÓN PARCIAL DE HARINA DE MAÍZ Y FRIJOL BIOFORTIFICADOS”

presentado por **Ing. Erick Ricardo Aguilar Castillo** correspondiente al programa de **Maestría en artes en Ciencia y tecnología de alimentos** ; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”


Mtra. Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
Directora
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería





Guatemala, 21 de julio de 2023

M.A. Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
Directora
Escuela de Estudios de Postgrado
Presente

Estimada M.A. Inga. Cordova Estrada

Por este medio informo a usted, que he revisado y aprobado el **INFORME FINAL y ARTÍCULO CIENTÍFICO** titulado: **DESARROLLO DE UNA GALLETA CON SUSTITUCIÓN PARCIAL DE HARINA DE MAÍZ Y FRIJOL BIOFORTIFICADOS.** del estudiante **Erick Ricardo Aguilar Castillo** quien se identifica con número de carné **null** del programa de Ciencia Y Tecnología De Los Alimentos.

Con base en la evaluación realizada hago constar que he evaluado la calidad, validez, pertinencia y coherencia de los resultados obtenidos en el trabajo presentado y según lo establecido en el **Normativo de Tesis y Trabajos de Graduación aprobado por Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería Punto Sexto inciso 6.10 del Acta 04-2014 de sesión celebrada el 04 de febrero de 2014.** Por lo cual el trabajo evaluado cuenta con mi aprobación.

Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades profesionales me suscribo.




Msc. Inga. Hilda Piedad Palma Ramos
Coordinador
Ciencia Y Tecnología De Los Alimentos
Escuela de Estudios de Postgrado

Oficina Virtual



Guatemala, 21 de julio de 2023

M.A. Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
Directora
Escuela de Estudios de Postgrados
Presente

Estimada M.A. Inga. Cordova Estrada

Por este medio informo a usted, que he revisado y aprobado el Trabajo de Graduación y el Artículo Científico: "**DESARROLLO DE UNA GALLETA CON SUSTITUCIÓN PARCIAL DE HARINA DE MAÍZ Y FRIJOL BIOFORTIFICADOS.**" del estudiante **Erick Ricardo Aguilar Castillo** del programa de **Ciencia Y Tecnologia De Los Alimentos** identificado(a) con número de carné null.

Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades profesionales me suscribo.

Ingeniero Agrónomo
Byron Rolando Rodas Aroche
Máster en Gestión y
Auditorías Ambientales
Colegiado 5130



Msc. Ing. Byron Rolando Rodas Aroche
Colegiado No. 5130
Asesor de Tesis

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por las bendiciones y oportunidades que me ha dado en la vida.
Mis padres	Por el cariño y apoyo que siempre me han brindado.
Mi hermana	Por brindarme su compañía, consejos y amistad.
Mis amigos	Por acompañarme en la vida.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por ser la *alma mater* que me permitió nutrirme de conocimientos.

Mis amigos

A cada uno de los que me apoyó, brindó consejos y amistad sincera.

Ingeniero

Byron Rodas, por su apoyo en la realización de esta investigación.

USDA

Gracias al apoyo financiero del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés), para la ejecución del proyecto.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN.....	XI
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XIII
OBJETIVOS	XVII
RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO	XIX
INTRODUCCIÓN.....	XXIII
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO	5
2.1. Calidad de la proteína	5
2.1.1. Maíces con alta calidad de proteína.....	6
2.1.2. Uso de mezclas vegetales para mejorar calidad proteica	7
2.1.3. Uso de maíz ACP en la elaboración de alimentos.....	8
2.2. Importancia de los minerales en la alimentación	9
2.2.1. Hierro	9
2.2.2. Zinc.....	10
2.2.3. Biodisponibilidad	10
2.2.4. Biofortificación.....	11
2.2.5. Maíz ACP y zinc.....	12
2.2.6. Biofortificación de frijol	13
2.2.7. Frijol con alto contenido de minerales	13

2.2.8.	Eficacia del consumo de biofortificados	14
2.2.9.	Procesamiento de frijoles	15
2.2.10.	Efecto del tiempo de cocción en los frijoles	16
2.2.11.	Efecto del procesamiento en el maíz biofortificado	16
3.	DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	19
3.1.	Fase 1. Revisión documental	19
3.2.	Fase 2. Formulación de galletas	20
3.3.	Fase 3. Cuantificación de características físicas	20
3.4.	Fase 4. Determinación de composición química.....	20
3.5.	Fase 5. Identificación de la aceptación sensorial.....	21
4.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	23
4.1.	Desarrollar tres prototipos de galleta con base a una mezcla de trigo, maíz y frijol	23
4.2.	Efecto de la incorporación de harina de maíz y frijol en las características físicas de la galleta	25
4.3.	Efecto de la incorporación de harina de maíz y frijol en la composición de macronutrientes, hierro y zinc y de la galleta ..	26
4.4.	Formulación con mejor aceptación sensorial.....	31
5.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	35
5.1.	Desarrollo de tres prototipos de galleta en base a una mezcla de trigo, maíz y frijol	35
5.2.	Efecto de la incorporación de harina de maíz y frijol en las características físicas de la galleta	38
5.3.	Efecto de la incorporación de harina de maíz y frijol en la composición de macronutrientes, hierro y zinc de la galleta ...	38

5.4. Formulación con mejor aceptación sensorial	40
CONCLUSIONES	41
RECOMENDACIONES	43
REFERENCIAS	45
APÉNDICES	55

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

Figura 1.	Galletas elaboradas	26
Figura 2.	Gráfico de contorno para proteína	28
Figura 3.	Gráfico de contorno para hierro	29
Figura 4.	Gráfico de contorno para zinc	30
Figura 5.	Gráfico para optimización de macronutrientes	31
Figura 6.	Evaluación sensorial realizada.....	33
Figura 7.	Mezclas según el diseño simplex con centroide.....	37

TABLAS

Tabla 1.	Porcentaje de mezclas de harinas	XX
Tabla 2.	Operacionalización de variables	XX
Tabla 3.	Contenido de nutrientes en cultivos	12
Tabla 4.	Composición proximal estimada propuestas	24
Tabla 5.	Diseño de mezclas simplex con centroide	24
Tabla 6.	Valores obtenidos para el color en CIE Lab*	25
Tabla 7.	Contenido de proteína, hierro y zinc en las formulaciones	27
Tabla 8.	Aceptabilidad sensorial para los atributos evaluados	32

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cm	Centímetro
°C	Grados Celsius
g	Gramos
Fe	Hierro
Kcal	Kilocaloría
Kg	Kilogramo
lb	Libra
L	Litro
mg	Miligramo
ml	Mililitro
%	Porcentaje
Q	Quetzales
Zn	Zinc

GLOSARIO

Biofortificación	Intervención agrícola que aumenta el contenido de nutrientes de los cultivos.
Características organolépticas	Características evaluadas en los alimentos mediante los sentidos del ser humano, como color, sabor, textura, aroma y temperatura.
Frijol	Grano de un tipo de leguminosa comestible.
Frijol ICTA Chortí^{ACM}	Frijol biofortificado con alto contenido de hierro y zinc.
Legumbre	Semillas comestibles de las plantas leguminosas.
Panelista no entrenado	Población que participa en evaluación de muestras de alimentos y no tiene agudeza sensorial.

RESUMEN

El maíz y frijol biofortificado contienen mayor cantidad de minerales y la combinación de ambos mejora el valor biológico de la proteína, por tanto, son aptos para la elaboración de productos alimenticios ricos en proteínas y minerales. El objetivo del estudio fue desarrollar galletas con mayor contenido de minerales y proteína que una galleta elaborada únicamente con trigo, para ello se formularon diez combinaciones de trigo (T), maíz (M) y frijol (F). Estas mezclas fueron basadas en el *Diseño para Mezclas Simplex con Centroide*, la combinación de harinas representó 48 % de la formulación.

A las galletas se les evaluó color, contenido de proteína, hierro, zinc y aceptabilidad sensorial por medio de escala hedónica de cinco puntos. Con los datos obtenidos se realizó análisis de varianza, prueba de medias, modelación estadística y se utilizó gráficos de contorno y optimización de respuesta. La utilización de harina de frijol disminuyó los valores de luminosidad, respecto al contenido nutricional, se encontró correlación positiva entre la cantidad de frijol utilizada y el contenido de proteína y hierro. Efecto contrario existió con el uso de maíz, conforme aumentó la cantidad de maíz disminuyó la cantidad de proteína y hierro, pero aumentó la cantidad de zinc.

Para el análisis sensorial se eligieron tres formulaciones en función del contenido nutricional, no se encontró diferencia estadística significativa respecto a la galleta elaborada con trigo y todas las formulaciones presentaron aceptación sensorial superior a cuatro en la escala de cinco puntos. La optimización dio como resultado la mejor proporción de harina de trigo, maíz y frijol es de 38.63 %,

34.23 % y 27.13 % respectivamente, con la cual se obtendrá de proteína 13.59 g/100 g, hierro 3.66 mg/100g y de zinc 4.63 mg/100g.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Centroamérica, Guatemala presenta la mayor prevalencia de desnutrición, 45.6 % de los niños menores de cinco años son afectados con algún grado de desnutrición. La deficiencia calórico – proteica en la dieta y la baja ingesta de micronutrientes son los principales problemas de la desnutrición. Los micronutrientes con menor ingesta en los niños menores de cinco años son el hierro y la vitamina A, esto se ve reflejado en que el 39.7 % de los niños presentan algún tipo de anemia.

Actualmente, una de las estrategias que se está utilizando en Guatemala para disminuir la desnutrición es la utilización de cultivos biofortificados, ésta consiste en incrementar la cantidad de nutrientes en cultivos básicos para la alimentación (Nestel et al., 2006). El Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA), es una de las instituciones que está impulsando esta estrategia. Desde la década de los años 90 se generaron híbridos de maíz con Alta Calidad de Proteína (ACP) y en los últimos años se han liberado variedades de maíz ACP y mayor contenido de zinc, frijol con mayor concentración de hierro y camote con betacarotenos.

Desde el 2012 el ICTA en conjunto con Harvest Plus han trabajado en el desarrollo de variedades mejoradas de cultivos básicos a los cuales se biofortificaron, de estas variedades existe frijol con mayor contenido de hierro, maíz con mejor calidad de proteína y zinc; camote con incremento en la concentración de betacarotenos, sin embargo, se ha realizado promoción y transferencia de tecnología respecto al tema. Sin embargo, poca información y tecnología se ha generado respecto al procesamiento de cultivos biofortificados,

a nivel nacional no existe productos alimenticios elaborados con los mismos y tampoco existe investigación y desarrollo de nuevos productos donde se utilice cultivos biofortificados como alternativas para el consumo.

Lo anteriormente descrito hace plantearse la pregunta principal de este estudio:

¿Cuál es la formulación ideal de una galleta con sustitución parcial de harina de maíz y frijol biofortificados?

Para responder a esta interrogante se contestan las siguientes preguntas auxiliares.

- ¿Cuál es el porcentaje ideal de harina de maíz y frijol biofortificado en sustitución a la harina de trigo?
- ¿Cuál es el efecto en las características físicas de la galleta la incorporación de harina de maíz y frijol biofortificados?
- ¿Qué efecto tiene la incorporación de harina de maíz y frijol en la composición de macronutrientes, hierro y zinc en la galleta?
- ¿Cuál es la aceptación sensorial que tiene una galleta elaborada con harina de maíz y frijol?

El trabajo de investigación se realizó en las instalaciones de la planta piloto de tecnología de alimentos del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA). Durante el período comprendido entre el mes de octubre 2022 al mes de marzo 2023.

Es factible la realización del estudio ya que se cuenta con grano de las variedades ICTA B15^{Zn} y frijol biofortificado, además se cuenta con apoyo financiero y técnico para la misma.

De realizarse la investigación se contará con una formulación para galleta utilizando una mezcla de harina de trigo con harina de maíz y frijol biofortificados. La cual podría tener mejores características nutricionales y ser implementada en programas de alimentación escolar, así también se generará información sobre el procesamiento de cultivos biofortificados en Guatemala y la utilización de estos.

De no realizarse la investigación se dejaría de generar información sobre el procesamiento de cultivos biofortificados, así también, se desaprovecharía la oportunidad de generar otra alternativa para contribuir a disminuir la desnutrición de la población, especialmente en niños en edad escolar.

OBJETIVOS

General

Formular una galleta con sustitución parcial de harina de maíz y frijol biofortificados.

Específicos

- Desarrollar tres prototipos de galleta en base a una mezcla de trigo, maíz y frijol.
- Determinar el efecto de la incorporación de harina de maíz y frijol en las características físicas de la galleta.
- Cuantificar el efecto de la incorporación de harina de maíz y frijol en la composición de macronutrientes, hierro y zinc de la galleta.
- Identificar la formulación con mejor aceptación sensorial por parte panelistas no entrenados.

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

Es un estudio mixto, se tienen variables cuantitativas obtenidas de la medición de características físicas de la galleta, características químicas y, además, se presentan resultados de variables cualitativas obtenidas de evaluación sensorial.

Alcance: es un estudio de tipo explicativo, debido a que se realizó análisis de varianza, prueba de medias, con ello se desarrolló la explicación a los resultados obtenidos, además se identificó si existe relación entre variables y se contrastó los resultados obtenidos con estudios previamente realizados con los cuales se fundamentó los mismos.

Diseño: la investigación es de tipo experimental, se realizaron los tratamientos en la planta piloto de alimentos del ICTA, se midieron variables y para el ensayo se utilizó un diseño experimental con tres repeticiones. La operacionalización de variables se muestra en la Tabla 2.

Las variables fueron las siguientes:

- Dependientes
 - Físicas: color, tamaño
 - Químicas: Macronutrientes, hierro, zinc
 - Sensoriales: sabor, color, textura, apariencia, aceptación

- Independientes

Tabla 1.*Porcentaje de mezclas de harinas*

Ingrediente	F1	F2	F3	Control
Harina de trigo	75 %	50 %	25 %	100 %
Harina de maíz y frijol	25 %	50 %	75 %	0 %

Nota. Detalle de las variables independientes para la realización del proyecto. Elaboración propia, realizado con Excel.

Tabla 2.*Operacionalización de variables*

Objetivo específico	Nombre de la variable	Tipo de variable	Indicador	Técnica o Instrumento	Plan de Trabajo
Desarrollar tres prototipos de galleta en base a una mezcla de trigo, maíz y frijol.	Formulaciones de los prototipos	Cuantitativa	4 prototipos de galleta, 3 con inclusión de maíz y frijol y 1 control de trigo.	Horneado en horno convencional Instrumento de formulación	Tabla
Determinar el efecto de la incorporación de harina de maíz y frijol en las características físicas de la galleta.	Características físicas de la galleta	Cuantitativa	Volumen (cm ³) Color (L,a,b)	Instrumento de medición, ANDEVA y prueba de medias.	Tabla y gráfico

Continuación de la Tabla 2.

Objetivo específico	Nombre de la variable	Tipo de variable	Indicador	Técnica o Instrumento	Plan de Trabajo
Cuantificar el efecto de la incorporación de harina de maíz y frijol en la composición de macronutrientes, hierro y zinc de la galleta.	Composición de macro y micro nutrientes	Cuantitativa	Energía (kcal) Proteína (g/100g producto) Carbohidratos (g/100g producto) Grasa (g/100g producto) Fibra cruda (mg/100g producto)	Análisis bromatológico AOAC.935 Bateman Kjeldal ANDEVA Prueba de medias	Tabla
Identificar la formulación con mejor aceptación sensorial por parte de consumidores.	Aceptación sensorial	Cualitativa	Olor Color Sabor Textura Aceptación	Instrumento de escala	Tabla

Nota. Detalle del análisis de varianza del proyecto de investigación. Elaboración propia realizado con Excel.

Los resultados obtenidos del estudio se organizaron según las técnicas de análisis de la información, por lo que se utilizaron tablas y gráficas de Excel, prueba hedónica, entre otras que se detallan a continuación.

Para los resultados de las formulaciones se realizó una tabla en la cual se anotaron los ingredientes y cantidades utilizadas, así como, el respectivo porcentaje para cada uno de los prototipos y el control aplicado.

Se analizaron las variables físicas de color en sistema CIE Lab, contenido de proteína, hierro y zinc, los resultados fueron tabulados a hojas de cálculo de Excel y posteriormente analizados por medio de análisis de varianza y medias en

el software estadístico INFOSTAT, además, se realizó análisis de varianza, optimización y gráficos de contorno en el software Minitab.

Los resultados de la evaluación sensorial fueron analizados por medio de análisis de varianza en el software INFOSTAT.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo es una innovación en el área de Ciencia y Tecnología de Alimentos, con el mismo se generó información para aumentar la disponibilidad de alternativas para contribuir a disminuir la desnutrición. En Centroamérica, Guatemala presenta la mayor prevalencia de desnutrición, 45.6 % de los niños menores de cinco años son afectados con algún grado de desnutrición.

La deficiencia calórico – proteica en la dieta y la baja ingesta de micronutrientes son los principales problemas de la desnutrición. Los micronutrientes con menor ingesta en los niños menores de cinco años son el hierro, zinc y vitamina A, esto se ve reflejado en que el 39.7 % de los niños presentan algún tipo de anemia.

Una de las estrategias que se está utilizando para disminuir la desnutrición es la utilización de cultivos biofortificados. Ésta consiste en incrementar la cantidad de nutrientes en cultivos básicos para la alimentación (Nestel et al., 2006). Una de las instituciones que está impulsando esta estrategia es el Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA), donde se han generado variedades de maíz, frijol y camote biofortificados, sin embargo, estos aún no han sido estudiados y aprovechados para el procesamiento de alimentos.

Debido a ello en esta investigación se realizó la formulación de una galleta de trigo con sustitución parcial por harina de maíz y frijol, se utilizó maíz ICTA B-15 el cual tiene mejor calidad de proteína y 35 % más zinc que el maíz sin biofortificación. El frijol se utilizó frijol ICTA Chortí^{ACM} el cual en evaluaciones

previas ha presentado un contenido de 95 ppm de Hierro, lo cual equivale a cerca del doble respecto al frijol común.

Se obtuvo una galleta con mayor y mejor calidad de proteína que una galleta elaborada únicamente con trigo, además que presentó mayor densidad de nutrientes, esta formulación puede ser utilizada en los programas de alimentación escolar gubernamentales o por parte de Organizaciones No Gubernamentales (ONG).

Para la realización de la investigación se hizo revisión documental, seguido de la fase experimental donde se evaluaron diez formulaciones a las cuales se les determinó características físicas como: color; así también, se realizó la cuantificación de macronutrientes, hierro y zinc de cada una.

Por último, se evaluó por medio de análisis sensorial de aceptación las tres mejores formulaciones desde el aspecto nutricional y se comparó con la galleta elaborada con trigo, todos los datos fueron analizados estadísticamente por medio de análisis de varianza, cuando fue necesario se realizó prueba de medias y análisis de optimización y gráficos de contorno.

1. ANTECEDENTES

Se han realizado algunos estudios en los cuales se ha evaluado el uso de frijoles en formulaciones en la tecnología de alimentos de panificación. Actualmente, se busca mejorar el perfil nutricional de los alimentos y es por eso que se han utilizado legumbres, principalmente el frijol.

En la actualidad existen trabajos de investigación que han generado información respecto a los cultivos biofortificados, los cuales ayudarán como soporte para la presente investigación. A continuación, se mencionan algunos que aportan información importante.

Entre los años 2015 y 2016 el ICTA generó nuevos híbridos de maíz ACP como lo son ICTA B11^{ACP}TS, ICTA B9^{ACP} e ICTA B15^{Zn}. Además, una variedad de frijol llamada ICTA Chortí^{ACM}, la cual contiene 26.45 g de proteína/ 100 g de frijol, sin embargo, la principal característica de esta variedad es tener 7.69 mg de hierro, casi el doble de una variedad no biofortificada y 3.93 mg de Zinc (Estévez, 2016).

Mecha et al. (2021) estudió el impacto de la sustitución parcial de harina de trigo por una harina de frijol y maíz (56:22) en la elaboración de una galleta, determinó los cambios en la composición nutricional de la galleta y el efecto del consumo en el índice glicémico de las personas. Demostró que las galletas tienen mejor composición nutricional, así también, tienen un efecto positivo en el índice glicémico y producen un efecto de mayor saciedad por lo que puede ser una alternativa efectiva para la prevención de enfermedades no transmisibles.

Este trabajo ayudará a seleccionar los tratamientos a evaluar en la presente investigación, además estos resultados dan un aporte positivo a los probables resultados que se puedan obtener con la presente investigación.

Así también, se ha documentado que el uso de frijoles en la elaboración de productos de panadería o snack pueden tener un efecto positivo, uno ellos es la reducción de hasta cinco veces los valores de índice glicémico comparado respecto a un producto tradicional. Además, incrementa la biodisponibilidad de minerales, sin embargo, desde el punto de vista sensorial pueden ser menos aceptados por los consumidores debido a que pueden presentar mayor sabor umami que los productos sin la incorporación de leguminosas (Sparvoli et al., 2021).

Estos resultados ayudan a comprender el efecto que puede tener la incorporación de harina de frijol en una galleta, ya que mayor porcentaje de incorporación probablemente se presente menor aceptación por parte de los consumidores.

Otra ventaja del uso de leguminosas como los frijoles en el procesamiento de alimentos es la mejora en la biodisponibilidad de micronutrientes como el hierro y zinc. En algunos casos cuando se realiza el remojo de los granos disminuye la concentración de anti nutrientes como los fitatos. Aunque en la presente investigación no se determinará la disponibilidad de minerales, ayuda a fundamentar la hipótesis de que la utilización de leguminosas mejora la calidad nutricional de una galleta.

También se ha estudiado el uso de maíz en la incorporación de formulaciones de productos de panificación, se evaluó galletas donde se utilizó

harina de maíz con alta calidad de proteína, estas alcanzaron valores de 8.1 g de proteína y mejoró el perfil de aminoácidos.

Así también, el consumo de las mismas tuvo un efecto en la reducción de prevalencia de anemia en el grupo que las consumió, logrando una disminución de 16.6 por ciento (Grover et al., 2020). Esta investigación aporta información importante para el trabajo, al brindar información de la cantidad de maíz utilizado y el método de procesamiento del mismo, con lo cual ayuda a definir el flujo de proceso para la obtención de harina que se utilizará en la galleta.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Calidad de la proteína

La calidad de la proteína o valor biológico está dada principalmente por la composición y proporción de aminoácidos que ésta contenga (Suárez et al., 2006). Entre más parecida sea la composición y proporción de las proteínas del alimento a las proteínas del organismo, mejor será la calidad, pero los de mayor importancia serán los aminoácidos esenciales, ya que estos no los sintetiza el organismo.

Para estimar la calidad de la proteína, se utilizan como comparadores la composición y proporción de aminoácidos presentes en el huevo o la leche, a partir de éstas se calcula la calidad de proteína de los demás alimentos (Verdú, 2013).

Para formar proteínas el ser humano necesita veinte aminoácidos, de los cuales hay algunos que no son capaces de sintetizarlos, por lo que deben ser aportados en la dieta (National Institute of Health, 2014). Los aminoácidos menos frecuentes en los alimentos son: lisina, metionina y triptófano. Poblaciones que basan su alimentación en maíz pueden ser propensas a tener una deficiencia de lisina y triptófano ya que estos son aminoácidos limitantes en este alimento (del Castillo, 2006).

2.1.1. Maíces con alta calidad de proteína

La calidad de proteína del maíz es baja cuando se compara respecto a la calidad de proteína de origen animal, el valor biológico de la proteína del maíz, comparado con el de la leche es del 39 % (Viteri & Bressani, 1972). Cerca del ochenta por ciento de la proteína se acumula en el endospermo, sin embargo, ésta posee una desventaja, que consiste en un desbalance de aminoácidos esenciales, debido a un contenido bajo de lisina y triptófano (Mendoza et al., 2006).

El maíz en condiciones naturales ha tenido mutaciones de algunos genes, los cuales se comprobó que influyen en la síntesis de proteínas del grano, incrementando la concentración de lisina y triptófano. Mertz et al. (1964) descubrió un gen que incrementa el contenido de lisina en el maíz.

Este gen tiene la característica de modificar la composición y estructura en el grano del maíz, invierte la proporción de zeínas y glutelinas en el grano, esta modificación hace que exista cinco veces menos zeínas que en el grano normal y 2.5 veces más de glutelinas. Al cambiar la proporción de proteínas se mejora la calidad proteica del grano de maíz, al aumentar los valores de lisina y triptófano (Viteri & Bressani, 1972), al maíz que tiene mayor contenido de lisina y triptófano se le ha llamado Quality Protein Maize (QPM) o maíz con Alta Calidad de Proteína (ACP).

Actualmente se han descubierto varios genes que incrementan la calidad de la proteína, estos son: opaco-2, harinoso-2, opaco-7, opaco-6, y harinoso-3. El gen opaco-2 es el más común, se descubrió en dos razas de maíz procedentes de la zona andina del Perú. Se concluyó que en base a sus características

propias la mutación opaco-2, es la más apropiada para los programas de mejoramiento genético (Mertz et al., 1964).

En Guatemala instituciones como el Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA) han desarrollado variedades de maíz ACP con el objetivo de mejorar el estado nutricional de las personas. Se han realizado estudios con este tipo de maíz en seres humanos y animales, Bressani, et al. (1974) evaluó siete combinaciones de maíz normal y frijol; siete combinaciones de maíz de alta calidad proteica y frijol. La mejor combinación fue la proporción de 50/50 frijol y maíz, la diferencia entre la combinación donde se utilizó maíz normal y maíz con alta calidad proteica fue notable ya que la diferencia de aumento de peso fue de 60 g/día.

La utilización del maíz con modificación por el gene opaco-2 tiene promisorios resultados en el aumento de proteína disponible para la población y por consiguiente una mejora en la nutrición.

2.1.2. Uso de mezclas vegetales para mejorar calidad proteica

Maíz o arroz en combinación con frijol es la base de la dieta para los centroamericanos, estas combinaciones mejoran el valor nutritivo de la dieta al complementar aminoácidos esenciales por parte de leguminosas y cereales. El consumo de maíz y frijol en proporción 87:13 mejora la digestibilidad de la proteína (Navarrete & Bressani, 1981).

El Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá (INCAP), ha trabajado en mejorar el estado nutricional de la población centroamericana, en 1950 inició con la elaboración de harinas de fuentes vegetales, de bajo costo y alta calidad nutricional. Como resultado de este trabajo se obtuvo la

INCAPARINA, los ingredientes de la formula inicial fueron: harina de maíz, harina de semilla de algodón y harina de soya, además fue fortificada con vitamina A y tiamina, riboflavina, niacina, calcio, zinc, fósforo y lisina.

La calidad de proteína alcanzada con esta formulación fue del 97 % del valor de la caseína, además aportaba 25 % de la Recomendación Diaria Dietética (RDD), para la vitamina A, 48 % de hierro, 40 % de las vitaminas del complejo B. El costo de esta formulación era cinco veces inferior al de una formula comercial recomendada para niños, actualmente este producto es elaborado únicamente con una mezcla de maíz y soya (Tartanac, 2000).

Se desarrollaron otras formulaciones además de la Incaparina, conocidas como: Bienestarina, Innovarina y Vitatol, una porción de 20 gramos de estos productos contiene entre 21 a 23 % de proteína de alta calidad y además aporta entre 20 a 36 % de la Recomendación Diaria Dietética (RDD), de Hierro, 27-37 % de la RDD para vitamina A. Todas las formulaciones tienen valores nutricionales similares a los de la leche, por lo que son ideales para suplementar nutrientes a bajo costo (Bressani, 1998).

2.1.3. Uso de maíz ACP en la elaboración de alimentos

El maíz ACP se ha estudiado para su utilización en la industria para la fabricación de productos alimenticios, Bressani et al. (sf) elaboró harinas de maíz ACP y normal, las harinas fueron procesadas por nixtamalización, cocción en agua y deshidratación, germinación, tueste y malteo. El método utilizado no influyó en la calidad de harina, la harina obtenida por medio de malteo fue combinada con leche para obtener un alimento complementario, en la evaluación sensorial la mezcla con mayor aceptación fue la maíz y leche en proporción

72:28, ésta mezcla contenía 16.5 % de proteína con valor biológico igual al de la leche, pero a menor costo.

Además, en este estudio se elaboró productos de panificación donde un pan elaborado con maíz ACP y Amaranto, tiene una tasa de proteína neta NPR por sus siglas en inglés, de 2.48, un valor bastante bueno si se compara con el 3.88 de la leche y 1.62 de un pan elaborado con trigo.

2.2. Importancia de los minerales en la alimentación

Los minerales son esenciales para la vida y la salud, idealmente la dieta los debe aportar, estos actúan como elementos estructurales del esqueleto y de otros órganos del cuerpo, tienen funciones de transporte de sustancias, facilitadores de reacciones metabólicas o forman moléculas. Los minerales son solubles, por lo tanto, se pueden perder durante la preparación de alimentos cuando implica utilización de agua para cocción, esto se puede reducir al disminuir la cantidad de agua utilizada o bien usar el agua para la preparación de los alimentos (Elías et al., 2012).

2.2.1. Hierro

El hierro forma parte de la mioglobina y citocromos, que están involucrados en el almacenamiento y utilización celular de oxígeno, así como de diversos sistemas enzimáticos. La deficiencia de hierro ha sido asociada a anemia, alteraciones del sistema inmunológico y bajo rendimiento escolar en niños, entre otros.

Existen dos tipos de hierro, hemínico y no hemínico, el primero se encuentra en alimentos de origen animal y el otro en alimentos vegetales.

Cuando la dieta es basada en alimentos de origen vegetal, la biodisponibilidad es entre 5 a 12 %. Los requerimientos fisiológicos de hierro varían en cada etapa, las RDD más altas las necesitan mujeres en edades comprendidas entre los 14 a 18 años (25 mg/día), con dietas con baja biodisponibilidad del mineral (Elías et al., 2012).

2.2.2. Zinc

El zinc es un mineral necesario para varios procesos del organismo humano, es requerido para el crecimiento, desarrollo, y funcionamiento neurológico, mantenimiento del apetito, la deficiencia se puede apreciar en el bajo crecimiento en niños, pérdida de apetito, problemas cutáneos, problemas inmunológicos; así también afecta el desarrollo cognitivo, cerebral y sexual en niños (Elías et al., 2012).

La disponibilidad de zinc en la dieta es baja, debido a que normalmente se encuentra en alimentos de costo elevado como carnes rojas, algunos mariscos y nueces, sin embargo, se encuentra en algunas leguminosas, pero este tiene menor biodisponibilidad (Elías et al., 2012).

2.2.3. Biodisponibilidad

El procesamiento, como la molienda y refinamiento de los cereales puede disminuir hasta 75 % el contenido de zinc, así como el enlatado de los alimentos, lo reduce en más del 50 %. Además, la disponibilidad se ve afectada por varios factores, tales como altas cantidades de fibra, fitatos, oxalatos, calcio y taninos. Durante la cocción de algunos alimentos con alto contenido de fitatos y calcio se forma un precipitado de zinc y calcio, mientras que la adición de ácido cítrico a los alimentos puede mejorar la absorción de ciertos minerales (Elías et al., 2012).

2.2.4. Biofortificación

La biofortificación consiste en el incremento de la concentración de micronutrientes en las partes comestibles de cultivos básicos, esto puede ser mediante técnicas de mejoramiento convencional, ingeniería genética. Aumentar el contenido de nutrientes en cultivos de consumo masivo permite que personas con limitado acceso a nutrientes mejoren la ingesta de los mismos, especialmente poblaciones con desnutrición en el área rural (Nestel et al., 2006).

Es importante considerar que para que la biofortificación tenga éxito en los países donde se quiera implementar es necesario que las nuevas variedades sean de alto rendimiento o al menos igual que los que ya se cultivan; deben tener adecuadas características organolépticas y de calidad de acuerdo a los requerimientos de los consumidores y deben mostrar eficacia para disminuir la malnutrición en la población (Sida et al., 2015).

La iniciativa liderada por el IFPRI y el CGIAR conocida como Harvest Plus es la encargada de generar y promover los cultivos biofortificados en África, Asia y América Latina. Durante varios años ha colaborado y generado investigación en áreas de mejoramiento, nutrición y postcosecha con biofortificados y estableció las metas para incrementar los micronutrientes, estas se detallan a continuación en la Tabla 3. Con estos objetivos de incremento de los nutrientes y bajo el consumo per cápita recomendado la biofortificación tendría un efecto positivo en la disminución de la malnutrición (Bouis & Welch, 2010).

Tabla 3.*Contenido de nutrientes en cultivos*

Cantidad consumida o nutriente	Criterio	Arroz (pulido)	Frijol (crudo)	Maíz (integral)	Yuca	Camote
Consumo per cápita	Adultos (g/d)	400	200	40	40	200
	Niños (g/d)	200	100	200	200	100
Fe	Contenido del nutriente en línea base (µg/g)	2	50	30	4	6
	Contenido adicional requerido (µg/g)	11	44	22	11	22
	Objetivo final	13	94	52	15	28
	Objetivo final en base seca	15	107	60	45	85
	Contenido del nutriente en línea base (µg/g)	16	32	25	4	6
Zn	Contenido adicional requerido (µg/g)	8	17	8	8	17
	Objetivo final	24	49	33	12	23
	Objetivo final en base seca	28	56	38	34	70
	Contenido del nutriente en línea base (µg/g)	16	32	25	4	6

Nota. Nutrientes en cultivos sin biofortificar y biofortificados. Adaptado de H. Bouis & R. Welch. Biofortification-A sustainable agricultural strategy for reducing micronutrient malnutrition in the global south. Crop Science 50(20). pp. 20-32. <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2135/cropsci2009.09.0531>

2.2.5. Maíz ACP y zinc

El maíz es uno de los principales cultivos sembrado y consumido en las zonas con desnutrición, principalmente prevalencia de deficiencia de Zn; debido a ello fue seleccionado como uno de los cultivos de consumo básico que tendría efecto positivo si se incrementaba por medio de la biofortificación con Zn. La

biofortificación del maíz con Zn puede realizarse por medio de prácticas agronómicas o mejoramiento genético. Para aumentar la concentración de Zn en el grano se ha realizado mediante la hibridación y selecciones (Maqbool & Beshir, 2019).

2.2.6. Biofortificación de frijol

El frijol es una importante fuente de proteína y calorías en países como Rwanda y Kenya, donde el consumo per cápita por año es de aproximadamente 66 kg, y en América en países de Centroamérica donde el promedio es cerca de 35 kg. Este consumo aporta cantidades significativas de minerales, debido a ello se eligió utilizar este grano para incrementar la concentración de minerales, se inició con la biofortificación con hierro y zinc, y con ello conseguir mayor ingesta de estos nutrientes y disminuir o erradicar las deficiencias de estos nutrientes (Blair, 2013).

2.2.7. Frijol con alto contenido de minerales

Estudios han demostrado que el frijol con mayor contenido de micronutrientes puede ser un alimento ideal para incrementar la ingesta de hierro en poblaciones donde la dieta se basa en este cultivo. Un estudio donde se utilizó frijol no biofortificado con 71 ppm de hierro y otro biofortificado con 106 ppm para elaborar dietas a base de frijol, fueron utilizadas para alimentar cerdos, la concentración de hierro en las dietas fue de 43 y 55 mg/kg, respectivamente. Los resultados encontrados fueron que después de cinco semanas de alimentar a los cerdos, la concentración de hierro total en el cuerpo fue superior para los cerdos alimentados con frijol biofortificado (Tako et al., 2009).

2.2.8. Eficacia del consumo de biofortificados

La biofortificación de los cultivos es una estrategia complementaria para mejorar las condiciones nutricionales de poblaciones en riesgo, sin embargo, a mayor contenido de nutrientes también se ha encontrado mayores niveles de inhibidores de la absorción como lo son los fitatos y los polifenoles.

Los estudios para demostrar la efectividad han sido limitados por el alto costo y la complejidad de los mismos ha sido difícil demostrar la eficacia del consumo de alimentos con mayor contenido nutricional (Petry et al., 2012).

En Rwanda se realizaron tres estudios de absorción de hierro en 61 mujeres con niveles bajos de hierro.

- Los estudios 1 y 2 compararon la absorción de hierro de frijoles con alta y baja concentración de polifenoles y similares en ácido fítico y hierro.
- La diferencia del segundo estudio fue que se complementó la alimentación con arroz y papas.
- El tercer estudio comparó el consumo de frijoles con alto contenido de hierro y niveles normales, ambos eran similares en polifenoles.

Los resultados demostraron que los frijoles, aunque posean mayor cantidad de nutrientes si el grano también posee alto contenido de anti nutrientes la absorción del mineral se verá afectada, pero complementar la dieta con otros alimentos potenciará la absorción (Petry et al., 2012).

Por medio del mejoramiento convencional se puede disminuir la concentración de antinutrientes y con ello mejorar la biodisponibilidad del hierro y el impacto biológico que estos puedan tener en la población. Además, el consumo de múltiples cultivos biofortificados entre cereales y leguminosas pueden tener el potencial de mejorar la nutrición (Boy et al., 2017).

2.2.9. Procesamiento de frijoles

Tradicionalmente los frijoles son remojados previamente a la cocción, normalmente son consumidos cocidos y en algunos casos refritos. En los frijoles biofortificados la utilización de remojo no afecta la retención de hierro y zinc después del mismo, únicamente disminuye la cantidad de fitatos en un 12 %.

- La cocción por ebullición presenta una retención superior al 80 % para hierro, mientras que para el zinc es de 77.9 % cuando el grano fue previamente remojado y de 81.1 % cuando no lo fue.
- Cuando los frijoles son refritos la retención de hierro es mayor a 91 % indistintamente de si fue remojado o no; mientras que para el zinc la retención fue mayor en los granos no remojados (Hummel et al., 2020).

Se han realizado estudios de evaluación de métodos de procesamiento y el efecto que este tiene en las características fisicoquímicas y sensoriales de la harina de frijol biofortificada.

Los métodos de procesamiento evaluados fueron:

- Malteado
- Tostado y

- Extrusión
 - Se obtuvo como resultado que todos los métodos aumentaron la extracción mineral, el hierro incrementó con el proceso de 38.9 % a 79.5 %, de igual forma aumentó la disponibilidad de la proteína.
 - Los productos elaborados con esta harina presentaron aceptación sensorial por parte de los panelistas independientemente del método de obtención de la harina (Nkundabombi et al., 2015).

2.2.10. Efecto del tiempo de cocción en los frijoles

Algunas de las variedades de frijoles requieren largos tiempos de cocción, esto representa un gasto mayor para los consumidores y es motivo de no aceptación para la variedad y limita el consumo de los mismos. Cuando la variedad requiere menor tiempo de cocción esto representa mejoras en la calidad nutricional de los mismos, debido a que retienen más proteína y minerales comparados con los granos que requieren mayor tiempo de cocción, además, mantienen cantidades similares de almidón y fibra. Así también, estos granos poseen mejor biodisponibilidad de hierro que los de cocción lenta (Wiesinger et al., 2016).

2.2.11. Efecto del procesamiento en el maíz biofortificado

El método de procesamiento del maíz tiene efecto directo en la concentración final de los nutrientes en el producto terminado.

- Uno de los métodos que mayor cantidad de minerales retiene es la nixtamalización en la elaboración de tortillas, ya que el contenido de

minerales llega a ser igual en la tortilla que en el grano crudo, únicamente se ve afectada la cantidad de triptófano, la cual disminuye 32 %.

- La molienda utilizada en la elaboración de harinas para la preparación de arepas, únicamente retiene 43.9 %, la diferencia respecto a las tortillas se debe principalmente a la utilización de grano integral en la nixtamalización.
- Para tener mayor retención de minerales se recomienda la utilización del grano completo, esto debido a la cantidad de zinc presente en el pericarpio y germen, 36 y 37 por ciento respectivamente (Gallego et al., 2021).

3. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

En esta sección se presenta la metodología de la investigación, en la cual se describe el enfoque, alcance, diseño, variables, indicadores, fases que se desarrollaron y resultados obtenidos. En la fase uno de revisión documental se procedió a tener varias referencias bibliográficas para utilizarlas como guía y así de esa manera estudiar de mejor manera las variables.

La fase dos consistió en realizar varias formulaciones para el diseño experimental, ya que posteriormente estas evaluarían sus características técnicas, como se detalla en la fase tres. Por otro lado, en la fase cuatro las muestras fueron sometidas a análisis químicos para determinar la composición de nutrientes. Por último, este diseño fue evaluado por medio de un panel sensorial conformado por 100 personas que evaluaron sus características organolépticas, como se muestra en la fase cinco.

3.1. Fase 1. Revisión documental

En la fase inicial se generó el contexto de los antecedentes del problema. Se realizó recopilación de investigaciones previas relacionadas al tema de investigación, se dio relevancia a artículos científicos recientes, con menos de cinco años de antigüedad para contar con información confiable de fuentes actualizadas.

3.2. Fase 2. Formulación de galletas

En función de la revisión documental se seleccionaron los tratamientos a estudiar, se realizó las formulaciones basado en el diseño simplex con centroide para mezclas de tres ingredientes principales. Para la selección de la mejor formulación se tomó en cuenta los resultados de los análisis físicos, químicos y sensoriales.

3.3. Fase 3. Cuantificación de características físicas

Se midió características físicas en la galleta para identificar los cambios ocasionados por los tratamientos, se midió color por el sistema CIE Lab*, y se tomaron medidas de diámetro y alto.

Color: el color se midió con el colorímetro Nix Quality Control, para ello se colocó una galleta en el colorímetro y se procederá con la medición en el sistema CIE Lab*. Esta variable se medirá 30 minutos después de horneadas las galletas.

3.4. Fase 4. Determinación de composición química

Se estimó la composición nutricional de macronutrientes a todos los tratamientos, además se realizó análisis proximal de una repetición de todas las formulaciones y para todos los tratamientos se analizó proteína, hierro y zinc por triplicado. Los análisis fueron realizados en el laboratorio de química agrícola del Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA) en El Salvador.

3.5. Fase 5. Identificación de la aceptación sensorial

Para el análisis sensorial de las galletas se organizaron varias sesiones con los panelistas no entrenados, para hacer un total de 100 evaluadores. Las evaluaciones se realizaron en San José la Máquina, Suchitepéquez y en las instalaciones de la Planta Piloto de Alimentos del ICTA en Chimaltenango. Se utilizó escala hedónica de cinco puntos siendo cinco la mejor y uno la peor calificación, para así poder obtener una valoración numérica de los atributos y analizar estadísticamente el tratamiento que con mayor aceptación por parte de los panelistas.

4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos durante el trabajo de campo de la presente investigación, detallados por cada uno de los objetivos específicos. Se pudo apreciar que en relación a los prototipos varía el contenido de hierro y zinc. Primero se consideró el contenido de nutrientes según la teoría como se detalla en la Tabla 4, posteriormente se muestran en la Tabla 5, los ingredientes de los diferentes prototipos de las galletas.

Es importante mencionar que los valores obtenidos para el color en CIE Lab* se detallan en una escala de colores. Las galletas elaboradas fueron sometidas a diferentes pruebas para evaluar la variabilidad y comparar las diferencias que presentan.

Los resultados también se muestran en gráficos de contorno para proteína, hierro, zinc, Tablas y figuras.

4.1. **Desarrollar tres prototipos de galleta con base a una mezcla de trigo, maíz y frijol**

En la Tabla 4, se presentan los resultados estimados de las formulaciones propuestas inicialmente, datos basados en la tabla de composición de alimentos del INCAP.

Tabla 4.*Composición proximal estimada*

F	Energía (Kcal/100g)	Proteína (g/100g)	Grasa Total (g/100g)	Carbohidratos (g/100g)	Zn (mg/100g)	Fe (mg/100g)
Control	98.24	2.51	2.62	16.18	0.21	0.29
T1	87.55	1.65	3.19	13.01	0.12	0.21
T2	74.23	1.27	3.15	10.21	0.10	0.17
T3	60.90	0.89	3.12	7.42	0.07	0.13

Nota. Estimación del contenido nutricional de galletas. Elaboración propia, realizado con Excel.

En la Tabla 5 se observan los tratamientos, los tres principales ingredientes constituyeron el 48 % del total de la fórmula y variaron entre 8 a 48 %; mientras que los demás ingredientes permanecieron constantes en los siguientes porcentajes: azúcar (14.74 %), huevo (14 %), agua (7.4 %), mantequilla de maní (6.6 %), margarina (4.4 %), leche descremada en polvo (4 %), polvo para hornear (0.3 %), sal (0.3 %) y esencia de vainilla (0.28 %).

Tabla 5.*Diseño de mezclas simplex con centroide*

Tratamiento	Pseudo componentes			Valor real utilizado (en porcentaje)		
	T	M	F	Trigo	Maíz	Frijol
1	0	0	1	--	--	48
2	0	1	0	--	48	--
10	1	0	0	48	--	--
3	0.5	0	0.5	24	--	24
4	0.5	0.5	0	24	24	--
5	0	0.5	0.5	--	24	24
6	0.33	0.33	0.33	16	16	16
7	0.67	0.16	0.16	32	8	8
8	0.16	0.16	0.67	8	8	32
9	0.16	0.67	0.16	8	32	8

Nota. Mezclas evaluadas según del diseño simplex. Elaboración propia, realizado con Excel.

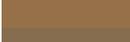
La tabla anterior se basa en la combinación de tres tipos de harina en distintos porcentajes, las mezclas propuestas se basan en el diseño simplex con centroide, el cual propone evaluar proporciones extremas, puntos intermedios y centrales, dando como resultados un total de 10 mezclas (Buruk et al., 2016).

4.2. Efecto de la incorporación de harina de maíz y frijol en las características físicas de la galleta

En la Tabla 6, se muestra los valores de color en sistema CIE Lab* para cada una de las formulaciones evaluadas, existió diferencia estadística significativa para las tres variables de color ($p < 0.05$) por lo que se realizó prueba de medias de DGC.

Tabla 6.

*Valores obtenidos para el color en CIE Lab**

Tratamiento	Trigo	Maíz	Frijol	L	a	b	Color
1	0	0	1	44.38 b	06.67 d	16.26 d	
2	0	1	0	53.41 a	14.94 b	31.95 a	
10	1	0	0	54.44 a	14.66 b	32.61 a	
3	0.5	0	0.5	47.19 b	10.51 c	22.96 c	
4	0.5	0.5	0	51.70 a	17.31 a	32.48 a	
5	0.00	0.5	0.5	48.51 b	10.59 c	23.64 c	
6	0.33	0.33	0.33	49.59 b	11.89 c	26.51 b	
7	0.67	0.16	0.16	48.04 b	14.25 b	28.03 b	
8	0.16	0.16	0.67	45.82 b	09.61 c	22.01 c	
9	0.16	0.67	0.16	47.66 b	14.50 b	28.01 b	

Nota. Detalle de los resultados de la variable color en función de las mezclas. Elaboración propia, realizado con Excel.

En la Figura 1, se observan tres formulaciones de las diez que se elaboraron, se aprecia el color de cada una y la diferencia que existió entre ellas, se muestran las formulaciones 4, 5 y 6, dos columnas por tratamiento.

Figura 1.

Galletas elaboradas



Nota. Galletas elaboradas para este proyecto. Elaboración propia.

4.3. Efecto de la incorporación de harina de maíz y frijol en la composición de macronutrientes, hierro y zinc y de la galleta

A continuación, se presentan los resultados de análisis químicos realizados a las formulaciones evaluadas, se muestran medias de las tres repeticiones para proteína, hierro y zinc. Además, se graficó para cada una de las variables en función de superficie de respuesta.

En la Tabla 7, se observan los resultados del análisis de varianza y prueba de medias realizados a los datos. Existió diferencia significativa ($p < 0.05$) para proteína, hierro y zinc. Debido a ello se realizó prueba de medias DGC a las tres variables.

Tabla 7.

Contenido de proteína, hierro y zinc en las formulaciones

Tratamiento	Trigo	Maíz	Frijol	Proteína (g/100g)	Hierro (mg/100g)	Zinc (mg/100g)
1	0	0	1	17.60a	4.02a	4.61b
2	0	1	0	11.40e	2.14c	4.37b
10	1	0	0	11.99e	3.90a	3.74b
3	0.5	0	0.5	15.42b	3.95a	3.59b
4	0.5	0.5	0	11.95e	3.26b	6.27 ^a
5	0.00	0.5	0.5	14.67c	3.39b	3.39b
6	0.33	0.33	0.33	14.11c	3.65a	4.51b
7	0.67	0.16	0.16	13.02d	3.80a	3.90b
8	0.16	0.16	0.67	15.71b	3.79a	4.71b
9	0.16	0.67	0.16	12.65d	3.18b	4.85b

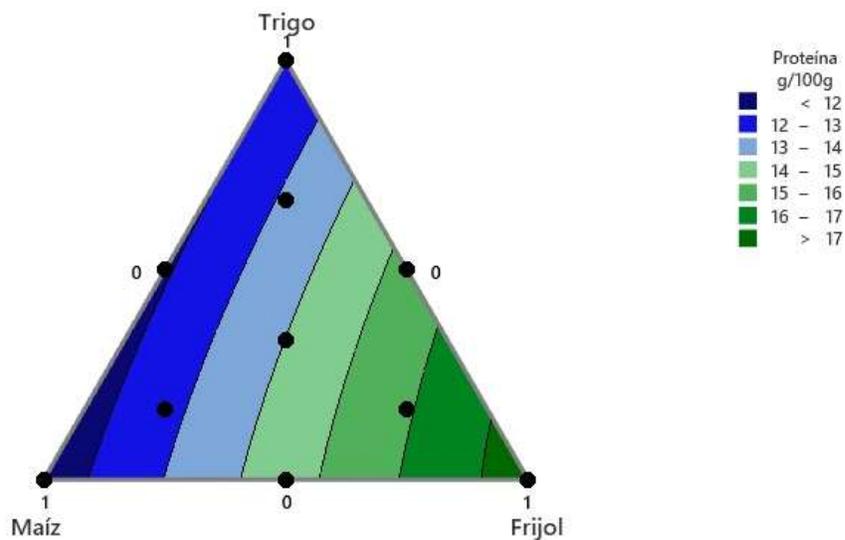
Nota. Detalle de los resultados de las variables en función de las mezclas realizadas. Elaboración propia, realizado con Excel.

Se realizó optimización por el método de análisis de superficie de respuesta para el diseño simplex con centroide, el análisis de varianza de los modelos de regresión que explican el contenido de proteína, hierro y zinc en la galleta en base a los porcentajes de harina de maíz, trigo y frijol, reportó que el modelo cúbico tiene el efecto estadístico significativo más cercano al valor del nivel de confianza, además posee un elevado coeficiente de correlación ($R^2 = 95.81$).

La gráfica presentada en la Figura 2, muestra los resultados para la variable de proteína en función de las combinaciones posibles de trigo, maíz y frijol, los resultados variaron en un rango de 12 g de proteína por cada 100 g de galleta a 17 g/ de proteína por 100 g de galleta. El testigo elaborado con 100 % trigo presentó valores cercanos a 12 g de proteína.

Figura 2.

Gráfico de contorno para proteína

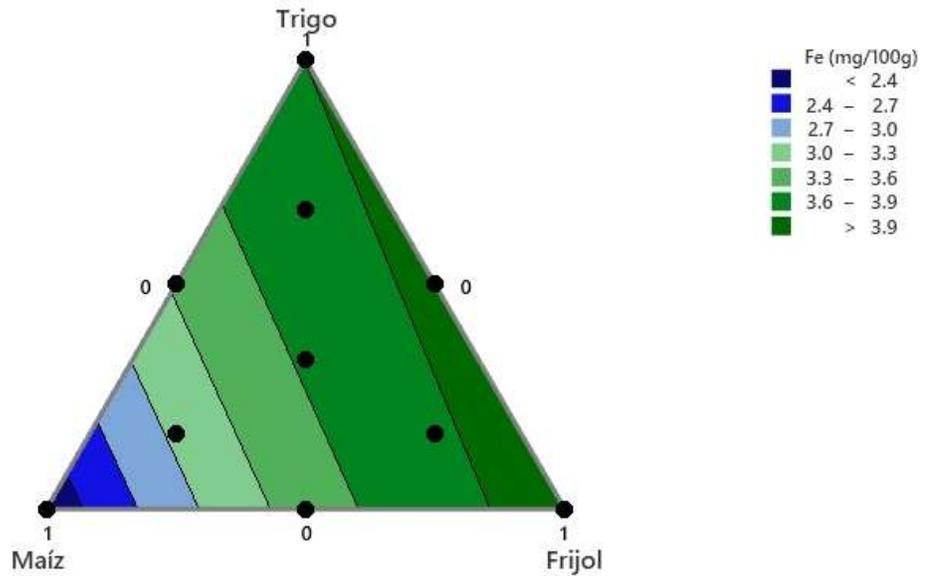


Nota. Gráfico de superficie de respuesta para mezclas de tres componentes. Elaboración propia, realizado con Minitab.

La gráfica presentada en la Figura 3, muestra los resultados para la variable de hierro en función de las combinaciones posibles de trigo, maíz y frijol, los resultados variaron en un rango de 2.4 mg de Fe por 100 g de galleta a 3.9 mg/ de Fe por 100 g de galleta. El testigo elaborado con 100 % trigo presentó valores cercanos a 3.6 mg de Fe.

Figura 3.

Gráfico de contorno para hierro

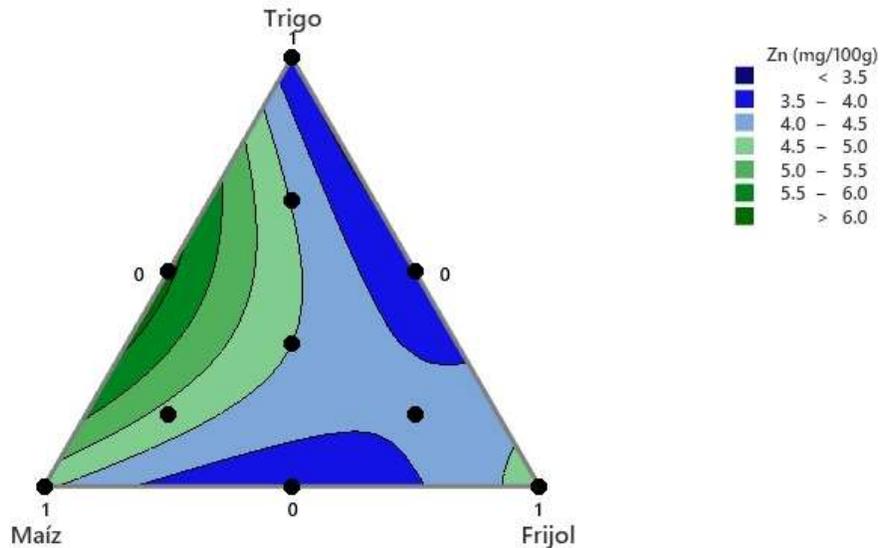


Nota. Gráfico de superficie de respuesta para mezclas de tres componentes. Elaboración propia, realizado con Minitab.

La gráfica presentada en la Figura 4, muestra los resultados para la variable de zinc en función de las combinaciones posibles de trigo, maíz y frijol, los resultados variaron en un rango de 3.5 mg a 6 mg por 100 g de galleta. El testigo elaborado con 100 % trigo presentó valores cercanos a 3.5 mg de Zn.

Figura 4.

Gráfico de contorno para zinc



Nota. Gráfico de superficie de respuesta para mezclas de tres componentes. Elaboración propia, realizado con Minitab.

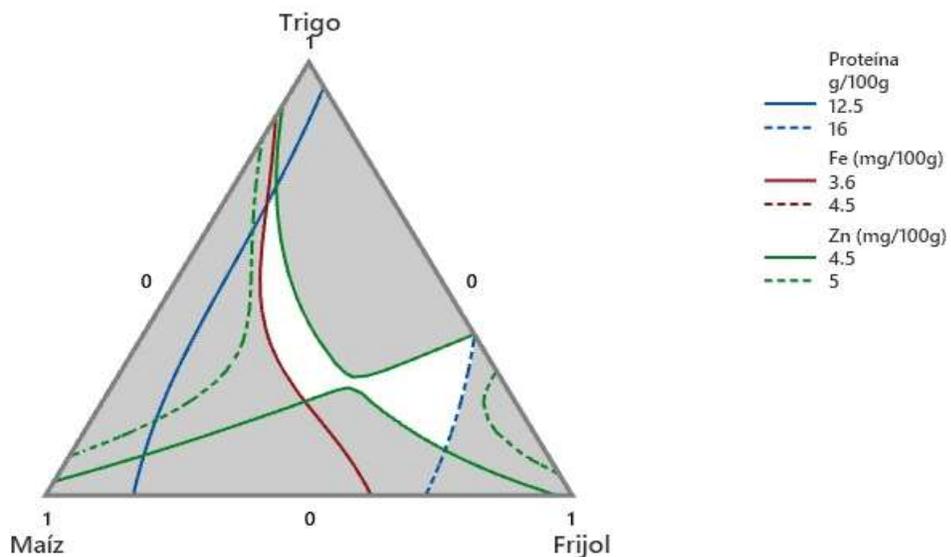
Como el objetivo de este estudio fue verificar la inclusión de harina de maíz y harina de frijol en la formulación de galletas, el contenido nutricional de proteína, hierro y zinc fueron criterios de optimización.

- Los resultados de optimización indicarán la influencia de la mezcla en el efecto beneficioso sobre las propiedades nutricionales.
- El valor objetivo, límites inferiores y superiores para los parámetros de respuesta de las variables dependientes se establecieron en niveles que aseguraran contenido nutricional superior al de una galleta elaborada únicamente con trigo.

En la Figura 5, se muestra el resultado de la optimización, los parámetros de optimización fueron: 12.5 a 16 g/100 para proteína; 3.6 mg a 4.5 mg/ 100g para hierro; 4.5 a 5 mg/100g para zinc. Los valores objetivo para proteína, hierro y zinc fueron de 14.8 g, 3.9 mg y 5 mg respectivamente.

Figura 5.

Gráfico para optimización de macronutrientes



Nota. Gráfico de superposición de contornos para la optimización de superficie de respuesta para proteína, hierro y zinc. Elaboración propia, realizado con Minitab.

4.4. Formulación con mejor aceptación sensorial

Para realizar el análisis sensorial se seleccionaron tres formulaciones basadas en el contenido nutricional, las cuales se compararon con la galleta elaborada únicamente con harina de trigo.

En la Tabla 8, se pueden observar los resultados del análisis sensorial de aceptación realizado con 100 panelistas no entrenados.

Tabla 8.

Aceptabilidad sensorial para los atributos evaluados

Tratamiento	Olor	Sabor	Textura	Color	Aceptación
5	4.21	4.36	4.18	4.23	4.36
3	4.32	4.27	4.05	4.23	4.27
Testigo	4.18	4.50	4.41	4.27	4.38
6	4.05	4.32	4.18	4.29	4.27

Nota. Detalle de los valores de aceptación sensorial en escala de cinco puntos. Elaboración propia, realizado con Excel.

En la Figura 6, se aprecia a personas que realizaron la evaluación sensorial en San José, La Máquina, Suchitepéquez, cada panelista evaluó tres formulaciones y el control elaborado con 100 % trigo.

Figura 6.

Evaluación sensorial realizada



Nota. Personas realizando análisis sensorial para esta investigación, en San José la Máquina, Suchitepéquez. Elaboración propia.

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A continuación, se presenta la discusión de resultados, realizada en función de los datos obtenidos.

- El primero se enfoca en el desarrollo de tres prototipos de galleta en base a una mezcla de trigo, maíz y frijol.
- El segundo se basa en el efecto de la incorporación de harina de maíz y frijol en las características físicas de la galleta.
- El tercero evaluó el efecto de la incorporación de harina de maíz y frijol en la composición de macronutrientes, hierro y zinc de la galleta.
- El cuarto, evaluó la formulación con mejor aceptación sensorial con panelistas no entrenados.
- El quinto realizó el análisis estadístico.

5.1. Desarrollo de tres prototipos de galleta en base a una mezcla de trigo, maíz y frijol

Inicialmente se planteó tres porcentajes de sustitución de harina de trigo y por una mezcla de harina de maíz y frijol, para la elaboración de una galleta, la sustitución de harina de trigo propuesta era 25, 50 y 75 % y estos serían comparados con un testigo de 100 % de harina de trigo.

Previo a la formulación de estos tratamientos, se realizó la estimación de la composición nutricional de las galletas, esto basado en la tabla de composición de alimentos del Instituto de Nutrición para Centroamérica y Panamá.

La composición estimada mostró tendencia inversa respecto a la sustitución de harina de trigo, conforme aumentó la incorporación de la mezcla de maíz y frijol, la cantidad de proteína, hierro y zinc disminuyó. Debido a ello se replantearon las proporciones de sustitución y combinación de ingredientes principales.

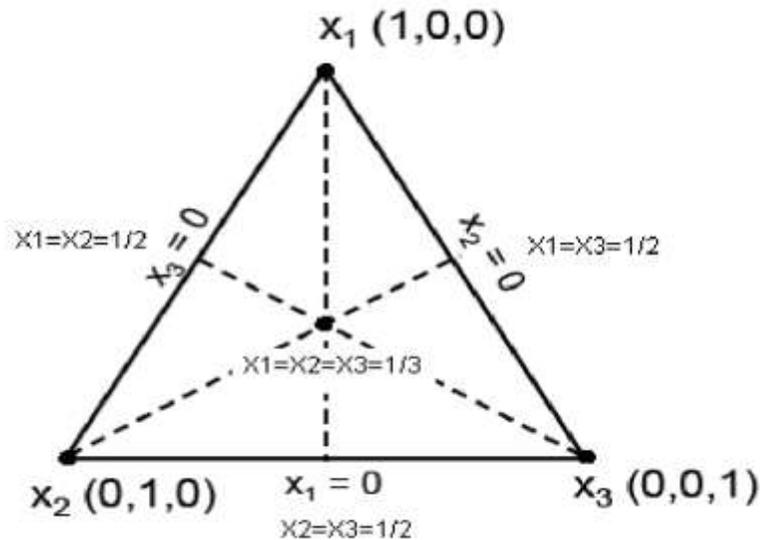
Para establecer las nuevas formulaciones se realizó documentación para la formulación con mezclas con tres ingredientes principales y se encontró el uso de diseño simplex con centroide propuesto por Gutiérrez y de la Vara (2012), este diseño propone la evaluación de 10 mezclas, conformadas de la siguiente manera:

- Tres puntos extremos
- Tres puntos medios
- Tres puntos ubicados a un tercio y
- Un punto central que evalúa en partes iguales los tres ingredientes.

De forma gráfica se puede ver la representación de las mezclas en la Figura 7.

Figura 7.

Mezclas según el diseño simplex con centroide



Nota. Detalle de la representación gráfica de las mezclas propuestas según el diseño simplex con centroide. Elaboración propia, realizado con Minitab.

Con las mezclas obtenidas del diseño simplex se procedió a estimar el contenido nutricional de las mismas, se encontró varios tratamientos que presentaban contenido de proteína, hierro y zinc superior al testigo, por lo que se procedió a la elaboración de las mismas.

Dentro de los ingredientes seleccionados se utilizó leche descremada en polvo para mejorar la cantidad y calidad proteína de la galleta, tal como lo menciona Elías (1996), donde el uso de leche descremada mejora la calidad de mezclas vegetales, así también se incluyó en la formulación mantequilla de maní con la finalidad de brindar mejor calidad de grasa respecto al uso tradicional de margarina.

Además, para aumentar energía y mejorar el sabor del producto final, se ha evidenciado que el uso de mantequilla de maní en galletas reduce la cantidad de ácido grasos saturados, aumentan los ácidos grasos insaturados y mejora la aceptación sensorial de las mismas (Timbadiya et al., 2017).

5.2. Efecto de la incorporación de harina de maíz y frijol en las características físicas de la galleta

Existió diferencia estadística significativa para la variable de color ($p < 0.05$), todas las formulaciones que incluyeron frijol presentaron valores distintos al resto de tratamientos, los valores para la variable L^* fueron menores respecto a los tratamientos que únicamente incluyeron maíz, trigo o su combinación.

Un efecto similar ocurrió con las variables de a^* y b^* , cuyos valores fueron inferiores respecto al testigo, la utilización de harina de frijol en la elaboración de galletas modificará el color de las mismas, brindando un color más oscuro (Simons & Hall, 2018), esto es resultado del contenido de fitoquímicos presentes en el frijol que también pueden tener un efecto como antioxidantes (Boateng et al., 2008).

5.3. Efecto de la incorporación de harina de maíz y frijol en la composición de macronutrientes, hierro y zinc de la galleta

En el aspecto nutricional existió diferencia estadística significativa ($p < 0.05$), para proteína, hierro y zinc. La elaboración de galletas con 100 % trigo o la combinación de trigo y maíz en proporciones iguales tendrán menores valores de proteína que en el resto de formulaciones, Rai et al. (2014) desarrolló galletas con harina de maíz y obtuvo contenido de proteína alrededor de 7g/100g

de galleta, estos valores incluso son menores a los alcanzados en este estudio, probablemente debido a la utilización de leche descremada en polvo.

La utilización de frijol en la elaboración de galletas aumenta la cantidad total de proteína, esta correlación se puede observar en la Figura 2, donde se aprecia la relación positiva entre la cantidad de frijol utilizada y el contenido de proteína, la utilización de frijol mejora significativamente el contenido de proteína en los productos elaborados (Mecha et al., 2021).

En cuanto a la variable de hierro fue afectada por la cantidad de frijol y la cantidad de maíz utilizada, los tratamientos donde se utilizó maíz en proporción superior a 0.5 presentaron significancia respecto a la cantidad de hierro, existió correlación inversa, ya que tuvieron menor cantidad del mineral.

Caso contrario sucedió con la incorporación de frijol, a mayor porcentaje de harina de frijol biofortificado se utilizó también aumentó la cantidad de hierro total, de Magalhães et al. (2023) menciona que el uso de frijol en la formulación de galletas libres de gluten mejora el perfil nutricional e incrementa el contenido de hierro.

La cantidad de zinc aumentó al utilizar maíz en la formulación, esto se debe a la cantidad de este mineral presente en el grano (Gomes et al., 2021). La combinación de trigo y maíz en partes iguales incrementó la cantidad total del micronutriente respecto al resto de tratamientos, este efecto se puede observar en la Figura 4.

En la Figura 5, se observa el área que optimiza las cantidades de nutrientes en la galleta, se delimitó los límites inferiores y superiores, por medio del análisis en Minitab se determinó que el punto óptimo corresponde a 38 % de

trigo, 34 % de maíz y 27 % de frijol, esta combinación dará como resultado 13.59g de proteína, 3.66 mg de hierro y 4.63 mg de zinc, este contenido nutricional es mayor que el de una galleta elaborada únicamente con harina de trigo, además es probable que se mejore el perfil de aminoácidos y ácidos grasos.

5.4. Formulación con mejor aceptación sensorial

En el análisis sensorial no se encontró diferencia estadística significativa ($p < 0.05$), para ninguna de las variables evaluadas, todas las formulaciones presentaron igual aceptación para: olor, sabor, textura, color, aceptación. Las medias para cada atributo fueron superiores a cuatro en la escala de cinco puntos.

CONCLUSIONES

1. Se formularon 10 mezclas de galleta a base de trigo, maíz y frijol, se evaluaron combinaciones extremas e intermedias, las cuales presentan características químicas, físicas y sensoriales deseables.
2. Se determinó que la incorporación de harina de frijol modifica el color de las galletas, encontrándose la disminución en luminosidad.
3. Se cuantificó el contenido nutricional de la galleta, encontrando que es posible mejorar el contenido de proteína, hierro y zinc al utilizar una combinación de 38 % de trigo, 34 % de maíz y 27 % de frijol.
4. Según el análisis sensorial con panelistas no entrenados se identificó que todas las formulaciones presentaron aceptación sensorial alta y no existió diferencia entre ellas.

RECOMENDACIONES

1. Mejorar la textura de las galletas por medio del uso de hidrocoloides.
2. Elaborar harina de frijol sin la cáscara del grano, así de esta manera se obtiene harina más blanca.
3. Validar el contenido nutricional de la mezcla obtenida por optimización, la cual corresponde a 38 % de trigo, 34 % de maíz y 27 % de frijol.
4. Realizar un panel sensorial por parte del ICTA a la formulación obtenida por medio de la optimización y promocionarla para ser utilizada en la merienda escolar que brinda el Ministerio de Educación.

REFERENCIAS

- Blair, M. (2013). Mineral biofortification strategies for food staples; the example of common bean [Estrategías de biofortificación de minerales para alimentos básicos; el ejemplo del frijol común]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* [Revista de Química Agrícola y Alimentaria], 61(35), 8287-8294. <https://doi.org/10.1021/jf400774y>
- Boateng, J., Verghese, M., Walker, L. T., & Ogotu, S. (2008). Effect of processing on antioxidant contents in selected dry beans (*Phaseolus* spp. L.) [Efecto del procesamiento sobre el contenido de antioxidantes en frijoles secos (*Phaseolus* spp. L.)]. *LWT-Food Science and Technology* [LWT- Ciencia y Tecnología de los Alimentos], 41(9), 1541-1547. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.11.025>
- Bouis, H., & Welch, R. (2010). Biofortification—a sustainable agricultural strategy for reducing micronutrient malnutrition in the global south [Biofortificación: una estrategia agrícola sostenible para reducir la desnutrición por micronutrientes en el sur global]. *Crop science* [Ciencia de Cultivos], 50(1), 20-32. <https://doi.org/10.2135/cropsci2009.09.0531>
- Boy, E., Haas, J., Petry, N., Cercamondi, C., Gahutu, J., Mehta, S., & Hurrell, R. (2017). Efficacy of iron-biofortified crops [Eficacia de los cultivos biofortificados con hierro]. *African Journal of Food Agriculture, Nutrition and Development* [Revista Africana de Alimentación, Agricultura, Nutrición y Desarrollo], 17(2), 11879-11892. <https://doi.org/10.18697/ajfand.78.HarvestPlus03>

Bressani, R., Murillo, B., & Elias, L. G. (1974). Whole soybeans as a means of increasing protein and calories in maize-based diets [Soja integral como medio para aumentar las proteínas y las calorías en dietas basadas en maíz]. *Journal of Food Science* [Revista de Ciencia de los Alinetos], 39(3), 577-580. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1974.tb02952.x>

Bressani, R., Joachin, A., & Specher, M. (s.f). Desarrollo de productos utilizando maíz de alta calidad proteica. *Revista de la Universidad del Valle*, 15, 38-49.

Buruk, Y., Aktar, E., & Burnak, N. (2016). Mixture design: a review of recent applications in the food industry [Diseño de mezclas: una revision de aplicaciones recientes en la industria alimentaria]. *Journal of Engineering Science* [Revista de Ciencias de la Ingeniería], 22 (4), 297-304. <https://dx.doi.org/10.5505/pajes.2015.98598>

de Magalhães, C., de Almeida, G., Bazán, R., Morales, A., da Silva, E., & Ascheri, J. (2023). The addition of pinto bean flour and margarine in the development of red rice-based novel gluten-free cookies to improve the technological, sensory and physicochemical properties [Adición de harina de frijol pinto y margarina en el desarrollo de novedosas galletas sin gluten a base de arroz rojo para mejorar las propiedades tecnológicas, sensoriales y fisicoquímicas]. *Plant Foods for Human Nutrition* [Alimentos Vegetales para la Nutrición Humana], 78(1), 100-108. <https://doi.org/10.1007/s11130-022-01024-8>

del Castillo, J. (2006). *Nutrición básica humana*. Universidad de Valencia.

Elías, L. G. (1996). Concepto y tecnologías para la elaboración y uso de harinas compuestas. *Boletín de la Oficina Sanitaria Panamericana (OSP)*, 121 (2), 179-182.

Elías, L., Menchú, M., & Torún, B. (2012). *Recomendaciones dietéticas diarias*. INCAP.

Estévez, J. (2016). *Efecto potencial de la implementación de maíz y frijol biofortificados en la nutrición de la comunidad El Jicarito, San Antonio de Oriente, Francisco Morazán, Honduras*. [Tesis de pregrado, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano]. Archivo digital. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/6a57784d-f9dd-40b9-9b26-68f4ad040b4e/content>

Gallego, S., Taleon, V., Talsma, E., Rosales, A., & Palacios, N. (2021). Effect of maize processing methods on the retention of minerals, phytic acid and amino acids when using high kernel-zinc maize [Efecto de los métodos de procesamiento del maíz sobre la retención de minerales, ácido fítico y aminoácidos cuando se utiliza maíz con alto contenido de zinc en el grano]. *Current Research in Food Science* [Investigación Actual en Ciencias de los Alimentos], 4, 279-286. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2021.03.007>

Gomes, M., Martino, H., & Tako, E. (2021). Zinc-biofortified staple food crops to improve zinc status in humans: a systematic review [Cultivos alimentarios básicos biofortificados con zinc para mejorar el nivel de zinc en humanos: una revisión sistemática]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* [Revisiones Críticas en Ciencia de los Alimentos y Nutrición], 63(21), 4966-4978. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.2010032>

Grover, K., Arora, S., & Choudhary, M. (2020). Development of quality protein product using biofortified maize to combat malnutrition among young children [Desarrollo de product proteico de calidad utilizando maíz biofortificado para combatir la desnutrición en niños pequeños]. *Cereal Chemistry* [Química de Cereales], 97(5), 1037-1044. <https://doi.org/10.1002/cche.10326>

Gutiérrez, H. & de La Vara. (2012). *Análisis y diseño de experimentos*. McGrawHill.

Hummel, M., Talsma, E., Taleon, V., Londoño, L., Brychkova, G., Gallego, S., & Spillane, C. (2020). Iron, zinc and phytic acid retention of biofortified, low phytic acid, and conventional bean varieties when preparing common household recipes [Retención de hierro, zinc y ácido fítico en variedades de frijol biofortificadas, bajas en ácido fítico y convencionales al preparar recetas domésticas communes]. *Nutrients* [Nutrientes], 12(3), 2-18. <http://dx.doi.org/10.3390/nu12030658>

Maqbool, M., & Beshir, A. (2019). Zinc biofortification of maize (*Zea mays* L.): Status and challenges [Biofortificación con zinc del maíz (*Zea mays* L.): situación y desafíos]. *Plant breeding* [Mejoramiento Vegetal], 138(1), 1-28. <https://doi.org/10.1111/pbr.12658>

Mecha, E., Correia, V., Bento da Silva, A., Ferreira, A., Sepodes, B., Figueira, M. E., & Rosário, M. (2021). Improvement of wheat cookies' nutritional quality, by partial substitution with common bean and maize flours, sustained human glycemia and enhanced satiety perception [Mejora de calidad nutricional de las galletas de trigo, mediante sustitución parcial con harinas de frijol y maíz, glucemia humana sostenida y percepción de saciedad mejorada]. *Cereal Chemistry* [Química de Cereales], 98(5), 1123-1134. <https://doi.org/10.1002/cche.10460>

Mendoza, M., Andrio, E., Juarez, J., Mosqueda, C., Latournerie, L., Castañón, G., & Moreno, E. (2006). Contenido de lisina y triptófano en genotipos de maíz de alta calidad proteica y normal. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 22(2), 153-161. <https://doi.org/10.19136/era.a22n2.318>

Mertz, E., Bates, L., & Nelson, O. (1964). Mutant gene that changes protein composition and increases lysine content of maize endosperm [Gen mutante que cambia la composición de proteínas y aumenta el contenido de lisina del endospermo del maíz]. *Science* [Ciencia], 145 (3629), 279-280. <https://doi.org/10.1126/science.145.3629.279>

National Institute of Health. 2014. *Aminoácidos esenciales*. <http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/article/002222.htm>

- Navarrete, D., & Bressani, R. (1981). Protein digestibility and protein quality of common beans (*Phaseolus vulgaris*) fed alone and with maize, in adult humans using a short-term nitrogen balance assay [Digestibilidad de proteínas y calidad de las proteínas de frijol común (*Phaseolus vulgaris*) alimentado solo y con maíz en humanos adultos utilizando un ensayo de balance de nitrógeno a corto plazo]. *The American Journal of Clinical Nutrition* [La Revista Americana de Nutrición Clínica], 34(9), 1893-1898. <https://doi.org/10.1093/ajcn/34.9.1893>
- Nestel, P., Bouis, H. E., Meenakshi, J., & Pfeiffer, W. (2006). Biofortification of staple food crops [Biofortificación de cultivos alimentarios básicos]. *The Journal of nutrition* [La Revista de Nutrición], 136(4), 1064-1067. <https://doi.org/10.1093/jn/136.4.1064>
- Nkundabombi, M., Nakimbugwe, D., & Muyonga, J. (2015). Effect of processing methods on nutritional, sensory, and physicochemical characteristics of biofortified bean flour [Efecto de los métodos de procesamiento sobre las características nutricionales, sensoriales y fisicoquímicas de la harina de frijol biofortificada]. *Food science & nutrition* [Ciencia de los Alimentos y Nutrición], 4(3), 384-397. <https://doi.org/10.1002/fsn3.301>
- Petry, N., Egli, I., Gahutu, J. B., Tugirimana, P. L., Boy, E., & Hurrell, R. (2012). Stable iron isotope studies in Rwandese women indicate that the common bean has limited potential as a vehicle for iron biofortification [Los estudios de isótopos estables de hierro en mujeres ruandesas indicant que el frijol común tiene un potencial limitado como vehículo para la biofortificación del hierro]. *The Journal of nutrition* [La Revista de Nutrición], 142(3), 492-497. <https://doi.org/10.3945/jn.111.149286>

- Rai, S., Kaur, A., & Singh, B. (2014). Quality characteristics of gluten free cookies prepared from different flour combinations [Características de calidad de las galletas sin gluten preparadas a partir de diferentes combinaciones de harinas]. *Journal of food science and technology* [Revista de Ciencia y Tecnología de los Alimentos], 51(4), 785-789. <https://doi.org/10.1007%2Fs13197-011-0547-1>
- Sida, J., Sánchez, E., Ávila, G., Acosta, C., & Zamudio, P. (2015). Biofortificación con micronutrientes en cultivos agrícolas y su impacto en la nutrición y salud humana. *Tecnociencia Chihuahua*, 9(2), 67-74.
- Simons, C., & Hall, C. (2018). Consumer acceptability of gluten-free cookies containing raw cooked and germinated pinto bean flours [Aceptabilidad del consumidor de galletas sin gluten que contienen harina de frijol pinto cruda, cocida y germinada]. *Food science & nutrition* [Ciencia de los Alimentos y Nutrición], 6(1), 77-84. <https://doi.org/10.1002/fsn3.531>
- Sparvoli, F., Giofré, S., Cominelli, E., Avite, E., Giuberti, G., Luongo, D., & Predieri, S. (2021). Sensory characteristics and nutritional quality of food products made with a biofortified and lectin free common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) flour [Características sensoriales y calidad nutricional de productos alimenticios elaborados con harina de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) biofortificada y libre de lectinas]. *Nutrients* [Nutrientes], 13(12), 4517. <https://doi.org/10.3390/nu13124517>
- Suárez, M., Kizlansky, A., y López, L. (2006). Evaluación de la calidad de las proteínas en los alimentos calculando el score de aminoácidos corregido por digestibilidad. *Nutrición hospitalaria*, 21(1), 47-51.

- Tako, E., Laparra, J., Glahn, R., Welch, R., Lei, X., Beebe, S., & Miller, D. (2009). Biofortified black beans in a maize and bean diet provide more bioavailable iron to piglets than standar black beans [Los frijoles negros biofortificados en una dieta de maíz y frijoles proporcionan más hierro biodisponible a los lechones que los frijoles negros estándar]. *Journal Nutritional* [Revista Nutricional], 139 (2), 305-309. <https://doi.org/10.3945/jn.108.098657>
- Tartanac, F. (2000). Incaparina and other Incaparina-based foods: experience of INCAP in Central America [Incaparina y otros alimentos a base de Incaparina: experiencia del INCAP en Centroamérica]. *Food and Nutrition Bulletin* [Boletín de Alimentación y Nutrición], 21(1). 49-54.
- Timbadiya, P., Bheda, S., Gajera, H., & Patel, S. (2017). Application of peanut butter to improve the nutritional quality of cookies [Aplicación de mantequilla de maní para mejorar la calidad nutricional de las galletas]. *Current Research in Nutrition and Food Science Journal* [Revista de Investigación Actual en Nutrición y Ciencia de los Alimentos], 5(3), 398-405. <http://dx.doi.org/10.12944/CRNFSJ.5.3.26>
- Verdú, J. (2013). *Nutrición para educadores*. Ediciones Díaz de Santos.
- Viteri, F., & Bressani, R. (1972). The quality of new sources of protein and their suitability for weanlings and young children [La calidad de las nuevas fuentes de proteínas y su idoneidad para los destetados y los niños pequeños]. *Bulletin of the World Health Organization* [Boletín de la Organización Mundial de la Salud], 46(6), 827-843.

Wiesinger, J., Cichy, K., Glahn, R., Grusak, M., Brick, M., Thompson, H., & Tako, E. (2016). Demonstrating a nutritional advantage to the fast-cooking dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) [Demostrando una ventaja nutricional para el frijol seco de cocción rápida (*Phaseolus vulgaris* L.)]. *Journal of agricultural and food chemistry* [Diario de la Química Agrícola y Alimentaria], *64*(45), 8592-8603.

<https://remote1.ars.usda.gov/10.1021/,DanalInfo=dx.doi.org+acs.jafc.6b03100>

APÉNDICES

Apéndice 1.

Instrumento de recolección de datos

Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de Ingeniería Escuela de Estudios de Posgrado Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos Género: F ___ M ___	
	
Instrucciones: inicie probando las muestras de izquierda a derecha y anote el código de la muestra. Marque con una "X" según sea la aceptación que le dé a cada característica. Después de probar cada muestra tome un poco de agua.	
Olor	
Color	
Sabor	
Textura	
Aceptación	

Nota. Detalle del instrumento de recolección de datos. Elaboración propia.

Apéndice 2.

Preparación de formulaciones de galleta



Nota. Detalle de elaboración de las en la planta piloto de tecnología de alimentos del ICTA, Chimaltenango, Guatemala. Elaboración propia.

Apéndice 3

Evaluación sensorial de galletas en San José, La Máquina



Nota. Desarrollo de análisis sensorial en el departamento de Suchitepéquez, Guatemala.
Elaboración propia.