



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



**FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN
ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA**

CARRERA DE ALIMENTOS

Desarrollo de masas congeladas para panificación a partir de trigo (*Triticum durum*) sustituido parcialmente con una mezcla de harinas de frejol (*Phaseolus vulgaris*) y quinua (*Chenopodium quinoa*).

Trabajo de Titulación, Modalidad Proyecto de Investigación, previo a la obtención del título de Ingeniero en Alimentos, otorgado por la Universidad Técnica de Ambato, a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

AUTOR: Jefferson Guillermo Jerez Caiza

TUTORA: Dra. Mayra Liliana Paredes Escobar

Ambato - Ecuador

Septiembre – 2023

APROBACIÓN DEL TUTOR

Dra. Mayra Liliana Paredes Escobar

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 de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Ambato, 26 de julio del 2023

Dra. Mayra Liliana Paredes Escobar

C.I. 0501873954

TUTORA

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo Jefferson Guillermo Jerez Caiza, manifiesto que los resultados obtenidos en el presente Trabajo de Titulación, bajo la modalidad Proyecto de Investigación, previo a la obtención de título de Ingeniero en Alimentos, son absolutamente originales, auténticos y personales; a excepción de las citas bibliográficas.



Jefferson Guillermo Jerez Caiza

C.I. 1805203500

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo de Titulación o parte de él, como documento disponible para su lectura, proceso de integración, según las normas de la Institución.

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



Jefferson Guillermo Jerez Caiza

C.I. 1805203500

AUTOR

APROBACIÓN DEL 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 y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato.

Para consistencia firman:

Presidente del tribunal

Mg. Manuel Israel Guanoquiza Rivera

C.I. 0502966377

Dr. Diego Manolo Salazar Garcés

C.I. 1803124294

Ambato, 24 de agosto de 2023

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a mi madre Jenny, por todo el amor, trabajo, sacrificio y paciencia. Gracias a todo tu apoyo incondicional puedo estar cumpliendo la meta más importante en mi vida.

A mis abuelitos Milton y Delia por todo el amor, sacrificio trabajo y paciencia que supieron proporcionar a mi crianza, les estoy totalmente agradecido, pues soy quien soy gracias a ustedes.

A mi hermana, cuñado y mis dos sobrinas por todo el amor, alegría, comprensión y paciencia que como familia me pudieron haber brindado, les quedo eternamente agradecidos.

A Jessica por brindarme todo su apoyo y ayuda en mis últimos semestres, por siempre estar pendiente de mí, y ayudarme con mis constantes olvidos, te llevo en mi corazón.

Finalmente quiero dedicar mi tesis a todos mis amigos y futuros colegas, por toda la amistad y la ayuda brindaba, por hacer los momentos divertidos y felices, inolvidables, los llevo en mi corazón.

Jefferson Jerez

AGRADECIMIENTO

De manera especial agradezco a la Dra. Mayra Liliana Paredes Escobar por todo su tiempo, paciencia y dedicación en este trabajo, por sus palabras de aliento y su confianza en mí.

De igual manera quiero agradecer a todos los docentes de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimento y Biotecnología, en especial a la Ing. Alejandra Sánchez por su paciencia, motivación, por enseñarme que el trabajo duro de una u otra forma es recompensado en grande, quedo muy agradecido.

Quiero agradecer a mis amigos Erika, Tatiana y Abraham por haberme acompañado en estos últimos semestres y hacer de cada día de clase los más inolvidables, de manera especial a Erika ya que comenzamos juntos nuestra vida universitaria en la Politécnica del Chimborazo y la terminamos juntos en la Universidad Técnica de Ambato, te quedo eternamente agradecido por ser esa amiga que siempre estuvo ahí cuando la necesite, espero algún día la vida nos vuelva juntar.

También quiero agradecer a mis primeras amigas de curso, Emily, Jessica y Andrea, por haber sido un grupo inseparable y pese a reveses de la vida supimos preservar la amistad por mucho tiempo, espero que siga siendo así, gracias por todo. A Erik, Danny y mi prima Liz, por todas las risas y experiencias compartidas, son grandes amigos nunca cambien.

Al grupo de amigos “Panas para química” que hice a través del tiempo, les quedo muy agradecido por siempre estar dispuestos a ayudarme en todo lo que necesité, han sido un gran apoyo en esta etapa, gracias por la diversión, las risas y las experiencias vividas, jamás las voy a olvidar. De igual manera a mi amigo Wilmer que estuvo ahí en todo momento cuando vivía en Riobamba y me apoyó en mis momentos más melancólicos. Lamento no poder nombrar a todos mis amigos, pero simplemente una hoja no me alcanzaría, de todo corazón espero les vaya bien en la vida y sean grandes profesionales, les agradezco eternamente por cada momento que pude compartir junto a ustedes.

Jefferson Jerez

INDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
RESUMEN EJECUTIVO	xiv
ABSTRACT	xv
CAPITULO I.....	1
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Antecedentes de la investigación	1
1.1.1 Quinoa.....	1
1.1.2 Frejol	5
1.1.3 Trigo.....	7
1.1.4 Pan.....	9
1.1.5 Masa Madre.....	11
1.1.6 Congelación en alimentos	15
1.1.7 Masas congeladas para panificación	16
1.2 Objetivos	17
1.2.1 Objetivo general	17

1.2.2 Objetivos específicos	17
1.3 Hipótesis.....	17
CAPITULO II	18
2. MATERIALES Y MÉTODOS	18
2.1 Materiales	18
2.1.1 Ingredientes	18
2.1.2 Materiales de laboratorio.....	18
2.1.3 Equipos.....	18
2.2 Métodos.....	19
2.2.1 Elaboración de harina de frejol	19
2.2.2 Elaboración de harina de quinua	19
2.2.3 Elaboración, congelación y horneado de la masa panadera.....	19
2.2.4 Diseño experimental.....	20
2.2.5 Análisis sensorial	21
2.2.6 Análisis de la mezcla de harinas mediante mixografía	21
2.2.7 Análisis de textura.....	21
2.2.8 Análisis proximal	21
2.2.9 Determinación de Humedad.....	21
2.2.10 Determinación de pH	22
2.2.11 Determinación del contenido de proteína	23
2.2.12 Determinación del contenido de fibra	24

2.2.13 Determinación de la cantidad de grasa.....	25
2.2.14 Determinación de la cantidad de cenizas	26
CAPITULO III.....	27
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
3.1 Análisis y discusión de resultados	27
3.1.1 Obtención de harinas de quinua y frejol	27
3.1.1.1 Harina de frejol	27
3.1.1.2 Harina de quinua	27
3.1.2 Elaboración de las muestras de masa panadera para congelación	28
3.1.3 Análisis sensorial	30
3.1.3.1 Olor	32
3.1.3.2 Color.....	32
3.1.3.3 Sabor	33
3.1.3.4 Textura	33
3.1.3.5 Aceptabilidad	33
3.1.4 Calidad de la masa y del producto de la mejor formulación.....	34
3.1.4.1 Determinación de la calidad de la masa.....	34
3.1.4.1.1 Índice de absorción de agua. C1	36
3.1.4.1.2 Calidad de proteína. C2.....	37
3.1.4.1.3 Gelatinización del almidón. C3.....	37
3.1.4.1.4 Actividad amilasa. C4.....	38

3.1.4.1.5 Retrogradación del almidón. C5	38
3.1.4.2 Textura	39
3.1.4.1.1 Dureza	39
3.1.4.1.2 Cohesividad.....	40
3.1.4.1.3 Elasticidad	40
3.1.4.1.4 Masticabilidad	40
3.1.4 Análisis proximales	41
3.1.4.1 Proteína	41
3.1.4.2 Grasa	42
3.1.4.3 Ceniza.....	42
3.1.4.5 Fibra	42
3.1.4.5 Humedad	42
3.1.4.6 pH.....	43
CAPITULO IV.....	43
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	43
4.1 Conclusiones	43
4.2 Recomendaciones.....	45
MATERIALES DE REFERENCIA	45
Bibliografía	45
ANEXOS	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Formulación de masa madre (tradicional).....	13
Tabla 2. Formulación de masa madre tipo esponja.....	13
Tabla 3. Formulación masa madre tipo oolish	14
Tabla 4. Formulación masa madre tipo biga	14
Tabla 5. Formulación del pan con sustitución parcial de harina de trigo	20
Tabla 6. Tratamientos con diferentes porcentajes de la mezcla de harinas.....	20
Tabla 7. ANOVA de los atributos sensoriales	31
Tabla 8. Resultados de las medias obtenidas mediante mixografía	35
Tabla 9. Valores medios de textura de las tres formulaciones presentadas	39
Tabla 10. Resultados del análisis proximal de la mejor formulación	41
Tabla 11. Resultados del análisis proximal de pan de trigo	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Masas para panificación antes y después del leudado.....	29
Figura 2. Análisis sensorial de las tres formulaciones y el blanco	30
Figura 3. Índice de aceptación de las tres formulaciones y el blanco.....	31
Figura 4. Gráfico de mixografía de la formulación A-48	34

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación (1)	22
Ecuación (2)	22
Ecuación (3)	23
Ecuación (4)	25
Ecuación (5)	26
Ecuación (6)	26

RESUMEN EJECUTIVO

El pan es uno de los alimentos más consumidos en el Ecuador. Sin embargo, los problemas de salud generados por el uso de harina refinada crean la necesidad de nuevas opciones saludables. La quinua (*Chenopodium quinoa*) es un pseudocereal andino con diversos componentes funcionales, nombrada como super alimento por su alto contenido de aminoácidos esenciales, igualmente el frejol (*Phaseolus vulgaris*) variedad canaria es una leguminosa con alta cantidad de proteína, fibra, vitaminas y minerales.

El desarrollo de esta investigación muestra una opción para solucionar estos problemas, generando un pan con un mayor contenido de fibra, minerales, vitaminas, y proteína, previamente congelado para extender su tiempo de vida útil. Se propuso 3 formulaciones con una sustitución parcial del 20 por ciento de harina refinada de trigo. Previo al leudado fueron congeladas mediante IQF, almacenadas durante una semana, descongeladas, leudadas y horneadas. Las masas fueron caracterizadas mediante mixografía y el pan obtenido mediante textura. La textura del pan de las formulaciones planteadas presentó valores de un 15 por ciento mayores de dureza, cohesividad y masticabilidad que un pan común de trigo.

Los análisis mixográficos indicaron una diferencia estadísticamente significativa en C3 (tasa de gelatinización), no así en los valores de C1 (índice de absorción de agua), C2 (índice de gluten), C4 (índice de amilasas) y C5 (índice de retrogradación), indicando un desempeño adecuado de las formulaciones en la formación de la masa panaria. Finalmente, el contenido de proteína y cenizas se incrementó en la formulación desarrollada, logrando un enriquecimiento de estos nutrientes.

Palabras clave: harinas no convencionales, cultivos andinos, pan, trigo, quinua, frejol, masas congeladas

ABSTRACT

Bread is one of the most consumed foods in Ecuador. However, health problems generated by the use of refined flour create the need for new healthy options. Quinoa (*Chenopodium quinoa*) is an Andean pseudocereal with diverse functional components, named as a superfood for its high content of essential amino acids, likewise beans (*Phaseolus vulgaris*) variety canaria is a legume with high amounts of protein, fibre, vitamins and minerals.

The development of this research shows an option to solve these problems, generating a bread with a higher content of fibre, minerals, vitamins and protein, previously frozen to extend its shelf life. Three formulations were proposed with a partial substitution of 20 percent of refined wheat flour. Prior to leavening, they were frozen by IQF, stored for one week, thawed, leavened and baked. The doughs were characterised by mixography and the bread obtained by texture. The bread texture of the formulations presented values 15 percent higher in hardness, cohesiveness and chewiness than a common wheat bread.

Mixographic analyses indicated a statistically significant difference in C3 (gelatinisation rate), but not in the values of C1 (water absorption rate), C2 (gluten index), C4 (amylase index) and C5 (retrogradation rate), indicating an adequate performance of the formulations in the formation of bread dough. Finally, the protein and ash content increased in the developed formulation, achieving an enrichment of these nutrients.

Keywords: non-conventional flours, Andean crops, bread, wheat, quinoa, bean, frozen doughs.

CAPITULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes de la investigación

1.1.1 Quinua

La quinua (*Chenopodium quinoa Wild.*) también conocida como quinoa es un cultivo herbáceo, que posee en su código genético cuatro juegos de cromosomas, además que es altamente resistente a los suelos con grandes cantidades de sal. Pertenece a la familia Chenopodiaceae, de la clase Dicotyledoneae, género *Chenopodium* y a la especie quinua. Originaria de los países andinos sudamericanos, su cultivo posee una antigüedad desde los 5000 a.C al 3000 a.C (**Angeli et al., 2020**).

El género de la quinua contiene alrededor de 250 especies. *C. quinoa* es el que se ha consumido a través de los tiempos, considerado como un pseudocereal con altas cantidades de proteína, lípidos, fibra minerales y vitaminas, llamado como el grano de oro. Dentro de su morfología se presentan como plantas relativamente altas, ramificadas, de hojas anchas con un periodo vegetativo promedio de 4 a 8 meses, este tiempo se ve afectado claramente por la variedad y el lugar de siembra (**El Hazzam et al., 2020; Hernández-Ledesma, 2019**).

La quinua ha sido catalogada como un cultivo altamente resiliente debido a su gran adaptación a suelos agrícolas pobres o marginales (**Bilalis et al., 2019**), como: salinos, áridos, secos y con diferentes grados de pH, incluso puede crecer en lugares donde no es posible sembrar maíz como las zonas montañosas, por lo cual es evidente el nivel de respeto que tenían las culturas preincaicas y la incaica hacia este grano (**Hernández-Ledesma, 2019**). Gracias a su gran variabilidad genética esta se puede adaptar a diferentes condiciones climáticas pues puede crecer en ambientes demasiados cálidos hasta por debajo de los 0 °C (**Ceyhun Sezgin & Sanlier, 2019**). La quinua es cultivada desde el nivel del mar hasta los 4000 m de altura (**El Hazzam et al., 2020**). Su distribución geográfica va desde Nariño en Colombia hasta el sur de los Andes en Chile, incluyendo Bolivia, Perú, Ecuador y Argentina (**Bilalis et al., 2019**), gracias a estas grandes características de cultivo la quinua se ha introducido en

diferentes regiones y continentes, incrementándose el rendimiento de diversas variedades en países como E.E.U.U, Canadá, India, China y la mayoría de países europeos (**Hernández-Ledesma, 2019**).

Las plantas de quinua producen semillas comestibles, regularmente son planas, ovalados, grandes o pequeños de color amarillo pálido, negro, rosa, rojo y blanco y su tamaño se encuentra alrededor de los 1.8 mm de diámetro (**Bilalis et al., 2019; El Hazzam et al., 2020**)

Campos-Rodriguez et al. (2022) explica que la quinua es un alimento vegetal completo que posee una considerable cantidad de proteína, con un perfil de aminoácidos excelente. Supera los requerimientos estándar de compuestos funcionales como polifenoles, fitoesteroles y flavonoides, aporta tres de los macronutrientes importantes en la dieta (carbohidratos, proteínas y lípidos) con una buena cantidad de minerales (Mg, Zn, Fe, K, P) y vitaminas (E, grupo B, y C), aminoácidos esenciales como la lisina y metionina, estos últimos en mayor proporción (**Ceyhun Sezgin & Sanlier, 2019**).

Por otra parte, el proceso de germinado también puede aplicarse a los granos de quinua, si se realiza el proceso de germinación seguido del tostado, aumenta considerablemente su actividad antioxidante, sin embargo; se reduce en poca proporción los compuestos fenólicos, además que favorece en gran manera la digestibilidad de las proteínas y de los almidones, también ayuda a un aumento en la biodisponibilidad de la proteína y de algunos minerales (**Campos-Rodriguez et al., 2022**).

Varias investigaciones han demostrado que tanto el grano de quinua como sus hojas poseen excelentes perfiles de sustancias funcionales, por otro lado se ha incursionado en el consumo de hojas de quinua pues puede prevenir deficiencia de Fe y Zn, las hojas de quinua se las puede consumir en ensaladas, cocidas o incluso en sopas o guisos, varias personas han llegado a la conclusión que tienen un sabor un tanto parecido a las espinacas (**Campos-Rodriguez et al., 2022; Gutiérrez & Mollinedo Portugal, 2022**).

Composición del grano:

- Proteína

Hernández-Ledesma (2019) afirma que el contenido de proteína que se encuentra en las semillas se encuentra en un rango de 13.8 – 16.5 %. Dentro de su estructura la quinua posee todos los aminoácidos esenciales aportando por sobre el 180 % de la ingesta diaria, con un alto contenido de lisina (2.4 a 7.8 g/100 g de proteína), metionina (0.3 a 9.1 g/100g de proteína) y treonina (2.1 a 8.9 g/100 g de proteína), dentro de este espectro las proteínas más abundantes son las albuminas y las globulinas con 35 % y 37 % respectivamente y en bajas cantidades se también se encuentra la prolamina. Dentro de la albumina (2s) presenta un grupo de polipéptidos, la globulina (11s) se encuentra constituida por monómeros los cuales consisten en un ácido y un polipéptido básico unidos mediante un enlace disulfuro.

- Grasa

Por otro lado **Pathan & Siddiqui (2022)** explica que la quinua posee una composición lipídica característica pues de los 100 g de una porción de alimento comestible posee de 4.0 a 7.6 g/100 g de peso, de aceites en comparación al arroz (0.6 g /100 g), trigo duro (2.5 g / 100 g) y el maíz (4.7 g/100 g), llegando a considerar a la quinua como un pseudocereal oleaginoso alternativo emergente, las fracciones más representativas se encuentran entre el 50 y 20 % correspondientes a triglicéridos y diglicéridos respectivamente. Lisofosfatidil etanolamina y la fosfatidilcolina se encuentran en abundancia en la estructura del fruto representando cerca del 57 %. Los ácidos grasos principales de la quinua son monoinsaturados (27 %) y poliinsaturados (55 %), los ácidos grasos saturados se encuentran en un porcentaje cercano al 12 % (**Hernández-Ledesma, 2019**).

- Fibra

Pathan & Siddiqui (2022) explica que la fibra se divide en soluble e insoluble, pues las gomas y pectinas son solubles en agua, y los polisacáridos, celulosa y hemicelulosa son insolubles en agua. La fibra también se divide de acuerdo con la digestibilidad, fracciones que contienen hemicelulosa, celulosa, lignina se encuentran dentro de la fibra detergente neutra (FDN), y dentro de las fracciones de fibra ácida (FDA) se encuentran un porcentaje bajo de celulosa y lignina.

El contenido de fibra total presente en las semillas de quinua se encuentra entre el 7 y el 10 %, comparable a legumbres, verduras y frutas. La fibra soluble corresponde cerca del 22 % de la fibra total, constituida por glucosa, ácido galacturónico y arabinosa. La fibra insoluble se encuentra cerca del 78 % de la fibra total, esta se encuentra constituida por arabinosa, xilosa, galactosa, glucosa y ácido galacturónico, además dentro de la estructura de la quinua se encuentran también monosacáridos como glucosa y fructuosa y disacáridos libres como sacarosa y maltosa (**Hernández-Ledesma, 2019**).

- Hidratos de carbono

La quinua es un alimento con un alto porcentaje de calorías, pues posee una gran variedad de hidratos de carbono aproximadamente 74 g/100 g de peso en seco, en retrospectiva cerca del 50 al 60 % es almidón compuesto principalmente por amilosa en un 20 % y amilopectina en un 80 %, además que los azúcares libres se encuentran cerca de los 6.2 g/100 g de peso en seco (**Campos-Rodriguez et al., 2022**).

- Minerales

Por otra parte, el contenido de minerales de la quinua es mucho más alto en comparación a otros cereales como el arroz, maíz y trigo sin embargo cabe destacar que los valores presentados de fibra en diferentes investigaciones se encuentran en un rango, pero no son similares del todo esto debido a que el contenido de minerales va a depender directamente del tipo de quinua, las condiciones de siembra, el suelo y si se aplicó o no fertilizantes (**Dakhili et al., 2019**). Dentro del espectro de cenizas el potasio es el que más abunda con 0.01 a 1200 g/100 g de muestra comestible, luego fosforo con 140 a 530 g/100 g de muestra comestible, magnesio con 26 a 502 g/100 g de muestra comestible, calcio con 27.5 a 148.7 g/100 g de muestra comestible, hierro con 1.4 a 6.8 g/100 g de muestra comestible, cobre con 0.2 a 0.51 g/100 g de muestra comestible y zinc con 2.8 a 4.8 g/100 g de muestra comestible (**Hernández-Ledesma, 2019**).

- Vitaminas

Por otro parte **Hernández-Ledesma (2019)** explica que la quinua posee β -caroteno con un contenido de 8.0 $\mu\text{g}/100\text{ g}$, precursor de la vitamina A, vitamina B1 (tiamina) con un contenido de 0.36 mg/100 g, vitamina B2 (riboflavina) con un contenido 0.32 mg/100 g, vitamina B3 (niacina) con un contenido de 1.52 mg/100 g, vitamina B5 (ácido pantoténico) con un contenido de 0.77 mg/100 g, vitamina B6 (piridoxina) con un contenido de 0.49 mg/100 g. El contenido de ácido fólico y vitamina B2 y B6 es superior en la quinua que, en otros cereales comúnmente consumidos como el arroz, maíz, trigo, avena y cebada, sin embargo; los valores vitamina B1 son bajos en comparación a la avena o la cebada, por otro lado, el contenido de vitamina E es muy alto pues contiene alrededor de 7.4 mg/100 g de materia comestible.

Durante la época hispánica, las crónicas explicaban que la quinua se la utilizaba para fabricar mazamorras, guisos y también un tipo de sopas, tratando de introducir la quinua en España, sin embargo; no tuvo éxito debido a varios factores como que muchas de las semillas llevadas a España eran no viables, también que el proceso de poscosecha era muy tardado y dificultoso (**Alandia et al., 2020**).

El primer cultivo fuera de su lugar de origen se estableció en colorado E.E.U.U, en Europa los primeros países en que lo introdujeron fueron Inglaterra, Dinamarca y Países Bajos, además se probó la introducción en zonas tropicales como Brasil dando excelentes resultados, para el año de 1980 la quinua se estaba produciendo a nivel mundial, para los años 2011 hasta el 2018 varios países se proclamaron pequeños productores como E.E.U.U, Canadá, Francia, Brasil, China, Países Bajos, Dinamarca, India y Reino Unido con menos de 500 ha (**Alandia et al., 2020**).

1.1.2 Frejol

El frejol, también llamado frijol (*Phaseolus vulgaris*) es una planta herbácea la cual presenta alrededor de 50 especies repartidas en todo el mundo principalmente en centro y Latinoamérica, es una planta trepadora con floración anual, posee hojas lanceoladas, las flores están dispuestas a manera de racimos. Pertenece a la familia Fabaceae y género Phaseolus (**INIAP, 1994**).

El frejol es una legumbre descendiente de del frejol rustico originario (*Phaseolus aborigineus*), la cual se presume que fue domesticado y cultivado hace 7000 años a.C, se ha encontrado vestigios prehistóricos de esta planta en México y en Perú lo cual denota la importancia que tenía esta legumbre en la dieta de las poblaciones aborígenes **(Llomitoa et al., 2020)**.

Según **INIAP (1994)** la variedad canaria es de origen peruano, considerado como un cultivo mejorador de suelos, se adaptan perfectamente a alturas de entre los 2200 y los 2800 m.s.n.m, con precipitaciones que van de los 600 a los 800 mm, el tipo de suelo para su cultivo de preferencia deben ser suelos de textura franca que ronde un pH de 6, en Ecuador las provincias en las cuales el cultivo se ha adaptado de manera eficiente son Imbabura, Pichincha, Chimborazo, Bolívar y Loja con una producción de 39.72 t es decir el 0.2% de la producción mundial.

Por otro lado el frejol ha sido considerado como una de las principales fuentes de proteína barata pues de cierta manera gracias a las condiciones socioeconómicas y a la globalización mucha gente que no tiene acceso a proteínas animales las consume supliendo esta carencia, sin embargo; hay que recalcar que su bajo costo no está estrechamente ligado a su calidad pues se ha comprobado que es un alimento muy importante para personas con problemas de desnutrición, cardiovasculares, diabéticas, obesas, celiacas, además que ayuda a la prevención del cáncer **(Llomitoa et al., 2020)**. La especie canario contiene una gran cantidad de proteína de entre el 20 % al 38 % de su peso, posee una carga de hidratos de carbono cercana al 60 %, posee ácidos grasos libres poliinsaturados. Son una gran fuente de vitaminas como Ca, Fe, P, Mg, Zn, el contenido de fibra dietética es alrededor de un 15.3 % al 21 % de su peso **(Sánchez et al., 2023; Xu et al., 2023)**

(Wu et al., 2023) destaca que la mayoría de las especies de frejoles poseen grandes beneficios funcionales similares pues ayudan a reducir considerablemente el nivel del colesterol en la sangre, de igual manera ayuda a minimizar el riesgo de aparición de cáncer de colon, diabetes, obesidad y enfermedades cardiacas, también retrasan el envejecimiento debido a su alto contenido fenólico y su poder antioxidante, en contraste también poseen factores antinutricionales pues actúan como inhibidores de proteasa, lectinas, ácido fólico y lípidos oxidasas.

Gracias a la globalización el frejol se ha extendido alrededor del mundo y se producen en ambientes diversos de América Latina, África, Medio Oriente, E.E.U.U, Canadá, China, India, Europa, México. Los mayores productores son Brasil con 1.9 millones de toneladas, India con 2.9 millones de toneladas, México con 1.5 millones de toneladas, China con 1.9 millones de toneladas, juntos se estima que la producción mundial alcanza las 18.991.954 toneladas (**Sánchez et al., 2023**).

1.1.3 Trigo

El trigo (*Triticum aestivum L.*) conocido como trigo común, trigo harinero, se presume que fue la primera plata que el hombre pudo domesticar a través de cruces y de la selección de variedades, pertenece a la tribu Triticeae a la familia de las gramíneas, es una especie alohexaploide, compuesta de 21 cromosomas pares (**Levy & Feldman, 2022**). Cerca del 95 % del trigo que se siembra en el mundo es trigo harinero hexaploide y el trigo tetraploide representa el 5% de la siembra en el mundo utilizado para hacer pastas, sin embargo; el trigo es muy diverso con cerca de 25000 genotipos de trigo, las dos especies de trigo tienen la característica de trillarse libremente es decir que la cascara se separa sin esfuerzo del grano (**Shewry et al., 2022**).

La planta de trigo es una planta anual, posee hojas, tallos y flores, es dentro de estas últimas donde el trigo se forma. Los granos son semillas las cuales están rodeadas por una cubierta dura la cual protege a la planta futura en cuestión (**Hutkins, 2019**).

Es uno de los cultivos más importantes en el mundo, pues ocupa el tercer lugar de los cultivos más importantes en el mundo después del arroz y el maíz, puede crecer en una amplia variedad de condiciones, sin embargo; en los últimos años los suelos cultivables e han vuelto salinos por lo cual ha interferido en el crecimiento del trigo, a pesar de que el trigo soporta una cantidad de salinidad específica, si sobrepasa su límite esta tiene problemas de crecimiento y en muchas condiciones la planta no logra ni germinar (**Miransari & Smith, 2019**).

El grano de trigo consta principalmente de el germen, el salvado y el endospermo. Representando del 2 % al 3 % del peso total en grano está el germen que además posee aceites, vitaminas y otros nutrientes adicionales. El salvado posee celulosa, carbohidratos fibrosos, proteínas, minerales y vitaminas lo que representa cerca del 12

% al 13 %. El endospermo es el componente más grande de la harina de trigo compuesta de un 9 % a un 12 % de proteínas, cerca del 80 % de almidón con una cantidad mínima de lípidos, cerca del 1 % (**Hutkins, 2019**).

- Almidón

El almidón se encuentra en el endospermo, con granos grandes (almidón A) y granos pequeños (almidón B), compuestos principalmente de amilosa y amilopectina, consisten en unidades lineales de D-glucopiranososa formando estructuras helicoidales, contribuye cerca del 11.4 kJ al 13.1 kJ de la energía (**Wieser et al., 2020**).

-Proteína

El contenido de proteína está ligada a la cantidad de nitrógeno presente en el suelo en su siembra y crecimiento puede oscilar entre el 7 % al 22 % sin embargo; la mayoría de las especies se encuentran cerca del 10 % al 15 %. Los porcentajes de proteína más altos se encuentran en el germen (34 %), aleurona (23 %) (**Wieser et al., 2020**).

Consta de más de 100 proteínas, clasificadas en función de almacenamiento, metabólicas, protectoras, y misceláneas. El gluten puede conformar cerca del 80 % de la proteína total del grano agrupadas en gliadinas monoméricas y poliméricas. El valor nutricional de las proteínas del trigo está determinado por su contenido relativo de aminoácidos esenciales: valina, leucina, isoleucina, treonina, lisina, tirosina y triptófano, y los semiesenciales como histidina y arginina (**Wieser et al., 2020**).

- Lípidos

Constituyen cerca del 2 % al 2.5 % en el grano, se clasifican en no polares y polares, los componentes principales de los no polares son los triglicéridos y ácidos grasos libres (**Wieser et al., 2020**).

- Vitaminas y minerales

Es fuente principal de vitamina E, B, B2, B3, B5, B6, B9 predominantemente en el salvado y el germen. Los principales minerales que contiene el trigo son K, P, Mg, Ca, Zn, Mn, Fe y en cantidades menores Cu, Se (**Wieser et al., 2020**).

1.1.4 Pan

El pan ha sido uno de los productos más indispensables para la humanidad pues se le ha llegado a considerar como el alimento clave en el auge y la caída de civilizaciones enteras (**Hutkins, 2019**). Mediante diferentes hallazgos arqueológicos y diferentes escritos donde narran el surgimiento del pan, descubiertos en Medio Oriente que datan del año 8000 a.C o incluso un tiempo antes, narran el proceso de fabricación de los primeros panes, se elaboraban mediante la mezcla de granos de trigo triturados y agua formando una pasta que se cocinaba sobre una piedra caliente, este tipo de panes eran planos, similar a una galleta, sin ningún tipo de fermentación pues no se conocía la existencia de levadura como tal (**Fu & Yano, 2020**).

Por otra parte (**Hutkins, 2019**) establece que es probable que los primeros panes elaborados con levadura hayan aparecido de manera accidental junto con los primeros intentos de elaboración de otros productos, contaminándose una mezcla de agua y harina con levaduras silvestres provenientes del aire, llevando a esta mezcla a doblar tamaño y tener una textura y apariencia mucho más esponjosa, que al hornearse se transformó en un producto ligero, con aromas nunca antes percibidos y de sabor agradable.

El pan actualmente es consumido en todo el mundo, sin embargo; existen diferentes tipos de panes esto debido a la tradición, cultura, materias primas, y economía de cada lugar (**Shewry et al., 2022**), es así que existen: panes de masa madre, chapata, pan de centeno, chapati, pan de molde, bollos chinos, pan de maíz, bollos cardamomo, bollos holandeses, pan persa, focaccia, pan de centeno y trigo, barra italiana, barra francesa, pan de cebada, pan frito, pan pita, roscón de reyes, makowiec, pan semlor, integral, pan brioche, etc, el tipo de pan también depende de las formulaciones y el tipo de método para fabricarlo (**Yarza, 2022**).

El pan en su forma básica es una mezcla de harina de trigo, agua, fermento (masa madre o levadura), sal y azúcar (**Fu & Yano, 2020**), sin embargo; con el pasar del tiempo se han desarrollado formulaciones a los cuales se ha agregado diferentes materias primas como mantequilla, leche huevos, granos secos, semillas, etc (**Rózyło et al., 2023**). En inicios del siglo XX la industria panadera se desarrolló conforme se

desarrollaba la sociedad. A las formulaciones se agregaron harina blanqueada, productos químicos para alargar su vida útil, mantener y mejorar su calidad y consistencia. Cualquier ingrediente que se le añada a la formulación afectarían directamente la calidad y el sabor del producto final, sin embargo; otros ingredientes como como soluciones tampón, enzimas, proteínas, mejoradores de masa, oxidantes pueden mejorar de manera considerable la reología de la masa y prolongar la vida útil (**Vargas & Simsek, 2021**).

El proceso de elaboración del pan según **Fu & Yano (2020)** consta de tres procesos: el mezclado, fermentado y horneado. Como procedimiento inicial la harina, el agua, levadura o masa madre, sal, azúcar y mantequilla o aceite se integran y amasan de manera manual o mecánica hasta alcanzar una masa viscoelástica, lo que significa que el gluten se ha desarrollado y lo seguirá haciendo de manera gradual, el amasado constante ayuda a la mezcla de las gliadinas y gluteninas favoreciendo el origen de la red proteica **Cappelli et al. (2020)** explica que el desarrollo de una red viscoelástica de gluten es importante debido a que atrapa los gases produciendo una masa de gran tamaño, además asegura el almidón es importante en el desarrollo de una buena red viscoelástica debido a que los granos de almidón se encuentran distribuidos por toda la red continua y favorece la entrada de agua aumentando la actividad de la levadura. Además **Vargas & Simsek (2021)** aseguran que la calidad, cantidad, fuerza del gluten y reología de la masa, está relacionados estrechamente con la harina, y a su vez la calidad de la harina está ligado a factores genéticos, ambientales, el correcto manejo del suelo y su entorno, molienda y humedad óptima del trigo antes de la molienda.

El siguiente paso es la fermentación, si se usa levadura seca es necesario activarla con azúcar y agua a una temperatura que no sobrepase los 38 °C, y si se usa levadura fresca se lo coloca directo en la mezcla, al momento de iniciar la fermentación la levadura comienza un proceso de multiplicación mediante gemación en condiciones aeróbicas, alimentándose de los azúcares presentes en la masa, al consumir todo el oxígeno presente en la masa se da paso a la fermentación alcohólica anaeróbica y como producto se obtiene abundante dióxido de carbono el cual infla células diminutas ubicadas alrededor de la red de gluten, observando externamente un aumento de tamaño de la masa, gracias a las dos fermentaciones se producen compuestos volátiles,

diferentes tipos de alcoholes, aldehídos, ácidos, sulfuros y ésteres dando el sabor característico del pan (Fu & Yano, 2020).

Finalmente, en el horneado las pequeñas células con el contenido de CO₂ aumentan de tamaño rápidamente debido al calor (temperatura de horneado: 180 °C aproximadamente 40 minutos), el calor del horneado ayuda a gelatinizar las membranas celulares, y la red de gluten que envuelve las burbujas de CO₂ se endurece formando una miga estable con alveolos uniformes, de la misma manera la corteza se endurece haciéndola crujiente con un color oscuro, esto gracias a las reacciones de Maillard producidas entre azúcares y aminoácidos (Fu & Yano, 2020).

1.1.5 Masa Madre

La masa madre es un prefermento que se ha utilizado desde la antigüedad, se presume que las primeras mezclas de masa madre fueron de harina de trigo y miel hace 2000 años a.C, la miel alimentaba las levaduras silvestres que se encontraban en la harina y las que se encontraban suspendidas en el aire (Flecha, 2021).

Según Arora et al. (2021) explica que posiblemente Egipto sea la cuna de el pan de masa madre, pues en el idioma egipcio prefermento y pan se pronuncian aish lo cual significaba vida.

Para la elaboración de la masa madre se utiliza principalmente harina de trigo blando (*Triticum aestivum L.*) o trigo duro (*Triticum durum Desf.*) sin embargo; otros cereales también se utilizan en la fabricación de la masa madre como cebada, mijo, avena, sorgo, centeno, etc, pero también se lo puede realizar con harinas provenientes de los pseudocereales como: amaranto, alforfón y quinua, de la misma manera de legumbres como: alubias, garbanzos, lupinos, lentejas, frejol, etc (De Vuyst et al., 2021). Básicamente la masa madre es un prefermento que va asegurar el crecimiento de la masa, aprovechando los microorganismos nativos que se encuentran en las propias harinas, es recomendable que para fabricar masa madre se utilice harina del grano entero, debido a que posee más nutrientes, minerales, vitaminas, compuestos fenólicos, esteroides y tocoferoles (Canesin & Cazarin, 2021), sin embargo; hay que entender que no queremos el crecimiento de cualquier tipo de microorganismo si no específicamente levaduras y lactobacilos para lo cual la temperatura es de 20 °C a 26

°C, desde el punto de vista de la microbiología a una temperatura de 26 °C o mayor no es la condición adecuada para este tipo de microorganismos, debido a eso las fermentaciones no son completas aportando ácidos orgánicos, aldehídos y compuestos volátiles al perfil de sabor del pan (**Koppmann, 2020**).

Por otro lado, aproximadamente en el año 1990 la masa madre despertó gran curiosidad en los científicos debido al potencial que apenas en ese tiempo se conocía, en inicios las investigaciones se centraron en identificar los efectos que tenía la masa madre en la reología, fermentación, sabor, vida útil, y en la convivencia de los diferentes grupos microbiológicos presentes en este prefermento (**Arora et al., 2021**).

De Vuyst et al. (2021) asegura que dentro de la masa madre tradicional los microorganismos identificados son *Frutilactobacillus san franciscensis*, *kazachstania humilis* y levadura. Las especies *lactobacillus* producen ácido láctico y ácido acético para acidificar la mezcla de harina y agua dando el toque ácido al sabor del pan, las levaduras producen especialmente alcoholes superiores (3-metil-1-butanol), esterés (acetato de etilo) y dióxido de carbono aportando el sabor característico luego de ser horneado.

Para la fabricación del pan el utilizar masa madre en lugar de levadura convencional (*Saccharomyces cerevisiae*), se logra una calidad superior de pan, pues promueve la síntesis de probióticos, enzimas, ácidos orgánicos, compuestos antifúngicos y proteólisis (**Canesin & Cazarin, 2021**). Los probióticos actúan como flora intestinal ayudando a fortalecer la misma, además producen metabolitos que ayudan de cierta manera en dolencias gastrointestinales, óseas, se describe también beneficios en contra de alergias, enfermedades respiratorias, obesidad y salud neuronal (**Akamine et al., 2023**).

La masa madre a través del tiempo se ha expandido por todo el mundo principalmente en Europa donde la sociedad consideraba como alimento base al pan por lo cual era obvio que la masa madre adopte diferentes características según el país en el cual se encuentre (**Suo et al., 2021**), así podemos encontrar diferentes tipos de masa madre como:

- Masa madre (original)

La masa madre original se lo elabora mezclando únicamente agua y harina de trigo, generalmente el tiempo necesario para que se pueda percibir algún tipo de fermentación es al tercer día, llegado ese tiempo se recomienda descartar la mitad de la mezcla esto debido a que puede haber existido el crecimiento de bacterias no deseadas, por lo cual desechando la mitad y alimentando con más harina y agua frescas se potencia la fuerza de fermentación de la masa madre, dentro de la masa madre existe presencia de la bacterias ácido lácticas (BAL) hetero fermentativas las cuales producen ácido láctico y acético, potenciando las características organolépticas, genera una miga más estable, con alveolos más grandes y una corteza crujiente, se produce un aumento en la acidificación de la masa ayudando a alargar la vida útil del pan, además ayuda a mejorar la digestibilidad del mismo debido a que las bacterias convierten los almidones en maltosa produciendo fitasa lo cual ayuda considerablemente en la digestión intestinal (Flecha, 2021).

Tabla 1. Formulación de masa madre (tradicional)

Ingredientes	Porcentaje (%)
Harina de trigo panadera	100
Agua	60

Fuente: Flecha, 2021

- Masa madre tipo esponja

La masa madre tipo esponja aparece por primera vez en Inglaterra para fabricar pan de cacerola, su fabricación es parecida a la masa madre tradicional, sin embargo; dentro de la formulación se le agrega un poco de levadura, la masa madre tipo esponja se utiliza principalmente para formulaciones enriquecidas con huevos, leche, miel, harinas, etc. Tiene una absorción entre el 60 % y el 63 % lo que permite generar una masa más consistente (Flecha, 2021).

Tabla 2. Formulación de masa madre tipo esponja

Ingredientes	Porcentaje (%)
Harina de trigo panadera	100
Agua	65

Levadura	1
----------	---

Fuente: Flecha, 2021

- Masa madre tipo poolish

La masa madre tipo poolish se originó en Polonia, es un tipo de prefermento utilizado ampliamente para fabricar panes rústicos, la mezcla de agua y harina es en iguales proporciones y entre el 0.08 % y 1 % de levadura, es muy utilizado en Italia para fabricar cierto tipo de pizzas (**Flecha, 2021**).

Tabla 3. Formulación masa madre tipo polish

Ingredientes	Porcentaje (%)
Harina de trigo panadera	100
Agua	100
Levadura	0.5

Fuente: Flecha, 2021

- Masa madre tipo biga

Es un prefermento que se originó en Italia, es una mezcla de harina, agua y levadura en proporciones diferentes, este tipo de masa madre es menos hidratada que las demás pues al integrar todos sus ingredientes, a simple vista se observa como pequeños pedazos poco uniformes un poco resacos. En la fabricación del pan aporta una corteza crujiente, una miga abierta y esponjosa con un aroma a nuez (**Flecha, 2021**).

Tabla 4. Formulación masa madre tipo biga

Ingredientes	Porcentaje (%)
Harina de trigo panadera	100
Agua	30 - 45
Levadura	0.5

Fuente: Flecha, 2021

1.1.6 Congelación en alimentos

Chaves-Quesada & Acosta-Montoya (2023) explica que para finales del 2020 los alimentos congelados generaron un valor de 231.38 mil millones de dólares, estadísticamente se espera que para el año 2028 los alimentos congelados generen ganancias cerca de 385.04 mil millones de dólares. Gracias a la globalización y al aumento de las necesidades de los consumidores, los alimentos congelados van desde los productos cárnicos, panadería, lácteos, frutas, verduras hasta comida casera.

El objetivo de la congelación nace a partir de la necesidad de conservar los alimentos con la mayor frescura posible debido a la gran cantidad de agua que poseen estos son propensos al crecimiento bacteriano y a la producción de diferentes microorganismos, lo cual afecta a su conservación y por ende existe una pérdida económica abismal. **(Zhu et al., 2019)**.

Dentro de la ingeniería en alimentos el proceso de congelación y su posterior conservación a bajas temperaturas se han vuelto populares **(Krishna Kumar et al., 2020)**. **Zhu et al. (2019)** explica en el proceso de congelación se forman cristales de agua, esto debido al contenido de agua de los alimentos lo cual afecta de a la integridad celular alterando su calidad. Por otra parte, se ha comprobado que el tamaño, la forma y la ubicación de los cristales de hielo se relacionan directamente con la congelación, sus condiciones y el método que se utilice, si dentro de la formación de cristales de hielo existen irregularidades puede ocasionar ruptura de la estructura celular irreversible.

El proceso de congelación consta de tres etapas: preenfriamiento, cristalización del hielo y recristalización. La congelación rápida es la más utilizada en industrias alimentarias, debido a su bajo costo y gran eficiencia. Este tipo de tecnología es el más aplicado debido a la calidad de los alimentos, pues genera un daño mínimo a las células interiores debido a la alta velocidad de congelación además produce cristales de hielo pequeños, en comparación a la congelación lenta. Esta tecnología consiste en colocar pequeñas porciones de alimentos y colocarlas en diferentes sistemas de enfriamientos, gracias a que los coeficientes de transferencia son altos ayudan a la congelación del alimento en tiempos relativamente cortos **(Umaña, 2019)**.

1.1.7 Masas congeladas para panificación

El pan al salir del horno presenta agradables aromas, con su corteza dorada, con una miga suave y perfecta para poder rebanar, sin embargo, con el pasar del tiempo esta sufre diferentes cambios físicos, químicos y biológicos (Nur & Cut, 2019). Al pasar un determinado tiempo después del almacenamiento, el pan sufre un aumento en la dureza de la miga, gracias a la retrogradación del almidón y una considerable disminución de humedad, sabor y aroma. Gracias al avance tecnológico se crearon métodos de conservación que puedan ser aplicados al pan, uno de ellos fue la congelación de la masa antes de ser horneada. En norte américa se utilizó por primera vez este método en 1970 dando buenos resultados, sin embargo; se detectó efectos negativos en la congelación por ejemplo reducción de la resistencia de la masa, la capacidad de retención de CO₂, disminución de la capacidad leudante de las levaduras (Arias et al., 2023).

Pese a todas las limitantes observadas con el pasar del tiempo la producción de masa congelada ha ido avanzado y creciendo debido a la variedad y la facilidad de obtener productos congelados, la aplicación de esta industria significa ahorros de costo de producción y de salarios, evitando pérdidas económicas (Omedi et al., 2019)

La masa previamente congelada se almacena a una temperatura de -35 °C a -40 °C, lo cual prologa la vida útil de la masa, sin embargo; este proceso de lo debe realizar rápido de tal manera que no exista contaminación de levaduras ajenas (Shu et al., 2022) Existen masas congeladas sin fermentar y masas congeladas fermentadas (Magalhães et al., 2021).

Durante el proceso de congelación y almacenamiento el número de levaduras viables disminuye generando un compuesto reductor (glutación) el cual rompe los enlaces disulfuro entre proteínas lo cual provoca el debilitamiento del gluten lo que conduce a reducir el volumen del pan finalizado la fermentación (Salehi, 2020). Por otro lado, se generan cristales que podrían romper la estructura del gluten por lo cual es importante que la velocidad de congelación sea lo más rápido posible como por ejemplo la congelación IQF (Magalhães et al., 2021).

Se ha observado que la levadura panadera posee una alta resistencia a la congelación, pero al encontrarse mezclada con la harina su resistencia a la congelación cambia pues se vuelven más sensibles a los cambios de temperatura bruscos como el provocado por la congelación (Nur & Cut, 2019).

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

- Desarrollar una masa congelada para panificación a partir de trigo (*Triticum durum*) sustituido parcialmente con una mezcla de harinas de frejol (*Phaseolus vulgaris*) y quinua (*Chenopodium quinoa*).

1.2.2 Objetivos específicos

- Obtener harinas de quinua y frejol.
- Desarrollar una formulación adecuada para una masa congelada para panificación, mediante aceptabilidad sensorial de la masa horneada.
- Determinar la calidad de la masa y producto final mediante análisis mixográfico y de textura de la mejor formulación.
- Realizar análisis proximal a la mejor formulación.

1.3 Hipótesis

Hipótesis nula (H₀): La sustitución parcial de harina de frejol y quinua no afectan las características organolépticas de las masas congeladas horneadas.

Hipótesis alternativa (H_a): La sustitución parcial de harina de frejol y quinua si afectan las características organolépticas de las masas congeladas horneadas.

CAPITULO II

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Materiales

2.1.1 Ingredientes

- Harina de trigo
- Quinoa
- Frejol canario
- Mantequilla
- Sal
- Azúcar
- Agua
- Levadura

2.1.2 Materiales de laboratorio

- Crisoles
- Mortero y pistilo
- Espátula
- Vasos de precipitación
- Pinzas
- Matraces
- Piseta

2.1.3 Equipos

- Balanza analítica
- Sistema Soxhlet
- Potenciómetro
- Desecador
- Texturómetro Brookfield.
- Balanza

- Molino industrial
- Mufla
- Horno de convección
- Reverbero eléctrico
- Sistema IQF
- Matraz Kjeldahl

2.2 Métodos

2.2.1 Elaboración de harina de frejol

Debido a que no existe una norma como tal para la harina de frejol se La harina de frejol se obtuvo aplicando la metodología indicada en la norma (**NTE INEN 616, 2006**)

La variedad de frejol que se utilizó fue canario seco, con un porcentaje de humedad menor al 13%, con un contenido de impurezas menor al 5%, para lo cual se realizó inspección visual retirando materiales extraños como restos de planta, hojas secas y piedras, además el frejol no contenía olores extraños, ni plagas (**NTE INEN 1561, 1987**). Los granos se molieron y tamizaron.

2.2.2 Elaboración de harina de quinua

La harina de quinua se obtuvo aplicando la metodología indicada en la norma INEN 3042

Se realizó inspección visual a la quinua, retirando materiales extraños como restos de plantas, hojas secas y piedras, con un porcentaje de humedad menor a 13.5%, exento de olores y sabores extraños (**NTE INEN 3042, 2015**). Los granos se molieron y tamizaron.

2.2.3 Elaboración, congelación y horneado de la masa panadera

Para la elaboración de la masa panadera se siguió el procedimiento de **Correa (2017)**. Se preparó masa madre tipo esponja, a continuación, se colocó la masa madre junto con los ingredientes secos: harina de quinua, harina de frejol, levadura, sal, azúcar y

manteca, mezclando completamente, luego se colocó el agua en pequeñas proporciones y se amasó alrededor de 20 minutos hasta conseguir una temperatura interna de 30 °C integrando correctamente todos los ingredientes.

Se tomó porciones de masa de 50 gramos y fueron colocados en un sistema de ultracongelación (IQF) congelando las muestras de -29 a -30 °C.

Se tomó las porciones de masa de 50 gramos que previamente fueron congeladas, se colocaron en una bandeja previamente engrasada y enharinada dejando descongelar y leudar por 30 minutos hasta visualizar una corteza translúcida, indicando que se alcanzó el leudado adecuado, se horneó el pan a una temperatura de 180 °C por un tiempo de 15 a 20 minutos.

En la Tabla 1 se presenta los respectivos porcentajes de una formulación para masas panaderas con una sustitución parcial de una mezcla de harinas de quinua y frejol.

Tabla 5. Formulación del pan con sustitución parcial de harina de trigo

Ingredientes	Porcentajes (%)
Harina de trigo panadera	42.13
Mezcla de harina frejol y quinua	10.5
Masa Madre	10.02
Agua	36.34
Sal	1

2.2.4 Diseño experimental

Para el presente trabajo se planteó un diseño de bloques completos al azar, donde la variable independiente son los tipos de harina y la variable dependiente son las proporciones que se utilizaran para fabricar las masas.

Tabla 6. Tratamientos con diferentes porcentajes de la mezcla de harinas

Tratamiento	Tipos de harina	
	Quinua (%)	Frejol (%)
T1	50	50

T2	75	25
T3	25	75

2.2.5 Análisis sensorial

Para la evaluación sensorial se realizó mediante un panel de 15 catadores no entrenados, evaluando diferentes atributos sensoriales como: olor, color, sabor, textura y aceptabilidad de las tres formulaciones presentadas.

2.2.6 Análisis de la mezcla de harinas mediante mixografía

Se evaluó la mejor formulación en el equipo Mixolab (CHOPIN Technologies), obteniendo los parámetros de panificación como: índice de absorción, índice de amasado, índice de gluten, índice de viscosidad, índice de amilasa e índice de retrogradación, para el análisis de mixografía se siguió la metodología indicada en el manual, bajo la norma AACC.

2.2.7 Análisis de textura

El análisis de textura se realizó en el equipo texturometro Brookfield con una sonda TA11/1000, con un valor meta de 4.0, con una carga de activación de 0.07 N y una velocidad de la prueba de 0.50 mm/seg. Para el proceso de análisis se siguió la metodología presente en el manual del equipo.

2.2.8 Análisis proximal

El análisis proximal se realizó para el mejor tratamiento en base a la normativa **NTE INEN 95:1979 (2012)**, requisitos mínimos para pan los cuales son humedad y pH, dado que el producto posee una mezcla de harinas de frejol y quinua fue necesario realizar análisis adicionales de grasa, fibra, proteína y cenizas.

2.2.9 Determinación de Humedad

Para determinar la humedad se realizó en base a la norma **NTE INEN 95:1979 (2012)**, se cortó en trozos pequeños y de forma cúbica un octavo del pan. Se pesó una cantidad de muestra no menor a 50 g registrando el valor como m1. Se calentó la muestra pesada

en una estufa a 40 °C durante un tiempo no menor a 4 h suficiente para que la muestra se haya desmenuzado, pasado este tiempo se sacó la muestra y se dejó a temperatura ambiente durante 3 h se pesó y se registró dicho valor como m2. Se molió la muestra seca y se tomó 5 gr en una capsula (m3). Se calentó la capsula a una temperatura de 130 °C en una estufa alrededor de una hora, se pesó y registró el dato como m4.

$$ST = \frac{m2 - m4}{m1 - m3} \times 100$$

Ecuación (1)

Donde:

ST: Solidos totales en porcentaje de masa.

m1: masa de la muestra (g).

m2: masa calculada después del proceso de desecado a 40 °C (g).

m3: masa calculada antes del proceso de desecado a 130 °C (g).

m4: masa calculada después del desecado a 130 °C (g).

Para calcular la humedad se utiliza la siguiente ecuación:

$$\%H = 100 - ST$$

Ecuación (2)

%H: porcentaje de humedad en masa (g).

ST: porcentaje de sólidos totales (g).

2.2.10 Determinación de pH

Para determinar el pH se lo hizo en base a la norma **NTE INEN 95:1979 (2012)** y por duplicado. Se cortó en trozos pequeños y de forma cúbica un octavo del pan. Se pesó una muestra con un peso no menor a 10 g, luego se colocó la misma en un vidrio reloj pesado previamente. Se colocó la muestra a un matraz Erlenmeyer de 250 cm³, añadiendo 100 m³ de agua destilada hasta que las partículas queden en suspensión de

manera uniforme, Se agitó durante 30 min eventualmente y se dejó en reposo por 10 min. Finalmente se decantó el líquido sobrenadante a un vaso perfectamente limpio y seco, mediante un potenciómetro se realizó la lectura directa del pH.

2.2.11 Determinación del contenido de proteína

Para la determinación de proteína se lo realizó por duplicado bajo la norma **NTE INEN 519 (1980)**. Se pesó 2 g de la muestra y se colocó en el matraz Kjeldahl, posterior se agregó 15 g de sulfato de potasio junto con 25 cm³ de ácido sulfúrico concentrado agitándolo levemente. Se colocó el matraz en la hornilla del sistema Kjeldahl, calentando moderadamente hasta que no exista presencia de espuma, luego se subió la temperatura hasta obtener una muestra cristalina e incolora dentro del matraz, se continuó con el calentamiento por 2 h finalmente se enfrió a temperatura inferior a 25 °C.

Se agregó 200 cm³ de agua destilada añadiendo pequeños retazos de parafina o limallas de zinc evitando desbordamientos en el proceso de ebullición. Se inclinó el matraz y se vertió de manera moderada por las paredes para formar 2 capas, 50 cm³ de solución concentrada de hidróxido de sodio. Se conectó el matraz Kjeldahl al condensador por medio de la ampolla de destilación. El extremo de evacuación del condensador se sumergió en 50 cm³ de solución 0.1 N de ácido sulfúrico del matraz Erlenmeyer de 500 cm³ al cual previamente se agregó gotas de solución alcohólica de rojo de metileno, posteriormente se agitó y calentó.

Se destiló hasta que la mayoría del amoníaco se encuentre en la solución ácida del matraz Erlenmeyer. Antes de retirar el matraz Erlenmeyer se lavó con agua destilada el extremo del condensador y se tituló el exceso de ácido contenido en el matraz Erlenmeyer con la solución 0.1 N de hidróxido de sodio.

$$P = (1.40) \times (F) \times \frac{(V1N1 - V2N2) - (V3N1 - V4N2)}{m \times (100 - H)}$$

Ecuación (3)

Donde:

P: contenido de proteína de origen vegetal representado en porcentaje masico.

V1: volumen de la solución 0.1 N de ácido sulfúrico para recoger el destilado de la muestra (cm³).

N1: normalidad de la solución de ácido sulfúrico.

V2: volumen solución 0.1 N de hidróxido de sodio usado en la titulación (cm³).

N2: normalidad solución hidróxido de sodio.

V3: volumen solución 0.1 N de ácido sulfúrico utilizado para recoger el destilado del ensayo en blanco (cm³).

V4: volumen solución 0.1 N de hidróxido de sodio utilizado en la titulación del blanco (cm³).

m: masa de la muestra (g).

H: porcentaje de humedad de la muestra.

F: factor para convertir el contenido de nitrógeno a proteínas (5.7).

2.2.12 Determinación del contenido de fibra

Para la determinación de la cantidad de fibra se realizó mediante el procedimiento presentado por (AOAC 993.21., 2005). Se pesó 500 mg de muestra y se colocó en un vaso de precipitación de 250 mL junto con 25 mL de agua destilada, se agitó hasta que la muestra no presentó grumos. Se procedió a tapar con un trozo de aluminio y se dejó reposar durante 90 min sin agitar la misma en una incubadora a 37 °C en baño María. Luego se añadió 100 mL de etanol al 95% al vaso de precipitación, dejando reposar durante 1 h a temperatura ambiente (25±2 °C), el sobrante se recogió en un crisol antes pesado.

El sobrante se lavó 2 veces con 20 mL de etanol al 78%, 2 veces más con etanol al 95% y finalmente 1 vez con 10 mL de acetona. Adicionalmente, se secó el crisol con el residuo por 2 h a 105 °C, para concluir en un desecador se dejó enfriar a temperatura ambiente y se pesó la muestra.

La determinación de fibra total se realizará mediante la ecuación:

$$TDF\% = 100 * \frac{Wr - \left[\frac{P + A}{100}\right] \times Wr}{Ws}$$

Ecuación (4)

Donde:

TDF: fibra dietética total.

Wr: peso del residuo (mg).

P: porcentaje de proteína en el residuo.

A: porcentaje de ceniza en el residuo.

Ws: peso porción de ensayo (mg).

2.2.13 Determinación de la cantidad de grasa

Para realizar la determinación del contenido de grasa se lo realizó teniendo en cuenta la norma (**NTE INEN 523, 1980**) se lavó el balón Soxhlet a una temperatura de 100 ± 5 °C por 1 h. Luego en el dedal Soxhlet se pesó 2.35 g de la muestra de harina y 2 g de arena completamente seca y se mezcló hasta obtener una muestra homogénea. En la parte superior del dedal se colocó algodón hidrófilo a manera de corcho o tapa, luego se colocó en la estufa caliente a 130 ± 5 °C mediante 1 h, se colocó el dedal con su contenido en el desecador y se dejó enfriar a temperatura ambiente. Se colocó el dedal en el aparato Soxhlet y se agregó suficiente cantidad de éter anhidro y se extrajo durante 4 horas. A continuación de haber terminado la extracción se destiló el disolvente en el mismo aparato para recuperarlo y eliminar los restos del disolvente en baño María. Finalmente se colocó el balón que contiene la grasa durante 30 min en la estufa a una temperatura de 100 ± 5 °C, se enfrió a temperatura ambiente y se procedió a pesar, se repitió el calentamiento por periodos de 30 minutos, enfriando y pesando hasta que las diferencias de resultados no excedan los 0.2 mg.

El contenido de grasa de las muestras de origen vegetal se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$G = \frac{(m2 - m1)}{m(100 - H)} \times 100$$

Ecuación (5)

G: contenido de grasa inmersa en la muestra de harina vegetal.

m: masa de la muestra (g).

m1: masa del balón vacío (g).

m2: masa del balón con grasa (g).

H: porcentaje de humedad en la muestra.

2.2.14 Determinación de la cantidad de cenizas

Para la determinación de cenizas se lo realizó bajo la norma **NTE INEN 520 (1980)**. Se pesó aproximadamente 1 g de la muestra en un crisol. Posterior se llevó el crisol a la mufla a una temperatura de 550 °C hasta que las cenizas estén completamente blancas. Finalmente se dejó enfriar las cenizas en el desecador por un tiempo de 30 minutos y se pesó las cenizas. La estimación de la cantidad de cenizas se lo hizo por triplicado mediante la siguiente fórmula:

$$\%Cenizas = \frac{M2 - M3}{M2} \times 100$$

Ecuación (6)

Donde:

M1: peso crisol vacío (g).

M2: peso de la muestra (g).

M3: peso crisol más la muestra final (g).

CAPITULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis y discusión de resultados

3.1.1 Obtención de harinas de quinua y frejol

3.1.1.1 Harina de frejol

La elaboración de harina de frejol inició con la compra del frejol variedad canario adquirido en un local comercial de la ciudad de Ambato, buscando un grano de tamaño similar. Se realizó la limpieza de 1,37 kg y se molturó en un molino de disco y posterior tamizado en una malla de 70 mesh o 210 μ m. Se obtuvo un rendimiento del 54,62 %, valor cercano al reportado por **Navarro et al. (2019)** que menciona un valor de 68,67 %, la diferencia podría ser explicado por el tipo de equipo utilizado para la molienda.

Se determinaron los valores de pH y humedad, se obtuvo 6.40 \pm 0.003 y 7.19 \pm 0.18%, respectivamente. Los resultados de pH y humedad son similares a los reportados por **González et al. (2019)**, que indican 6.96 y 8.90 % respectivamente en muestras de frejol rojo, además explican que su pH depende de la variedad y del contenido de ácidos orgánicos como el ácido málico, oxálico y fítico. Respecto a la humedad, se puede indicar que el frejol tubo un proceso de secado adecuado. La harina obtenida fue empacada en fundas ziploc de polietileno de baja densidad, y almacenada en un ambiente fresco y seco.

3.1.1.2 Harina de quinua

La quinua variedad blanca fue adquirida a los productores de la parroquia Quisapincha, provincia de Tungurahua, el peso inicial de la semilla fue de 1.21 kg. El grano fue limpiado, molturado en un molido de disco y tamizado a través de un tamiz de malla 210 μ m. Luego del proceso de molienda el peso fue de 0.82 kg lo cual representa del 68.01 % de rendimiento, este valor es mayor al reportado por **Naranjo (2017)** el cual fue de 41.4 %, la diferencia de valores puede deberse a que Naranjo en su estudio realizó cerca de 10 tamizaciones hasta obtener un polvo de menor tamaño de partícula

lo cual contribuye a la pérdida de una parte de los componentes de la harina, disminuyendo el rendimiento.

El porcentaje de humedad de la harina de quinua obtenida fue de $8,34 \pm 0,37$ % lo cual concuerda con la norma **NTE INEN 3042 (2015)**, donde se especifica que la humedad máxima para harina de quinua debe ser del 13.5 %. **Tiga et al. (2021)** explican que un bajo porcentaje de humedad obtenido se debe a un correcto proceso de secado, además, menciona que, para secar cantidades mínimas de quinua, el horno doméstico es una excelente herramienta.

Por otra parte, el pH de la harina de quinua obtenida fue de $6,09 \pm 0,02$ lo cual concuerda con el valor arrojado en la experimentación de **Villar (2021)**, que indica 6.22 ± 0.02 , además, el autor advierte que los valores del pH de la quinua se encuentran entre 6 y 7, de tal manera que si bien puede tener un poco de acidez esta es imperceptible ante el consumidor **Jiménez et al. (2022)** presumen que la acidez de la quinua puede deberse a la presencia de ácidos grasos como los ácidos linolénico, oleico, palmítico y esteárico.

3.1.2 Elaboración de las muestras de masa panadera para congelación

Para la congelación se tomaron muestras de 50 g de masa de cada una de las tres formulaciones, una vez que se completó el proceso de amasado, es decir llegó a la temperatura de 30 °C y un pH entre 5 y 6. Se congeló mediante congelación rápida individual por sus siglas en inglés (IQF) a una temperatura de -29 °C por un tiempo de 35 minutos, luego se almacenó en empaques ziploc a una temperatura de -9°C aproximadamente. Las muestras congeladas por una semana se retiraron y colocaron a temperatura de refrigeración de 4 °C para ser descongeladas por un tiempo de 5 horas y posteriormente a temperatura ambiente por 2 horas, finalmente se fermentó en la cámara de leudo a una temperatura de 30 °C por 45 minutos. Se observó un cambio significativo en el volumen de las masas. **Giannou et al. (2003)**, explican que el proceso de congelación lento si influye de manera significativa en la calidad de las masas, pues provoca la deshidratación de las células, gracias a la presión osmótica, cambios de pH y el movimiento de agua, además **Rosell & Gómez (2007)** explican que en muchos casos en masas congeladas se ha observado un descenso de pH luego

de la descongelación y comenzado la fermentación, además, gracias a la formación de cristales de hielo existe un daño en los enlaces disulfuro alterando la estructura de la red de gluten, lo cual provoca baja retención de CO₂.



Figura 1. Masas para panificación antes y después del leudado

A diferencia de la congelación lenta, la congelación IQF es una tecnología moderna la cual congela alimentos a una alta velocidad, evitando generar daño a los componentes de los alimentos. Las levaduras y la red de gluten no se vieron afectadas en la congelación IQF, como se observa en Figura 1, se evidencia el aumento del volumen de las masas después de la fermentación comprobando que esta tecnología es efectiva ante el daño en las células de la levadura y la red de gluten. Gracias a la congelación IQF no se evidenció un daño significativo a las levaduras, sin embargo; al estar combinadas con la harina de trigo su comportamiento puede variar haciéndolas un poco sensibles a las bajas temperaturas proporcionadas por el IQF, alterando los procesos de fermentación como lo explica el trabajo de **Nur & Cut (2019)**, además los mismos autores revelan que masas congeladas elaboradas 100 % con harina de trigo a las cuales se les añadió 5 % de fibra y congeladas mediante congelación lenta, fueron mucho más resistentes tanto en el proceso de congelación como en las condiciones de almacenamiento, protegiendo a las células de la levadura durante el almacenamiento, fortaleciendo y respaldando la red de gluten. Por lo cual se puede especular que no existió un daño significativo en levaduras y la red de gluten gracias a la congelación IQF, sin embargo; la fibra proveniente de la mezcla de harinas de quinua y frejol podrían haber ayudado al revestimiento de las levaduras y fortaleciendo la red de gluten.

3.1.3 Análisis sensorial

Como se puede observar en Figura 1 se encuentran los resultados de la evaluación sensorial aplicada a las 3 formulaciones en diferente proporción y un blanco. Se puede observar que la formulación (75 % harina de quinua – 25% harina de frejol) con el código A-48, sobresale en calificación para los atributos sabor, textura y aceptabilidad, llegando a sobrepasar incluso la calificación del blanco (formulación 100% de harina de trigo). Las otras dos formulaciones se acercan y también obtienen mejores calificaciones que el blanco, lo cual indica que las formulaciones poseen excelentes características organolépticas y son aceptadas por los catadores.

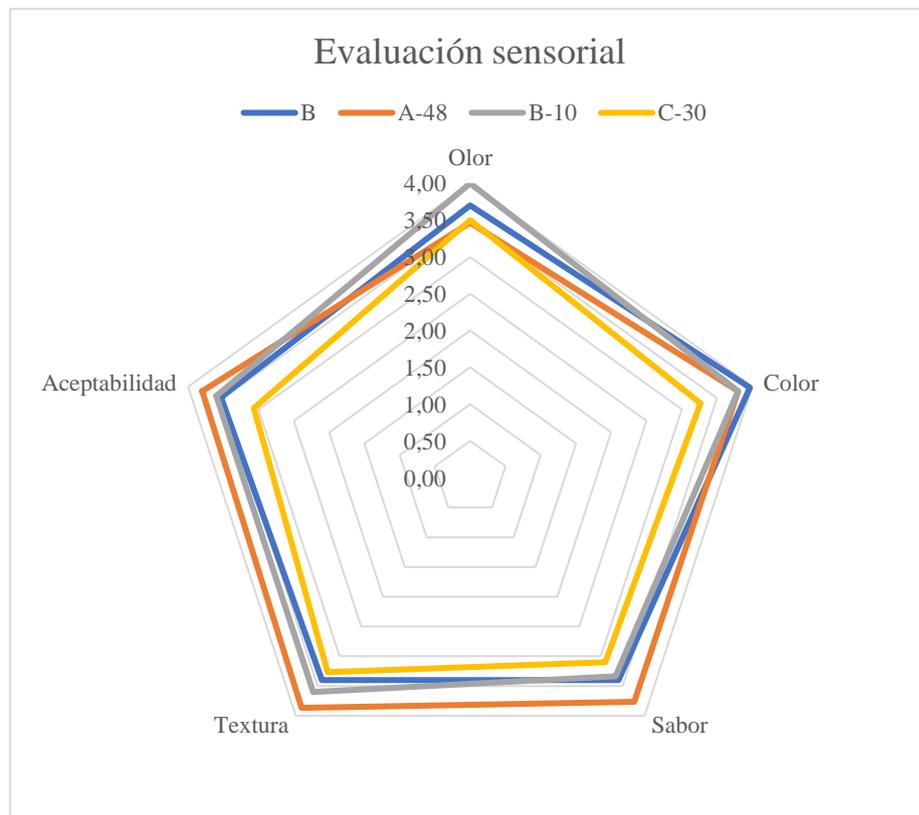


Figura 2. Análisis sensorial de las tres formulaciones y el blanco

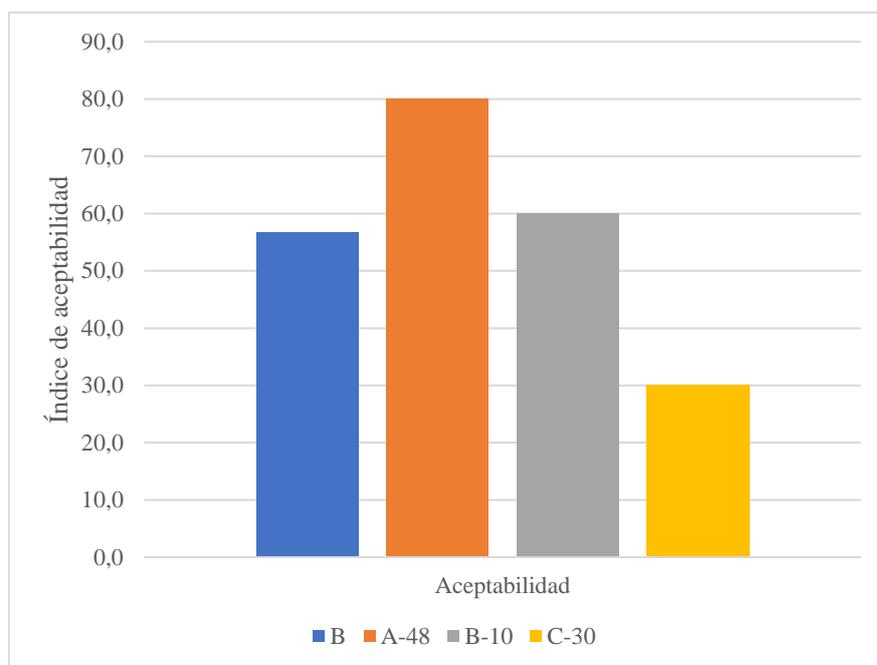


Figura 3. Índice de aceptación de las tres formulaciones y el blanco

Julia & Manfugás (2007) mencionan que la evaluación sensorial de un alimento es fundamental para determinar la calidad total del producto, pues esta enlazado directamente con la aceptación de este por parte de los consumidores, además la evaluación sensorial se lo hace mediante los sentidos como el gusto, olfato, tacto, vista y oído.

Los valores obtenidos del análisis sensorial fueron analizados mediante una prueba de varianza, en el cual no se obtuvo una diferencia estadísticamente significativa en algún atributo (Tabla 7), esto indica que los panes elaborados no presentan una diferencia en cuanto a aceptabilidad con un pan de consumo común, es decir, podría ser consumido sin resistencia.

Tabla 7. ANOVA de los atributos sensoriales

Atributo	P – valor
Olor	0.1237
Color	0.1204
Sabor	0.3104
Textura	0.4273
Aceptabilidad	0.1371

Como se puede observar en Tabla 7 se encuentran los valores p de cada atributo, estos valores son mayores que el valor de significancia 0.05, lo cual indica que se acepta la hipótesis nula planteada en el capítulo 2. Estadísticamente no se encuentran diferencias significativas entre los atributos de cada formulación incluida el blanco, lo que significa que el porcentaje de sustitución del 20 % y las diferentes proporciones de harina de quinua y frejol en cada formulación no afectan las características organolépticas de las masas horneadas lo cual concuerda con el trabajo de **Ceyhun Sezgin & Sanlier (2019)** que explica que al sustituir hasta un 20 % de harina quinua no existen cambios significativos en el color, olor, sabor y textura de los panes.

3.1.3.1 Olor

En Figura 1 se pueden observar los valores obtenidos para el atributo de olor, se observa que la formulación B-10 (25 % harina de quinua – 75 % harina de frejol) posee el valor más alto de 4.0 lo que en escala hedónica significa “me gusta” incluso por encima del blanco, y los valores más bajos con relación a las tres formulaciones son de 3.47 y 3.50 ocupando las formulación A-48 (75 % harina de quinua – 25 % harina de frejol) y C-30 (50 % harina de quinua – 50 % harina de frejol) respectivamente lo que en escala hedónica significa “ni me gusta ni me disgusta” sin embargo; estos valores no están alejados de la muestra B-10 y el blanco por lo cual podría considerarse que estas formulaciones se acercarían en la escala hedónica al “me gusta” dentro del índice de aceptación, según **Bilalis et al. (2019)** explica que la poca valoración que se le dio a las muestra A-48 y C-30 puede deberse a que el aroma de la quinua es muy intenso e invasivo además de no ser tan agradable ante el sentido del olfato por lo cual los catadores eligieron la muestra con un aroma un poco más neutro, más parecido a un pan comercial 100 % harina de trigo.

3.1.3.2 Color

Como se puede apreciar en Figura 1, las muestras A-48 y B-10 poseen valores cercanos entre sí cercanos al 4, indicando una tendencia al “me gusta”, en escala hedónica, La muestra C-30 posee el valor más bajo cercano al 3 lo que en escala hedónica significa “ni me gusta ni me disgusta”. Por otro lado, la muestra blanco posee el valor de 3.97 cercano al 4 lo que en escala hedónica significa “me gusta”, esto se traduce en que los

catadores familiarizan el color de la muestra blanco con un pan comercial normal, con un pan que posiblemente lo han comido al menos una vez en alguna ocasión, por otro lado. Aparentemente el color de las muestras B-10 y A-48 gustaron a los catadores de la misma manera que el blanco, entendiéndose que el porcentaje de sustitución fue adecuado para obtener masas horneadas agradables a los catadores.

3.1.3.3 Sabor

Como se puede observar en Figura 1, los valores correspondientes a sabor indican que la muestra de mayor aceptación es la formulación A-48 (75 % harina de quinua – 25 % harina de frejol) con 3.77, valor cercano al 4 lo que en escala hedónica significa “me gusta” seguido del blanco y las muestras B-10 y C-30 , este resultado fue también mencionado en la investigación de **Campos-Rodriguez et al. (2022)**, quienes afirman que la quinua luego de pasar por un proceso térmico mejora considerablemente su sabor.

3.1.3.4 Textura

Respecto al análisis de textura, en la Figura 1, se puede observar la mayor calificación para el tratamiento A-48 (75 % harina de quinua – 25 % harina de frejol) superando inclusive al pan 100 % harina de trigo, este resultado fue comentado por **Ceyhun Sezgin & Sanlier (2019)** cuando explican que el porcentaje de sustitución de harina de trigo no debe pasar del 20 % para evitar cambios de textura, y advierten que a medida que aumenta el porcentaje de sustitución de quinua en la formulación, se observa masas más duras con menor extensibilidad, endurecimiento y porosidad aumentada en la textura. Una textura dura es resultado de una ausencia de proteínas que permiten la formación de la masa viscoelástica, es decir de gluten, pues las proteínas como la globulina y albumina presentes en los pseudocereales no generan tal estructura.

3.1.3.5 Aceptabilidad

Como se puede apreciar en la Figura 1, el tratamiento con el valor más alto en aceptabilidad es la formulación A-48 (75 % harina de quinua – 25 % harina de frejol) con un valor de 3.80, en escala hedónica se encuentra cerca del valor de 4 acercándose

al “me gusta”, de la misma manera las muestras B-10 obtuvieron un valor cercano de 3.50 al igual que la muestra blanca lo cual quiere decir que se encuentran dentro de los parámetros del blanco. La muestra C-30 posee un valor 3.07, en escala hedónica significa que ni gusta ni disgusta.

Pese a que estadísticamente no existieron diferencias significativas entre las formulaciones y el blanco, el análisis del índice de aceptabilidad ayuda a determinar la muestra que más gustó a los catadores. No obstante, los resultados obtenidos son positivos pues el consumo de este nuevo producto no tendrá resistencia.

La aceptabilidad alcanzada de las 30 respuestas pertenecientes a 15 personas en dos días de cata, indicaron que al 80 % les gustó la formulación A-48 (75 % harina de quinua – 25 % harina de frejol), con lo cual se puede concluir que fue la mejor formulación.

3.1.4 Calidad de la masa y del producto de la mejor formulación

3.1.4.1 Determinación de la calidad de la masa

La calidad de la masa se mide mediante mixografía, la misma que permite determinar, índice de absorción de agua (C1), calidad de proteína (C2), gelatinización del almidón (C3), actividad de la amilasa (C4) y retrogradación del almidón (C5).

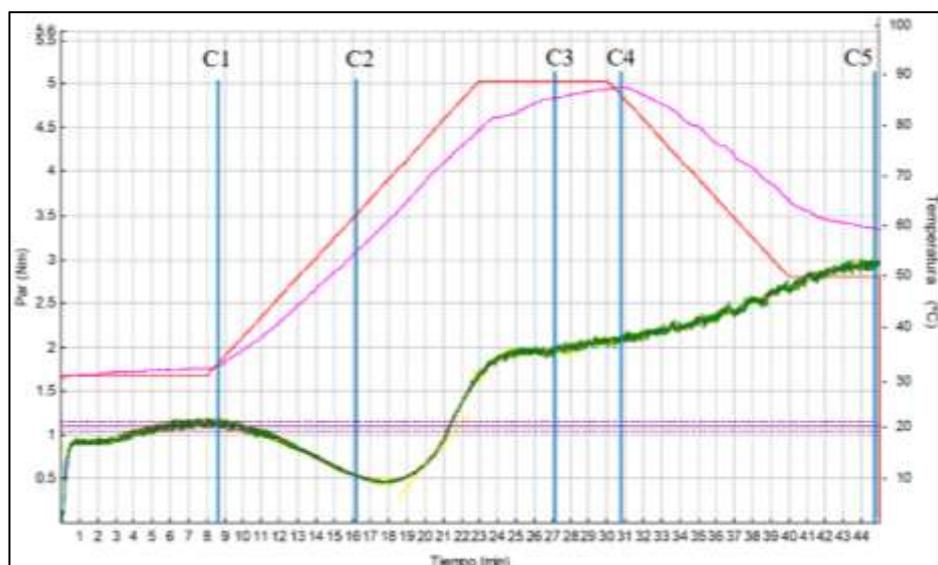


Figura 4. Gráfico de mixografía de la formulación A-48

El ensayo se realizó a una temperatura de depósito de 30 °C y una velocidad de amasado de 80 rpm.

En la Tabla 9, se presentan los valores obtenidos del análisis mixográfico de las tres formulaciones de harinas para masa congelada para panificación, además de tener un perfil de comparación (harina de trigo para panificación) proporcionado por el programa Mixolab (CHOPIN Technologies). Para las tres formulaciones elaboradas, el porcentaje de hidratación fue similar de 59,9 %, así como el porcentaje de humedad, encontrándose por debajo del porcentaje mínimo establecido en las normas **NTE INEN 616 (2006)** (harina de trigo panificable) y **NTE INEN 3042, (2015)** (harina de quinua).

Tabla 8. Resultados de las medias obtenidas mediante mixografía

Formulación		C	Tiempo (min)	Par (Nm)
A-48 (75 % Q-25 % F)	Hidratación: 59.9 %	C1	8.30±0.54 ^A	1.12±0.01 ^A
		C2	17.69±0.01 ^{CD}	0.46±0.002 ^C
	C3	28.98±0.84 ^E	2.04±0.04 ^F	
	Humedad: 12.10 %	C4	32.66±0.88 ^F	2.21±0.04 ^H
		C5	45.00±0 ^G	2.98±0.02 ^J
B-10 (75 % F-25 % Q)	Hidratación: 59.9 %	C1	8.39±0.45 ^A	1.11±0.03 ^A
		C2	18.26±0.23 ^C	0.43±0.004 ^D
	C3	33.92±8.44 ^E	2.59±0.49 ^{FG}	
	Humedad: 13.10 %	C4	34.26±3.76 ^F	2.54±0.18 ^H
		C5	45.00±0.02 ^G	3.24±0.009 ^K
C-30 (50 % F – 50 % Q)	Hidratación: 59.9 %	C1	7.86±0.10 ^A	1.09±0.03 ^A
		C2	18.20±0.21 ^C	0.42±0.01 ^D
	C3	35.48±0.07 ^E	2.37±0.006 ^{FG}	
	Humedad: 12.7 %	C4	35.86±0.10 ^F	2.32±0.002 ^H
		C5	45.02±00 ^G	2.93±0.06 ^K
		C1	5.02 ^B	1.10 ^A
		C2	17.43 ^D	0.38 ^E

Harina de trigo	Hidratación: 60%	C3	24.50 ^E	1.48 ^G
		C4	33.77 ^F	1.32 ^I
	Humedad: 14.9%	C5	45.00 ^G	1.81 ^L

3.1.4.1.1 Índice de absorción de agua. C1

El índice de absorción se relaciona directamente con la capacidad de absorción de agua de las harinas dado por el gluten y almidón dañado para poder formar una masa viscoelástica (**Sacón, Bernal, et al., 2016**). Estadísticamente no existe diferencia significativa entre las medias de las tres formulaciones en el tiempo C1, sin embargo comparando el perfil de la harina de trigo panadera con las tres formulaciones, existe diferencia significativa, el mismo autor explica que el índice de absorción de agua depende del contenido de proteína (gluten) y la presencia de gránulos de almidón dañado, este argumento concuerda con los resultados obtenidos debido a que las tres formulación poseen menos cantidad de proteína (gluten) debido al remplazo con la mezcla de harinas, las cuales no poseen gluten.

Los tiempos de desarrollo obtenidos en la investigación fue de 7 a 8 min, **Salazar (2015)** en su investigación obtuvo un tiempo de amasado de 4 a 5 minutos para una mezcla de harina de trigo y quinua al 5 %, valor, que según el autor mencionado considera que son correspondientes a harinas débiles, inadecuadas para fabricar pan, los valores obtenidos en las tres formulaciones son mayores, por tanto, el porcentaje de sustitución del 20 % como límite es el adecuado para harinas de panificación. Este resultado concuerda con **Ceyhun Sezgin & Sanlier (2019)** que en su estudio mencionan como óptimo un porcentaje de sustitución del 20 % para panes de buena calidad. Así mismo, menciona que el almidón de quinua tiene una menor capacidad de absorción, que el almidón del trigo, pero es más viscoso y posee una baja temperatura de gelatinización, lo cual ayuda a formar una masa viscoelástica, compensando la diferencia de capacidad de absorción de agua. Por otro lado **Sacón et al. (2016)** , menciona que el índice de absorción de agua del almidón de frejol aumenta a partir de 25 °C por lo cual se presume que también ayudó en la formación de la masa viscoelástica de las formulaciones estudiadas.

3.1.4.1.2 Calidad de proteína. C2

En la Tabla 9, también se observa los resultados de la evaluación de calidad proteica de las tres formulaciones y de la harina de trigo panadera (Blanco), el análisis de comparación de medias muestra que existe diferencias significativas, tanto en el tiempo como en el Par. La formulación A-48 posee un valor similar entre la formulación B-10 y C-30, también posee un tiempo similar al blanco, lo que indica que el porcentaje de sustitución es el adecuado para obtener una masa con características similares a la masa 100 % harina de trigo

La harina de trigo panadera posee un Par ligeramente menor de 0,38, comparada con las obtenidas en las formulaciones analizadas de 0,42; 0,43 y 0,46 lo que indica que existió un ligero aumento de este parámetro. Este resultado puede deberse a la presencia de fibra de las harinas de quinua y frejol, que aumentan la absorción de agua generando una masa tenaz más resistente al amasado, aun cuando, se da una disminución de las proteínas del trigo como la gliadina y la glutenina que son las encargadas de presentar extensibilidad y elasticidad a la masa. No obstante, los resultados obtenidos muestran que las masas generadas y analizadas presentan una consistencia adecuada para panificación, lo que nuevamente es armónico con lo mencionado por **Sacón, Bernal, et al., (2016)**, que indican como óptima la sustitución parcial de trigo del 20%.

3.1.4.1.3 Gelatinización del almidón. C3

La etapa C3 simula el proceso de horneado, donde se presentan las características de gelatinización, miga del pan y viscosidad (**Salazar, 2015**).

La tasa de gelatinización del almidón de la formulación A-48 fue el menor en comparación a las demás formulaciones. Tomando en cuenta que la capacidad de absorción de las formulaciones no presentó una diferencia estadísticamente significativa. El resultado puede deberse a la diferencia de temperatura de gelatinización, que para el almidón de quinua es de 59.2 °C (**Huamani et al., 2020**) mientras que para el almidón de frejol es de 75 a 80 °C dependiendo la variedad, sin

embargo; la mayoría de las variedades de frejol se encuentran en este intervalo de temperatura, a pesar de la variabilidad de los valores en el tiempo de gelatinización del almidón se logró mantener buenas características panificables (Ulloa et al., 2016).

3.1.4.1.4 Actividad amilasa. C4

La amilasa es la encargada de desdoblar el almidón en dextrinas. Como se puede observar en Tabla 9 existe diferencias estadísticamente significativas del Par entre las tres formulaciones y el perfil de la harina de trigo panadera, el Par que posee un valor más bajo es el de la formulación A-48 y el valor más alto es el de la formulación B-10. Salazar (2015) explica que los valores normales de C4 se encuentran entre 0.95 y 0.12 Nm, dentro de este rango de valor se obtiene panes con características adecuadas, sin embargo, si se obtienen valores por encima del establecido se desarrollaran volúmenes inadecuados en la estructura de la miga dando como resultado una miga muy rígida, este argumento tiene sentido con los resultados obtenidos puesto que los valores de las tres formulaciones propuestas se observan valores por encima de lo establecido por lo cual podría obtenerse panes con un volumen inadecuado

Por otra parte, se puede observar que el valor más distante del rango considerado normal es el de la formulación B-10 la cual contiene mayor proporción de harina frejol Rodríguez, (2012) explica que la mayoría de las especies de frejol poseen inhibidores de amilasas por lo cual se puede presumir que, gracias al mayor porcentaje de harina de frejol presente en la formulación, se inhibe la actividad de las amilasas dando como resultado un Par alejado de los valores normales.

3.1.4.1.5 Retrogradación del almidón. C5

La retrogradación del almidón ayuda a determinar la vida útil del pan. Las tres formulaciones presentan valores mayores de Par que el obtenido por el perfil de comparación (harina 100% trigo - blanco) lo cual indica que las tres formulaciones tienen menor vida útil que la harina de trigo panadera, no obstante, de las tres formulaciones el valor más bajo fue aquel con mayor cantidad de harina de quinua (A-48). Huamani et al. (2020) explica que el almidón de quinua posee una muy buena estabilidad al sufrir retrogradación por lo cual la formulación A-48 tendrá un mayor tiempo de vida útil, en comparación a la formulación B-10 la cual posee mayor

cantidad de harina de frejol, esta formulación presenta el valor más alto en comparación a las demás formulaciones **Salazar (2015)** explica que entre mayor sea el valor de retrogradación menor será el tiempo de vida útil.

3.1.4.2 Textura

La textura en el análisis de pan se refiere a las diferentes características físicas y táctiles de su estructura en general. En Tabla 9 se observan los datos de dureza 1, dureza 2, cohesividad, elasticidad y masticabilidad de las tres formulaciones propuestas, además de un perfil de comparación de un pan 100 % harina de trigo.

Tabla 9. Valores medios de textura de las tres formulaciones presentadas

Formulación	Dureza 1 (N)	Dureza 2 (N)	Cohesividad	Elasticidad (mm)	Masticabilidad (mJ)
A-48	102.94±13.30 ^A	91.10±11.27 ^A	0.51±0.05 ^A	8.89±0.47 ^A	470.14±12.5 ^A
B-10	76.94±5.97 ^A	68.09±4.63 ^A	0.46±0.05 ^A	10.05±1.20 ^A	389.38±10.12 ^A
C-30	87.87±7.65 ^A	70.65±5.66 ^A	0.46±0.05 ^A	9.53±9.54 ^A	388.30±11.5 ^A
Blanco*	10 ^B	8.4 ^B	0.81 ^B	0.98 ^B	12.06 ^B

*Fuente: Sacón, Rivadeneira, et al. (2016).

El análisis de medias se lo realizó con el programa InfoStat, en la Tabla 7 se muestran los valores de las medias calculadas mediante la prueba de Tukey en el cual se observa que no existen diferencias significativas, cabe recalcar que el análisis de textura se lo hizo incluyendo corteza.

3.1.4.1.1 Dureza

El primer ciclo de dureza representa la primera mordida, los valores entre las tres formulaciones presentadas en Tabla 8 no presentan diferencias significativas, en el segundo ciclo de dureza tampoco existen diferencias significativas, sin embargo; la dureza del pan 100 % harina de trigo posee valores de dureza bajos **Sacón, Rivadeneira, et al. (2016)**.

Por otra parte, la dureza de las formulaciones se debe a la sustitución pues la quinua y el frejol no contienen gluten, además, el almidón de la quinua posee una menor capacidad de retener agua (**Ceyhun Sezgin & Sanlier, 2019**), condición similar ocurre

con el almidón del frejol. Por otro lado, el alto porcentaje de fibra presente tanto en la quinua como en el frejol ayudan a una mayor densidad de la masa incrementando la dureza considerablemente.

3.1.4.1.2 Cohesividad

La cohesividad es la capacidad de mantener la estructura del pan ante la deformación mecánica, el valor de deformación presentado por **Verdú Amat et al. (2017)** en la muestra de pan de harina de trigo es de 0.81, valor mayor al obtenido en las tres formulaciones evaluadas, de tal manera que la cohesividad está estrechamente ligada a la ausencia de gluten, según **Fu & Yano (2020)** el gluten es la proteína la cual da elasticidad y flexibilidad a la masa y que junto con la gelatinización del almidón forman una red que ayuda a atrapar el CO₂ y posterior al horneado forman una estructura cohesiva con buenos alveolos gracias a la retención de gases (**Vargas & Simsek, 2021**).

3.1.4.1.3 Elasticidad

La elasticidad es la capacidad para recuperar su forma, de acuerdo con los valores obtenidos en Tabla 9 no existe diferencias estadísticamente significativas entre las tres formulaciones, sin embargo, el valor presentado por **Verdú Amat et al. (2017)** para el pan de trigo es bajo en comparación a los obtenidos, esto debido a la sustitución realizada **Cappelli et al. (2020)** explica que la baja elasticidad se puede deber a la reducción del gluten ya que esta proteína es la encargada de la dar la elasticidad característica del pan luego del horneado.

3.1.4.1.4 Masticabilidad

Los valores presentados en la Tabla 9, muestran los resultados de masticabilidad, los mismos que no presentan diferencia estadísticamente significativa entre las formulaciones presentadas, pero existe una amplia diferencia en relación con el valor de el pan de harina de trigo. **Ceyhun Sezgin & Sanlier (2019)** explica que los altos valores obtenidos de las tres formulaciones pueden deberse a la alta densidad que tuvo la miga, debido en gran parte a la fibra que poseían la mezcla de estas harinas.

Sacón, Rivadeneira, et al. (2016) explica que desde un punto de vista sensorial un alto valor en la masticabilidad significa mayor tiempo de deglución en la boca antes de tragarlo, el valor más alto es de la formulación A-48 lo que indica que esta formulación demoraría más tiempo en llegar al estómago.

3.1.4 Análisis proximales

Los análisis proximales se realizaron a la mejor formulación (A-48) obtenida mediante la aceptabilidad de los catadores

Tabla 10. Resultados del análisis proximal de la mejor formulación

Formulación	Proteína (%)	Grasa (%)	Cenizas (%)	Fibra D.T (%)	Humedad (%)	pH
A-48 (75%Q–25% F)	9.21	1.59	1.90	5.71	26.49	6.10

Tabla 11. Resultados del análisis proximal de pan de trigo

Formulación	Proteína (%)	Grasa (%)	Cenizas (%)	Fibra D.T (%)	Humedad (%)
Pan de trigo (100 %)	8.85	4.17	1.66	0.67	33.81

Fuente: Salazar (2015)

3.1.4.1 Proteína

Como se puede observar en Tabla 10 el valor obtenido de proteína en comparación con el valor obtenido en Tabla 11 en el pan de trigo es superior esto debido a la adición de harina de quinua y harina de frejol obteniéndose un aumento del 0.36 %. **Pathan & Siddiqui (2022)** explica que la aportación de proteína en la formulación se debe a algunos factores como la cantidad de nitrógeno que existió en el suelo al momento de cultivar la quinua, ya que si el contenido de nitrógeno es pobre en el suelo esto se verá reflejado en el contenido de proteína del fruto, además **Peralta (2009)** indica que en el Ecuador las mejores variedades de quinua se producen principalmente en la sierra norte debido al tipo de suelo y las condiciones climáticas favorables.

3.1.4.2 Grasa

Como se puede observar en Tabla 10 y Tabla 11 existe una diferencia de 2.58 % para el pan de trigo, esto se debe a que **Salazar (2015)** en la elaboración de la muestra control añadió materia grasa a su formulación lo cual se ve reflejado en la diferencia de grasa encontrada en la formulación A-48, además se presume que el porcentaje graso en la formulación A-48 se debe al contenido de ácidos grasos presentes en la quinua y frejol.

3.1.4.3 Ceniza

Los valores de ceniza que se observan en la formulación A-48 y en el pan de harina de trigo son diferentes; cabe recalcar que la formulación A-48 posee mayor cantidad de sustitución de quinua, por lo cual posee un porcentaje más alto que el entregado en Tabla 11 para el pan de trigo. **Peralta (2009)** explica que el porcentaje de cenizas ya sea bajo o alto en la harina de quinua está relacionado directamente con la calidad del suelo en el cual se lo ha cultivado.

3.1.4.5 Fibra

Como se observa en Tabla 10 y Tabla 11 el valor más alto de fibra lo posee la formulación A-48, debido a que en la fabricación del pan se utilizó harina integral de frejol y harina de quinua integral por lo cual se explica el aumento de la cantidad de fibra en dicha formulación, en comparación al valor presentado en el pan de trigo.

3.1.4.5 Humedad

Los valores de humedad en ambas formulaciones son cercanos. La humedad en el pan puede variar debido a factores como el tiempo de horneado, el método de almacenamiento, incluso el material del recipiente donde se almacena el producto (**Nur & Cut, 2019**).

3.1.4.6 pH

El valor de pH reportado en la formulación A-48 se encuentra cercano a los valores reportados en el estudio de **García-Ramón et al. (2022)** de panes elaborados con harina de quinua y almidón de papa.

CAPITULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Se logró obtener las harinas de quinua y frejol tomando en cuenta los parámetros mínimos presentados en normas INEN para quinua como de frejol, sin embargo; al no existir una norma para harina de frejol, como referencia se utilizó la norma NTE INEN 616, es importante que las harinas cumplan los requerimientos mínimos de humedad y pH, en el caso de que sobrepasen el valor máximo de permisibilidad podrían ocasionar un problema grave de contaminación bacteriana en cualquier producto que se desarrolle a partir de estas harinas.
- La formulación adecuada según los datos recabados por el análisis sensorial fue la A-48 (75 % H, quinua – 25 % H. frejol), la cual muestra una aceptabilidad del 80 % de las 15 personas encuestadas. Por otro lado, en el proceso de congelación, almacenamiento y descongelación se identificó que la congelación mediante IQF y el aumento de fibra son dos factores importantes dentro de la formulación del pan debido a que, la congelación IQF evita el daño de la estructura celular de las levaduras y de la red de gluten, y la fibra actúa como un protector de las células de la levadura, evitando que esta sufra daños durante la congelación y el almacenamiento, de igual manera ayuda a mantener y resguardar la estructura del gluten el cual es de suma importancia durante la etapa de leudado ya que ayuda a mantener el CO₂ producido por la

fermentación, como prueba de esto se observó un crecimiento adecuado del volumen de la masa.

- Dentro del análisis reológico de las harinas, se observó que dentro del índice de absorción de agua el Par aumentaba gracias a que las harinas de quinua y frejol no poseían gluten lo cual aumenta el valor del Par. De la misma manera se presume que el aumento del tiempo de amasado se debe a que se retiró un pequeño porcentaje de gluten el cual contiene gliadina y glutenina y se añadieron harinas sin contenido de gluten y sumado la resistencia del almidón de quinua al agua tardó un poco más de tiempo en formar la masa viscoelástica, gracias a la baja resistencia del almidón de frejol al agua el tiempo de amasado no fue mayor como se observaron en diferentes estudios con diferentes sustituciones de harinas. Así mismo se encontró que el tiempo de gelatinización de almidón en la mejor formulación fue el más bajo en comparación con las demás formulaciones, tomando en cuenta que esta formulación poseía mayor cantidad de harina de quinua que harina de frejol, esto se debe a que la temperatura de gelatinización del almidón de quinua es menor en comparación al frejol, por lo cual el valor no vario en gran cantidad con el perfil de harina de trigo panadera, además se ha encontrado que a mayor porcentaje de harina de frejol se reduce la actividad de la amilasa esto debido a que varias especies de frejol poseen inhibidores, finalmente se presume que el almidón de frejol es menos estable ante la retrogradación que el almidón de quinua esto debido a que la formulación con mayor cantidad de frejol arrojó un Par superior en comparación a la mejor formulación. Por otro lao dentro del análisis de textura se especula que la dureza 1 y 2 se encuentran dentro del perfil de un pan con sustitución de harinas vegetales o diferentes al trigo, además los valores de elasticidad las tres formulaciones se encontraban dentro del perfil de un pan de trigo sin embargo es necesario entender que al quitar una parte de harina de trigo las características de textura variarían poco o en gran medida.
- Gracias al análisis proximal presentado y a la comparación con otro estudio se llegó a la conclusión de que tanto la proteína y cenizas está condicionado al tipo de suelo en el cual se cultive, a pesar que en diversos estudios se ha experimentado con la siembra de quinua en suelos pobres, ácidos, alcalinos, arenosos y diversos tipos de suelos donde las condiciones no son favorables se

ha demostrado que la quinua es un cultivo resiliente que soporta cualquier condición tanto climáticas y demográficas sin embargo; la cantidad de proteína y ceniza será mucho menor cuando se cultive en suelos extremadamente pobres, de la misma manera si se lo cultiva en suelos con condiciones favorables el contenido de proteína y cenizas aumentará.

4.2 Recomendaciones

- Para futuras investigaciones en el campo del desarrollo de nuevos productos, se recomienda que se realicen análisis proximales a la variedad de las materias primas que se va a utilizar pues es importante conocer las características de la de la materia prima que se utilizarán con el fin de intuir como afectará en el producto final.
- Si se desea ampliar el área de investigación del tema planteado, se sugiere se enfatice en el análisis de la congelación, con el uso de crioprotectores en la formulación del pan, adicional a la fibra que ya poseen las harinas de quinua y frejol, además se realice pruebas con diferentes variedades de levaduras que puedan resistir de mejor manera el proceso de congelación.
- Se recomienda realizar experimentaciones con diferentes variedades de frejol tomando como punto de comparación la cantidad de proteína, calidad de almidón y la cantidad de fibra que poseen estos, además se pueden ir mezclando las variedades para buscar la mejor combinación.

MATERIALES DE REFERENCIA

Bibliografía

- Akamine, I. T., Mansoldo, F. R. P., & Vermelho, A. B. (2023). Probiotics in the Sourdough Bread Fermentation: Current Status. In *Fermentation* (Vol. 9, Issue 2). MDPI. <https://doi.org/10.3390/fermentation9020090>
- Alandia, G., Rodriguez, J. P., Jacobsen, S. E., Bazile, D., & Condori, B. (2020). Global expansion of quinoa and challenges for the Andean region. In *Global Food Security* (Vol. 26). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100429>

- Angeli, V., Silva, P. M., Massuela, D. C., Khan, M. W., Hamar, A., Khajehei, F., Graeff-Hönniger, S., & Piatti, C. (2020). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): An overview of the potentials of the “golden grain” and socio-economic and environmental aspects of its cultivation and marketization. *Foods*, 9(2). <https://doi.org/10.3390/foods9020216>
- AOAC 993.21. (2005). *Total Dietary Fiber in Foods and Food Products*. <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwizr-OTiNb6AhXfmIQIHfJ1DzEQFnoECACQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.researchgate.net%2Ffile.PostFileLoader.html%3Fid%3D540e0da3d11b8ba0598b46ac%26assetKey%3DAS%253A273595626917905%25401442241688494&usg=AOvVaw3EMhps7Y8SBj1KWmhLy9yP>
- Arias, A. C., Bobadilla, C. A. F., & Domínguez, C. M. Z. (2023). Cryoprotectants for Frozen Dough: A Review. In *Food Biophysics*. Springer. <https://doi.org/10.1007/s11483-023-09791-w>
- Arora, K., Ameer, H., Polo, A., Di Cagno, R., Rizzello, C. G., & Gobbetti, M. (2021). Thirty years of knowledge on sourdough fermentation: A systematic review. In *Trends in Food Science and Technology* (Vol. 108, pp. 71–83). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.12.008>
- Bilalis, D. J., Roussis, I., Kakabouki, I., & Folina, A. (2019). Quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.) crop under mediterranean conditions: A review. In *Ciencia e Investigacion Agraria* (Vol. 46, Issue 2, pp. 51–68). Pontificia Universidad Catolica de Chile, Facultad de Agronomia e Ingenieria Forestal. <https://doi.org/10.7764/rcia.v46i2.2151>
- Campos-Rodriguez, J., Acosta-Coral, K., & Paucar-Menacho, L. M. (2022). Quinoa (*Chenopodium quinoa*): Nutritional composition and bioactive compounds of grain and leaf, and impact of heat treatment and germination. In *Scientia Agropecuaria* (Vol. 13, Issue 3, pp. 209–220). Universidad Nacional de Trujillo. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2022.019>

- Canesin, M. R., & Cazarin, C. B. B. (2021). Nutritional quality and nutrient bioaccessibility in sourdough bread. In *Current Opinion in Food Science* (Vol. 40, pp. 81–86). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.02.007>
- Cappelli, A., Oliva, N., & Cini, E. (2020). A systematic review of gluten-free dough and bread: Dough rheology, bread characteristics, and improvement strategies. In *Applied Sciences (Switzerland)* (Vol. 10, Issue 18). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/APP10186559>
- Ceyhun Sezgin, A., & Sanlier, N. (2019). A new generation plant for the conventional cuisine: Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). In *Trends in Food Science and Technology* (Vol. 86, pp. 51–58). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.02.039>
- Chaves-Quesada, J., & Acosta-Montoya, O. (2023). Congelación isocórica: ventajas y oportunidades de investigación en la industria de alimentos. *Agronomía Mesoamericana*, 52879. <https://doi.org/10.15517/am.2023.52879>
- Correa, M. (2017). *Sustitución parcial de harina de trigo por harina de quinua (chenopodium quinoa willd) para elaboración de pan de molde*. [Universidad Técnica de Machala]. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/11159/1/CORREA%20EST%20UPI%20BEATRIZ%20MADELAINE.pdf>
- Dakhili, S., Abdolalizadeh, L., Hosseini, S. M., Shojaee-Aliabadi, S., & Mirmoghtadaie, L. (2019). Quinoa protein: Composition, structure and functional properties. In *Food Chemistry* (Vol. 299). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125161>
- De Vuyst, L., Comasio, A., & Kerrebroeck, S. Van. (2021). Sourdough production: fermentation strategies, microbial ecology, and use of non-flour ingredients. In *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1976100>
- El Hazzam, K., Hafsa, J., Sobeh, M., Mhada, M., Taourirte, M., Kacimi, K. E. L., & Yasri, A. (2020). An insight into saponins from Quinoa (*Chenopodium quinoa*

- Willd): A review. In *Molecules* (Vol. 25, Issue 5). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/molecules25051059>
- Flecha, M. (2021). *Procesos y técnicas de panificación* (1st ed.). LAROUSSE EDITORIAL, S. L.
- Freire, M. (2019). *Elaboración de panes con sustitución parcial de harina de trigo con fuentes alternativas de proteína*. Universitat Politècnica de Valencia.
- Fu, W., & Yano, H. (2020). Development of “new” bread and cheese. In *Processes* (Vol. 8, Issue 12, pp. 1–23). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/pr8121541>
- García-Ramón, F., Alvarez, H., Sotelo-Méndez, A., Gonzáles Huaman, T., Norabuena, E., Sarapura, E. Z., & Bustinza, L. S. (2022). Calidad nutricional, evaluación física, sensorial y biológica en panes convencionales y libres de gluten. *Nutr Clín Diet Hosp*, 42(1), 106–114. <https://doi.org/10.12873/421garcía>
- Giannou, V., Kessoglou, V., & Tzia, C. (2003). Quality and safety characteristics of bread made from frozen dough. In *Trends in Food Science and Technology* (Vol. 14, Issue 3, pp. 99–108). Elsevier Ltd. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(02\)00278-9](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(02)00278-9)
- González, A., Larios, X., & Velásquez, A. (2019). *Evaluación de sustitución parcial de harina de trigo por harina de frijoles Phaseolus vulgaris L. en la formulación de pasteles, a escala de laboratorio, en UNI RUACS, Estelí -Nicaragua*.
- Gutiérrez, A. F., & Mollinedo Portugal, P. (2022). Estudio genómico de la Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd): Técnicas de secuenciación e identificación genómica. Una revision. *REVISTA CON-CIENCIA*, 10(1), 67–84. <https://doi.org/10.53287/owrp5412ir44z>
- Hernández-Ledesma, B. (2019). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) as a source of nutrients and bioactive compounds: A review. In *Bioactive Compounds in Health and Disease* (Vol. 2, Issue 3, pp. 27–47). Functional Food Institute. <https://doi.org/10.31989/bchd.v2i3.556>

- Huamani, A., Ponce, J., & Málaga, J. (2020). Optimization of the quinoa cooking process using the 3k design and the desirability function: Degree of gelatinization, water absorption index, solubility index and cotyledon detachment. *Scientia Agropecuaria*, 11(3), 381–390. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.03.10>
- Hutkins, R. (2019). Bread. In *Microbiology and Technology of Fermented Foods* (Second, pp. 301–342). John Wiley & Sons, Inc.
- INIAP. (1994). *INIAP - 416 - CANARIO (Mejora del frejol)* (141).
- Jiménez, C., Tapia, P., & Molleda, R. (2022). Contenido de ácidos grasos, propiedades fisicoquímicas y actividad antioxidante de los aceites de *Chenopodium quinoa* Willd y *Amaranthus caudatus* extraídos por fluidos supercríticos. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 88(1), 39–51. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v88i1.374>
- Julia, C., & Manfugás, E. (2007). *Evaluación Sensorial de los Alimentos*.
- Koppmann, M. (2020). Masa madre: de la antigüedad a la modernidad. *Ciencia y Sociedad*, 29(172), 17–21. https://cienciahoy.org.ar/wp-content/uploads/Revista_172_Masa_madre.pdf
- Krishna Kumar, P., Rasco, B. A., Tang, J., & Sablani, S. S. (2020). State/Phase Transitions, Ice Recrystallization, and Quality Changes in Frozen Foods Subjected to Temperature Fluctuations. *Food Engineering*, 1–31. <https://doi.org/10.1007/s12393-020-09255-8/Published>
- Levy, A. A., & Feldman, M. (2022). Evolution and origin of bread wheat. In *Plant Cell* (Vol. 34, Issue 7, pp. 2549–2567). American Society of Plant Biologists. <https://doi.org/10.1093/plcell/koac130>
- Llomitoa, A., Chanaguano, P., Llomitoa, N., Luna, R., & Cunuhay, F. (2020). Producción de frejol canario de mata (*Phaseolus vulgaris*) con tres diferentes dosis de fertilizantes orgánicos en el recinto Pilancón. *Nexo Agropecuario*, 8, 36–39.

- Magalhães, F., Calton, A., Heiniö, R. L., & Gibson, B. (2021). Frozen-dough baking potential of psychrotolerant *Saccharomyces* species and derived hybrids. *Food Microbiology*, 94. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2020.103640>
- Miransari, M., & Smith, D. (2019). Sustainable wheat (*Triticum aestivum* L.) production in saline fields: a review. In *Critical Reviews in Biotechnology* (Vol. 39, Issue 8, pp. 999–1014). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/07388551.2019.1654973>
- Naranjo, D. B. (2017). *Evaluación tecnológica de la harina de quinua (Quenopodium quinoa) variedad piartal como espesante alimentario obtenida bajo diferentes condiciones de proceso* [Universidad de la Salle]. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_alimentosCitaciónrecomendadaCitaciónrecomendadaBermúdezNaranjo,D.
- Navarro, B., Lorena, S., López, L., & Jamaly, X. (2019). Evaluación de sustitución parcial de harina de trigo por harina de frijol (*Phaseolus vulgaris* L) en la formulación de tortas. *El Higo*, 9.
- NTE INEN 95. (2012). *Pan común. Requisitos*.
- NTE INEN 519. (1980). *Harinas de origen vegetal. Determinación de proteína*. <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/519.pdf>
- NTE INEN 520. (1980). *Harinas de origen vegetal. Determinación de la ceniza*. <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/520.pdf>
- NTE INEN 523. (1980). *Harinas de origen vegetal. Determinación de grasa*. <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/523.pdf>
- NTE INEN 616. (2006). *Harina de trigo. Requisitos*.
- NTE INEN 1561. (1987). *Granos y cereales. Frejol en grano requisitos*. <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/1561.pdf>
- NTE INEN 3042. (2015). *Harina de quinua. Requisitos*.

- Nur, B., & Cut, N. (2019). A review: Advanced in frozen dough improver technology of bread. *Agriovet, 1*, 3–15.
- Omedi, J. O., Huang, W., Zhang, B., Li, Z., & Zheng, J. (2019). Advances in present-day frozen dough technology and its improver and novel biotech ingredients development trends—A review. In *Cereal Chemistry* (Vol. 96, Issue 1, pp. 34–56). Wiley-Blackwell. <https://doi.org/10.1002/cche.10122>
- Pathan, S., & Siddiqui, R. A. (2022). Nutritional Composition and Bioactive Components in Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Greens: A Review. In *Nutrients* (Vol. 14, Issue 3). MDPI. <https://doi.org/10.3390/nu14030558>
- Peralta, E. (2009). *La quinua en Ecuador*.
- Rodríguez, M. (2012). *Extracción y purificación del inhibidor de α -amilasa de diferentes variedades mejoradas de frijol (*Phaseolus vulgaris*) y su efecto in vivo*. Universidad Autónoma de Queretaro.
- Rosell, C. M., & Gómez, M. (2007). Frozen dough and partially baked bread: An update. *Food Reviews International, 23*(3), 303–319. <https://doi.org/10.1080/87559120701418368>
- Różyło, R., Schönlechner, R., Pichler, E. C., Dziki, D., Matwijczuk, A., Biernacka, B., & Świeca, M. (2023). Innovative high-fiber wheat bread fortified with micronized oat and *Plantago ovata* husks: Spectroscopic and physicochemical characteristics. *Food Chemistry, 428*, 136782. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136782>
- Sacón, E., Bernal, I., Dueñas, A., Cobeña, G., & López, N. (2016). Reología de mezclas de harinas de camote y trigo para elaborar pan. *Tecnología Química, XXXVI*(3), 457.
- Sacón, E., Rivadeneira, G., Dueñas, A., Alcívar, U., Zambrano, J., & López, N. (2016). Evaluación de las propiedades elásticas y mecánicas de una masas de pan con sustitución de harina de camote (*Ipomoea Batata*). *Centro Azúcar, 43*, 45–48. <http://centroazucar.uclv.edu.cu>

- Salazar, D. (2015). *Estudio de la sustitución parcial de harina de trigo con harina de quinua cruda y tostada en la elaboración de pan*. Universidad Tecnológica Equinoccial.
- Salehi, F. (2020). Effect of common and new gums on the quality, physical, and textural properties of bakery products: A review. In *Journal of Texture Studies* (Vol. 51, Issue 2, pp. 361–370). Blackwell Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12482>
- Sánchez, D., Santacruz, S., Aguayo, D., Revilla, K., Carrillo, M., & Aldas, J. (2023). Caracterización fisicoquímica de fréjol canario (*Vigna unguiculata*) y chocho guaranguito (*Lupinus mutabilis*) y su incidencia en la funcionalidad de harinas. *Bases de La Ciencia*, 8(1), 38–50. <https://doi.org/10.33936/revbasdelaciencia.v8i1.5452>
- Shewry, P. R., America, A. H. P., Lovegrove, A., Wood, A. J., Plummer, A., Evans, J., van den Broeck, H. C., Gilissen, L., Mumm, R., Ward, J. L., Proos, Z., Kuiper, P., Longin, C. F. H., Andersson, A. A. M., Philip van Straaten, J., Jonkers, D., & Brouns, F. (2022). Comparative compositions of metabolites and dietary fibre components in doughs and breads produced from bread wheat, emmer and spelt and using yeast and sourdough processes. *Food Chemistry*, 374. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131710>
- Shu, Q., Wei, T., Liu, X., Liu, S., & Chen, Q. (2022). The dough-strengthening and spore-sterilizing effects of mannosylerythritol lipid-A in frozen dough and its application in bread making. *Food Chemistry*, 369. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131011>
- Suo, B., Chen, X., & Wang, Y. (2021). Recent research advances of lactic acid bacteria in sourdough: Origin, diversity, and function. In *Current Opinion in Food Science* (Vol. 37, pp. 66–75). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.09.007>
- Tiga, B. H., Kumcuoglu, S., Vatansever, M., & Tavman, S. (2021). Thermal and pasting properties of Quinoa—Wheat flour blends and their effects on production

of extruded instant noodles. *Journal of Cereal Science*, 97.
<https://doi.org/10.1016/j.jcs.2020.103120>

Ulloa, J. A., Rosas-Ulloa, P., Carmen Ramírez-Ramírez, J., Ulloa-Rangel, B. E., & Para, A. (2016). Mathematical modeling of hydration kinetics at different temperatures of four bean (*Phaseolus vulgaris* L) varieties produced in Mexico. *Ciencia UAT*, 52–62.
<http://bancoidegermoplasma.catie.ac.cr/img/fabaceae/phaseolus-vulgaris-banner.jpg>

Umaña, E. (2019). *Conservación de alimentos por frío* (1st ed., Vol. 1).

Vargas, M. C. A., & Simsek, S. (2021). Clean label in bread. In *Foods* (Vol. 10, Issue 9). MDPI. <https://doi.org/10.3390/foods10092054>

Verdú Amat, F., Islas Rubio, S., Barat Baviera, A. R., Grau Meló, J. M., & Casillas Peñuelas, R. (2017). Efecto de la sustitución de harina de trigo con harina de avena, maíz, y sorgo sobre las propiedades reológicas de la masa, texturales y sensoriales del pan. *Investigación y Ciencia*.

Villar, N. (2021). *Propiedades físicas, funcionales y químicas de la harina ibtenida a partir de semillas de quinua*. Universitat Politècnica de Valencia.

Wieser, H., Koehler, P., & Scherf, K. A. (2020). The Two Faces of Wheat. In *Frontiers in Nutrition* (Vol. 7). Frontiers Media S.A.
<https://doi.org/10.3389/fnut.2020.517313>

Wu, T., Sheng, Y. N., Tian, Y., Yu, M., Bai, L., & Wang, C. Y. (2023). Exploring the effect of boiling processing on the metabolic components of black beans through in vitro simulated digestion. *LWT*, 184.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114987>

Xu, J., Selling, G. W., & Liu, S. X. (2023). Effect of jet-cooking on rheological properties of navy bean flour suspensions. *Food Chemistry Advances*, 2.
<https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100316>

Yarza, I. (2022). *Pan casero* (A. Olivera & L. Barrio, Eds.; 4th ed., Vol. 1). LAROUSSE EDITORIAL, S. L. https://www.larousse.es/primer_capitulo/pan-casero.pdf

Zhu, Z., Zhou, Q., & Sun, D. W. (2019). Measuring and controlling ice crystallization in frozen foods: A review of recent developments. In *Trends in Food Science and Technology* (Vol. 90, pp. 13–25). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.05.012>

ANEXOS

Anexo 1. Proceso de elaboración de las masas



Figura 1. Elaboración de las tres formulaciones de masas



Figura 2. Masas congeladas en IQF



Figura 3. Masas de las tres formulaciones después de la descongelación



Figura 4. Masas de las tres formulaciones después del leudado



Figura 5. Panes horneados

Anexo 2. Análisis de calidad de las formulaciones



Figura 6. Análisis de textura