



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS
CARRERA DE INGENIERÍA EN ALIMENTOS



**Formulación y caracterización de un pan libre de gluten elaborado a partir de cultivos
nativos del Ecuador**

Trabajo de Titulación, modalidad Proyecto de Investigación, previo a la obtención del Título de Ingeniera en Alimentos, otorgado por la Universidad Técnica de Ambato, a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos.

El presente estudio es parte del proyecto: “**Desarrollo de películas biodegradables activas a partir de harina de plátano (*Musa balbisiana*) de rechazo y su aplicación agroalimentaria**” aprobado por el Honorable Consejo Universitario y financiado por el Centro de Investigación de la Universidad Técnica de Ambato. Resolución 1313-CU-P-2015. Coordinado por la PhD. Mirari Arancibia.

Autora: Nancy Abigail Manobanda Cunalata

Tutora: Ph.D. Sandra Horvitz Szoichet

Ambato – Ecuador

Septiembre 2017

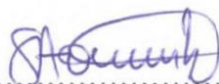
APROBACIÓN DEL TUTOR

Ph.D. Sandra Horvitz Szoichet

CERTIFICA:

Que el presente trabajo de titulación ha sido prolijamente revisado. Por lo tanto, autorizo la presentación de este Trabajo de Titulación modalidad Proyecto de Investigación, el mismo que responde a las normas establecidas en el Reglamento de Títulos y Grados de la Facultad.

Ambato, 19 de julio de 2017



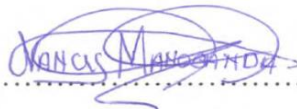
Ph.D. Sandra Horvitz Szoichet

C.I: AAA483083

TUTORA

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Nancy Abigail Manobanda Cunalata, manifiesto que los resultados obtenidos en el presente Proyecto de Investigación, previo a la obtención del título de Ingeniería en Alimentos son absolutamente originales, auténticos y personales; a excepción de las citas.



Nancy Abigail Manobanda Cunalata

C.I. 1804967279

AUTORA


APROBACIÓN DE LOS MIEMBROS DE TRIBUNAL DE GRADO

Los suscritos profesores Calificadores, aprueban el presente Trabajo de Titulación modalidad Proyecto de Investigación, el mismo que ha sido elaborado de conformidad con las disposiciones emitidas por la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos de la Universidad Técnica de Ambato.


Para constancia firman:



.....
Presidente del tribunal



.....
Dra. Mayra Liliana Paredes Escobar
C.I. 0501873954



.....
Ing. Mg. María Isabel Salazar Cobo
C.I. 1716197254

Ambato, 31 de agosto de 2017

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Proyecto de Investigación o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Proyecto, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este Proyecto dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.



Nancy Abigail Manobanda Cunalata

C.I. 1804967279

AUTORA

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación lo dedico a mis padres SEGUNDO y ROSA, por guiarme, cuidarme, por su apoyo incondicional, su amor y por luchar cada día para que cumpla mi sueño universitario.

A mis hermanos HÉCTOR, JUAN, LUIS, CARLOS, MIRIAN y VÍCTOR quienes han estado siempre junto a mí apoyándome incondicionalmente para continuar en el cumplimiento de mi meta.

A mi cuñado XAVIER y cuñada MARITZA que desde el momento que llegaron a la familia se han convertido en mis amigos y nuevos hermanos.

A mis sobrinos JOSELYN, JEISON, CAROLINA, KATERINE, DARWIN, JOEL, MIKAELA, DOMÉNICA, ISMAEL, KARLITA, SEBASTIAN Y KENDRA quienes con sus juegos me han llenado de alegría.

A mi familia en general y a todos aquellos que de alguna manera contribuyeron en mi formación y por haberme brindado su apoyo y compartir conmigo momentos especiales.

Con cariño
Nancy Manobanda

AGRADECIMIENTOS

En el presente trabajo de titulación me gustaría agradecer principalmente a Dios por sus bendiciones recibidas para lograr este gran sueño y por darme a la mejor familia.

A la Universidad Técnica de Ambato que conjuntamente con la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos que me ha permitido culminar mis estudios universitarios.

A todos los docentes de la Carrera de Ingeniería en Alimentos, gracias por compartir sus conocimientos, experiencias y consejos para formar profesionales de bien.

A la Doctora Sandra Horvitz, por la confianza depositada en mí para realizar esta investigación, por su apoyo y por sus conocimientos para culminar con éxitos el trabajo de titulación. Le quedo eternamente agradecida.

A la Doctora Mirari Arancibia y al Ingeniero Diego Salazar por su colaboración, tiempo y conocimientos para la realización del presente trabajo.

A mis amigos Andrés, José Luis, Ivan, Israel y Macarena por todos los momentos buenos y malos compartidos juntos, y en especial a Pao y Lix y sus respectivas familias quienes me acogieron como un miembro más. Gracias a su apoyo y conocimientos hicieron de esta experiencia la mejor.

ÍNDICE

RESUMEN	XIII
ABSTRACT	XIV
INTRODUCCIÓN	XV
CAPÍTULO I	1
EL PROBLEMA.....	1
1.1. TEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.2. JUSTIFICACIÓN	1
1.3. OBJETIVOS	2
1.3.1. <i>Objetivo General</i>	2
1.3.2. <i>Objetivos Específicos</i>	2
CAPÍTULO II.....	3
MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS	3
2.2. HIPÓTESIS.....	5
2.3. SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS	5
2.3.1. <i>Variables Independientes</i>	5
2.3.2. <i>Variable Dependiente</i>	5
CAPÍTULO III	6
MATERIALES Y MÉTODOS	6
3.1. MATERIA PRIMA	6
3.2. OBTENCIÓN DE LAS HARINAS	6
3.2.1. <i>Harina de papa y de chocho</i>	6
3.2.2. <i>Harina de arroz y garbanzo</i>	6
3.3. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LAS HARINAS.....	7
3.3.1. <i>Granulometría</i>	7
3.3.2. <i>Densidad aparente</i>	7

3.4.	ANÁLISIS PROXIMAL DE LAS HARINAS Y ALMIDONES	7
3.4.1.	<i>Humedad</i>	7
3.4.2.	<i>Cenizas</i>	8
3.4.3.	<i>Proteínas</i>	8
3.5.	CARACTERIZACIÓN FUNCIONAL DE LAS HARINAS Y ALMIDONES	9
3.5.1.	<i>Gelatinización</i>	9
3.6.	FORMULACIÓN Y ELABORACIÓN DE PAN	9
3.7.	ANÁLISIS DE LA TEXTURA DE LA MASA	9
3.8.	EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL PAN	10
3.8.1.	<i>Textura</i>	10
3.8.2.	<i>Color de la corteza</i>	10
3.8.3.	<i>Análisis sensorial</i>	10
3.8.4.	<i>Análisis de vida útil</i>	10
3.8.5.	<i>Contenido de gluten</i>	11
3.8.6.	<i>Análisis nutricional</i>	11
3.9.	ANÁLISIS ESTADÍSTICOS	11
CAPÍTULO IV.....		12
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		12
4.1.	CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LAS HARINAS.....	12
4.1.1.	<i>Granulometría</i>	12
4.1.2.	<i>Densidad aparente</i>	13
4.2.	ANÁLISIS PROXIMAL Y COLOR DE LAS HARINAS Y ALMIDONES	14
4.3.	CARACTERIZACIÓN FUNCIONAL DE HARINAS Y ALMIDONES.....	17
4.3.1.	<i>Temperatura de gelatinización</i>	17
4.4.	FORMULACIÓN Y ELABORACIÓN DEL PAN	18
4.5.	APLICACIÓN DE LA CALORIMETRÍA DIFERENCIAL DE BARRIDO EN LAS FÓRMULAS DESARROLLADAS	19
4.6.	TEXTURA DE LA MASA	22
4.7.	TEXTURA DEL PAN	24

4.8.	EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL PAN	27
4.8.1.	<i>Textura</i>	27
4.8.2.	<i>Color de la corteza</i>	28
4.8.3.	<i>Análisis sensorial</i>	29
4.8.4.	<i>Análisis de vida útil</i>	29
4.8.5.	<i>Presencia de gluten</i>	30
4.8.6.	<i>Análisis nutricional</i>	31
4.9.	VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS NULA	32
CAPÍTULO V		33
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		33
5.1.	CONCLUSIONES.....	33
5.2.	RECOMENDACIONES	34
BIBLIOGRAFÍA		35
ANEXOS		41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores de densidad aparente de las muestras de las harinas y los almidones	14
Tabla 2. Análisis proximal de las muestras de harina y almidones	15
Tabla 3. Formulaciones utilizadas para la elaboración de pan libre de gluten	19
Tabla 4. Resultado del análisis del perfil de textura y del ensayo de compresión de la masa	23
Tabla 5. Perfil de textura de pan con las distintas formulaciones	26
Tabla 6. Perfil de textura de la mejor formulación durante 10 días de almacenamiento	28
Tabla 7. Evaluación del contenido de humedad, la actividad de agua y color (L y °Hue)..	29
Tabla 8. Análisis microbiológico de la mejor formulación	30
Tabla 9. Contenido de energía, proteína, grasa, carbohidratos totales, sodio, azúcares por cada 100 g.....	32

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Módulo de finura de las partículas de muestras de harina	12
Figura 2. Coeficiente de uniformidad de las partículas de muestras de harina	13
Figura 3. Termograma resultante de las harinas.....	17
Figura 4. Termograma resultante de los almidones.	18
Figura 5. Instrumentos utilizados en el proceso de elaboración de los panes.	19
Figura 6. Termograma resultante para la fórmula 3.....	20
Figura 7. Termograma resultante para la fórmula 4.....	20
Figura 8. Termograma resultante para la fórmula 5.....	21
Figura 9. Espacio de color CIELAB.....	28

RESUMEN

El trigo es el cereal más empleado para la elaboración de productos de panadería; sin embargo, alrededor del 1% de la población mundial es genéticamente susceptible a padecer la enfermedad celíaca, por la intolerancia o sensibilidad al gluten. Con base en lo anterior, se utilizaron harinas de arroz, chocho, papa, garbanzo y amaranto para desarrollar una formulación que sustituya a la harina de trigo en la elaboración de pan. Los ingredientes seleccionados son naturalmente libres de gluten y con alto valor nutritivo.

Se realizó la caracterización proximal y fisicoquímica de las materias primas, para identificar la combinación adecuada de los ingredientes que permita formar una masa panificable sin utilizar harina de trigo. La mejor formulación se seleccionó con base en una evaluación sensorial con catadores semientrenados, conjuntamente con el análisis del perfil de textura de la masa y del pan.

Los resultados finales indicaron que la mejor formulación fue aquella elaborada con harina de arroz, chocho, amaranto y almidón de maíz y papa conjuntamente con goma guar. La dureza de la masa fue de $2,99 \pm 0,34$ N, de la corteza del pan de $4,63 \pm 0,28$ N y la masticabilidad de $0,09 \pm 0,01$ J. Asimismo, el pan libre de gluten presentó un alto valor nutricional y energético con un tiempo de vida útil de hasta 10 días.

Palabras clave: amaranto; celiarquía; panificación; pseudocereales

ABSTRACT

Wheat is the most frequently used cereal for bakery products. However, around 1% of the world's population is genetically susceptible to celiac disease, due to intolerance or sensitivity to gluten. therefore, rice, potato, chickpea and amaranth flours were used to develop a formulation to replace wheat flour in the bread making process. The selected ingredients present high nutritional value and are naturally gluten-free.

A proximal and physicochemical characterization of the raw materials was carried out to identify the appropriate combination of ingredients which allowed the formation of a bread-like dough, without using wheat flour. The best formulation was selected based on a sensory evaluation together with the texture profile of the dough and the bread.

The results indicated that the best formulation was made with rice flour, white lupin, amaranth, corn starch and potato starch in combination with guar gum. The hardness of the dough was $2,99 \pm 0,34$ N, the bread crust hardness was $4,63 \pm 0,28$ N and the chewiness $0,09 \pm 0,01$ J. In addition, the gluten-free bread showed a high nutritional and energetic value with a shelf life of up to 10 days.

Key words: amaranth; breadmaking; celiac disease; pseudo-cereals

INTRODUCCIÓN

Los productos elaborados con base en harina de trigo son consumidos mundialmente; sin embargo, alrededor del 1% de la población mundial es genéticamente susceptible a padecer la enfermedad celíaca, debido a la intolerancia o sensibilidad a las prolaminas presentes no sólo en el trigo, sino también en la avena, la cebada y el centeno (**Pellegrini & Agostoni, 2015**). La presencia de gluten en la dieta de las personas celíacas puede provocar daños en la mucosa intestinal o que las vellosidades intestinales se atrofien y con ello se produzca una mala absorción de nutrientes o incluso desnutrición (**Missbach et al., 2015**).

La Organización Mundial de la Salud afirma que los alimentos sin gluten deben contener menos de 1 mg de gliadina por cada 100 g de producto. Muchos investigadores han intentado desarrollar panes sin gluten. Considerando el incremento en la demanda de productos libres de gluten, se desarrollan investigaciones relacionadas al tema, especialmente en productos de panadería, con características sensoriales y nutritivas adecuadas para remplazar parcialmente los productos tradicionales a base de trigo (**Deora, Deswal, & Mishra, 2015**). La industria ha incursionado en la utilización de un gran número de harinas, almidones, enzimas, proteínas e hidrocoloides, que permitan mejorar las propiedades viscoelásticas de la masa libre de gluten y la aceptabilidad del producto final (**Pellegrini & Agostoni, 2015**).

A nivel nacional, existen cultivos nativos como el maíz, amaranto, quínoa, chocho, papa, yuca, achira, garbanzo, frejol, etc., que pueden ser utilizados para la sustitución parcial o total del trigo en la elaboración de productos, no solo por su calidad nutricional sino, además, porque están naturalmente libres de gluten (**Peralta, Murillo, Mazón, Pinzón, & Villacrés, 2013**). En este sentido, el objetivo de la presente investigación fue formular y caracterizar un pan libre de gluten elaborado a partir de cultivos nativos del Ecuador.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1. TEMA DE INVESTIGACIÓN

Formulación y caracterización de un pan libre de gluten elaborado a partir de cultivos nativos del Ecuador

1.2. JUSTIFICACIÓN

Los productos a base de harina de trigo son consumidos de forma masiva en el mundo. Sin embargo, alrededor del 1% de la población mundial es genéticamente susceptible a padecer la enfermedad celíaca, debido a la intolerancia o sensibilidad al gluten presente no sólo en el trigo, sino también en la avena, la cebada y el centeno (**Pellegrini & Agostoni, 2015**). En América del Sur la dieta de la población se basaba principalmente en el consumo de cereales como el arroz y el maíz, pero el actual consumo de más alimentos a base de trigo ha llevado a que se identifiquen más casos de la enfermedad celíaca (**Salehi & Sardarodiyani, 2016**).

En Ecuador no existe una cifra exacta de la población diagnosticada con esta enfermedad y tampoco existe una gran variedad de productos garantizados como libres de gluten que puedan ser consumidos por las personas que padecen esta intolerancia. En la norma CODEX STAN 118 – 1979 del Codex Alimentarius (**2015**) se establece que los alimentos exentos de gluten son aquellos que están constituidos por, o son elaborados con, uno o más ingredientes que no contengan trigo, centeno, cebada ni avena y cuyo contenido de gluten no sobrepasa los 20 mg/kg.

Para la sustitución de la harina de trigo se pueden utilizar harinas provenientes de granos como el amaranto, el arroz y el maíz y de leguminosas como el garbanzo y el chocho, por ser naturalmente libres de gluten y por sus propiedades nutritivas. Además, al utilizar productos nativos del país, se contribuye con el objetivo 10 del Plan Nacional del Buen Vivir: “Impulsar la Transformación de la Matriz Productiva”, en el que se busca el incentivo a la producción nacional, incorporar valor agregado para asegurar la soberanía alimentaria y evitar la dependencia de importaciones de

alimentos (Vega, 2014). Si bien a nivel nacional existen estudios de sustituciones parciales de la harina de trigo para la elaboración de productos panificables, no se han encontrado formulaciones de harinas para la producción de alimentos libres de gluten.

Así, en la presente investigación se buscó obtener panes libres de gluten, aptos para su consumo por personas celíacas y alérgicas al gluten o al trigo.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo General

- Formular y caracterizar un pan libre de gluten elaborado a partir de cultivos nativos del Ecuador.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Identificar la mejor formulación para la elaboración de panes libres de gluten, en función de la calidad sensorial de los panes elaborados.
- Determinar la calidad de la masa y la calidad final del pan mediante análisis de textura (instrumental), colorimetría, análisis de vida útil y análisis sensorial.
- Analizar el valor nutricional (contenido de grasa total, azúcares, sodio, carbohidratos, fibra y proteína) y el contenido de gluten del producto final.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

El **Codex Alimentarius (2015)** establece que los alimentos exentos de gluten son aquellos que están constituidos por uno o más ingredientes que no contengan trigo, centeno, cebada ni avena y cuyo contenido de gluten no sobrepase los 20 mg/kg.

Para la elaboración de productos libres de gluten se utilizan además de levadura, agua y sal, combinaciones de harinas que provienen de granos, legumbres, tubérculos, cereales y pseudocereales que no contengan gluten. El uso de estas mezclas se justifica por la necesidad de mejorar el valor nutritivo de las harinas individuales (**Guinand, 2014**). Los pseudocereales como el amaranto se caracterizan por poseer un alto valor proteico (11% al 14%), aminoácidos esenciales como la lisina y triptófano, ácidos grasos y minerales, que favorecen a la calidad nutricional de los productos libres de gluten (**Houben, Höchstötter, & Becker, 2012**).

Según **Marti et al. (2015)**, las harinas más utilizadas para la elaboración de productos libres de gluten son el arroz, el sorgo, la avena, el trigo sarraceno, el amaranto, la quinoa, el teff y el maíz. Si bien estos ingredientes permiten obtener una amplia variedad de panes, la mayoría dan como resultados panes de bajo volumen específico, alta dureza de miga y desmoronamiento. Las investigaciones se han centrado en desarrollar una estructura similar a la de un pan de trigo y para ello se emplean ingredientes que aporten capacidad viscoelástica y contribuyan a la retención del gas producido durante la fermentación (**Kaur, Sandhu, Arora, & Sharma, 2015**). El uso de ingredientes o aditivos como los almidones, proteína de suero de leche, proteínas de huevo, fibra dietética, goma e hidrocoloides, así como también la utilización de alternativas tecnológicas como el preprocesamiento físico, enzimático o microbiano han permitido soslayar este inconveniente (**Kaur et al., 2015**).

Algunos estudios indican que utilizar harina de arroz, harina de soja y almidón de mandioca permite obtener pan sin gluten de buena calidad con un volumen específico y una dureza de la miga adecuados (**Sciarini & Pérez, 2013**). El almidón tiene un efecto significativo sobre la textura, el volumen, la consistencia, la humedad y la vida de anaquel del producto (**Aristizábal et al., 2007**).

Ergin & Herken (2012) concluyeron que las galletas con mayor aceptabilidad fueron aquellas elaboradas con harina de arroz, harina de garbanzo, harina de patata, harina de maíz y fécula de patata.

Otra alternativa para mejorar las propiedades de textura de los productos sin gluten es la incorporación de gomas durante la formulación. En la industria panadera, las gomas son empleadas para mejorar las propiedades de las masas, aumentando su viscosidad y la capacidad de retención de agua y, mejorar las propiedades del pan, en cuanto a la textura, el endurecimiento de la miga y la calidad general del mismo, ya sea con harina de trigo o con harinas libres de gluten (**Sciarini & Pérez, 2013**).

Además, las gomas tienen propiedades coloidales, son capaces de formar geles e incrementar la viscosidad de las soluciones (**Kaur et al., 2015**). La incorporación de gomas (xantana; de acacia y guar) en la elaboración de galletas dió como resultado una mejora significativa en el color, el aspecto y el sabor según las puntuaciones sensoriales mejora el sabor de las galletas (**Kaur et al., 2015**). En otro estudio, **Ziobro et al. (2016)**, utilizaron goma guar y pectina para elaborar panes libres de gluten y observaron las mayores puntuaciones sensoriales en aquellas formulaciones que incluyeron pectina.

2.2. HIPÓTESIS

H₀: No es posible la sustitución total del trigo en la elaboración de pan.

H_a: Es posible la sustitución total del trigo en la elaboración de pan.

2.3. SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS

2.3.1. Variables Independientes

- Formulaciones utilizadas para la elaboración del pan.

2.3.2. Variable Dependiente

- Calidad del pan

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

Todos los materiales y equipos que se utilizaron para la elaboración del pan fueron de uso exclusivo para la realización de este proyecto y se encontraban libres de gluten.

3.1. Materia Prima

Se utilizaron 20 kg de harinas libres de gluten (garbanzo, arroz, chocho, papa y amaranto) y 10 kg de almidones (yuca, papa y achira) adquiridos en un supermercado de la ciudad de Ambato.

El resto de ingredientes utilizados para la elaboración del pan fueron: goma xantana y guar, leche deslactosada, azúcar, sal, margarina, levadura fresca y seca, huevos.

3.2. Obtención de las harinas

3.2.1. Harina de papa y de chocho

Los granos de chocho y las papas se lavaron y se pelaron. Una vez pelados, los tubérculos de papa fueron sumergidos en una solución de ácido cítrico al 1% hasta su procesamiento, con el objetivo de evitar el pardeamiento enzimático. A continuación, se cortaron en rodajas y éstas y los granos de chocho enteros se secaron en un secador de bandejas a una temperatura de 60 °C durante 15 horas. Finalmente, el producto seco se molió en un molino manual y en un molino eléctrico y se tamizaron en una serie de tamices (40, 60, 80 y 100 mesh) (**Bermúdez, 2014; Cerón et al., 2011**).

3.2.2. Harina de arroz y garbanzo

Los granos de arroz y de garbanzo fueron molidos en primer término en un molino manual y seguidamente en un molino eléctrico. La harina obtenida fue tamizada en una serie de tamices (40, 60, 80 y 100 mesh).

3.3. Caracterización fisicoquímica de las harinas

3.3.1. Granulometría

El tamaño de partícula de las harinas obtenidas se determinó según la **Norma INEN 517 (1980-12) (2016a)**. Para ello, se colocaron 100 g de harina en un juego de 4 tamices y una base, previamente pesados, colocados uno encima del otro de acuerdo a la abertura de la malla, iniciando en la parte superior con el tamiz número 40 (420 μm) y finalizando en el tamiz número 100 (149 μm) y la base. Los tamices fueron agitados mecánicamente en un equipo de agitación (Porter Sand, EE.UU), durante 15 minutos. Finalmente se pesó el tamiz más la harina retenida en cada una de las mallas. Se determinó el módulo de finura y el coeficiente de uniformidad (**Espinoza & Quispe, 2013**).

3.3.2. Densidad aparente

Se determinó mediante el método descrito por **Gujka & Khan (1990)**. Para ello se colocó harina en una probeta de 10 ml y se determinó el peso de la harina utilizada. La densidad aparente (ρ_a) se calculó con la siguiente ecuación (Ecuación 1):

$$\rho_a = \frac{\text{masa de la harina (g)}}{\text{Volumen de la probeta (ml)}} \quad \text{Ec. 1}$$

3.4. Análisis proximal de las harinas y almidones

3.4.1. Humedad

El contenido de humedad de las harinas y almidones se determinó por secado de 2 g de muestra colocados en una cápsula vacía, previamente tarada y pesada, en una estufa a 110 °C por 24 horas. Posteriormente se colocó en un desecador hasta obtener un peso constante (**AOAC 925.10, 1995**) y se expresó como porcentaje del peso total, calculado con la siguiente ecuación (Ecuación 2):

$$\%H = \left(\frac{(W1 - W2)}{\text{Peso de la muestra}} \right) * 100 \quad \text{Ec. 2}$$

Dónde:

W1= peso de la muestra + cápsula antes de la estufa

W2= peso de la muestra + cápsula después de la estufa

3.4.2. Cenizas

El contenido de cenizas de las harinas y almidones se determinó por incineración de 2 g de muestra colocados en un crisol vacío previamente tarado y pesado, en una mufla a 550 °C por 2 horas. Posteriormente se colocó en un desecador hasta obtener un peso constante siguiendo la **Norma INEN 520 (1980-12) (2016b)**. Los resultados se calcularon mediante la siguiente ecuación (Ecuación 3):

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{\text{Peso de cenizas (g)}}{\text{Peso de la muestra (g)}} * 100 \quad \text{Ec. 3}$$

3.4.3. Proteínas

El contenido de proteína se determinó por el método de Dumas en un analizador de nitrógeno (DUMATHERM Gerhardt). Este método se basa en la liberación de nitrógeno por pirólisis mediante combustión interna de 0,2 g de muestra. El porcentaje de proteína bruta se calculó con la siguiente ecuación (Ecuación 4):

$$\%P = \%N * f \quad \text{Ec. 4}$$

Donde:

%P: porcentaje de proteína

%N: porcentaje de nitrógeno

f: factor de conversión

Factor por defecto: 6,25, utilizado para las harinas de chocho, papa, garbanzo y amaranto

Factor específico para arroz: 5,95 (**Jean & Peiró, 2000**).

3.5. Caracterización funcional de las harinas y almidones

3.5.1. Gelatinización

Para el estudio se utilizó un calorímetro diferencial de barrido (DSC3-Mettler Toledo), calibrado previamente con un estándar de indio, según el método descrito por **Pineda-Gómez et al. (2010)**. Se preparó una mezcla de cada harina y agua destilada en relación 1:1 (p/v), seguidamente se pesaron alrededor de 15 mg de mezcla en crisoles de aluminio utilizando una balanza electrónica analítica (Mettler-Toledo, Columbus XPE204, España) y los crisoles se sellaron herméticamente. Para el ensayo se utilizó un crisol vacío como referencia. Los crisoles fueron sometidos a un barrido de temperatura desde 30 hasta 100 °C. La velocidad de la rampa de calentamiento fue de 1 °C/min en atmósfera de nitrógeno como gas de purga a una tasa de 50 ml/min.

3.6. Formulación y elaboración de pan

Se probaron distintas combinaciones de harinas, almidones y gomas. Para cada una de las formulaciones se tuvo en consideración que el contenido de proteína fuera de $10 \pm 1\%$. Los panes obtenidos fueron evaluados mediante análisis sensorial a fin de seleccionar la mejor formulación para la elaboración posterior de los panes. Para la elaboración del pan se añadió agua, levadura, azúcar, margarina, huevos y sal por cada 100 g de harina de las distintas formulaciones. Los ingredientes se mezclaron con la ayuda de una procesadora de alimentos (Thermomix TM, Alemania) en modo amasado durante 5 min. El proceso de fermentación de la masa se realizó en una cámara de leudado a una temperatura de 35 a 40 ° C durante 30 min y se horneó a 180 °C durante 25 a 30 min en un horno de gas (**Wronkowska, Haros, & Soral-Śmietana, 2013**).

En la formulación seleccionada se realizarán las siguientes determinaciones:

3.7. Análisis de la textura de la masa

La textura de la masa se determinó mediante un ensayo de compresión y el análisis de perfil de textura, realizados con un texturómetro (Brookfield Engineering Labs, Inc.). Para estas pruebas se utilizaron 25 g de masa los cuales se mantuvieron al ambiente durante 10 minutos. Posteriormente, se comprimieron una vez para compresión y dos veces consecutivas para el análisis de perfil de textura con una

sonda TA25/1000 de 50 mm de diámetro, con una velocidad de 2 mm/s hasta una compresión del 40 % y con un descanso de 75 s para la segunda compresión (González et al., 2016).

3.8. Evaluación de la calidad del pan

3.8.1. Textura

Se determinó mediante un texturómetro (Brookfield Engineering Labs, Inc.), la punción y el análisis de perfil de textura del pan. Para la punción se utilizó la sonda TA36 de 7 mm de diámetro, con una velocidad de 2 mm/s hasta 10 mm de profundidad.

Para el análisis de perfil de textura se utilizó una rebanada de pan de 20 mm de espesor, con una sonda TA4/100 de 25 mm de diámetro y velocidad de 5 mm/s hasta una compresión del 15 % y con un descanso de 5 segundos para la segunda compresión (Robayo Naranjo, 2016).

3.8.2. Color de la corteza

Se determinaron los parámetros de color L , a y b con un colorímetro Hunter Lab según el método descrito por Jiménez (2012).

3.8.3. Análisis sensorial

Se realizó una prueba de aceptación con 8 catadores semientrenados, mediante una escala hedónica de 5 puntos y se evaluaron los parámetros de sabor, olor, color, textura y aceptabilidad, el día inicial y cada tres días durante el almacenamiento a temperatura ambiente (Pacheco-Delahaye & Testa, 2005). La ficha utilizada para la evaluación sensorial se muestra en el anexo 1, en donde se encuentra detallado los parámetros de evaluación y comparación por parte de los catadores.

3.8.4. Análisis de vida útil

El día inicial y cada 3 días durante los 10 días de almacenamiento a temperatura ambiente, se realizaron recuentos de mohos y levaduras siguiendo la Norma INEN 1529-10 (2013).

3.8.5. Contenido de gluten

El contenido de gluten fue determinado mediante el método de inmunocromatografía, que consiste en la extracción del gluten de la muestra del alimento en análisis utilizando una disolución de extracción. Después de la extracción, la muestra se aplica sobre la tira, donde se encuentran los anticuerpos que reconocen el gluten unidos a esferas coloreadas de látex. El gluten unido a estos anticuerpos se desplaza a través de la tira en un proceso cromatográfico de separación. El análisis se llevó a cabo en el laboratorio de análisis de alimentos y productos procesados LASA S.A., ubicado en la ciudad de Quito.

3.8.6. Análisis nutricional

Este análisis se realizó en el laboratorio de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Central del Ecuador incluyó las siguientes determinaciones: contenido de grasa total, azúcares, sodio, carbohidratos, fibra y proteína.

3.9. Análisis estadísticos

Para todas las variables estudiadas los resultados se compararon mediante un análisis de varianza ($\alpha = 0,05$) y cuando éste fue significativo, se utilizó el test de Tukey para la comparación de las medias, empleando el programa estadístico IBM SPSS para Windows, versión 21.0 (IBM Corp., NY, USA).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Caracterización fisicoquímica de las harinas

4.1.1. Granulometría

De acuerdo al módulo de finura las harinas pueden clasificarse en finas cuando tienen valores de 0 a 2; medias, cuando se encuentran entre 2 a 4; y gruesas, a partir de 4 (**Espinoza & Quispe, 2013**). La harina de arroz, con un módulo de finura mayor que 2, fue catalogada como de granulometría media mientras que, todas las otras harinas estudiadas fueron catalogadas de granulometría fina ya que presentaron módulos de finura entre 0 y 2 (Figura 1).

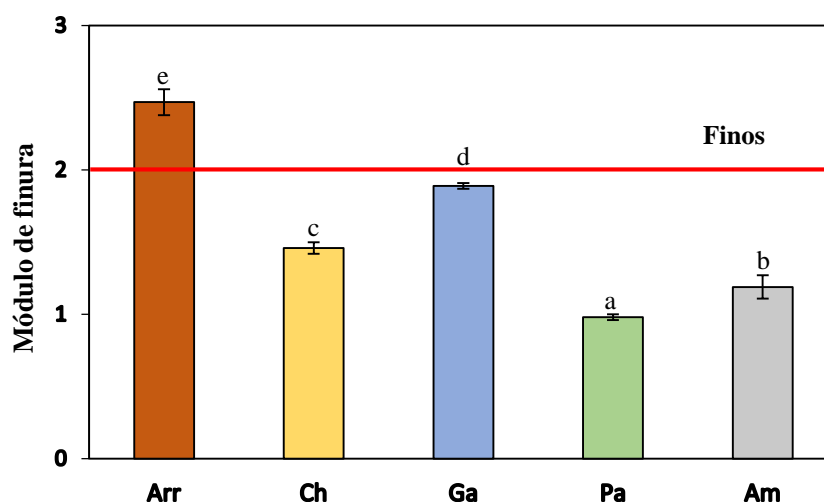


Figura 1. Módulo de finura de las partículas de muestras de harina de arroz (Arr), harina de chocho (Ch), harina de garbanzo (Ga), harina de papa (Pa), harina de amaranto (Am). Los valores representan el promedio de 3 determinaciones y las barras de error representan la desviación estándar de cada harina. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$) entre muestras.

A más de la granulometría, la determinación del coeficiente de uniformidad permitió establecer la distribución normal de las partículas en la muestra. Según **De Prada (2011)**, aunque no existe un valor establecido para el coeficiente de uniformidad, valores menores a 3 permiten clasificar a las muestras como muy uniformes y valores de 4 a 10 como uniformes.

En la figura 2 se presentan los resultados del cálculo del coeficiente de uniformidad de las harinas en estudio. Las muestras de arroz y amaranto fueron muy uniformes en

comparación con las muestras catalogadas como uniformes de chocho, garbanzo y papa. Las diferencias obtenidas pueden estar relacionadas con la absorción de agua de las harinas. El agua influye directamente sobre el módulo de finura y el coeficiente de uniformidad ya que las partículas finas absorben una mayor cantidad de agua por tener una mayor superficie de contacto que las partículas gruesas (Sandoval & Valencia Rodríguez, 2005). Una distribución adecuada de partículas, permite una mayor homogeneidad del producto final (Hoyos Sánchez, Peña, & Giselle, 2015).

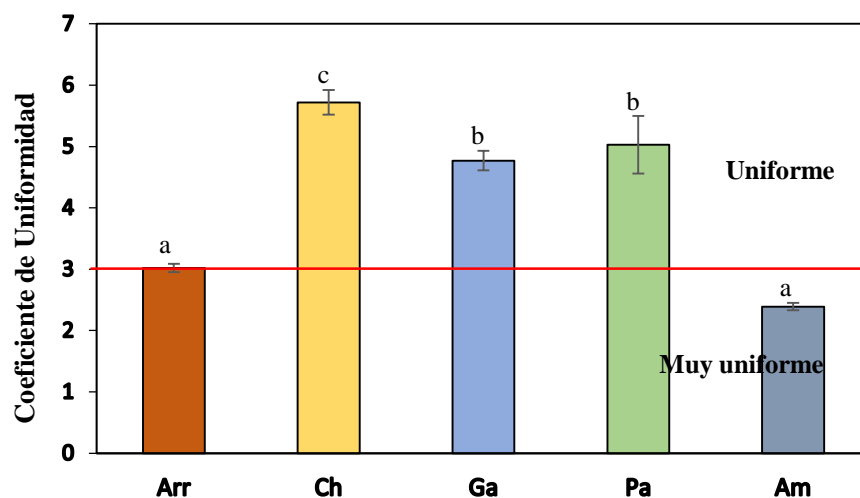


Figura 2. Coeficiente de uniformidad de las partículas de muestras de harina de arroz (Arr), harina de chocho (Ch), harina de garbanzo (Ga), harina de papa (Pa), harina de amaranto (Am). Los valores representan el promedio de 3 determinaciones y las barras de error representan la desviación estándar de cada harina. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$) entre muestras.

4.1.2. Densidad aparente

En la tabla 1 se muestran los valores de densidad aparente de las harinas y almidones utilizados. Los resultados estuvieron dentro del rango de 0,37 a 0,72 g/ml. Los valores más bajos de densidad aparente corresponden a las muestras de chocho y garbanzo, mientras que los más altos fueron para la papa (0,72 g/ml). Según Mezquita, et al. (2011), mientras mayor sea el volumen ocupado por la harina menor será el valor de la densidad.

La harina de arroz presentó un valor de densidad de 0,66 g/ml, similar al obtenido por Mezquita, et al., (2011) que fue de 0,67 y 0,74 g/ml. En las muestras de almidón de yuca, achira y papa los valores de densidad fueron mayores y este hecho podría

ser atribuido al tamaño de partícula de las harinas, ya que, a mayor número de partículas finas, mayor densidad (Techeira, Sívoli, Perdomo, Ramírez, & Sosa, 2014).

Tabla 1. Valores de densidad aparente de las muestras de las harinas y los almidones

	Muestra	Densidad aparente (g/ml)
Harina	Arroz	0,66 ± 0,03 de
	Chocho	0,40 ± 0,02 a
	Garbanzo	0,37 ± 0,02 a
	Papa	0,72 ± 0,04 e
	Amaranto	0,69 ± 0,02 e
Almidón	Maíz	0,51 ± 0,02 b
	Yuca	0,61 ± 0,03 cd
	Achira	0,69 ± 0,05 e
	Papa	0,55 ± 0,01 bc

Los valores representan el promedio de 3 determinaciones y la desviación estándar de cada harina. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$) entre muestras.

4.2. Análisis proximal y color de las harinas y almidones

En la tabla 2, se muestra la composición proximal (humedad, ceniza y proteína) y el color (L y Hue) de las harinas y los almidones. Para todos los parámetros estudiados existieron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las muestras.

Los valores de humedad estuvieron en el rango de 4,69% a 14,67%, dentro de los límites establecidos para la harina de trigo (15,5% máximo) por el **CODEX STAN 152 (1995)**. Para el caso del almidón de yuca y de las harinas de garbanzo, de amaranto y de chocho, los valores de humedad obtenidos fueron similares a los documentados en la literatura (Hoyos et al., 2015; De Prada, 2011; Ponce, 2015 & Ruilova, 2014). Sin embargo, el almidón de maíz presentó valores de humedad mayores que los encontrados en la literatura (~2,5%) (Torres et al., (1999)).

Tabla 2. Análisis proximal de las muestras de harina y almidones

Muestra	Humedad %	Cenizas %	Proteína %	L	Hue	
Harina	Arroz	13,37 ± 1,24 e	0,010 ± 0,000 c	6,90 ± 0,07 a	103,59 ± 0,59 c	85,07 ± 0,59 b
	Chocho	4,69 ± 0,10 a	0,024 ± 0,001 d	55,98 ± 0,56 e	94,69 ± 1,71 a	85,63 ± 0,32 b
	Garbanzo	9,90 ± 0,34 c	0,033 ± 0,001 f	19,79 ± 0,39 d	104,66 ± 1,59 c	89,25 ± 0,31 d
	Papa	6,99 ± 0,30 b	0,043 ± 0,001 g	9,76 ± 0,44 b	96,35 ± 1,09 a	88,63 ± 0,27 a
	Amaranto	10,99 ± 0,17 cd	0,028 ± 0,000 e	11,98 ± 0,16 c	99,96 ± 1,05 b	83,09 ± 0,86 c
Almidón	Maíz	10,34 ± 0,34 c	0,001 ± 0,000 a			
	Yuca	11,86 ± 0,57 d	0,006 ± 0,001 c			
	Achira	14,63 ± 0,14 e	0,004 ± 0,000 b			
	Papa	13,71 ± 0,12 e	0,004 ± 0,000 b			

Los valores representan el promedio de 3 determinaciones y la desviación estándar de cada harina. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$) entre muestras.

Las diferencias pueden estar relacionadas con la variedad de maíz utilizado o con las condiciones de almacenamiento. El contenido de cenizas de las harinas y almidones estuvo entre 0,001% a 0,047%. Según **Techeira et al. (2014)**, las diferencias pueden estar relacionadas con el contenido de minerales y sales inorgánicas propias de cada materia prima. Las muestras de las harinas presentaron valores más altos de cenizas en comparación con las muestras de almidón.

Los valores de proteína, para las harinas utilizadas como materia prima, difirieron entre valores de 6,90 a 55,98% dependiendo del origen de la harina. Para la harina de arroz el valor de proteína fue de 6,90%, muy similar al valor obtenido por **Torres et al. (1999)** que fue de 6,0%. El valor más alto de proteína correspondió a la harina de chocho con un valor de 55,98% similar al 54% observado por **Bermúdez (2014)**. La harina de soya, que contiene 37,9% de proteína, es empleada para la sustitución del trigo para la elaboración de productos libres de gluten. Sin embargo, considerando que la soya puede causar problemas de alergias, **Ponce (2015)** consideró que la harina de chocho puede ser un buen sustituto de la harina de soya.

Para las harinas de garbanzo y de amaranto se han encontrado valores de proteína de 24,9% y 13,6%, respectivamente (**Hoyos et al., 2015; De Prada, 2011**), similares a los obtenidos en el presente estudio. Las muestras de almidón no fueron caracterizadas en su contenido de proteína debido al bajo porcentaje que presentan, entre 0,18% para el maíz y 0,08% en yuca (**Torres et al., 1999**).

Respecto al color, los valores de luminosidad de las harinas se ubicaron entre 94 a 100 lo que indica que las harinas poseen un color claro con una alta tendencia al blanco. Por otro lado, el valor de °Hue, que representa el matiz de color, de las muestras analizadas se encontró entre 88,63 a 89,25 que corresponde a un tono amarillo y fue similar a los valores °Hue (86,4) observados en la harina de plátano (**Hernández-Arteaga, Galván, Arrazola, & Mendoza-Corvis, 2016**).

4.3. Caracterización funcional de harinas y almidones

4.3.1. Temperatura de gelatinización

La figura 3 muestra los termogramas obtenidos por calorimetría diferencial de barrido para las harinas. La endoterma indica que la temperatura de gelatinización (T_m) se encontró en un rango de ~ 68 a 87 °C. La muestra de harina de arroz presentó una T_m de ~ 72 °C, similar a los 73 °C encontrados por **Puncha-arnon & Uttapap (2013)**. La variación en la T_m puede deberse a las interacciones de los gránulos de almidón con el resto de componentes de la harina. Las harinas se encuentran frecuentemente compuestas por almidón, azúcar, proteínas, lípidos y minerales, lo que explicaría que la T_m del chocho (~ 87 °C) sea menos intensa.

Las T_m para la harina de garbanzo, papa y amaranto fueron de ~ 73 , ~ 68 y ~ 71 °C respectivamente, estas temperaturas se encuentran dentro del rango de 62 a 73 °C a la cual aparece por lo general el pico de la gelatinización característico del almidón (**Pizarro, Sanchez, Ceballos, Morante, & Dufour, 2016**).

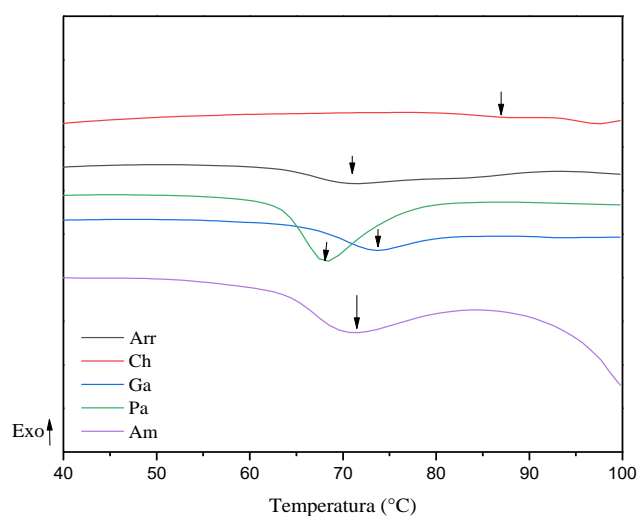


Figura 3. Termograma resultante de las harinas. Arr: harina de arroz; Ch: harina de chocho; Ga: harina de garbanzo; Pa: harina de papa; Am: harina de amaranto. Los valores representan el promedio de 3 determinaciones. Las flechas indican la temperatura a la que se observó el evento térmico.

La figura 4 contiene los termogramas obtenidos para las muestras de almidón. La T_m de los almidones se encontró entre ~ 64 y 72 °C. Las temperaturas más bajas corresponden al almidón de papa y de achira con valores de ~ 64 y ~ 65 °C

respectivamente. Estos resultados fueron similares (58 y 64 °C) a los observados por **Ruilova & Patricia (2014)**. Según **Hager & Arendt (2013)**, la temperatura de gelatinización del almidón de maíz y de yuca se encuentra alrededor de 72 y 67 °C respectivamente, similares a los resultados obtenidos en el presente estudio.

Como se esperaba, las temperaturas de gelatinización, tanto para las harinas como para los almidones puros, difieren. Según **Ji et al. (2017)** la temperatura de gelatinización puede verse afectada por el porcentaje de hidratación, la relación entre amilosa y la amilopectina así como también de la forma y tamaño del gránulo de almidón. Estos parámetros pueden adelantar o retrasar los procesos de gelatinización.

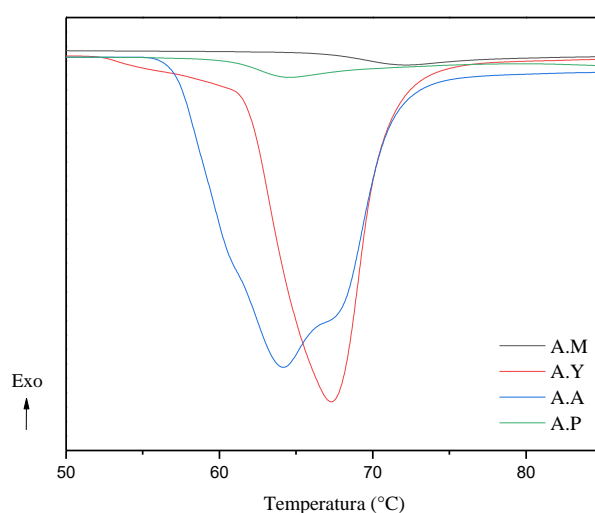


Figura 4. Termograma resultante de los almidones. A.M: almidón de maíz; A.Y: almidón de yuca; A.A: almidón de achira; A.P: almidón de papa. Los valores representan el promedio de 3 determinaciones.

4.4. Formulación y elaboración del pan

Los panes obtenidos mediante las distintas combinaciones de harinas, almidones y gomas fueron evaluados mediante análisis sensorial a fin de seleccionar la mejor formulación. Las formulaciones básicas del pan sin gluten se presentan en la tabla 3. Además, en la figura 5 se pueden observar la Thermomix TM5 (A); la cámara de leudado (B); y los panes resultantes de las fórmulas (C).

Tabla 3. Formulaciones utilizadas para la elaboración de pan libre de gluten

Ingrediente	Fórmula 3		Fórmula 4		Fórmula 5	
	%		%		%	
Harina de arroz	20		25		25	
Harina de chocho	5		10		10	
Harina de papa	10		-		-	
Harina de amaranto	5		5		5	
Almidón de maíz	20		20		20	
Almidón de yuca	20		20		-	
Almidón de papa	-		-		20	
Leche en polvo	20		20		20	
Goma*	Xantana	Guar	Xantana	Guar	Xantana	Guar

*Se empleó el 1% de goma en relación a la formulación total

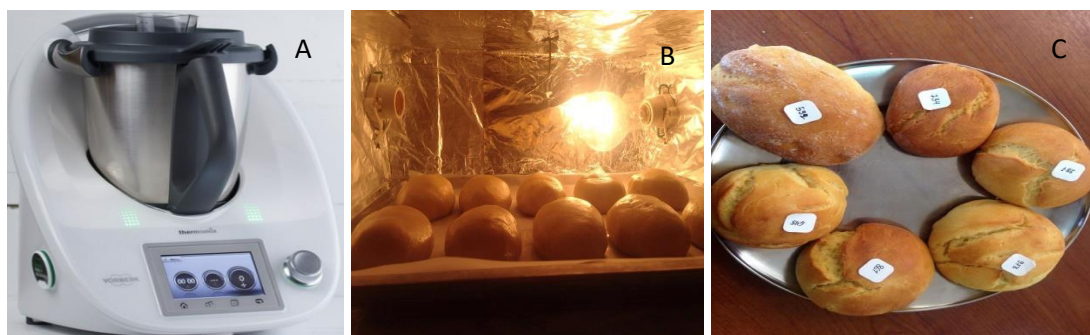


Figura 5. Instrumentos utilizados en el proceso de elaboración de los panes. A: Thermomix TM5 (Vorwerk); B: cámara de leudado; C: panes resultantes de las fórmulas

4.5. Aplicación de la calorimetría diferencial de barrido en las fórmulas desarrolladas

La figura 6 y 7 muestra los termogramas resultantes para las fórmulas 3 y 4 respectivamente. En el termograma se pueden observar tres eventos térmicos correspondientes a las temperaturas de gelatinización de los diferentes ingredientes. Cuando se incorporaron las gomas a las formulaciones, la T_m de cada evento térmico se desplazó a temperaturas inferiores. Según **Chaisawang & Suphantharika (2006)**, la adición de goma provoca un desplazamiento de las temperaturas de gelatinización del almidón, lo que se puede atribuir a una reducción del agua disponible por la cristalización de los gránulos de almidón.

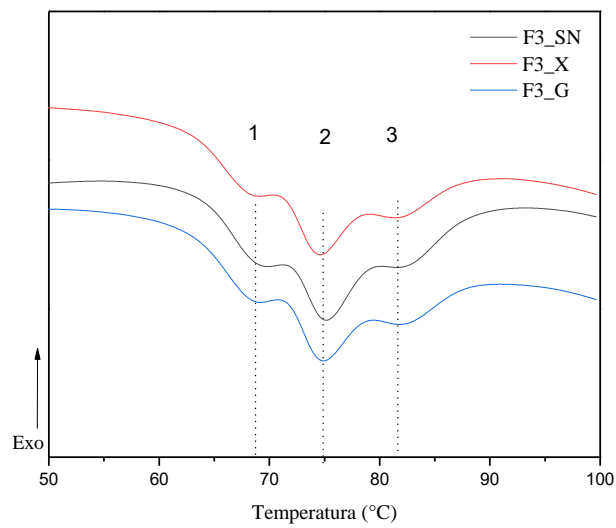


Figura 6. Termograma resultante para la fórmula 3. Fórmula 3: harina de arroz 20 %, harina de chocho 5 %, harina de papa 10 %, harina de amaranto 5 %, almidón de maíz 20 %, almidón de yuca 20 %, leche en polvo 20 %; SN, sin goma; X: goma xantana; G: goma guar. Los valores representan el promedio de 3 determinaciones.

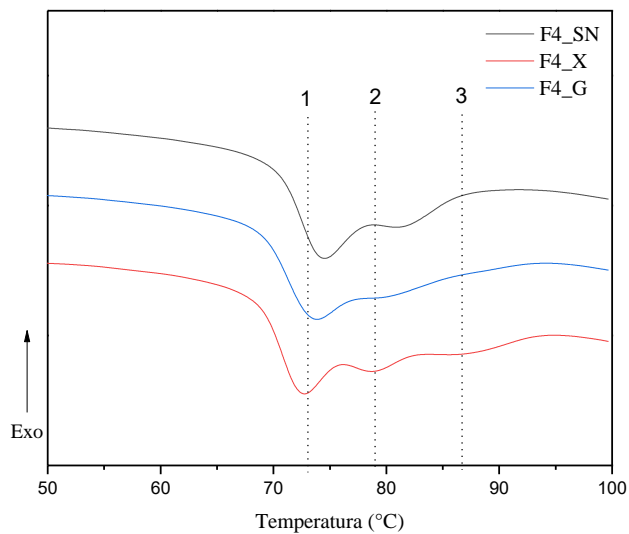


Figura 7. Termograma resultante para la fórmula 4. Fórmula 4: harina de arroz 25 %, harina de chocho 10 %, harina de amaranto 5 %, almidón de maíz 20 %, almidón de yuca 20 %, leche en polvo 20 %; SN, sin goma; X: goma xantana; G: goma guar. Los valores representan el promedio de 3 determinaciones.

La figura 8 muestra los termogramas para la fórmula 5. A diferencia de las formulaciones 3 y 4, únicamente se pueden observar dos eventos. Si bien la fórmula 5 es muy similar a la fórmula 4 en los porcentajes de los ingredientes, la única variación es la sustitución del almidón de yuca por almidón de papa. Los ingredientes que componen la fórmula 5 presentaron mayor homogeneidad ya que la Tm de cada evento no varía significativamente, incluso tras la incorporación de las gomas.

La combinación de almidones y gomas provoca cambios en la temperatura de gelatinización y las características reológicas de los almidones, por lo tanto, se podría decir que cada hidrocoloide afecta de manera diferente las propiedades del almidón (Chaisawang & Supphantharika, 2006).

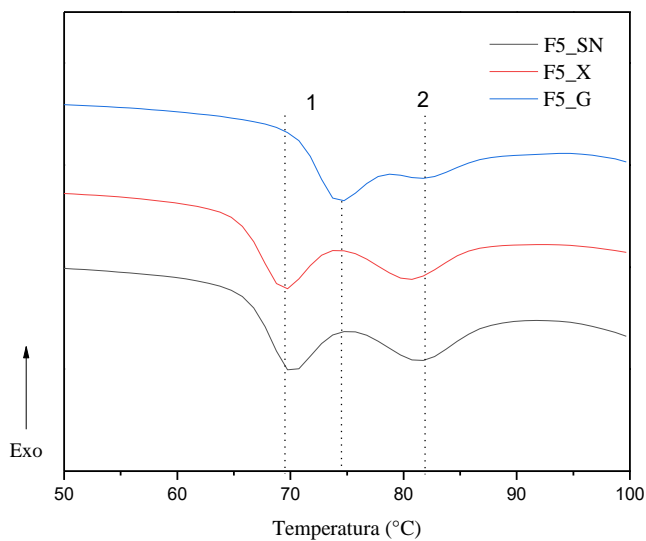


Figura 8. Termograma resultante para la fórmula 5. Formula 5: harina de arroz 25 %, harina de chocho 10 %, harina de amaranto 5 %, almidón de maíz 20 %, almidón de papa 20 %, leche en polvo 20 %; SN, sin goma; X: goma xantana; G: goma guar. Los valores representan el promedio de 3 determinaciones.

4.6. Textura de la masa

El análisis de textura permite determinar la funcionalidad en el rendimiento panificable de formulaciones, así como también observar la estructura molecular al combinar el gluten y el almidón (Marco & Rosell, 2008). A pesar de que las matrices sin gluten son estructuralmente diferentes de la masa con gluten, el análisis de textura puede dar una idea de su funcionalidad adicional.

En la tabla 4 se presenta el análisis de perfil de textura realizado a las masas de las diferentes formulaciones. La dureza de las formulaciones 3 y 4 fue significativamente afectada por la adición de las gomas: al incorporar la goma xantana la dureza fue menor que con goma guar. En la fórmula 5 fue completamente diferente, al adicionar goma guar se obtuvo un valor de dureza de 2,99 N valor similar al de la masa sin goma (2,63 N). Sin embargo, al adicionar goma xantana el valor de la dureza se incrementó (4,39 N).

Para el porcentaje de deformación no se encontraron diferencias significativas entre las fórmulas y el tipo de goma. Las deformaciones recuperables de la masa, al adicionar los dos tipos de gomas, provocaron el aumento de 0,86 mm a $1,41 \pm 0,11$ mm tanto para la fórmula 3 como para la fórmula 4. El incremento en la fórmula 5 (de 0,42 mm a 0,89 mm), puede deberse a que las gomas ayudan a la formación de una red más fuerte al mejorar los enlaces de los almidones con el resto de componentes de la mezcla y mejorar la calidad de la masa (Deora et al., 2015). Además, las gomas se usan para aumentar la retención de agua durante el horneado y almacenamiento, inhibe la sinéresis y extiende la vida de anaquel de los productos (Morán Bravo, K. M., Navarrete, S., & Karen, L., 2015).

El aumento de la cohesividad está directamente relacionado con la adición de la goma xantana (0,27) y fue mayor que al utilizar goma guar (0,18). En las masas de trigo, la cohesión de la masa es un parámetro de la calidad del pan fresco, ya que las masas más cohesivas dan lugar a panes más blandos (Martín & Glauser, 2001). Para la elasticidad no hubo diferencia significativa tanto para las formulaciones como para la adición de goma. Según Marco & Rosell (2008), la proteína aislada puede producir masas con mayor elasticidad comparables con aquellas elaboradas a partir de gomas.

Tabla 4. Resultado del análisis del perfil de textura y del ensayo de compresión de la masa

	Fórmula 3			Fórmula 4			Fórmula 5		
Perfil de textura de la masa									
	S.g	X	G	S.g	X	G	S.g	X	G
Elst	4,22 ± 2,22Aa	4,01 ± 0,24Aa	8,49 ± 8,93Aa	2,68 ± 0,22Aa	4,02 ± 0,31Ab	2,75 ± 0,28Aa	3,49 ± 3,05Aa	3,86 ± 0,12Aa	3,50 ± 0,09Aa
Coh	0,21 ± 0,01Aa	0,27 ± 0,02Ab	0,19 ± 0,02Aa	0,20 ± 0,01Aa	0,28 ± 0,02Ab	0,18 ± 0,01Aa	0,26 ± 0,22Aa	0,27 ± 0,01Aa	0,23 ± 0,02Ba
Fir	0,98 ± 0,12Aa	1,66 ± 0,11Aa	2,64 ± 0,46Ab	1,02 ± 0,16Aa	1,24 ± 0,04Ba	1,39 ± 0,21Ba	0,70 ± 0,61Aa	0,96 ± 0,11Ca	0,74 ± 0,07Ba
Mst	0,004 ± 0,001Aa	0,007 ± 0,001Aa	0,023 ± 0,030Aa	0,003 ± 0,001Aa	0,005 ± 0,001Bab	0,004 ± 0,001Ab	0,004 ± 0,003Aa	0,004 ± 0,001Ca	0,003 ± 0,001Aa
Compresión de la masa									
Dur	4,21 ± 0,06 ABa	7,79 ± 0,32Ab	12,47 ± 2,23Ac	4,57 ± 0,97Ba	4,92 ± 0,68Ba	6,78 ± 1,05Ba	2,63 ± 0,57Aa	4,39 ± 0,38Bb	2,99 ± 0,34Ca
%D	39,7 ± 0,00Aa	39,7 ± 0,00 Aa	39,7 ± 0,00Aa	39,73 ± 0,06Aa	39,73 ± 0,06Aa	39,70 ± 0,00Aa	39,73 ± 0,06Aa	39,73 ± 0,06Aa	39,77 ± 0,06Aa
D,R	0,86 ± 0,11Aa	1,55 ± 0,11 Ab	1,41 ± 0,01Ab	0,88 ± 0,11Aa	1,16 ± 0,09Bb	1,21 ± 0,01Bb	0,42 ± 0,03Ba	1,00 ± 0,01Bb	0,89 ± 0,10Cb
Adh	0,003 ± 0,002Aa	0,001 ± 0,001Aa	0,001 ± 0,001Aa	0,003 ± 0,002Aa	0,002 ± 0,001ABa	0,001 ± 0,001Aa	0,006 ± 0,004Ba	0,003 ± 0,001Bb	0,005 ± 0,001Bb
Res	0,03 ± 0,00Ba	0,07 ± 0,01Ab	0,06 ± 0,00Ab	0,04 ± 0,00Ca	0,05 ± 0,00 Bab	0,05 ± 0,01Bb	0,01 ± 0,01Aa	0,43 ± 0,01Bb	0,03 ± 0,00Cc

S.g: sin goma; X: goma xantana; G: goma guar. Elst: elasticidad; Coh: cohesividad; Fir: firmeza; Mst: masticabilidad; Dur: dureza; %D: porcentaje de deformación; D,R: deformación recuperable; Adh: adhesividad; Res: resiliencia. Los valores representan el promedio de 3 determinaciones y la desviación estándar de cada parámetro. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$) entre muestras.

En cuanto a la adhesividad, la resiliencia (energía de deformación que las muestras pueden recuperar luego de su primera deformación) y la masticabilidad los valores obtenidos no variaron de forma significativa al adicionar las gomas. Estos valores son similares a los reportados por **Marco & Rosell (2008)** quienes trabajaron con masas libres de gluten con adición de aislados proteicos de soya y guisante. Según **Chaisawang & Suphantharika (2006)**, las gomas usadas en productos libres de gluten cumplen con la función de controlar las propiedades reológicas y de textura de los alimentos, al igual que mejoran la capacidad de retención de humedad y mantienen la calidad general del producto.

Es difícil predecir la influencia exacta de la modificación de los ingredientes de una formulación sobre las propiedades de calidad del producto. La formulación óptima de una masa libre de gluten debe combinar la viscosidad con la capacidad de formar una estructura fuerte y rígida suficientemente sólida, capaz de contener gas durante la fermentación para que las migas presenten una estructura y textura apropiadas (**Ziobro et al., (2016)**). La baja viscosidad de la masa mejora la expansión de las células para la retención del gas afectando de forma positiva al volumen y al aireamiento de las migas. Sin embargo, una viscosidad muy baja podría conducir a un efecto contrario al requerido.

4.7. Textura del pan

La dureza de los panes libres de gluten es generalmente mayor que en los panes de trigo, debido principalmente a la elevada pérdida de peso por evaporación, ya que el agua es el agente plastificante en la matriz panadera (**Ozkoc & Seyhun, 2015**).

En la tabla 5 se presenta el perfil de textura realizado a los panes obtenidos de las diferentes formulaciones. La dureza de la corteza de los panes varió de acuerdo a la formulación, sin embargo, la goma no tuvo influencia significativa. La fórmula 3 presentó los valores más altos tanto en la corteza como en la miga. Como se esperaba, la dureza del segundo ciclo del perfil de textura disminuyó alrededor de 15 N para todas las formulaciones. Los valores de la dureza de la corteza de los panes obtenidos son similares a los observados por **Marco & Rosell (2008)**. Para la elasticidad, cohesividad, firmeza y masticabilidad los valores tuvieron la misma

tendencia. La fórmula 3 presentó los valores más altos y entre la fórmula 4 y 5 no existieron diferencias significativas.

En investigaciones realizadas por **Ergin & Herken (2012)**, el uso del almidón de papa causó mayores volúmenes en las muestras y también a los consumidores les gustó la fécula de patata y harina de maíz en comparación con otras materias primas. Este resultado se asemeja a los resultados obtenidos debido a que formulación 5 incluye en un 20% de la formulación el almidón de papa al igual que un 20% de almidón de maíz. La aceptabilidad general de productos de panadería hechas con la incorporación de goma de xantana fue clasificada por los catadores como la mejor, seguido por la que contiene goma de guar (**Kaur et al., 2015**).

Para la elección de la mejor formulación se realizó una evaluación de aceptabilidad con 8 catadores semi-entrenados, cuyos resultados finales indicaron que la fórmula 5 que contiene goma guar fue la más aceptada por 6 de los 8 catadores, con una dureza de la masa de $2,99 \pm 0,34$ N, dureza de la corteza del pan de $4,63 \pm 0,28$ N y masticabilidad de $0,09 \pm 0,01$ J. Para panes similares **Ziobro, R., et al. (2016)** reportó valores de dureza de la corteza de $5,44 \pm 0,82$ N y masticabilidad de $1,81 \pm 0,16$ J, al igual que **Marti, A., et al. (2015)** en sus investigaciones de panes libres de gluten se reportan valores de dureza de entre 4 a 10 N.

Tabla 5. Perfil de textura de pan con las distintas formulaciones

Parámetros	Fórmula 3		Fórmula 4		Fórmula 5	
	X	G	X	G	X	G
Dureza Corteza (N)	8,79 ± 1,13 Aa	7,03 ± 0,68 Aa	3,57 ± 0,58 Ba	4,51 ± 0,33 Ba	4,88 ± 0,24 Ba	4,63 ± 0,28 Ba
Dureza Ciclo 1 (N)	68,15 ± 4,00 Aa	91,99 ± 19,94 Aa	45,17 ± 6,71 Ba	58,43 ± 6,92 Ba	68,31 ± 2,37 Aa	57,52 ± 3,05 Bb
Dureza Ciclo 1 (N)	58,41 ± 2,56 Aa	75,30 ± 16,38 Aa	31,74 ± 3,15 Ca	41,55 ± 5,45 Ba	43,42 ± 4,34 Ba	35,86 ± 5,43 Ba
Elasticidad (mm)	7,37 ± 0,54 Aa	8,93 ± 0,21 Ab	8,19 ± 0,29 Aa	8,94 ± 0,04 Ab	7,53 ± 0,03 Aa	7,80 ± 0,51 Ba
Cohesividad	0,52 ± 0,03 Aa	0,35 ± 0,03 Ab	0,23 ± 0,01 Ba	0,24 ± 0,01 Ba	0,18 ± 0,01 Ba	0,19 ± 0,02 Ca
Firmeza (N)	35,90 ± 4,11 Aa	31,53 ± 5,04 Aa	10,40 ± 0,94 Ba	13,97 ± 2,06 Ba	12,65 ± 0,80 Ba	10,94 ± 0,89 Ba
Masticabilidad (J)	0,27 ± 0,05 Aa	0,28 ± 0,05 Aa	0,08 ± 0,01 Ba	0,12 ± 0,02 Bb	0,10 ± 0,01 Ca	0,09 ± 0,01 Ba

S.g: sin goma; X: goma xantana; G: goma guar. Los valores representan el promedio de 3 determinaciones y la desviación estándar de cada parámetro. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$) entre muestras.

En la formulación seleccionada se realizaron las siguientes determinaciones

4.8. Evaluación de la calidad del pan

4.8.1. Textura

Los panes sin gluten tienen una estructura de textura única que por lo general da una sensación de arenosidad en la boca, debido principalmente a los elevados porcentajes de arroz habitualmente utilizados en estas formulaciones. Es por ello que es necesario ensayar con nuevas alternativas para mejorar la textura de estos productos mediante la adición de mejoradores como las gomas (**Storck et al., 2013**).

La tabla 6 representa el perfil de textura de los panes de la mejor formulación durante los 10 días de almacenamiento. La dureza de los panes cambió con el tiempo como se esperaba. La dureza de la corteza fue aumentando conforme pasó el tiempo de almacenamiento desde un valor de 3,17 N el primer día hasta un valor de 6,67 N el último día. De igual manera, en la dureza de la miga para el día uno fue 50,61 N llegando a 95,49 N.

Generalmente, cuanto menor sea el contenido de humedad, mayores serán los valores de dureza de los panes libres de gluten (**López-Tenorio, Rodríguez-Sandoval, & Sepúlveda-Valencia, 2015**). Como se observa en la tabla 7, la humedad de los panes disminuyó de 35,91% a 26,00% conforme transcurrió el tiempo de almacenamiento. La miga de pan a base de almidón se endurece mucho más rápido porque no existen interacciones adecuadas entre proteínas y agua. Por lo tanto, es importante el papel de las proteínas en la masa sin gluten. La proteína, por sus buenas propiedades de hinchamiento y emulsión, ayuda a la capacidad de retención del agua y estabiliza el gel que se forma por la gelatinización del almidón (**Ziobro et al., 2016**).

Respecto a los parámetros mecánicos de trabajo total, trabajo de dureza terminado y firmeza, los valores incrementaron durante el tiempo de almacenamiento. La dureza y la masticabilidad no se vieron influenciadas por el almacenamiento.

Tabla 6. Perfil de textura de la mejor formulación durante 10 días de almacenamiento

Día	Perfil de textura						
	Dureza de la corteza (N)	Dureza de la miga (N)	Trabajo Total (J)	Trabajo terminado (J)	Elasticidad (mm)	Cohesividad	Firmeza (N)
1	3,17 ± 0,28a	50,61 ± 3,38a	0,40 ± 0,03 ^a	0,37 ± 0,03a	7,81 ± 0,54a	0,17 ± 0,01ab	8,65 ± 0,5a
3	4,49 ± 0,21ab	50,61 ± 3,38a	0,40 ± 0,04 ^a	0,37 ± 0,03a	10,98 ± 0,53b	0,22 ± 0,01a	11,37 ± 2,74ab
5	4,48 ± 0,41ab	93,80 ± 11,24b	0,89 ± 0,08c	0,83 ± 0,08c	9,36 ± 0,31c	0,11 ± 0,01c	10,09 ± 0,76a
8	6,07 ± 1,33b	90,62 ± 0,34b	0,69 ± 0,05b	0,65 ± 0,05b	7,64 ± 0,45a	0,14 ± 0,03bc	12,91 ± 2,34ab
10	6,67 ± 1,56b	95,49 ± 5,33b	0,73 ± 0,00b	0,67 ± 0,00b	7,63 ± 0,25a	0,15 ± 0,02bc	16,34 ± 3,06b

Los valores representan el promedio de 3 determinaciones y la desviación estándar de cada día. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$) entre muestras.

4.8.2. Color de la corteza

En la tabla 7 también se muestran los valores de L y °Hue para los panes durante el almacenamiento. Para estos parámetros no existieron diferencias significativas durante el período de estudio. El valor de L se varió en un rango de 53,51 a 58,69, que representa un color intermedio entre blanco y negro. Los valores del ángulo °Hue (70,73 a 75,23°), se encontraron en el primer cuadrante (0 a 90°) de la gama de colores como se observa en la figura 9. El color del pan se situó dentro del color amarillo y su luminosidad fue media. Se observaron efectos positivos en la apariencia del pan después del uso de almidón de papa y también en aspectos sensoriales, similares a los hallazgos de otras investigaciones (Ziobro et al., 2016).

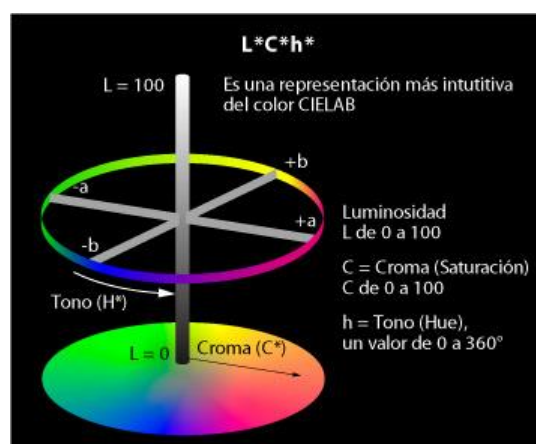


Figura 9. Espacio de color CIELAB

Tabla 7. Evaluación del contenido de humedad, la actividad de agua y color (L y °Hue)

Día	Humedad (%)	Actividad de agua (Aw)	L	° Hue
1	35,91 ± 0,95 a	0,93 ± 0,002 a	54,84 ± 4,24 a	74,15 ± 2,92 a
3	33,01 ± 0,85 b	0,91 ± 0,004 b	57,13 ± 2,61 a	70,81 ± 3,34 a
5	29,88 ± 0,47 c	0,91 ± 0,002 b	53,51 ± 4,69 a	70,63 ± 1,96 a
8	27,82 ± 0,49 d	0,90 ± 0,002 c	57,45 ± 5,49 a	71,31 ± 2,35 a
10	26,00 ± 0,37 e	0,90 ± 0,003 c	58,69 ± 2,53 a	75,23 ± 1,82 a

Los valores representan el promedio de 3 determinaciones y la desviación estándar de cada día. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$) entre muestras.

4.8.3. Análisis sensorial

Las características sensoriales se evaluaron durante los primeros 8 días de almacenamiento (solo para la mejor formulación), debido a que el día 10 se observó la presencia de mohos, ya que visualmente el pan no es aceptado. Los parámetros evaluados por los catadores fueron: apariencia de la miga, que fue catalogada como porosa; el color identificado fue marrón; el aroma fue ligero; la compacidad y elasticidad del pan fueron definidas como “media” similar a una aceituna rellena, la humedad que presento el pan fue media similar a la de una salchicha coctel; la adhesividad en el paladar de los catadores fue media, similar a la yema de huevo cocido y la cohesividad fue similar a la de una magdalena. Para ninguno de los parámetros anteriores existieron diferencias significativas durante los días de almacenamiento. La aceptabilidad fue el único parámetro sensorial que cambió durante el tiempo de almacenamiento pasando de excelente a aceptable, lo que podría estar relacionado con el endurecimiento de la miga y la pérdida de humedad durante el almacenamiento (Gómez, Talegón, & Hera, 2013).

4.8.4. Análisis de vida útil

El recuento microbiológico para los panes libres de gluten de la mejor formulación, se presenta en la tabla 8. A la vista de los resultados, durante el tiempo de almacenamiento no existió presencia de enterobacterias. Este hecho indica que la elaboración y posterior almacenamiento del pan fue adecuado (Almenar & Vandevenne, 1997).

Los recuentos de aerobios mesófilos aumentaron de forma progresiva con los días de almacenamiento (**Anderson & Pascual, 2011**). En este sentido el deterioro bacteriano del pan es causado principalmente por *Bacillus spp.*, que generalmente está presente en ingredientes como la harina y el azúcar (**Miñarro et al. (2013)**).

No se registraron colonias de mohos y levaduras hasta el quinto día de almacenamiento y se mantienen hasta el octavo día. Los mohos y levaduras fueron visibles a simple vista a partir del décimo día de almacenamiento. El problema con este grupo de microorganismos radica en que pueden alterar los alimentos al momento del crecimiento característico haciendo visible la contaminación (**Laneri & Cásas, 2012**). Considerando que en los primeros días no existió presencia de estos microorganismos se puede asumir que la contaminación por mohos y levaduras tuvo lugar durante el almacenamiento. El pan recién horneado está exento de mohos y sus esporas, por la inactivación térmica durante la cocción (**Miñarro, Normahomed, Guamis, & Capellas, 2010**).

Tabla 8. Análisis microbiológico de la mejor formulación

Día	Mohos y Levaduras (Log UFC)	Aerobios mesófilos (Log UFC)	Entero Bacterias (Log UFC)
1	0,00 ± 0,00 a	1,94 ± 0,56 a	0 a
5	0,67 ± 1,15 a	3,52 ± 0,11 b	0 a
8	0,67 ± 1,15 a	5,20 ± 0,11 c	0 a

Los valores representan el promedio de 3 determinaciones y la desviación estándar de cada día. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$) entre muestras.

4.8.5. Presencia de gluten

El contenido de gluten en el pan elaborado con la mejor formulación fue negativo. El índice de detección fue de 5 ppm (Anexo 2). El Codex Alimentarius establece que el contenido máximo de gluten en un producto libre de gluten es 20 ppm, por lo expuesto el pan realizado en la presente investigación puede considerarse “libre de gluten”.

Según **Miñarro Vivas et al. (2013)** el gluten puede estar presente no sólo en los productos elaborados con harina de trigo, ya que puede ser incorporado en algunos de sus ingredientes o aditivos y por el proceso de fabricación de los mismos. Los ingredientes utilizados para la elaboración del pan fueron harina de arroz 25 %, harina de chocho 10%, harina de amaranto 5%, almidón de maíz 20%, almidón de papa 20% y leche en polvo 20%, ingredientes que pueden ser consumidos por personas intolerantes al gluten.

4.8.6. Análisis nutricional

La tabla 9 muestra el análisis nutricional de la mejor formulación de un pan libre de gluten. La energía que proporcionó el pan libre de gluten fue de 310 Kcal, valor alto en comparación con las 255 Kcal que proporciona el pan blanco hecho con trigo (**Verdú, 2013**). El contenido de proteína de pan sin gluten fue mayor al del pan blanco, esto puede estar relacionado con la inclusión de harina de chocho a la formulación, la cual contiene un $55,98 \pm 0,56$ g de proteína por cada 100 g de harina. Los trabajos recientes sugieren que para imitar la naturaleza viscoelástica del gluten se ha buscado funcionalizar proteínas de distinto origen (leguminosas, cereales, pseudocereales, entre otros), mediante la mejora y la creación de formulaciones innovadoras (**Deora et al., 2015**). El contenido de azúcares y grasa en el pan sin gluten fue ligeramente mayor al del pan blanco. El contenido de sodio y de carbohidratos totales fue menor a los del pan blanco.

Estudios del contenido de nutrientes en alimentos libres de gluten realizados por **Missbach et al. (2015)** indican que, las categorías de pan y productos de panadería, el contenido energético varió entre $270,5 \pm 13,5$ kcal a $398,8 \pm 25,4$ kcal en la categoría de bocadillos. También, que el contenido de proteína fue significativamente menor en los alimentos libres de gluten con $5,8 \pm 3,7$ g, por lo que se podría decir que el pan que se obtuvo con la **formulación 5** tuvo una calidad nutricional más elevada en relación a sus símiles.

Tabla 9. Contenido de energía, proteína, grasa, carbohidratos totales, sodio, azúcares por cada 100 g

	Unidades	Pan blanco	Pan sin gluten
Energía	Kcal	255	310
Proteína	g	7	8
Grasa	g	0,8	12
Carbohidratos totales	g	58	43
Sodio	mg	540	190
Azúcares	g	1,8	2

4.9. Verificación de la hipótesis nula

Con base en los resultados obtenidos se acepta la hipótesis alternativa en la cual se afirma que es posible la sustitución total del trigo en la elaboración de pan.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Las harinas de arroz, chocho, papa, garbanzo y amaranto, así como también las gomas guar y xantana permitieron desarrollar panes libres de gluten y tuvieron influencia directa sobre las características físicas, sensoriales, de textura y temperatura de gelatinización de los almidones.

La formulación 5 presentó el mejor valor de textura, temperatura de gelatinización del almidón y alta aceptabilidad en el análisis sensorial.

La masa presentó una buena capacidad de absorción de agua ideales para la elaboración de pan. Asimismo, en el producto terminado la dureza, el color, la calidad sensorial, apariencia de la miga y la aceptabilidad fueron excelentes, con una vida útil de 8 días.

El valor nutricional del pan elaborado a base de harina de arroz, harina de chocho, harina de amaranto, almidón de maíz, almidón de papa leche en polvo y goma guar fue superior a la del pan blanco. Incluso fue una destacable fuente de proteína y energía.

El contenido de gluten fue inferior al de los límites máximos permitidos por lo cual el pan desarrollado puede ser considerado como libre de gluten y es apto y seguro para su consumo por personas intolerantes al gluten.

5.2. Recomendaciones

Se recomienda la utilización de un molino de piedra para el proceso de molienda de las harinas especialmente para la harina de arroz, para mejorar la absorción de agua durante el amasado ya que afecta directamente con la dureza resultante del pan después del proceso de horneado.

Se debe estudiar el efecto de la variación del porcentaje de goma y almidones utilizados en la mejor formulación, porque el comportamiento de la combinación entre almidones y gomas evidencian una alteración en la temperatura de gelatinización y las características reológicas de los almidones.

Se recomienda el estudio del empleo de aislados de proteínas libres de gluten para mejorar la calidad nutricional y el nivel de aceptabilidad del pan, las leguminosas son una de las fuentes con mayor porcentaje de proteínas alimentarias, ya que tanto las son complementarias en aminoácidos esenciales, mejorando las propiedades funcionales y la calidad general del producto final.

Bibliografía

- Almenar, V. S., & Vandevenne, C. A. (1997). *Prácticas. Microbiología de alimentos*: Universitat de Lleida.
- Anderson, M. R. P., & Pascual, V. C. (2011). *Microbiología Alimentaria: Metodología Analítica para Alimentos y Bebidas*: Díaz de Santos.
- AOAC. (1995). Official methods of analysis. USA.
- Aristizábal, J., Sánchez, T., & Mejía-Lorío, D. J. (2007). *Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca*: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Bermúdez, C. A. (2014). *Aplicación del aislado de la proteína de chocho (Lupinus mutabilis sweet), como sustituto del aislado de soya en la elaboración de salchicha*. (Ingeniería en Alimentos), Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito.
- Cerón, A. F., Hurtado, A. B., Osorio, O. M., & Buchely, M. (2011). Estudio de la formulación de la harina de papa de la variedad parda pastusa (*Solanum gartuberosum*) como sustituto parcial de la harina de trigo en panadería. Study of the formulation the potato flour from parda pastusa variety (*Solanum tuberosum*) as partial substitute of wheat flour in bakery.
- Codex Alimentarius. (1995). Norma del codex para la harina de trigo. *CODEX STAN 118 – 1979*.
- Codex Alimentarius. (2015). Norma relativa a los alimentos para regímenes especiales destinados a personas intolerantes al gluten. *CODEX STAN 118 - 1979*.
- Chaisawang, M., & Suphantharika, M. (2006). Pasting and rheological properties of native and anionic tapioca starches as modified by guar gum and xanthan gum. *Food Hydrocolloids*, 20(5), 641-649.
- De Prada, G. (2011). Desarrollo de la tecnología de obtención de harina de amaranto de dos variedades (INIAP alegría y Sangorache) para panificación.
- Deora, N. S., Deswal, A., & Mishra, H. N. (2015). Functionality of alternative protein in gluten-free product development. *Food Science and Technology International*, 21(5), 364-379.
- Ergin, A., & Herken, E. N. (2012). Use of various flours in gluten-free biscuits. *J Food Agric Environ*, 10(1), 128-131.

- Espinoza, C. R., & Quispe, M. A. (2013). Tecnología de cereales y leguminosas.
- Gómez, M., Talegón, M., & de la Hera, E. (2013). Influence of Mixing on Quality of Gluten-Free Bread. *Journal of Food Quality*, 36(2), 139-145.
- González, V., Romero, M., Moreno, V., Cruz, C., Hernández, U., Soto, S., & Güemes, V. (2016). Analisis De Perfil De Textura En Masas De Semola De Trigo Adicionadas Con Harina De Chayotextle (*Sechium Edule*). *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1, 31-35.
- Guinand, C. (2014). Formulación de una masa para pizza libre de gluten utilizando harinas alternativas.
- Gujaska, E., & Khan, K. (1990). Effect of temperature on properties of extrudates from high starch fractions of navy, pinto and garbanzo beans. *Journal of Food Science*, 55(2), 466-469.
- Hager, A.-S., & Arendt, E. K. (2013). Influence of hydroxypropylmethylcellulose (HPMC), xanthan gum and their combination on loaf specific volume, crumb hardness and crumb grain characteristics of gluten-free breads based on rice, maize, teff and buckwheat. *Food Hydrocolloids*, 32(1), 195-203.
- Hernández-Arteaga, A., Galván, S., Arrazola, G., & Mendoza-Corvis, F. (2016). Influencia de la temperatura y pre-tratamientos en el color de la harina (Musa AAB Simmonds). *Agronomía Colombiana*, 34(1Supl), S665-S667.
- Houben, A., Höchstötter, A., & Becker, T. (2012). Possibilities to increase the quality in gluten-free bread production: an overview. *European Food Research and Technology*, 235(2), 195-208.
- Hoyos Sánchez, D., Peña, P., & Giselle, A. (2015). *Utilización de harinas compuestas de maíz y garbanzo adicionadas con fibra de cáscara de piña para sustitución de harina de trigo en productos de panificación [recurso electrónico]*.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización, (INEN). (2013). Control Microbiológico de los Alimentos. Mohos y Levaduras viables. Recuento en placa por siembra en profundidad. *INEN 1529 (10-2013)*.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización, (INEN). (2016a). Harinas De Origen Vegetal Determinación Del Tamaño De Las Partículas. *INEN 517 (1980-12)*.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización, (INEN). (2016b). Harinas De Origen Vegetal Determinación De La Ceniza. *INEN 520 (1980-12)*.

- Jean, A., & Peiró, J. (2000). *Análisis nutricional de los alimentos*: Acribia.
- Ji, Z., Yu, L., Liu, H., Bao, X., Wang, Y., & Chen, L. (2017). Effect of pressure with shear stress on gelatinization of starches with different amylose/amylopectin ratios. *Food Hydrocolloids*.
- Jiménez, E. (2012). Elaboración de harina de 3 variedades de plátano verde (*Musa spp*) y su uso como materia prima para la panificación. *Instituto de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas, Tesis de Maestría en Ciencias*.
- Kaur, M., Sandhu, K. S., Arora, A., & Sharma, A. (2015). Gluten free biscuits prepared from buckwheat flour by incorporation of various gums: physicochemical and sensory properties. *LWT-Food Science and Technology*, 62(1), 628-632.
- Laneri, J., & Cásas, R. (2012). *Manual de Procedimientos Para El Control Microbiológico de Alimentos*: Bib. Orton IICA / CATIE.
- López-Tenorio, J. A., Rodríguez-Sandoval, E., & Sepúlveda-Valencia, J. U. (2015). The Influence of Different Emulsifiers on the Physical and Textural Characteristics of Gluten-Free Cheese Bread. *Journal of Texture Studies*, 46(4), 227-239. doi: 10.1111/jtxs.12121
- Marco, C., & Rosell, C. M. (2008). Functional and rheological properties of protein enriched gluten free composite flours. *Journal of Food Engineering*, 88(1), 94-103.
- Marti, A., Bottega, G., Franzetti, L., Morandin, F., Quaglia, L., & Pagani, M. A. (2015). From wheat sourdough to gluten-free sourdough: a non-conventional process for producing gluten-free bread. *International Journal of Food Science & Technology*, 50(5), 1268-1274.
- Martín, L., & Glauser, R. (2001). Enfermedad celíaca y naturismo:(2a parte). *Natura Medicatrix: Revista médica para el estudio y difusión de las medicinas alternativas*, 19(4), 168-174.
- Mezquita C., P., Urtuvia Gatica, V., Ramírez Quintanilla, V., & Arcos Zavala, R. (2011). Desarrollo de producto sobre la base de harinas de cereales y leguminosa para niños celíacos entre 6 y 24 meses; II: *Propiedades de las mezclas*. *Nutrición Hospitalaria*, 26(1), 161-169.

- Miñarro, B., Normahomed, I., Guamis, B., & Capellas, M. (2010). Influence of unicellular protein on gluten-free bread characteristics. *European Food Research and Technology*, 231(2), 171-179.
- Miñarro Vivas, B., Capellas Puig, M., & Albanell Trullas, E. (2013). Development of gluten-free bread formulations. *European Food Research and Technology*, 233(2), 71-79.
- Missbach, B., Schwingshackl, L., Billmann, A., Mystek, A., Hickelsberger, M., Bauer, G., & König, J. (2015). Gluten-free food database: the nutritional quality and cost of packaged gluten-free foods. *PeerJ*, 3, e1337.
- Morán Bravo, K. M., Navarrete, S., & Karen, L. (2015). Efecto de la goma xanthan y la hidroxipropilmetilcelulosa en las características físicas y reológicas del pan de arroz libre de gluten tipo molde (Bachelor's thesis, Espol).
- Ozkoc, S. O., & Seyhun, N. (2015). Effect of gum type and flaxseed concentration on quality of gluten-free breads made from frozen dough baked in infrared-microwave combination oven. *Food and Bioprocess Technology*, 12(8), 2500-2506.
- Pacheco-Delahaye, E., & Testa, G. (2005). Evaluación nutricional, física y sensorial de panes de trigo y plátano verde. *Interciencia*, 30(5), 300-304.
- Pellegrini, N., & Agostoni, C. (2015). Nutritional aspects of gluten-free products. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(12), 2380-2385.
- Peralta, I., Murillo, I., Mazón, N., Pinzón, Z., & Villacrés, E. (2013). *Manual agrícola de frejol y otras leguminosas: Cultivos, variedades, costos de producción*.
- Pineda-Gómez, P., Coral, D. F., Arciniegas, M. L., Rorales-Rivera, A., & Rodríguez García, M. E. (2010). Papel del agua en la gelatinización del almidón de maíz: estudio por calorimetría diferencial de barrido. *Ingeniería y ciencia*, 6(11).
- Pizarro, M., Sanchez, T., Ceballos, H., Morante, N., & Dufour, D. (2016). Diversificación de los Almidones de Yuca y sus Posibles Usos en la Industria Alimentaria. *Revista Politécnica*, 37(2), 1.
- Ponce, M. (2015). Fideos con harina de chocho un estudio demuestra la ganancia en contenido nutricional de una pasta alimenticia y la conservación de sus

- propiedades, al sustituir parte de la sémola de trigo por harina de chocho. *Ingeniería Industrial. Universidad San Francisco De Quito*. 18 páginas.
- Puncha-armon, S., & Uttapap, D. (2013). Rice starch vs. rice flour: Differences in their properties when modified by heat–moisture treatment. *Carbohydrate polymers*, 91(1), 85-91.
- Robayo Naranjo, M. D. (2016). Evaluación del efecto de la sustitución de huevos por mucílago de chíá (*Salvia hispánica*) en la tecnología de pan de camote. *Tesis de grado previo a la obtención del título de Ingeniería en Alimentos. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos, Universidad Técnica de Ambato*. 104 pág.
- Ruilova, M. (2014). Influencia de la sustitución parcial de harina de trigo (*Triticum aestivum l.*) por almidón de achira (*Canna edulis*) en las características calóricas, físico-químicas y organolépticas del cupcake. *Tesis de grado previo a la obtención del título de Ingeniería agroindustrial. Universidad Estatal Amazónica Puyo Ecuador*, 133 páginas.
- Salehi, E. A., & Sardarodiyani, M. (2016). Celiac Disease and Role of a Gluten-Free Diet. *Research & Reviews in BioSciences*, 11.
- Sandoval, M. A., & Valencia Rodríguez, A. Y. (2005). *Granulometría en harinas y contenido de taninos en el grano de sorgos criollos cultivados en seis departamentos de El Salvador*. Universidad de El Salvador.
- Sciarini, L. s., & Pérez, G. T. (2013). CÓMO ELABORAR PANES LIBRE DE GLUTEN: UN DESAFÍO TECNOLÓGICO.
- Storck, C. R., da Rosa Zavareze, E., Gularte, M. A., Elias, M. C., Rosell, C. M., & Dias, A. R. G. (2013). Protein enrichment and its effects on gluten-free bread characteristics. *LWT-Food Science and Technology*, 53(1), 346-354.
- Techeira, N., Sívoli, L., Perdomo, B., Ramírez, A., & Sosa, F. (2014). Caracterización fisicoquímica, funcional y nutricional de harinas crudas obtenidas a partir de diferentes variedades de yuca (*Manihot esculenta Crantz*), batata (*Ipomoea batatas Lam*) y ñame (*Dioscorea alata*), cultivadas en Venezuela. *Interciencia*, 39(3).
- Torres, R. L., González, R. J., Sánchez, H. D., Osella, C. A., & de la Torre, M. (1999). Comportamiento de variedades de arroz en la elaboración de pan sin gluten. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 49(1), 162-165.

- Vega, F. (2014). El buen vivir-Sumak Kawsay en la Constitución y en el PNBV 2013-2017 del Ecuador. *OBETS: Revista de Ciencias Sociales*(9), 167-194.
- Verdú, J. M. (2013). *Nutrición para educadores*: Editorial Díaz de Santos, S.A.
- Wronkowska, M., Haros, M., & Soral-Śmietana, M. (2013). Effect of starch substitution by buckwheat flour on gluten-free bread quality. *Food and Bioprocess Technology*, 1-8.
- Ziobro, R., Juszczak, L., Witczak, M., & Korus, J. (2016). Non-gluten proteins as structure forming agents in gluten free bread. *Journal of food science and technology*, 53(1), 571-580.

Anexos

ANEXO 1
MÉTODO EMPLEADO PARA EL ANÁLISIS SENSORIAL



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS
CARRERA DE INGENIERÍA EN ALIMENTOS



Fecha:

Instrucciones: por favor marque con una X el atributo que más representa lo que le pareció el producto que acaba de probar.

Características	Alternativas		Características	Alternativas	
Apariencia de la miga	1. Muy porosa		Compacidad	1. Nula o muy débil (manteca)	
	2. Porosa			2. Media (aceituna rellena)	
	3. Ni porosa ni compacta			3. Elevada (salchicha coctel)	
	4. Compacta		Elasticidad	1. Nula o muy débil (manteca)	
	5. Muy compacta			2. Media (aceituna rellena)	
Color	1. Muy pálido		Humedad	3. Elevada (salchicha coctel)	
	2. Pálido			1. Nula o muy débil (seca)	
	3. Marrón			2. Media (salchicha coctel)	
	4. Marrón intenso			3. Húmeda (clara de huevo cocido)	
	5. Tostado			4. Elevada (yogurt)	
Aroma	1. Nada		Adhesividad	1. Nula o muy débil (clara de huevo cocida)	
	2. Ligero			2. Media (yema de huevo cocido)	
	3. Moderado			3. Elevada (caramelo masticable)	
	4. Intenso		Cohesividad	1. Nula o muy débil (clara de huevo cocida)	
	5. Muy intenso			2. Media (Magdalena)	
Aceptabilidad	1. Mala			3. Elevada (tostada)	
	2. Regular				
	3. Aceptable				
	4. Bueno				
	5. Excelente				

ANEXO 2

ANÁLISIS NUTRICIONALES DE LA MEJOR FORMULACIÓN



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS

LABORATORIO DE ALIMENTOS
INFORME DE RESULTADOS

INF.LAB.ALIM- 25821
ORDEN DE TRABAJO No 55741

SOLICITADO POR:	MANOBANDA NANCY ABIGAIL
DIRECCIÓN DEL CLIENTE:	PELILEO
MUESTRA DE:	PAN
DESCRIPCIÓN:	PAN
LOTE:	---
FECHA DE ELABORACIÓN:	---
FECHA DE VENCIMIENTO:	---
FECHA DE RECEPCIÓN:	09/05/2017
HORA DE RECEPCIÓN:	09:35
FECHA DE ANÁLISIS:	10-23/05/2017
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS A LA SECRETARÍA:	24/05/2017
CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA	
COLOR:	Característico
OLOR:	Característico
ESTADO:	SOLIDO
Contenido:	540g
OBSERVACIONES:	
Los resultados que constan en el presente informe se refieren a la muestra entregada por el cliente al OSP.	
MUESTREADO POR:	El Cliente

INFORME

PARÁMETROS	UNIDAD	RESULTADO	METODO
Proteína (factor 6.25)	%	8.45	MAL-04/ AOAC 981.10
Humedad ²	%	28.89	MAL-13/ AOAC 925.10
Grasa	%	13.72	MAL-03/ AOAC 991.36
Cenizas	%	1.71	MAL-02/ AOAC 923.03
* Carbohidratos	%	47.23	Cálculo
* Colesterol	mg/100g	37.59	CROMATOGRAFIA DE MASAS
* Azúcares Totales	%	2.57	MAL-53/ PEARSON

2: Fuera del rango de acreditación.

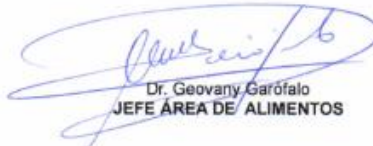


Servicio de
Acreditación
Ecuatoriano

Acreditación N° OAE LE 1C 04-002, LABORATORIO DE ENSAYOS

Los ensayos marcados con (*) NO están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE*




Dr. Geovany Garófalo
JEFE ÁREA DE ALIMENTOS

1 1/2

RAL-4-1-04



Dirección: Francisco Viteri s/n y Gilberto Gatto Sobral - Teléfonos: 2502-262 / 2502-456, ext. 15, 18, 21, 31, 33
Telefax: 3216-740 - Web: www.facquimuce.edu.ec - E-mail: laboratoriososp@hotmail.com



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
 FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
 OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS

LABORATORIO DE ALIMENTOS
 INFORME DE RESULTADOS

INF.LAB.ALIM- 25821
 ORDEN DE TRABAJO No 55741

INFORMACION NUTRICIONAL
 ORDEN DE TRABAJO: 55741
 SOLICITADO POR: MANOBANDA NANCY ABIGAIL
 DESCRIPCIÓN: PAN
 CONTENIDO: 540g

Información Nutricional			
Tamaño por porción:	90 g		
Porciones por envase:	3		
Cantidad por porción			
ENERGIA (Calorías)	1298 kJ	310	(Cal)
Energía de grasa (Calorías de Grasa)	461 kJ	110	(Cal)
% Valor Diario*			
Grasa Total	12 g		19 %
ácidos grasos saturados	0 g		0 %
ácidos grasos - trans	0 g		
ácidos grasos monoinsaturados	0 g		
ácidos grasos poliinsaturados	0 g		
Colesterol	34 mg		11 %
Sodio	190 mg		8 %
Carbohidratos Totales	43 g		14 %
Azúcares	2 g		
Proteína	8 g		16 %
* Los porcentajes de los valores diarios están basados en una dieta de 8380 kJ (2.000 calorías) Sus valores diarios pueden ser más altos o más bajos dependiendo de las necesidades energéticas			
		Energía	8380 kJ
		Calorías	2000 cal
Grasa Total	Menos que		65 g
Grasa Saturada	Menos que		20 g
Colesterol	Menos que		300 mg
Sodio	Menos que		2400 mg
Carbohidrato Total			300 g
Fibra dietética			25 g
Proteína			50 g
kJ por gramo:			
Grasa 37 kJ		* Carbohidratos 17 kJ	* Proteína 17 kJ



[Signature]
 Dr. Geovany Garófalo
 JEFE ÁREA DE ALIMENTOS

1 2/2

RAL-4-1-04

Dirección: Francisco Viteri s/n y Gilberto Gatto Sobral - Teléfonos: 2502-262 / 2502-456, ext. 15, 18, 21, 31, 33
 Telefax: 3216-740 - Web: www.facquimuce.edu.ec - E-mail: laboratoriososp@hotmail.com



**UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS**

**LABORATORIO DE QUIMICA AMBIENTAL
INFORME DE RESULTADOS**

INF. LAB. AMB 44056
ORDEN DE TRABAJO No. 55742

SOLICITADO POR:		MANOBANDA NANCY ABIGAIL			
DIRECCION DEL CLIENTE:		PELILEO			
MUESTRA DE:		ALIMENTO			
DESCRIPCIÓN:		PAN			
LOTE:	-	FECHA DE ELABORACIÓN:	-	FECHA DE VENCIMIENTO:	-
FECHA DE RECEPCIÓN:		09/05/2017	HORA DE RECEPCIÓN:	09H35	
FECHA DE ANÁLISIS:		DEL 09/05/2017 AL 15/05/2017			
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS A LA SECRETARIA:		16/05/2017			
CARACTERISTICAS DE LA MUESTRA					
CARACTERISTICA:	CARACTERISTICO	ESTADO:	SOLIDO	CONTENIDO:	540 g
OBSERVACIONES:	Los resultados se refieren a la muestra tomada por el cliente y presentadas al personal tecnico del OSP				

RESULTADOS			
PARAMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	METODOS
SODIO	mg/kg	2.114,17	ABSORCION ATOMICA
NaCl	% p/p	0,54	ABSORCION ATOMICA / CALCULO



[Firma]
B.F. ALICIA CEPA
JEFE DE AREA DE AMBIENTAL

RAM-4.1.04



Dirección: Francisco Viteri s/n y Gilberto Gatto Sobral - Teléfonos: 2502-262 / 2502-456, ext. 15, 18, 21, 31, 33
Telefax: 3216-740 - Web: www.facquimuce.edu.ec - E-mail: laboratoriososp@hotmail.com

ANEXO 3
Resultados de la determinación de gluten

INFORME DE RESULTADOS

INF.LASA-12-05-17-1091
ORDEN DE TRABAJO No. 0031792-17


SOLICITADO POR : NANCY ABIGAIL MANOBANDA
DIRECCIÓN: PELILEO
TELÉFONO/FAX : 0993811657
TIPO DE MUESTRA: ALIMENTO
PROCEDENCIA: UNIVERSIDAD
IDENTIFICACIÓN: PAN

FECHA DE RECEPCIÓN: 09/05/2017
FECHA DE ANÁLISIS: 09/05-12/05/2017
FECHA DE ENTREGA: 12/05/2017
NÚMERO DE MUESTRAS: Una (1)
MUESTREO POR: SOLICITANTE
CÓD DE MUESTRA: 5409-17

REPORTE DE ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICO

PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	LÍMITE DE DETECCIÓN	INCERTIDUMBRE U (k=2)	MÉTODO DE ENSAYO
GLUTEN	POS/NEG	NEGATIVO (<5 ppm)	5 ppm	N.A.	Inmunocromatográfico

N.A.: No Aplica



Dr. Marco Gujarro Ruales.
GERENTE DE LABORATORIO

LASA se responsabiliza exclusivamente de los análisis, el resultado se refiere únicamente a la muestra recibida en el laboratorio. Las incertidumbres de los resultados para los ensayos se encuentran disponibles en los registros de Laboratorio LASA. Prohibida su reproducción parcial o total por cualquier medio sin permiso por escrito del Laboratorio.



Pág. 1 de 1