

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AGROINDUSTRIAL**



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

**“Fibra dietaria, polifenoles y aceptabilidad sensorial y
tecnológica en pan de molde con harina de ñuña y mashua”**

Tesis para optar el título profesional de ingeniero agroindustrial

Autores:

Bach. Castillo Moreno, Marco Aurelio

Bach. Alvarado Trejo, Luis Alberto

Asesor:

Dr. Moreno Rojo, Cesar

D.N.I. N° 32907242

Código ORCID: 0000-0002-7143-4450

Nuevo Chimbote – Perú

2025

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL**



CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR

La presente tesis para Titulo has sido revisada y desarrollada en cumplimiento del objetivo propuesto y reúne las condiciones formales y metodológicas, estando en cuadro dentro de las áreas y líneas de investigación conforme al reglamento general para obtener el Titulo Profesional en la Universidad Nacional del Santa de acuerdo a la denominación siguiente:

**TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO
AGROINDUSTRIAL**

**“FIBRA DIETARIA POLIFENOLES Y ACEPTABILIDAD SENSORIAL Y
TECNOLOGICA EN PAN DE MOLDE CON HARINA DE ÑUÑA Y MASHUA “**

Autores:

**Bach. Alvarado Trejo Luis Alberto
Bach. Castillo Moreno Marco Aurelio**

**Dr. Cesar Moreno Rojo
N°DNI: 32907242
Código ORCID:0000-0002-7143-4450**

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDRUSTRIAL



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

ACTA DE CONFORMACION DEL JURADO

El presente trabajo de tesis titulado “FIBRA DIETARIA POLIFENOLES Y ACEPTABILIDAD SENSORIAL Y TECNOLOGICA EN PAN DE MOLDE CON HARINA DE ÑUÑA Y MASHUA “ para obtener el título profesional de Ingeniero Agroindustrial, presentado por los bachilleres: Alvarado Trejo Luis Alberto, con código de matrícula N° 0200112015 y Castillo Moreno Marco Aurelio, con código de matrícula N° 0200112029 , que tienen como asesor al docente Dr. Cesar Moreno Rojo designado por resolución N° 801-2023-UNS-FI.Ha sido revisado y aprobado el día 11 de abril del 2025 por el siguiente jurado evaluador designado mediante la resolución N° 425-2024-UNS-CFI Revisado y evaluado por el siguiente jurado evaluador.

Ms. Saul Eusebio Lara
Presidente
DNI: 323854604
Código ORCID:0000-0001-6875-240X

Dr. Cesar Moreno Rojo
Secretario
DNI:32907242
Código ORCID:0000-0002-7143-4450

Dr. Daniel Sánchez Vaca
Integrante
DNI:18146173
Código ORCID:0000-0003-4326-1852

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las 10:00 horas del día once de abril del año dos mil veinticinco, se instalaron en el laboratorio de química inorgánica, el Jurado Evaluador, designado mediante T/Resolución N°080-2025-UNS-CFI integrado por los docentes:

- Ms. Saúl Eusebio Lara (Presidente)
- Dr. Cesar Moreno Rojo (Secretario)
- Dr. Daniel Sánchez Vaca (Integrante)

Para dar inicio a la Sustentación del Informe Final de Tesis titulado: **FIBRA DIETARIA POLIFENOLAS Y ACEPTABILIDAD SENSORIAL Y TECNOLÓGICA EN PAN DE MOLDE CON HARINA DE ÑUÑA Y MASHUA**, elaborado por los Bachilleres en Ingeniería Agroindustrial:

- ALVARADO TREJO LUIS ALBERTO
- CASTILLO MORENO MARCO AURELIO

Asimismo, tienen como Asesor al docente: **Dr. Cesar Moreno Rojo**

Finalizada la sustentación, el Tesista respondió las preguntas formuladas por los miembros del Jurado Evaluador. El Jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Artículo 103° del Reglamento de Grados y títulos de la Universidad Nacional del Santa, declaran:

NOMBRES Y APELLIDOS	NOTA VIGESIMAL	CONDICIÓN
LUIS ALBERTO ALVARADO TREJO	19	EXCELENTE

Siendo las 12:30 horas del mismo día, se dio por terminada dicha sustentación, firmando en señal de conformidad el Jurado Evaluador.

Nuevo Chimbote, 11 de abril del 2025


Ms. Saúl Marco Eusebio Lara
Presidente


Dr. Cesar Moreno Rojo
Secretario


Dr. Daniel Sánchez Vaca
Integrante

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las 10:00 horas del día once de abril del año dos mil veinticinco, se instalaron en el laboratorio de química inorgánica, el Jurado Evaluador, designado mediante T/Resolución N°080-2025-UNS-CFI integrado por los docentes:

- Ms. Saúl Eusebio Lara (Presidente)
- Dr. Cesar Moreno Rojo (Secretario)
- Dr. Daniel Sánchez Vaca (Integrante)

Para dar inicio a la Sustentación del Informe Final de Tesis titulado: **FIBRA DIETARIA POLIFENOLES Y ACEPTABILIDAD SENSORIAL Y TECNOLÓGICA EN PAN DE MOLDE CON HARINA DE ÑUÑA Y MASHUA**, elaborado por los Bachilleres en Ingeniería Agroindustrial:

- ALVARADO TREJO LUIS ALBERTO
- CASTILLO MORENO MARCO AURELIO

Asimismo, tienen como Asesor al docente: **Dr. Cesar Moreno Rojo**

Finalizada la sustentación, el Tesista respondió las preguntas formuladas por los miembros del Jurado Evaluador. El Jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Artículo 103° del Reglamento de Grados y títulos de la Universidad Nacional del Santa, declaran:

NOMBRES Y APELLIDOS	NOTA VIGESIMAL	CONDICIÓN
MARCO AURELIO, CASTILLO MORENO	49	EXCELENTE

Siendo las 12:30 horas del mismo día, se dio por terminada dicha sustentación, firmando en señal de conformidad el Jurado Evaluador.

Nuevo Chimbote, 11 de abril del 2025


Ms. Saúl Marco Eusebio Lara
Presidente


Dr. Cesar Moreno Rojo
Secretario


Dr. Daniel Sánchez Vaca
Integrante



Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: MARCO CASTILLO MORENO
Título del ejercicio: INFORME FINAL-PAN DE MOLDE-CASTILLO MORENO
Título de la entrega: Informe final- Castillo Moreno
Nombre del archivo: Informe_final-Pan_de_Molde_-_ñuña_y_mashua_-Castillo_y_Alv...
Tamaño del archivo: 3.31M
Total páginas: 117
Total de palabras: 21,830
Total de caracteres: 115,450
Fecha de entrega: 14-mar.-2025 11:25p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega: 2615111272

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AGROINDUSTRIAL



"FIBRA DIETARIA, POLIFENOLES Y ACEPTABILIDAD
SENSORIAL Y TECNOLÓGICA EN PAN DE MOLDE CON
HARINA DE ÑUÑA Y MASHUA"

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial

Autores:

Bach. CASTILLO MORENO, Marco Aurelio

Bach. ALVARADO TREJO, Luis Alberto

Asesor:

Dr. CESAR MORENO ROJO

D.N.I. N° 32907242

Código ORCID: 0000-0002-7143-4450

Nuevo Chimbote - Perú

2025

DEDICATORIA

Informe final- Castillo Moreno

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.uns.edu.pe Fuente de Internet	11%
2	repositorio.undac.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	repositorio.umsa.bo Fuente de Internet	1%

Excluir citas Activo Excluir coincidencias < 1%
Excluir bibliografía Activo

DEDICATORIA

A DIOS.

Por haberme dado la vida, guiar mis pasos y estar siempre a mi lado en todo momento de mi vida.

Por permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mis padres: SEFERINO Y PRUDENCIA.

Por su esfuerzo, dedicación y abnegación que han hecho de mí una persona de buenos sentimientos, hábitos y valores, lo cual me ha ayudado a salir adelante buscando siempre el mejor camino. Por todo su amor, comprensión y consejos impartidos.

A mis hermanos: KARINA Y ANTONY.

Por estar siempre presentes en cada momento para demostrarme su cariño y que el amor que nos tenemos siempre nos unirá.

A mi esposa: ROCIO.

Por brindarme su amor, cariño, comprensión y apoyo incondicional en todo momento.

Por su motivación y ayuda prestada para lograr cumplir las metas establecidas en el transcurso de nuestra vida juntos. Te Amo.

A mis pequeñas hijas: ALEXANDRA Y ARIANA.

Por ser los motores de mi vida, quienes me da fuerzas de superación y las más grandes alegrías.

Por ser la razón para seguir adelante y ser mejor cada día.

Las quiero mucho.

Alvarado Trejo, Luis Alberto

DEDICATORIA

A DIOS.

Por haberme dado la vida, guiar mis pasos y estar siempre a mi lado en todo momento de mi vida.

Por permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mis padres: ISAIS CASTILLO Y JULIA MORENO.

Por su esfuerzo, dedicación y abnegación que han hecho de mí una persona de buenos sentimientos, hábitos y valores, lo cual me ha ayudado a salir adelante buscando siempre el mejor camino. Por todo su amor, comprensión y consejos impartidos.

A mi hermana: EUGENIA

Por estar siempre presentes en cada momento para demostrarme su cariño y que el amor que nos tenemos siempre nos unirá.

A mi esposa: EDITA MARTINEZ.

Por brindarme su amor, cariño, comprensión y apoyo incondicional en todo momento.

Por su motivación y ayuda prestada para lograr cumplir las metas establecidas en el transcurso de nuestra vida juntos. Te Amo.

A mis pequeñas hijos: MARCO, TIAGO Y DAVID.

Por ser los motores de mi vida, quienes me dan fuerzas de superación y las más grandes alegrías.

Por ser la razón para seguir adelante y ser mejor cada día. Las quiero mucho.

Castillo Moreno, Marco Aurelio

AGRADECIMIENTO

De manera muy especial a nuestra alma mater la Universidad Nacional del Santa, Escuela Académico Profesional de INGENIERIA AGROINDUSTRIAL y toda su plana docente, por acogernos y brindarnos una enseñanza de calidad para la innovación y la mejora continua, por cada momento inolvidable y entrañable que vivimos en sus aulas, a los docentes, capaces de tocar nuestras vidas con sus enseñanzas que van más allá del tiempo y perdurarán por siempre en nosotros.

A la institución y personas que colaboraron y contribuyeron en la realización de la presente tesis, como, la planta piloto Agroindustrial, los ingenieros y técnicos que laboran en los diferentes laboratorios de investigación por toda la disposición y apoyo brindados, que fueron de invaluable importancia para la realización y culminación del presente estudio.

A nuestro asesor el Dr. Cesar Moreno Rojo, que supo orientarnos adecuadamente en el desarrollo de este informe final.

Marco Aurelio y Luis Alberto

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCION	15
II.	MARCO TEORICO	23
2.1	Antecedentes	23
2.2	Marco Conceptual	23
2.2.1	Ñuña.....	23
2.2.2	Mashua.....	25
2.2.3	Harina de trigo	27
2.2.4	Harina	27
2.2.5	Aceite de girasol.	28
2.2.6	Pan de molde.....	28
2.2.7	Aceptabilidad sensorial: Evaluación subjetiva que hacen los seres humanos sobre la calidad y el grado de satisfacción que experimentan al percibir los atributos sensoriales de un producto a través de sus sentidos, como la vista, el olfato, el gusto, el tacto y, en algunos casos, el oído.....	29
III.	MATERIALES Y METODOS	30
3.1.	Lugar de ejecución	30
3.2.	Materia prima e insumos.....	30
3.2.1.	Materia prima.....	30
3.2.2.	Insumos.....	30
3.3.	Equipos, materiales y reactivos	31
3.3.1.	Equipos	31
3.3.2.	Materiales.....	31
3.3.3.	Reactivos.....	31
3.4.	Metodología	32
3.4.1.	Proceso de obtención de harina de Mashua y Ñuña.....	34
3.4.2.	Descripción del proceso de elaboración de pan de molde	34

3.5.	Diseño Experimental	34
3.5.1.	Variables	35
3.5.2.	Diseño estadístico	35
3.5.3.	Análisis estadístico.....	36
3.5.4.	Población, muestra y muestreo	36
3.5.5.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad	37
3.5.6.	Elección de la formulación optima	41
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	42
4.1.	Determinación de la composición química proximal de las harinas de trigo, mashua y ñuña.	42
4.1.1.	Harina de trigo	42
4.1.2.	Harina de Mashua	43
4.1.3.	Harina de Ñuña	43
4.2.	Volumen específico.....	45
4.3.	Luminosidad.....	49
4.4.	Textura Instrumental	53
4.5.	Proteína	56
4.6.	Fibra dietética total.....	60
4.7.	Fosforo	60
4.8.	Calcio	68
4.9.	Hierro	72
4.10.	Potasio	76
4.11.	Magnesio	80
4.12.	Zinc.....	84
4.13.	Polifenoles totales.....	88
4.14.	Capacidad Antioxidante.....	92
4.15.	Color.....	96

4.16.	Olor.....	99
4.17.	Sabor.....	102
4.18.	Textura.....	105
4.19.	Intención de compra	108
V.	Referencia bibliográfica	117
VI.	Anexo.....	128

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Variedades de ñuña</i>	23
Figura 2 <i>Variedades de mashua</i>	25
Figura 3 <i>Diseño experimental para la evaluación del pan de molde</i>	33
Figura 4 <i>Diagrama de paleta del volumen específico del pan de molde</i>	46
Figura 5 <i>Superficie de respuesta del volumen específico del pan de molde</i>	48
Figura 6 <i>Diagrama de paleta de la luminosidad del pan de molde</i>	50
Figura 7 <i>Superficie de respuesta de la luminosidad del pan de molde</i>	52
Figura 8 <i>Diagrama de paleta de la dureza del pan de molde</i>	54
Figura 9 <i>Diagrama de paleta del contenido de proteína del pan de molde</i>	57
Figura 10 <i>Superficie de respuesta del contenido de proteína del pan de molde</i>	59
Figura 11 <i>Diagrama de paleta del contenido de fibra dietética total del pan de molde</i>	61
Figura 12 <i>Superficie de respuesta del contenido de fibra dietética total del pan de molde</i>	63
Figura 13 <i>Diagrama de paleta del contenido de fósforo del pan de molde</i>	65
Figura 14 <i>Superficie de respuesta del contenido de fósforo del pan de molde</i>	67
Figura 15 <i>Diagrama de paleta del contenido de calcio del pan de molde</i>	69
Figura 16 <i>Superficie de respuesta del contenido de calcio del pan de molde</i>	71
Figura 17 <i>Diagrama de paleta del contenido de hierro del pan de molde</i>	73
Figura 18 <i>Superficie de respuesta del contenido de hierro del pan de molde</i>	75
Figura 19 <i>Diagrama de paleta del contenido de potasio del pan de molde</i>	77
Figura 20 <i>Superficie de respuesta del contenido de potasio del pan de molde</i>	79
Figura 21 <i>Diagrama de paleta del contenido de magnesio del pan de molde</i>	81
Figura 22 <i>Superficie de respuesta del contenido de magnesio del pan de molde</i>	83
Figura 23 <i>Diagrama de paleta del contenido de zinc del pan de molde</i>	85
Figura 24 <i>Superficie de respuesta del contenido de zinc del pan de molde</i>	87
Figura 25 <i>Diagrama de paleta de los polifenoles totales del pan de molde</i>	89
Figura 26 <i>Superficie de respuesta de los polifenoles totales del pan de molde</i>	91
Figura 27 <i>Diagrama de paleta de la capacidad antioxidante del pan de molde</i>	93
Figura 28 <i>Superficie de respuesta de la capacidad antioxidante del pan de molde</i>	95
Figura 29 <i>Diagrama de paleta del color sensorial del pan de molde</i>	97
Figura 30 <i>Diagrama de paleta del olor sensorial del pan de molde</i>	100
Figura 31 <i>Diagrama de paleta del sabor sensorial del pan de molde</i>	103

Figura 32 <i>Diagrama de paleto de la textura sensorial del pan de molde</i>	106
Figura 33 <i>Diagrama de paleto de la intención de compra del pan de molde</i>	109
Figura 34 <i>Superficie de respuesta de la intención de compra del pan de molde</i>	111

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Clasificación taxonómica de la ñuña</i>	24
Tabla 2 <i>Composición química de la ñuña</i>	24
Tabla 3 <i>Clasificación taxonómica de la mashua</i>	26
Tabla 4 <i>Composición química de la parte comestible de mashua</i>	26
Tabla 5 <i>Composición química por 100g de harina de trigo</i>	27
Tabla 6 <i>Composición química del pan de molde común</i>	29
Tabla 7 <i>Niveles de las Variables Independientes</i>	35
Tabla 8 <i>Valores codificados y valores reales del diseño experimental (DCCR) 2²</i>	36
Tabla 9 <i>Composición fisicoquímica de la harina de trigo (100g en base seca)</i>	42
Tabla 10 <i>Composición química harina de ñuña en 100 gr</i>	43
Tabla 11 <i>Composición química harina de Mashua en 100 g</i>	44
Tabla 12 <i>Análisis del Volumen específico en pan de molde</i>	45
Tabla 13 <i>Análisis de ANOVA del volumen específico del pan de molde</i>	47
Tabla 14 <i>Análisis del Luminosidad en pan de molde</i>	49
Tabla 15 <i>Análisis de ANOVA de la luminosidad del pan de molde</i>	51
Tabla 16 <i>Análisis de la dureza en pan de molde</i>	53
Tabla 17 <i>Análisis de ANOVA de la dureza del pan de molde</i>	55
Tabla 18 <i>Análisis del contenido de proteína en pan de molde</i>	56
Tabla 19 <i>Análisis de ANOVA del contenido de proteína del pan de molde</i>	58
Tabla 20 <i>Análisis del contenido de fibra dietética total en pan de molde</i>	60
Tabla 21 <i>Análisis de ANOVA del contenido de fibra dietética total del pan de molde</i>	62
Tabla 22 <i>Análisis del contenido de fosforo en pan de molde</i>	64
Tabla 23 <i>Análisis de ANOVA del contenido de fosforo del pan de molde</i>	66
Tabla 24 <i>Análisis del contenido de calcio en pan de molde</i>	68
Tabla 25 <i>Análisis de ANOVA del contenido de calcio del pan de molde</i>	70
Tabla 26 <i>Análisis del contenido de hierro en pan de molde</i>	72
Tabla 27 <i>Análisis de ANOVA del contenido de hierro del pan de molde</i>	74
Tabla 28 <i>Análisis del contenido de potasio en pan de molde</i>	76
Tabla 29 <i>Análisis de ANOVA del contenido de potasio del pan de molde</i>	78
Tabla 30 <i>Análisis del contenido de magnesio en pan de molde</i>	80
Tabla 31 <i>Análisis de ANOVA del contenido de magnesio del pan de molde</i>	82
Tabla 32 <i>Análisis del contenido de zinc en pan de molde</i>	84

Tabla 33 <i>Análisis de ANOVA del contenido de zinc del pan de molde.....</i>	86
Tabla 34 <i>Análisis de los polifenoles totales en pan de molde.....</i>	88
Tabla 35 <i>Análisis de ANOVA de los polifenoles totales del pan de molde.....</i>	90
Tabla 36 <i>Análisis de la capacidad antioxidante en pan de molde.....</i>	92
Tabla 37 <i>Análisis de ANOVA de la capacidad antioxidante del pan de molde.....</i>	94
Tabla 38 <i>Análisis del color sensorial en pan de molde</i>	96
Tabla 39 <i>Análisis de ANOVA del color sensorial del pan de molde</i>	98
Tabla 40 <i>Análisis del olor sensorial en pan de molde</i>	99
Tabla 41 <i>Análisis de ANOVA del olor sensorial del pan de molde</i>	101
Tabla 42 <i>Análisis del sabor sensorial en pan de molde.....</i>	102
Tabla 43 <i>Análisis de ANOVA del sabor sensorial del pan de molde.....</i>	104
Tabla 44 <i>Análisis de la textura sensorial en pan de molde.</i>	105
Tabla 45 <i>Análisis de ANOVA de la textura sensorial del pan de molde.....</i>	107
Tabla 46 <i>Análisis de la intención de compra en pan de molde</i>	108
Tabla 47 <i>Análisis de ANOVA de la intención de compra del pan de molde.....</i>	110
Tabla 48 <i>Criterios de deseabilidad para optimización de respuesta múltiple</i>	112
Tabla 49 <i>Parámetros seleccionados para el método de optimización de deseabilidad, formulaciones óptimas de pan de molde con valor de deseabilidad óptimo.</i>	113
Tabla 50 <i>Composición nutricional del pan de molde optimo</i>	114

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1 <i>Formulación base para la elaboración de pan de molde</i>	128
Anexo 2 <i>Formulaciones del diseño experimental para la elaboración de pan de molde – Por un kilo de harina</i>	129
Anexo 3 <i>Escala hedónica de 5 puntos utilizada para la evaluación sensorial de sabor, color, olor y textura del pan de molde</i>	130
Anexo 4 <i>Escala hedónica de 5 puntos para evaluar la intención de compra del pan de molde.</i>	130
Anexo 5 <i>Ficha de evaluación sensorial del pan de molde</i>	131
Anexo 6 <i>Diagrama de flujo para la obtención de harina de Mashua.</i>	132
Anexo 7 <i>Diagrama de flujo para la obtención de harina de Ñuña</i>	133
Anexo 8 <i>Diagrama de flujo para la elaboración de pan de molde</i>	134

RESUMEN

Esta investigación se centró en optimizar la formulación del pan de molde mediante la sustitución parcial de harina de trigo por harina de ñuña y mashua, con el propósito de evaluar su impacto en las propiedades fisicoquímicas, funcionales y sensoriales del producto. Se empleó un diseño experimental DCCR2², estableciendo niveles de sustitución entre 1-3% para la harina de ñuña y 1-5% para la harina de mashua, resultando en 11 formulaciones diferentes. La metodología de superficie de respuesta permitió analizar las variables dependientes y determinar cuáles presentaban un efecto significativo ($R^2 > 0.70$ y $p < 0.05$).

Los resultados mostraron que la incorporación de estas harinas mejoró el perfil nutricional del pan, aumentando el contenido de proteína, fibra dietética, minerales (calcio, fósforo, hierro, potasio, sodio y zinc) y polifenoles totales. La formulación óptima (F8), con 2% de harina de ñuña y 5% de harina de mashua, destacó por sus altos valores nutricionales, alcanzando 12.10 % de proteína, 2.78 % de fibra dietética total, 124 mg/100g de fosforo, 17,74 mg/100g de calcio, 22,78 mg/100g de hierro, 23.20 mg/100g de potasio 8 mg/100g de magnesio, 18.91 mg/100g de zinc, 2.00 mg AGE/g de polifenoles totales y 8,61 umol TE/g de capacidad antioxidante.

Desde la perspectiva sensorial, se evidenció que la harina de mashua influyó en la aceptación del producto y en la intención de compra. La formulación F9 obtuvo un 88% de intención de compra, reflejando una alta preferencia por parte de los consumidores.

En conclusión, el uso combinado de harina de mashua y ñuña permite la elaboración de un pan de molde con características funcionales y nutricionales mejoradas, ofreciendo una alternativa innovadora en el sector de panificación saludable.

Palabras claves: Leguminosas, tubérculos, antioxidantes, panificación, compuestos bioactivos, desarrollo de productos saludables.

ABSTRACT

This research focused on optimizing the formulation of sandwich bread by partially replacing wheat flour with ñuña and mashua flour to evaluate its impact on the physicochemical, functional, and sensory properties of the product. A DCCR² experimental design was employed, establishing substitution levels between 1-3% for ñuña flour and 1-5% for mashua flour, resulting in 11 different formulations. The response surface methodology allowed for the analysis of dependent variables and the determination of which had a significant effect ($R^2 > 0.70$ and $p < 0.05$).

The results showed that the incorporation of these flours improved the nutritional profile of the bread, increasing protein content, dietary fiber, minerals (calcium, phosphorus, iron, potassium, sodium, and zinc), and total polyphenols. The optimal formulation (F8), with 2% ñuña flour and 5% mashua flour, stood out for its high nutritional values, reaching 12.10% protein, 2.78% total dietary fiber, 124 mg/100g phosphorus, 17.74 mg/100g calcium, 22.78 mg/100g iron, 23.20 mg/100g potassium, 8 mg/100g magnesium, 18.91 mg/100g zinc, 2.00 mg AGE/g total polyphenols, and 8.61 $\mu\text{mol TE/g}$ antioxidant capacity.

From a sensory perspective, it was observed that mashua flour influenced product acceptance and purchase intention. Formulation F8 achieved an 89% purchase intention, reflecting a high preference among consumers.

In conclusion, the combined use of mashua and ñuña flour enables the production of sandwich bread with improved functional and nutritional characteristics, offering an innovative alternative in the healthy baking sector.

Keywords: Legumes, tubers, antioxidants, baking, bioactive compounds, healthy product development.

I. INTRODUCCION

En la actualidad, uno de los problemas que atraviesa el Perú, con respecto a la alimentación, es la desnutrición y anemia en niños menores de 5 años y gestantes. Si bien el porcentaje de niños que sufren de desnutrición crónica ha tenido una disminución importante desde el año 2012 hasta el día hoy, los últimos años las variaciones no han sido significativas llegando a variar solo 1.4% del año 2016 (12.9) hasta el año 2021 (11.5%) (ComexPerú, 2022).

Es esencial comprender que la nutrición de los niños durante sus primeros cinco años de vida es de vital importancia, ya que los nutrientes que reciben en esta etapa crucial contribuyen al desarrollo de su capacidad cognitiva. Esta capacidad influirá en sus habilidades, en la manera en que se desenvuelven y en el papel que desempeñarán en la sociedad. Estudios, como el de José Tudela en su libro “Neurodesarrollo y Educación: El futuro”, demuestran que los primeros meses y años de vida son fundamentales para el desarrollo psicomotor, cognitivo, del lenguaje, social y sensorio-perceptivo.

Aunque la alimentación de los niños luego de nacidos dependa de los padres, en la etapa pre-natal dependen en su mayoría de los nutrientes que le aporte la madre gestante. Hasta el año 2019, la cantidad de gestantes que sufrían de anemia era del 28,3%, lo cual significó un aumento con respecto al índice de anemia histórico gestacional que es del 25,8% (Ortiz et al., 2019).

Pasando a un contexto local, en la región Ancash, el INS/CENAN obtuvo hasta el año 2022 datos preocupantes sobre desnutrición y anemia en niños menores de 5 años y mujeres gestantes. Con respecto a los niños, 19,6% de la población infantil en el departamento sufren de desnutrición crónica, 42,9% riesgo de desnutrición crónica, 1,4% desnutrición aguda, 6,0% riesgo de desnutrición aguda, 4,1% desnutrición global y 34,4% anemia. Sobre gestantes, 7.2% sufren de déficit de peso en la región mientras que el 25,7% de anemia.

Pese a que los problemas alimenticios no dependan únicamente a la alimentación sino también al contexto socio-económico, el producir alimentos fáciles de elaborar, adquirir, consumir y que aporten grandes cantidades de nutrientes pretenden mejorar en cierta parte estas dificultades. Entre estos alimentos encontramos los productos de panificación y concretamente el pan, el cual es producido hace muchas décadas alrededor de todo el país

por la facilidad de adquisición de los insumos y el uso de hornos tanto eléctricos como artesanales.

Por otro lado, la región Ancash cuenta con una gran variedad de cultivos andinos que aún no han sido completamente aprovechados, como son el caso de la ñuña (*Phaseolus vulgaris* L.) y mashua (*Tropaeolum tuberosum*), dos tubérculos de gran importancia nutricional por sus altos contenidos de carbohidratos, proteínas, fibra, calcio, fósforo y hierro.

Salazar et al., (2021) en su trabajo de investigación titulado “Caracterización y Potencial Tecnológico de Harinas Subutilizadas de Cultivos Ancestrales Andinos del Ecuador”, tuvieron como objetivo evaluar la aceptabilidad del pan elaborado con harina de oca (*Oxalis tuberosa*). Para la elaboración del pan, se horneó a 180°C durante 30 minutos, considerando una sustitución parcial de harina de oca en proporciones del 10%, 15% y 20%. Los resultados concluyeron que la harina de oca como sustituto parcial influye en el rendimiento y en la calidad fisicoquímica y organoléptica del pan, siendo el pan de mayor aceptabilidad aquel con un 10% de harina de oca y 90% de harina de trigo.

Vásconez et al., (2023) en su trabajo de investigación titulado “Pan casero elaborado con mashua y harina de trigo: Valor agregado a la materia prima y aporte nutricional a la salud de niños y adultos”, elaboraron pan casero utilizando un 30% de harina de mashua y un 70% de harina de trigo para obtener la textura deseada. Se realizó una evaluación sensorial considerando atributos como color, sabor, olor y textura. Los resultados mostraron una aceptabilidad del 55.8% para el color y sabor, 51.2% para el olor y 48.8% para la textura. Se concluyó que la mayoría de la población aceptó el pan elaborado con sustitución de mashua en el mercado.

Quispe (2021) en su trabajo de investigación titulado “Sustitución parcial de harina de trigo por harina de Papa, harina de Tarwi y de Harina de Oca en la elaboración del pan mediante el método de diseño de mezclas”, evaluó la sustitución de harina de oca en cuatro niveles (10%, 15%, 20% y 25%) y la fermentación en tres tiempos (2, 3 y 4 horas). La harina se obtuvo mediante un proceso de secado a 60°C con una velocidad del aire de 2.5 m/s, seguida de molienda y tamizado. Los resultados indicaron que la mejor formulación se logró utilizando un 10% de harina de oca y 4 horas de fermentación, con las siguientes características: pH 5.32, acidez total 0.56%, sólidos solubles 11.30°Brix,

humedad 15.26%, fibra 1.33%, cenizas 1.33%, grasa 18.07%, proteínas 30.84% y carbohidratos 34.50%, destacando su contenido nutricional.

Gunsha (2020) en su trabajo de investigación titulado “Utilización de cuatro niveles de harina de mashua en la elaboración de pan de molde”, estudió la incorporación de harina de mashua en diferentes formulaciones (10%, 20%, 30% y 40%). El producto que obtuvo la mejor aceptación, según las evaluaciones sensoriales de color, sabor, textura y olor, fue el que contenía un 10% de harina de mashua. Además, se realizaron análisis fisicoquímicos que mostraron resultados de humedad (2.85%), proteínas (6.71%) y cenizas (1.48%). Las investigaciones microbiológicas no detectaron la presencia de levaduras ni mohos, confirmando que el producto es seguro para los consumidores.

Cruz (2019) en su trabajo de investigación titulado “Efecto de la sustitución de harina de trigo (*Triticum aestivum*) por harina de maca (*Lepidium peruvianum*) en el contenido proteico y la aceptabilidad general del pan integral”, estudió la incorporación de harina de mashua en diferentes formulaciones (10%, 20%, 30% y 40%). El producto que obtuvo la mejor aceptación, según las evaluaciones sensoriales de color, sabor, textura y olor, fue el que contenía un 10% de harina de mashua. Además, se realizaron análisis fisicoquímicos que mostraron resultados de humedad (2.85%), proteínas (6.71%) y cenizas (1.48%). Las investigaciones microbiológicas no detectaron la presencia de levaduras ni mohos, confirmando que el producto es seguro para los consumidores.

Samame (2018) en su trabajo de investigación titulado “Evaluación de la aceptabilidad del Pan elaborado con Harina de Oca (*Oxalístuberosa*)” evaluó diferentes formulaciones con niveles de 10%, 15% y 20% de harina de oca. El producto más aceptado fue el que contenía un 10% de harina de oca y un 90% de harina de trigo, siendo esta la formulación óptima. Además, las pruebas fisicoquímicas realizadas a la harina de oca mostraron los siguientes resultados: proteína (7.89%), grasa (4.1%), humedad (9.2%), fibra (1%), carbohidratos (77.12%) y ceniza (2.1%), cumpliendo con las normas y parámetros establecidos por Codex Stan 152-1985.

Garces (2019) en su trabajo de investigación titulado “Obtención de harina de mashua (*Tropaeolum Tuberosum*) y oca (*Oxalis Tuberosa*) mediante deshidratación para la elaboración de pastas artesanales” determinó experimentalmente el tratamiento térmico adecuado para obtener la harina. Se deshidrataron tres muestras: la primera a 46°C

durante 13 horas, la segunda a 57°C durante 6 horas y la tercera a 68°C durante 4 horas. Posteriormente, se realizaron análisis microbiológicos y bromatológicos según las normas INEN. Los valores obtenidos fueron analizados y comparados para determinar cuál tratamiento no afectaba la composición nutricional de la harina, seleccionándose la segunda prueba (57°C durante 6 horas) como la más adecuada, resultando en una harina apta para el consumo.

Taipe (2017) en su trabajo de investigación titulado “Fenoles totales y actividad antioxidante en mashua (*Tropaeolum tuberosum*) en estado fresco, soleado y cocido de las variedades amarillo zapallo y negra”, evaluó dos variedades de mashua: amarillo zapallo y negra. Los tratamientos incluyeron mashua fresca, soleada (ambiente por 7 días) y cocida (89°C por 15 minutos). Los resultados mostraron que la variedad amarillo zapallo contenía 10.51 mg ác. gálico/g en estado fresco, 12.46 mg ác. gálico/g en estado soleado y 10.37 mg ác. gálico/g en estado cocido. La variedad negra tenía 17.43 mg ác. gálico/g en estado fresco, 18.60 mg ác. gálico/g en estado soleado y 16.65 mg ác. gálico/g en estado cocido. Se concluyó que la mejor variedad para el aporte de fenoles totales fue la mashua negra en estado soleado con 18.6 mg ác. gálico/g.

Cabrera et al. (2020) en su trabajo de investigación titulado “Caracterización nutricional y funcional de la harina de mashua”, mostraron los resultados del análisis proximal de muestras de harina de mashua, obteniendo una humedad promedio de 10.46±0.09%, proteína en un rango de 12.34±0.08%, cenizas con un valor promedio de 4.66±0.10%, grasa con un resultado promedio de 0.81±0.24%, fibra con un promedio de 7.07±0.009% y carbohidratos con un promedio de 64.67±0.14%. Del análisis funcional, se obtuvo un pH de 5.5±0.02 y un porcentaje de acidez de 1.08±0.025%. La capacidad de retención de agua (CRA) varió entre 5.05% y 8.63% para temperaturas de 50 a 80°C, demostrando que la temperatura incide significativamente en la CRA. Las muestras de harina de mashua cumplían con los parámetros establecidos, siendo de calidad fisicoquímica y funcional aceptable.

Apaza et al. (2020) en su trabajo de investigación “Usos locales/tradicionales, metabolitos secundarios y actividades biológicas de Mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruíz & Pavón)”, investigaron las actividades biológicas de los extractos polares (acuosos, hidroalcohólicos) y compuestos aislados de los tubérculos. Estos han exhibido una amplia gama de efectos farmacológicos in vitro e in vivo, incluidas actividades antibacterianas,

antioxidantes y antiinflamatorias. Los análisis indicaron la presencia de un conjunto de metabolitos secundarios, incluidos ácidos hidroxibenzoicos, taninos, flavanoles, antocianinas, glucosinolatos, isotiocianatos, fitoesteroles, ácidos grasos y alcaloides en los tubérculos.

Jorge & Ponce (2016) en su investigación titulada “Determinación de la proporción óptima de harina de mashua (*Tropaeolum tuberosum*) como sustituto parcial para la elaboración de pan integral - Húanuco”, evaluaron las proporciones de sustitución (5%, 10%, 15% y 20%) de harina de mashua con respecto a la harina integral. En aroma, el tratamiento T1 con 0.5% de harina de mashua fue el mejor aceptado y estadísticamente no presentó diferencias con el tratamiento T4, pero T4 con 20% de harina de mashua fue rechazado estadísticamente. En sabor, el tratamiento T1 con 5% de harina de mashua fue mejor aceptado y no presentó diferencias con el tratamiento T4, pero T4 con 20% de harina de mashua fue rechazado estadísticamente. En textura, no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos.

Pacheco et al. (2020) en su investigación titulada “Tubérculos andinos cultivados en Ecuador: nuevas fuentes de ingredientes funcionales” encontraron que el yacón (*Smallanthus sonchifolius*, var. INIAP-ECU-1247) mostró un alto nivel de fructooligosacáridos prebióticos tipo inulina con un grado de polimerización de 2 a 6 y el mayor contenido de compuestos fenólicos. La mashua (*Tropaeolum tuberosum*, var. INIAP-ECU-Izaño) mostró alta capacidad antioxidante, atribuida a su alto contenido de carotenoides y vitamina C. En todas las muestras se encontró fructosa, glucosa y sacarosa. Estos cultivos ancestrales pueden ser útiles como fuentes no tradicionales de compuestos bioactivos.

De la Rosa (2022) en su investigación titulada “Elaboración de una mezcla alimenticia a base de harina extruida de Ñuña (*Phaseolus vulgaris* L.), Plátano (*Musa paradisiaca*) y Maca (*Lepidium peruvianum* Chacón)”, elaboró harinas extruidas de ñuña, plátano y maca, con las que formuló tres mezclas alimenticias (tratamientos T1 (25%, 24%, 26%), T2 (30%, 23%, 22%) y T3 (35%, 22%, 18%)). Además, se utilizaron como saborizantes leche y cacao en polvo (15% y 10%). Según los análisis fisicoquímicos y microbiológicos, el tratamiento T3 fue el que mayor aporte proteico tuvo, con las siguientes características: valor energético 364 Kcal/100 g, humedad 5.01%, ceniza 2.75%, grasa 0.67%, proteína 11.59%, fibra 2.34% y carbohidratos 77.64%. Los

resultados microbiológicos fueron: aerobios mesófilos 4.7×10^2 ufc/g, coliformes <10 ufc/g, mohos 10 ufc/g, levadura 10 ufc/g, *Bacillus cereus* 10 ufc/g y ausencia de *Salmonella* en 25 g, indicando que es un producto idóneo para la alimentación humana y con buen aporte de nutrientes básicos.

Conociendo esto, se deben aprovechar estas materias primas en forma de harinas para sustituir parcialmente la harina de trigo en pan de molde y así aumentar su valor nutritivo, haciéndolo de fácil incorporación en dietas de gestantes, niños y toda aquella persona que busque mejorar la calidad de su alimentación.

Sustituir parcialmente la harina de trigo por harinas elaboradas a partir de ñuña (*Phaseolus vulgaris* L.) y mashua (*Tropaeolum tuberosum*) nos ayudará a determinar cuál es la mejor formulación de pan de molde que sea aceptada sensorialmente por los consumidores y, a su vez, tenga un contenido más alto de fibra dietaria y polifenoles que el pan de molde común, ya comercializado en bodegas, mercados y supermercados.

Aumentar el aporte de carbohidratos, lípidos, proteínas y minerales como calcio, fósforo y zinc en el pan de molde ayudará a combatir la desnutrición y la anemia en una parte de los habitantes de la región. Además, se enseñará a las personas cómo obtener harinas de tubérculos y granos andinos y cómo elaborar el producto de panificación final para que puedan consumirlo sin necesidad de comprarlo en lugares específicos. De este modo, se puede llegar a más consumidores y aprovechar mejor los cultivos que proporciona la zona de la sierra de la Región Ancash, otorgándoles una importancia agroindustrial para su uso en otros productos que podrían ser estudiados por futuros ingenieros agroindustriales.

La investigación centrada en el uso de la harina de ñuña y mashua presenta una oportunidad única para mejorar la calidad nutricional de la población en la Región Ancash y otras áreas. Al sustituir parcialmente la harina de trigo por estas harinas de tubérculos y granos andinos, se aumentaría significativamente el contenido de carbohidratos, lípidos, proteínas, polifenoles, fibra dietaria y minerales como calcio, fósforo y zinc en el producto final. Esta formulación mejorada puede ser una solución eficiente y accesible para combatir problemas de desnutrición y anemia en la población local, proporcionando una fuente de nutrientes esenciales en un alimento cotidiano y ampliamente consumido como el pan de molde.

Al ofrecer un producto más nutritivo y funcional, se podrían abordar varios desafíos nutricionales en la región, mejorando la salud y calidad de vida de quienes lo consumen. Esta iniciativa destaca el potencial de los recursos locales y ancestrales, alentando a las comunidades a valorar y utilizar estos tubérculos y granos andinos de manera sostenible. En resumen, esta investigación ofrece una perspectiva esperanzadora para enfrentar la desnutrición y la anemia en la región, al tiempo que impulsa el desarrollo de la agroindustria local y promueve un mayor equilibrio en la alimentación de la población.

La valorización de los tubérculos y granos andinos en la producción de pan de molde no solo aporta beneficios desde el punto de vista nutricional, sino que también representa una oportunidad para generar un impacto social positivo en las comunidades locales. El aprovechamiento de cultivos autóctonos como la ñuña y la mashua permite diversificar la dieta, ofreciendo productos con mayores propiedades funcionales y promoviendo la seguridad alimentaria en poblaciones que tradicionalmente han cultivado estos alimentos.

Enseñar a la población cómo procesar estos tubérculos y granos para obtener harinas y cómo elaborar pan de molde a partir de ellas constituye un paso fundamental hacia la autonomía alimentaria. Al empoderar a las comunidades con conocimientos sobre transformación y aprovechamiento de estos recursos, se fomenta una mayor participación en la producción de alimentos saludables y sostenibles. Esto no solo fortalece la economía local al generar nuevas oportunidades de empleo en el sector agroindustrial, sino que también impulsa la conservación de la biodiversidad agrícola, ya que incentiva el cultivo de especies nativas que, en muchos casos, han sido desplazadas por productos importados o altamente procesados.

Además, la incorporación de harinas de ñuña y mashua en la panificación puede ser una estrategia efectiva para mejorar la calidad nutricional del pan de molde, incrementando su contenido de fibra dietética y polifenoles. Estos compuestos bioactivos han sido ampliamente estudiados por sus efectos positivos en la salud, como la regulación del metabolismo, la mejora de la salud intestinal y la reducción del riesgo de enfermedades crónicas. Por lo tanto, el desarrollo de este producto representa una alternativa viable para el consumidor moderno que busca alimentos funcionales con beneficios adicionales más allá del simple valor calórico.

Basándose en los resultados obtenidos respecto al contenido de fibra dietética, polifenoles, atributos sensoriales y características tecnológicas del producto, el presente estudio busca determinar la formulación óptima de un pan de molde que no solo cumpla con estándares de calidad, sino que también aporte ventajas nutricionales y funcionales significativas para la salud del consumidor. Para lograrlo, la formulación desarrollada debe garantizar una combinación equilibrada de ingredientes que optimicen la textura, el sabor y la apariencia del pan, factores determinantes en la aceptación del producto por parte de los consumidores.

El presente estudio tiene como objetivo general evaluar la formulación óptima para la elaboración de un pan de molde a base de harinas de ñuña y mashua, garantizando que el producto final sea nutricionalmente enriquecido, funcionalmente beneficioso y sensorialmente aceptado. Para ello, se plantearon varios objetivos específicos, entre ellos la caracterización fisicoquímica de las harinas de ñuña y mashua, analizando su composición nutricional, contenido de fibra, polifenoles y propiedades tecnológicas. Asimismo, se diseñarán y evaluarán experimentalmente diferentes formulaciones con el fin de determinar la combinación óptima de ingredientes. Además, se llevará a cabo un análisis estadístico de los niveles de polifenoles totales, fibra dietética y características tecnológicas del pan de molde, con el propósito de optimizar su formulación. Finalmente, se realizará una evaluación sensorial detallada, considerando atributos como color, sabor, olor, textura e intención de compra, para asegurar la aceptación del producto por parte del consumidor.

La hipótesis del estudio plantea que la sustitución parcial de harina de trigo por un 2.5 % de harina de ñuña y un 5 % de harina de mashua permitirá obtener un pan de molde con un elevado contenido de fibra dietética y polifenoles, manteniendo características tecnológicas y sensoriales óptimas. Se espera que este producto no solo represente una alternativa viable para el consumo general, sino que también tenga un alto potencial en mercados especializados en alimentos funcionales y saludables.

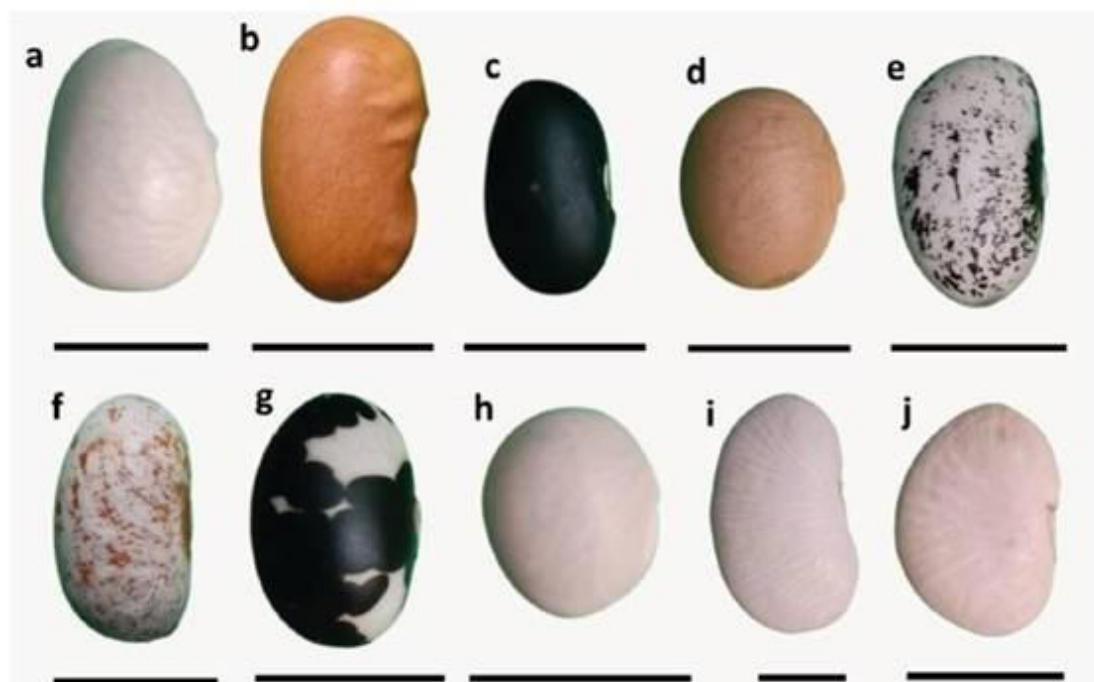
II. MARCO TEORICO

2.1. Ñuña

El frijol ñuña, también conocido como frijol “reventador”, pertenece al grupo de los frijoles comunes (*Phaseolus vulgaris*, L.). Originaria de las montañas andinas, la ñuña es un cultivo alimentario importante en varios países de América del Sur, incluidos Bolivia, Ecuador y Perú, donde se consume principalmente como refrigerio (Pietrysiak et al., 2020). La cubierta de la semilla se divide en muchos lugares después de asarse en una sartén caliente recubierta con aceite vegetal durante hasta 5 minutos y servirse como guarnición o comerse como refrigerio (Lyon, 2008).

Figura 1

Variedades de ñuña.



Nota: *Phaseolus vulgaris* y *Phaseolus lunatus*. a) caballero, b) canario, c) frejol negro, d) garbancillo, e) ñuña tipo 1, f) ñuña tipo 2, g) ñuña vaquita, h) panamito, i) pallar grande y j) pallar bebe. La escala corresponde a 1 cm. Estraído de Correa & Mercedes, (2023).

2.1.1. Taxonomía.

Simpson, (2019) nos explica que la clasificación taxonómica de la ñuña es la siguiente:

Tabla 1*Clasificación taxonómica de la ñuña.*

Reino	Platae
Division	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Fabales
Familia	Fabaceae
Subfamilia	Papilionaceae
Género	Phaseolus
Especie	<i>Phaseolus vulgaris L</i>

Nota. Simpson, (2019).**2.1.2. Composición nutricional**

El “frijol” “Ñuña” es una variedad genética de *Phaseolus vulgaris L.* y constituye una fuente de carbohidratos y proteínas, vitaminas, minerales, fibra alimenticia que es de uso para la alimentación nutricional en especial del humano. La “ñuña” desempeña un rol fundamental en la alimentación humana, es una menestra que por su sabor, contenido de proteínas, vitaminas, minerales, fibra alimenticia y su diferente forma de consumo, contribuye a una dieta variada y rica, perfectamente balanceada que satisface sus necesidades nutricionales del hombre (Ulloa et al., 2011).

Tabla 2*Composición química de la ñuña.*

Composición	Cantidad
Humedad	8.86 ± 0.06
Proteína	21.71 ± 0.31
Almidón	60.80 ± 0.49
Fibra	3.95 ± 0.07
Grasa	2.11 ± 0.13
Ceniza	2.61 ± 0.04

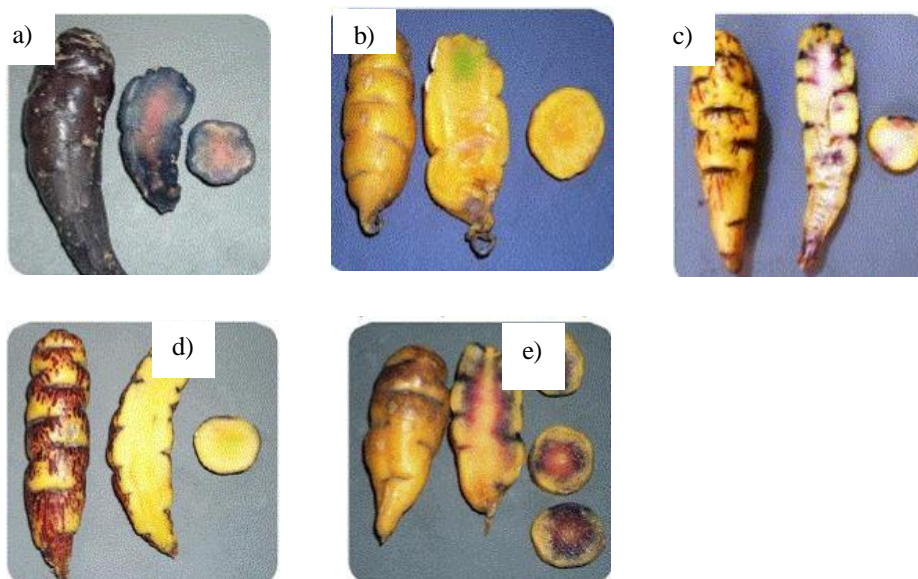
Nota. Pietrysiak et al., (2020).

2.2. Mashua.

La mashua (*Tropaeolum tuberosum*), conocida también como “aña”, “isaño” o “cubio” es uno de los tubérculos más importantes después de la papa, olluco y oca. Geográficamente se distribuye desde Colombia hasta Bolivia entre los 1500-4200 msnm, es un cultivo anual que soporta bien el frío, pertenece a la familia Tropaeoláceae. La planta está formada de raíces, tubérculos, tallo, hojas, flores y frutos; los tubérculos tienen forma cónica, alargados y fusiformes de diferentes colores (Aruquipa et al., 2017). Aunque el área de siembra de la mashua es menor a los de los otros tubérculos andinos, su cultivo no deja de ser importante, pues forma parte de la seguridad alimentaria de miles de familias campesinas de los andes, a través del autoconsumo o la generación de ingresos económicos (Manrique et al., 2014).

Figura 2

Variedades de mashua.



Nota: a) Chi'yar isaño (isaño negro) b) Killu isaño (isaño amarillo) c) Jachir isaño (con líneas rojas) d) Asut'i isaño (isaño con líneas moradas) e) Ohini isaño (isaño amarillo morado). Aruquipa et al. (2017).

2.2.1. Taxonomía.

Guerra (2014) nos explica que la clasificación taxonómica de la mashua es la siguiente:

Tabla 3*Clasificación taxonómica de la mashua.*

Reino	Platae
Filo	Angiospermae
Clase	Dicotiledoneae
Orden	Brassicales
Familia	Tropaeolaceae
Género	Tropaeolum
Especie	<i>Tropaeolum tuberosum</i>

Nota. Guerra (2014).

2.2.2. Composición nutricional.

La mashua es rica en carbohidratos, fibra y minerales como potasio, hierro, fósforo, manganeso, zinc y cobre.

Tabla 4*Composición química de la parte comestible de mashua.*

Elementos	UNALM (2019)	Del Águila (2018)
Valor energético, kcal	52.0	76
Humedad	86%	80%
Proteínas	1.6 g	9.17 %
Grasas	0.6 g	0.7 g
Carbohidratos	11.6 g	75.40 %
Fibra	0.8 g	5.86 %
Cenizas	0.8 mg	0.80 %
Calcio	7 mg	0.006%
Potasio	-	1.99%
Hierro	1.2 mg	0.42 %
Fósforo	42 mg	0.32 %
Magnesio	-	0.11%
Manganeso	-	7 %
Zinc	-	48 %
Sodio	-	0.04 %

Cobre	-	9 %
Tiamina	0.06 mg	-
Riboflavina	0.08 mg	-
Niacina	0.6 mg	-
Almidón, %	-	46.96
Azúcares totales, %	-	42.81

2.3. Harina de trigo.

La harina es un polvo hecho de trigo y es uno de los ingredientes alimentarios más comunes. La producción de harina de trigo es superior a la de otros cereales. El trigo tiene tres componentes principales: endospermo, germen y salvado. Generalmente, la harina solo usa endospermo, que representa el 83% del peso del grano de trigo (Llempen, 2020).

La composición química de la harina de trigo se presenta a continuación.

Tabla 5

Composición química por 100g de harina de trigo

Característica	Cantidad
Proteína	9.6 gr
Grasa	1.7 gr
Hidratos de Carbono	70%
Colesterol	0%

Nota. Llempen (2020).

2.4. Harina

Se define como harina, al producto finamente triturado, obtenido de la molturación de grano de trigo, o la mezcla de trigo blando y trigo duro, en un 80% mínimo, maduro, sano y seco, e industrialmente limpio. La molturación del grano, incluye la trituración del mismo y su tamizado. El grano se criba, se descascarilla, se escoge y se limpia, excluyendo los granos extraños, y en ocasiones se lavan los granos antes de ser molidos. Es una materia básica en la elaboración del pan, pastas alimenticias y productos de pastelería (Requena, 2013).

Sin embargo, las harinas pueden clasificarse dependiendo de la cantidad de gluten que posee. Estas pueden ser: Harina floja; se le llama harina floja, es aquella que su composición contiene escaso porcentaje de Gluten, y no es idóneo para la industria panificadora, ya que resulta una apariencia deficiente en el pan. Además, que retienen muy poca el agua, por esto es que forman masas muy débiles. Por el contrario, la Harina fuerte: Se le conoce a la que es rica en gluten y tiene la capacidad de retener bastante agua, facilitando la formación de masas consistentes y elásticas. Así tener panes con textura y volumen satisfactorios (Riveros, 2020).

2.5. Aceite de girasol.

Según la FAO (2015) los aceites vegetales comestibles son productos alimenticios compuestos principalmente por glicéridos de ácidos grasos obtenidos únicamente de fuentes vegetales. Pueden contener pequeñas cantidades de otros lípidos como fosfatos, insaponificables y ácidos grasos libres que se encuentran naturalmente en grasas o aceites.

Éste es una fuente fantástica de ácido linoleico, omega 6 y ácidos grasos esenciales que el cuerpo no lo proporciona y por lo tanto tiene que suministrarse a través de los alimentos. Este aceite ha demostrado ser muy saludable y económica lo cual le hace ser una buena opción en sus diferentes aplicaciones en comparación con otros aceites. El aceite de Girasol se obtiene de las semillas de girasol "Helianthus annuus" (Massari, 2016).

El aceite de girasol en su composición contiene un 85% de ácidos grasos insaturados, el cual representa los 2/3 el ácido linoleico (ω -6), este también contiene tocoferoles (440-1520 mg/kg), esteroides (2400-5000 mg/kg) y ésteres de esterol, ceras, clorofila, metales traza, fosfolípidos, y carotenoides (Chuqui. 2021).

El aceite de girasol es uno de los más importantes por encima del aceite de palta y soja, Países como Rusia, Argentina y Ucrania son los productores principales a nivel mundial, los cuales aportan el 60% de grano de girasol en su producción (Menera, 2020).

2.6. Pan de molde.

El pan es un producto alimenticio tradicional de consistencia esponjosa o no, de diferentes formas con un peso de 60 g elaborado con harina de trigo, agua potable,

levadura, sal y con otros componentes autorizados. La utilización de la harina de trigo, agua potable, levadura y sal es fundamentalmente para la elaboración del pan común, por lo tanto, si algún componente de los mismos falta o se adiciona otros resultara ser un pan especial (Mendoza, 2017).

El pan de molde es un producto basado en colocar una pieza de masa en un molde de metal para las etapas de fermentación y horneado. Comúnmente, el molde podrá ser rectangular o redondo. A veces, el molde puede tener separada la tapa y ser ajustado para un mejor control de la forma del producto (Kent y Evers, 1994 citado en Pacheco, 2016).

Tabla 6

Composición química del pan de molde común.

Componente	Valor
Energía (kcal)	317
Agua (g)	20.8
Proteínas (g)	6.8
Grasa total (g)	2.5
Carbohidratos totales (g)	62.9
Fibra dietaria	2.4
Cenizas (g)	0.7
Calcio (mg)	1.3
Fósforo (mg)	60
Zinc (mg)	0.74
Hierro (mg)	0.4
Tiamina (mg)	0.08
Roboflavina (mg)	0.16
Niacina (mg)	1.22

Nota. MINSA (2017).

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. Lugar de ejecución

Se realizará en los laboratorios de la escuela de E.P. de Ingeniería Agroindustrial (EPIA), Instituto de Investigación Tecnológica de Agroindustria (IITA) y las instalaciones de la Planta Piloto Agroindustrial (PPA) de la Universidad Nacional del Santa.

3.2. Materia prima e insumos

3.2.1. Materia prima

Con el propósito de elaborar pan de molde a base de harina de ñuña y mashua de excelente calidad, se emplearon los siguientes ingredientes principales:

- **Mashua**

Fue obtenida del mercado la “Perla” Chimbote, Santa, Ancah. Requiriéndose 10 kg para satisfacer el requerimiento necesario.

- **Ñuña**

Fue obtenida del mercado la “Perla” Chimbote, Santa, Ancah. Requiriéndose 10 kg para satisfacer el requerimiento necesario.

- **Harina de trigo**

Fue adquirido de la marca Blanca Flor, harina de trigo sin preparar.

- **Aceite de Girasol**

Fue adquirida en el Supermercado Plaza Vea de Nuevo Chimbote.

3.2.2. Insumos

- Sal “Marina” 1kg
- Azúcar Rubia “Bells” 1kg
- Emulsionante “Mixo” 900g
- Antimoho “Jofsac” 1kg
- Mejorador enzimático “Margi’s Pastry” 1kg
- Levadura instantánea “Fleishmann” 500g

3.3. Equipos, materiales y reactivos

3.3.1. Equipos

- Estufa, marca Blue-M, modelo SW-17TC-1, Serie SW-1990.
- Mufla, marca Thermolyne, Serie 34703484
- Módulo de molienda y tamizado. Marca: TORRH. Modelo: MDMT60XL. Serie: JP0011112.
- Balanza analítica marca ADAM, modelo PW-254.
- Cámara de fermentación marca NOVA, modelo MAX 1000
- Horno rotatorio por convención marca NOVA, modelo MAX 1000.
- Rebanadora o cortadora de pan marca NOVA, modelo ESTANDAR.
- Secador de bandejas, marca Torrh, modelo SBT-10XL

3.3.2. Materiales

- Materiales de Procesamiento de datos (Statgraphics, STATISTICA, EXCEL).
- Material de oficina (folders, hojas, etc).
- Petróleo para el funcionamiento del horno industrial.
- Bandejas de metal
- Cuchillos, cucharas
- Jabón líquido (lavaplatos) “Sapolio” 1.25 L
- Jabón líquido neutro “Aval” 400 ml
- Esponja
- Trapos amarillos
- Papel filtro
- Papel de cocina
- Platos de plástico
- Vasos de plásticos
- Papel Film

3.3.3. Reactivos

- Eter de Petroleo
- NaCl
- Hipoclorito de sodio
- Cloruro de metileno

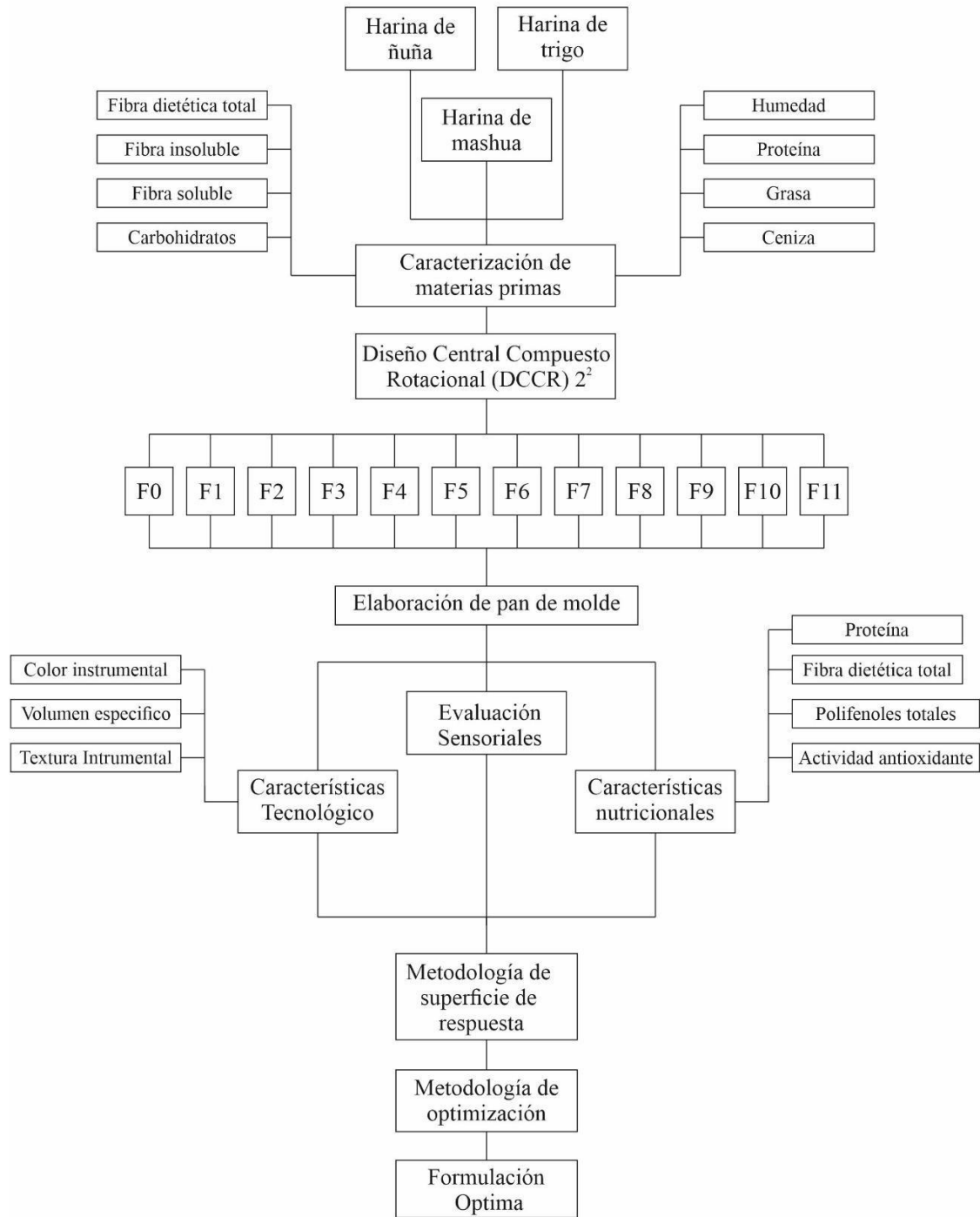
- Na₂SO₄
- CuSO₄ p.a.
- H₂SO₄ concentrado
- NaOH
- Ácido bórico
- HCL
- Rojo de metilo
- Verde de bromocresol
- Alcohol 96°
- Buffer Fosfato pH 6.0
- Alfa-amilasa
- Proteasa
- Amiloglucosidasa
- Tierra de diatomeas
- Componente tensoactivo para limpiar laboratorios
- MES (2-(N-morpholino)ethanesulfonic acid)
- TRIS (Tris(hydroxymethyl)aminomethane)

3.4. Metodología

En la figura 3 se detalla el esquema experimental desarrollado para la producción de la presente investigación.

Figura 3

Diseño experimental para la evaluación del pan de molde.



3.4.1. Proceso de obtención de harina de Mashua y Ñuña

La elaboración de harina de mashua y ñuña sigue un proceso estructurado para garantizar la calidad del producto final. Primero, se realiza la selección y clasificación de las materias primas para descartar impurezas y asegurar que solo se utilicen tubérculos y granos en buen estado. Luego, se lleva a cabo el lavado y desinfección para eliminar suciedad y posibles contaminantes. En el caso de la mashua, se procede con el pelado y corte en rodajas delgadas para facilitar el secado. Posteriormente, ambos ingredientes se someten a un proceso de secado a 65°C durante 12 minutos, asegurando la reducción de humedad sin comprometer sus propiedades nutricionales. Una vez secos, se realiza la molienda para obtener partículas finas y homogéneas, seguida de un tamizado para garantizar una textura uniforme. Finalmente, la harina obtenida es envasada en condiciones adecuadas para su conservación y posterior uso en la formulación de productos alimenticios.

3.4.2. Descripción del proceso de elaboración de pan de molde

El procedimiento para la elaboración de pan de molde con harinas de ñuña y mashua se detalla según lo descrito por Moreno (2017). El proceso de elaboración del pan de molde comienza con la recepción y pesaje de las harinas de trigo, ñuña y mashua, junto con los insumos. Luego, los ingredientes secos se mezclan uniformemente antes de proceder al amasado en tres etapas: primero, se añade agua con sal y azúcar disuelta; después, se amasa hasta disolver la levadura y se incorpora el aceite con el emulsionante; finalmente, se continúa amasando hasta obtener una masa homogénea. Posteriormente, la masa se divide en porciones de 650 g, se bolea y reposa entre 10 y 15 minutos. Luego, se moldea, se fermenta a 35°C y 75%HR por aproximadamente dos horas y se hornea a 140°C durante 45 minutos. Finalmente, el pan se deja enfriar entre 2 y 3 horas antes de ser cortado con una máquina y embolsado en bolsas de polipropileno para su conservación y distribución.

3.5. Diseño Experimental

El Diseño experimental para la elaboración del pan de molde tiene como variables independientes las proporciones de harinas de ñuña y mashua mientras que como variables dependientes se tiene la composición química, color, textura y aceptabilidad sensorial del pan de molde. En la figura 3 se presenta el esquema experimental que se

utilizó para evaluar las características físicas y sensorial de pan de molde con sustitución parcial de harina de trigo por harina de ñuña y mashua.

3.5.1. Variables

Independientes.

- X_1 : Proporción de harina de ñuña (%)
- X_2 : Proporción de harina de mashua (%)

Dependientes.

- Composición química (humedad, grasa, ceniza, proteínas, fibra dietética total, fibra dietética soluble, fibra dietética insoluble, carbohidratos totales, energía, polifenoles totales, capacidad antioxidante) del pan de molde
- Caracterización física del pan de molde (Color de miga y corteza, volumen específico, textura instrumental)
- Aceptabilidad sensorial del pan de molde.
- Score químico del pan de molde óptimo.

3.5.2. Diseño estadístico

En las Tablas 7 y 8 se muestran los resultados de la determinación de formulaciones a través del DCCR calculado con el software Stat-Ease Design Expert V7. A continuación, se mostrarán el nivel de las variables independientes según el diseño experimental (DCCR).

Tabla 7

Niveles de las Variables Independientes

Variables		Niveles				
Independientes	Codificación	- α	-1	0	+1	+ α
Harina de Ñuña	X_1	1	1.5	2	2.5	3
Harina de Mashua	X_2	1	1.5	3	4.5	5

Tabla 8*Valores codificados y valores reales del diseño experimental (DCCR) 2²*

Tratamiento	Valores Codificados		Valores Reales	
	X ₁	X ₂	Ñuña	Mashua
F1	-1	-1	1,5	1,5
F2	1	-1	2,5	1,5
F3	-1	1	1,5	4,5
F4	1	1	2,5	4,5
F5	- α	0	1	3
F6	α	0	3	3
F7	0	- α	2	1
F8	0	α	2	5
F9	0	0	2	3
F10	0	0	2	3
F11	0	0	2	3
Tcontrol	-	-	-	-

3.5.3. Análisis estadístico

Para los resultados de los datos de los análisis de las características fisicoquímicas y evaluación sensorial del pan de molde se realizó un análisis de varianza (ANOVA), si se encuentran diferencias significativas ($p < 0.05$) se empleará la prueba de comparaciones múltiples de Tukey la cual confronta los resultados mediante la formación de subgrupos para establecer el mejor tratamiento. Todos los análisis estadísticos se realizarán con un nivel de confianza del 95%. Para procesar los datos se utilizará el software: Statgraphics y STATISTICA

3.5.4. Población, muestra y muestreo

3.5.4.1. Población.

Estuvo conformada por la harina de ñuña (*Phaseolus vulgaris* L.) y mashua (*Tropaeolum tuberosum*) variedad negra compradas en el mercado mayorista “La Perla” de Chimbote.

3.5.4.2. Muestra.

Se utilizó 30 kg de ñuña y 30 kg de mashua para elaborar los diferentes tratamientos de pan de molde.

3.5.4.3. Muestreo.

Se realizó un muestreo al azar simple eligiendo entre los panes de molde resultantes de la elaboración de los diferentes tratamientos.

3.5.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

3.5.5.1. Técnicas.

- Para las materias primas utilizadas en la elaboración del pan de molde, se caracterizó la % Humedad, % Proteínas, % Cenizas, % Grasa, % Carbohidratos, % Fibra dietética total, % Fibra dietética insoluble, % Fibra dietética soluble, con el fin de evaluar su capacidad nutricional.
- Para el pan de molde se utilizó la observación experimental, porque se realizaron datos en condiciones relativamente controladas, manipulando las variables independientes (% de harina de ñuña y % de harina de mashua) para obtener las variables dependientes (Proteínas, Fibra dietética total, Volumen específico, Textura instrumental, Color instrumental L*, polifenoles totales, capacidad antioxidante y análisis sensorial).

Se emplearon las siguientes técnicas para obtener los valores de las variables dependientes:

a. Cenizas

Para la determinación de cenizas, se utiliza un crisol de porcelana limpio, el cual se calienta en una mufla a $550^{\circ}\text{C} \pm 25^{\circ}\text{C}$ durante una hora. Posteriormente, se extrae de la mufla y se coloca en una estufa a $125^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante al menos 15 minutos, dejándolo enfriar en un desecador hasta alcanzar la temperatura ambiente. Luego, se pesa el crisol en una balanza analítica y se toma una muestra representativa de dos gramos previamente secada, determinando el peso del crisol con la muestra. La muestra se incinera con un mechero hasta que no emita humo y las paredes del crisol estén blancas. Posteriormente, el crisol con la muestra calcinada se introduce en la

mufla a $550^{\circ}\text{C} \pm 25^{\circ}\text{C}$ durante una hora. Tras este tiempo, se extrae y se introduce nuevamente en la estufa a $125^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante al menos 15 minutos, para luego enfriarlo en un desecador hasta temperatura ambiente. Finalmente, se determina el peso del crisol con la muestra calcinada.

b. Humedad

Para la determinación de humedad, se pesa y coloca la muestra en un recipiente previamente pesado, registrando su peso inicial. La muestra se seca en una estufa a una temperatura específica hasta alcanzar un peso constante, dependiendo del tipo de muestra analizada. Luego, se retira del horno, se deja enfriar en un desecador y se vuelve a pesar el recipiente con la muestra seca. El contenido de humedad se calcula restando el peso de la muestra seca del peso original y dividiendo el resultado por el peso original de la muestra, multiplicando por 100 para obtener el porcentaje de humedad.

c. Proteína

El contenido de proteína se determina pesando una muestra del alimento y agregando una mezcla de digestión que contiene ácido sulfúrico concentrado y un catalizador. La mezcla se calienta para digerir la proteína y convertirla en sulfato de amonio. Posteriormente, se enfría y se agrega una solución alcalina para liberar el amoníaco, el cual es recogido en una solución de ácido bórico. Esta solución se valora con ácido clorhídrico para determinar la cantidad de amoníaco presente. Finalmente, se calcula el contenido total de nitrógeno multiplicando la cantidad de amoníaco por un factor de conversión, y luego se multiplica por un factor específico para determinar el contenido total de proteínas en la muestra, dependiendo del tipo de alimento.

d. Grasa

Para la determinación de grasa, se pesa una muestra del alimento y se seca para eliminar la humedad. Luego, se coloca la muestra en un dedal de papel de filtro e inserta en el aparato Soxhlet. Se añade un solvente, como éter de petróleo o hexano, en el matraz inferior del aparato, el cual se calienta para generar vapor. Este vapor asciende al condensador, donde se licúa y gotea sobre la muestra, extrayendo la grasa. El proceso de extracción continúa

durante varias horas hasta la extracción completa de la grasa. Posteriormente, se evapora el disolvente hasta sequedad y se pesa nuevamente el matraz con la grasa extraída para calcular el contenido de grasa en la muestra.

e. Carbohidratos

El contenido de carbohidratos se determina por diferencia utilizando la siguiente ecuación: $100 - \% \text{ humedad} - \% \text{ proteína} - \% \text{ grasa} - \% \text{ minerales}$.

f. Color

Los parámetros de color L^* , a^* y b^* se obtendrán a través de un colorímetro tristímulus Minolta CR 400, operando en el sistema CIELAB, en que L^* corresponde a la luminosidad, a^* y b^* son las coordenadas de cromaticidad ($-a$ = verde y $+a$ =rojo; $-b$ = azul y $+b$ = amarillo).

g. Fibra dietética total (TDF)

Para la fibra dietética total (TDF), se pesa una muestra del alimento y se somete a digestión enzimática con un tampón adecuado. Luego, la mezcla se incuba para descomponer la fibra y liberar el TDF. Posteriormente, se filtra la mezcla para eliminar residuos insolubles y se recoge el filtrado, al cual se añade una solución precipitante para eliminar sustancias interferentes. La mezcla se filtra nuevamente, se recoge el filtrado y se evapora hasta sequedad. Finalmente, se pesa el residuo obtenido y se calcula el contenido de TDF de la muestra.

h. Fibra dietética soluble e insoluble

Para determinar la fibra dietética soluble e insoluble, se sigue el mismo procedimiento de digestión enzimática utilizado para el TDF. Luego, se filtra la mezcla para eliminar los residuos insolubles y se recoge el filtrado, al cual se le añade un solvente específico para disolver la fibra soluble. Se filtra nuevamente la mezcla para eliminar cualquier residuo insoluble, se recoge el filtrado y se evapora hasta sequedad. Se pesa el residuo obtenido y se calcula el contenido de fibra soluble. Finalmente, se resta el contenido de fibra soluble del contenido total de fibra dietética para obtener el contenido de fibra insoluble.

i. Polifenoles

Para la determinación de polifenoles, se pesa la muestra y se somete a una extracción con ácidos. Luego, la muestra se diluye en agua u otro disolvente hasta alcanzar una concentración conocida. Se agrega el reactivo de Folin-Ciocalteu y, tras unos minutos, se incorpora una solución de carbonato de sodio. La mezcla se incuba a temperatura ambiente por un tiempo específico y se mide la absorbancia con un espectrofotómetro a una longitud de onda determinada. La concentración de polifenoles se determina comparando la absorbancia de la muestra con la de una solución estándar de concentración conocida.

j. Capacidad Antioxidante

Para la capacidad antioxidante, se pesa la muestra y se mezcla con una solución de DPPH. La mezcla se incuba a temperatura ambiente durante un tiempo específico y se mide la absorbancia con un espectrofotómetro. La capacidad antioxidante se determina comparando la absorbancia de la muestra con la de una solución estándar de referencia.

k. Evaluación sensorial

El análisis sensorial del pan de molde se ha realizado mediante una prueba afectiva con un nivel de agrado de 9 puntos, en donde 1= Me disgusta mucho y 9=Me gusta mucho, los criterios de evaluación serán color, sabor, aroma, textura y apariencia general. La evaluación se llevó a cabo en la planta piloto de la UNS, contando con la participación de 100 panelistas no entrenados de ambos sexos y de diferentes grupos de edad. Asimismo, se realizará una encuesta en base a la intención de compra del producto, con una escala de 5 puntos en donde 1= ciertamente no lo compraría y 5= ciertamente lo compraría. Los puntajes promedios obtenidos serán tratados estadísticamente en el programa Statgraphics, mediante una prueba ANOVA. La ficha de evaluación sensorial del pan de molde se presenta en Anexo 5.

l. Volumen específico

El volumen específico del pan de molde se determinó mediante el método de desplazamiento de semillas de baja densidad (alpiste), luego de una hora del horneado (El Dash, Camargo y Díaz, 1982, citado por Moreno, 2017)

m. Determinación del color (corteza y miga)

La determinación del color de corteza y miga del pan de molde se realizó por el sistema CIELAB, mediante el uso del colorímetro (marca KONICA MINOLTA), en donde L* luminosidad (negro 0 / blanco 100), a* (verde - / rojo +) y b* (azul - / amarillo +), la cromacidad (C*) y el ángulo de tonalidad (h*) (Minolta, 1993, citado por Moreno, 2017).

3.5.6. Elección de la formulación óptima

Para determinar la mejor formulación de la investigación, se utilizó el software Statgraphics. Durante este proceso, se consideraron aspectos como la humedad, la proteína, la grasa, la ceniza, la fibra dietética total y los AGPI, así como el color (tanto de la corteza como de la miga), y el volumen específico. Además, se evaluaron sensorial como el color, el sabor, el aroma, la textura y la apariencia general del producto final.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Determinación de la composición química proximal de las harinas de trigo, mashua y ñuña.

4.1.1. Harina de trigo

Los resultados de los análisis efectuados a la harina de trigo se presentan en la tabla 9.

Tabla 9

Composición fisicoquímica de la harina de trigo (100g en base seca)

Composición	Cantidad (%)
Humedad	11.23 ± 0.15
Proteína	11.57 ± 0.124
Grasa	1.56 ± 0.11
Ceniza	0.45 ± 0.142
Fibra dietética total	4.22 ± 2.60
Fibra insoluble	2.72 ± 1.48
Fibra soluble	1.5 ± 1.22

Nota: Media de 3 repeticiones ± DS

En la elaboración de pan, la funcionalidad de las harinas de trigo depende de la fracción proteica del gluten, que constituye entre el 80 % y el 85 % del total de proteínas del trigo y desempeña un papel clave en las propiedades reológicas, debido a su capacidad para formar masa (Shewry, 2009).

El análisis proximal de la harina evaluada presentó variaciones en comparación con los valores reportados por Gómez et al. (2020). El contenido de proteína obtenido fue de 11.57 ± 0.124 %, superior al 10.33 % señalado en la bibliografía. Asimismo, el contenido de fibra dietética total fue de 4.22 ± 2.60 %, mostrando un incremento significativo respecto al 2.70 % registrado en el estudio de referencia. En cuanto a la grasa, se obtuvo un valor de 1.56 ± 0.11 %, mayor al 0.98 % reportado. Respecto a los minerales, Gómez et al. (2020) indicaron la presencia de 15 mg de calcio y 1.17 mg de hierro en harinas similares. Estas diferencias en la composición pueden estar relacionadas con variaciones en las materias primas y los métodos de procesamiento utilizados.

4.1.2. Harina de Ñuña

Los resultados de los análisis efectuados a la harina de ñuña se presentan en la tabla 10.

Tabla 10

Composición química harina de ñuña en 100 gr.

Componente	Contenido
Humedad	8.25±0.12
Proteína (g)	22.2 ±0.36
Grasa Total (g)	0,50 ±0.024
Cenizas (g)	2.35±0.054
FDT (g)	15.11±1.23
Fosforo (mg)	6200 ±3.68
Hierro (mg)	6,55 ±0.034
Calcio (mg)	180,24 ±0.25
PFT (mg AGE/g)	0,238 ±0.015
CA (umol TE/g)	1,024±0.023

Nota. Análisis desarrollados en el Laboratorio acreditado con la ISO 17025, COLECBI SAC, 2024.

El contenido proteico de los frijoles comunes oscila entre el 20 % y el 22 % y es significativamente mayor en comparación con el contenido proteico de los cereales, que oscila entre el 6 % y el 15 % (Shewry, 2007).

Los análisis realizados sobre la harina de ñuña evidenciaron diferencias en su composición en comparación con los valores reportados por Pietrysiak et al. (2020). El contenido de proteína obtenido fue de 22.2 ± 0.36 %, ligeramente superior al 21.71 % reportado, lo que sugiere una variabilidad en la concentración proteica debido a factores como el origen del grano o el proceso de molienda. En cuanto a la fibra dietética total, se determinó un valor de 15.11 ± 1.23 %, notablemente mayor al 3.95 % descrito en la literatura, lo que resalta el potencial de esta harina como fuente de fibra. Respecto a las cenizas, el contenido fue de 2.35 ± 0.054 %, cercano al 2.61 % bibliográfico, lo que indica una composición mineral relativamente similar. Por otro lado, la grasa total obtenida fue de 0.50 ± 0.024 %, considerablemente menor al 2.11

% reportado, lo que podría estar relacionado con diferencias en la variedad de ñuña analizada o en las condiciones de procesamiento.

4.1.3. Harina de Mashua

Los resultados de los análisis efectuados a la harina de mashua se presentan en la tabla 11.

Tabla 11

Composición química harina de Mashua en 100 g.

Composición	Cantidad (%)
Humedad (g)	18.55±0.024
Grasa (g)	0.60 ± 0.09
Cenizas (g)	4.26 ±0.054
Proteínas (g)	11.84 ±0.75
FDT (g)	18.60 ±0.038
Hierro (mg)	401 ±2.01
Calcio (mg)	6 ±0.084
Zinc	378.25 ±5.18
PFT	38.86 mg AGE/DW
CA	167.16 umol TE/ DW

Nota. Análisis desarrollados en el Laboratorio acreditado con la ISO 17025, COLECBI SAC, 2024.

La mashua tiene un alto contenido de proteínas y carbohidratos. Su valor nutritivo supera al de algunos cereales y de la papa, por lo que forma parte de la dieta diaria nutricional. Contiene un balance apropiado de aminoácidos esenciales (Doylet & Rodríguez, 2018)

La composición proximal de la harina de mashua presentó diferencias notables en comparación con los valores reportados por Taipei (2017). El contenido de humedad obtenido fue 18.55 ± 0.024 %, considerablemente menor al 85.73 % registrado en la bibliografía, lo que refleja la reducción de agua tras el proceso de secado. En cuanto a la proteína, se determinó un valor de 11.84 ± 0.75 %, significativamente superior al 1.59 % previamente reportado, lo que sugiere una concentración proteica mayor en la harina. En relación con las cenizas, se obtuvo 4.26 ± 0.054 %, un valor

superior al 0.6 % descrito en la bibliografía, lo que indica una mayor presencia de minerales en la muestra analizada.

4.2. Volumen específico

La Tabla 12 presenta los resultados del análisis del volumen específico en las diversas formulaciones del diseño experimental de pan de molde que contienen harina de ñuña y mashua.

Tabla 12

Análisis del Volumen específico en pan de molde.

Formulación	Harina de ñuña (%)	Harina de mashua (%)	Volumen específico (ml/g)
F1	1,5	1,5	4,38
F2	2,5	1,5	4,29
F3	1,5	4,5	4,18
F4	2,5	4,5	4,07
F5	1	3	4,28
F6	3	3	4,17
F7	2	1	4,39
F8	2	5	4,15
F9	2	3	4,21
F10	2	3	4,20
F11	2	3	4,21
Control	-	-	4,59

*Media de 3 repeticiones

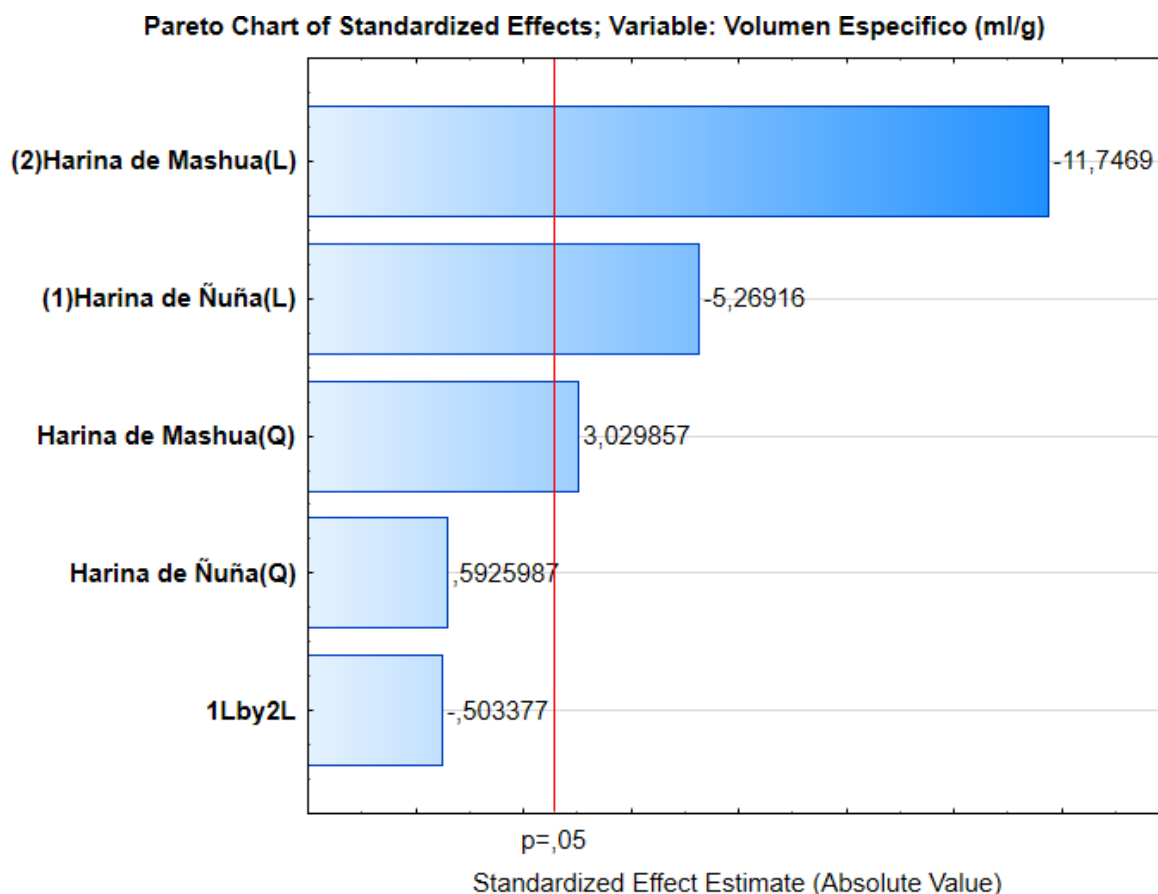
Los niveles de volumen específico en las formulaciones evaluadas variaron entre 4.07 y 4.39 ml/g. La formulación F4 registró el menor volumen específico, mientras que la formulación F7 alcanzó el valor más elevado. Un mayor volumen específico en la formulación F7 sugiere que una menor inclusión de harinas contribuye significativamente al volumen específico del producto final.

El volumen específico es uno de los indicadores más importantes para medir la calidad de productos horneados, lo que puede influir en gran medida en la elección del consumidor (Niu et al., etc 2017). La disminución en el volumen específico del pan puede justificarse

por el efecto diluyente del gluten causado por la sustitución de la harina de trigo por otras, que condujo a un menor volumen de la hogaza de pan (Mudgil et al., 2016).

Figura 4

Diagrama de paleta del volumen específico del pan de molde



El diagrama de Pareto corrobora que la harina de mashua tiene el impacto más significativo en el volumen específico del pan de molde, con un coeficiente estandarizado de -11.7469. Seguido de la harina de ñuña con -5.26916. Dado que estos valores superan el umbral de significancia estadística ($p = 0.05$).

La Tabla 13 muestra los resultados del análisis de varianza (ANOVA) aplicado volumen específico del pan de molde. Los datos revelan que el modelo matemático cuadrático es el que mejor representa las variaciones en el contenido de proteína, con un p-valor de 0.0003 ($p < 0.05$), lo que indica su relevancia estadística. Además, el coeficiente de determinación (R^2) alcanzó un 98.06 %, lo que demuestra un excelente ajuste del modelo a los datos experimentales y su idoneidad para predecir el volumen específico de futuras formulaciones.

Tabla 13*Análisis de ANOVA del volumen específico del pan de molde*

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	0,0924	5	0,0185	50,54	0,0003	significant
A-Harina de mashua	0,0155	1	0,0155	42,48	0,0013	
B-CPA	0,0716	1	0,0716	195,84	< 0.0001	
AB	0,0001	1	0,0001	0,3616	0,5739	
A ²	0,0000	1	0,0000	0,1168	0,7465	
B ²	0,0049	1	0,0049	13,44	0,0145	
Residual	0,0018	5	0,0004			
Lack of Fit	0,0018	3	0,0006	16,27	0,0585	not significant
Pure Error	0,0001	2	0,0000			
Cor Total	0,0943	10				

A partir del análisis de varianza, se obtuvo un modelo matemático ajustado que describe la relación entre el volumen específico en el pan de molde y las proporciones de harina de ñuña y mashua utilizadas en la formulación.

$$\text{Volumen específico} = 4,21 - 0,04A - 0,09B - 0,01AB + 0,002A^2 + 0,03B^2$$

Donde:

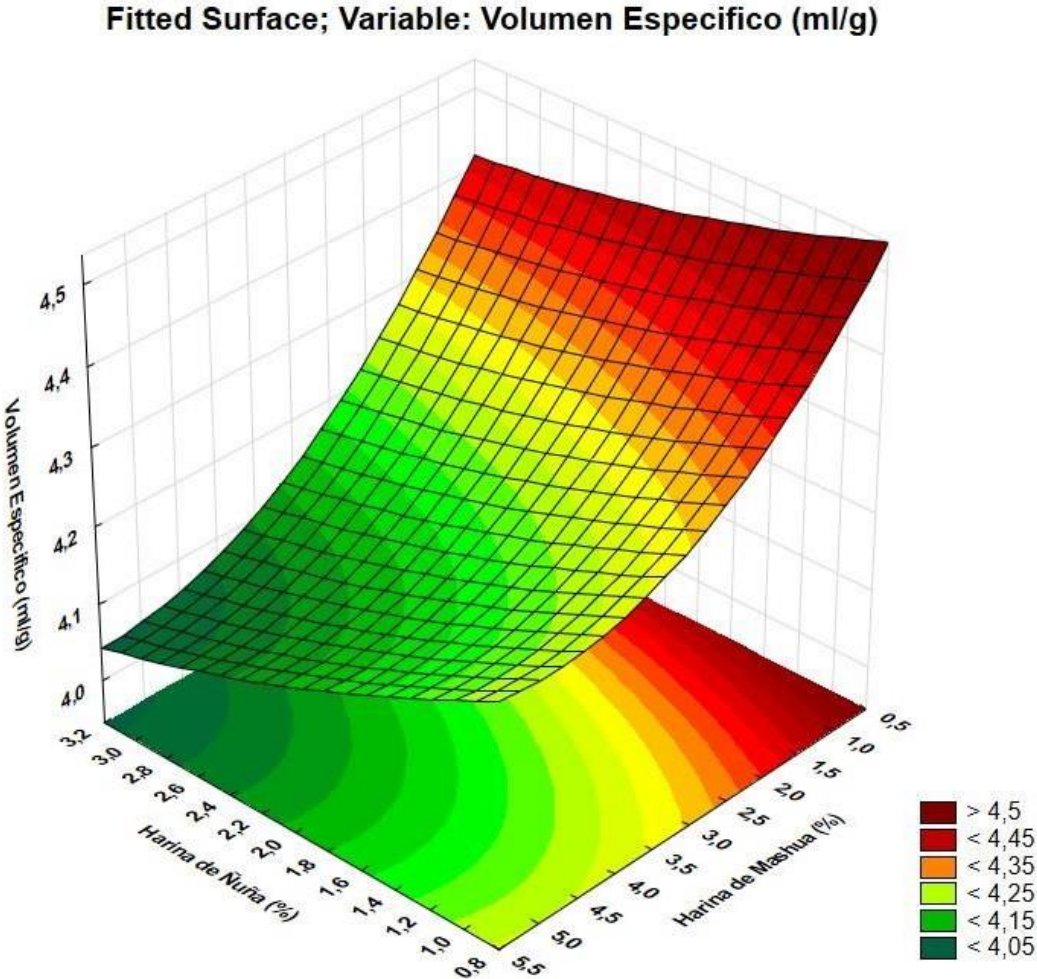
A: Harina de Ñuña

B: Harina de Mashua

Este modelo permite anticipar el volumen específico del pan de molde en función de la composición de sus ingredientes, facilitando así la optimización de la formulación para alcanzar los objetivos de calidad deseados. Además, con base en esta ecuación, se generaron gráficos de superficie de respuesta y de contorno, los cuales permiten visualizar la interacción entre los ingredientes y su influencia sobre el volumen específico, como se ilustra en la Figura 5.

Figura 5

Superficie de respuesta del volumen específico del pan de molde



4.3. Luminosidad

La Tabla 14 presenta los resultados del análisis de Luminosidad en las diversas formulaciones del diseño experimental de pan de molde que contienen harina de ñuña y mashua.

Tabla 14

Análisis de Luminosidad en pan de molde.

Formulación	Harina de ñuña (%)	Harina de mashua (%)	Luminosidad (*L)
F1	1,5	1,5	73,25
F2	2,5	1,5	72,60
F3	1,5	4,5	70,13
F4	2,5	4,5	66,75
F5	1	3	67,19
F6	3	3	68,24
F7	2	1	75,12
F8	2	5	64,58
F9	2	3	68,47
F10	2	3	68,49
F11	2	3	68,51
Control	-	-	82,17

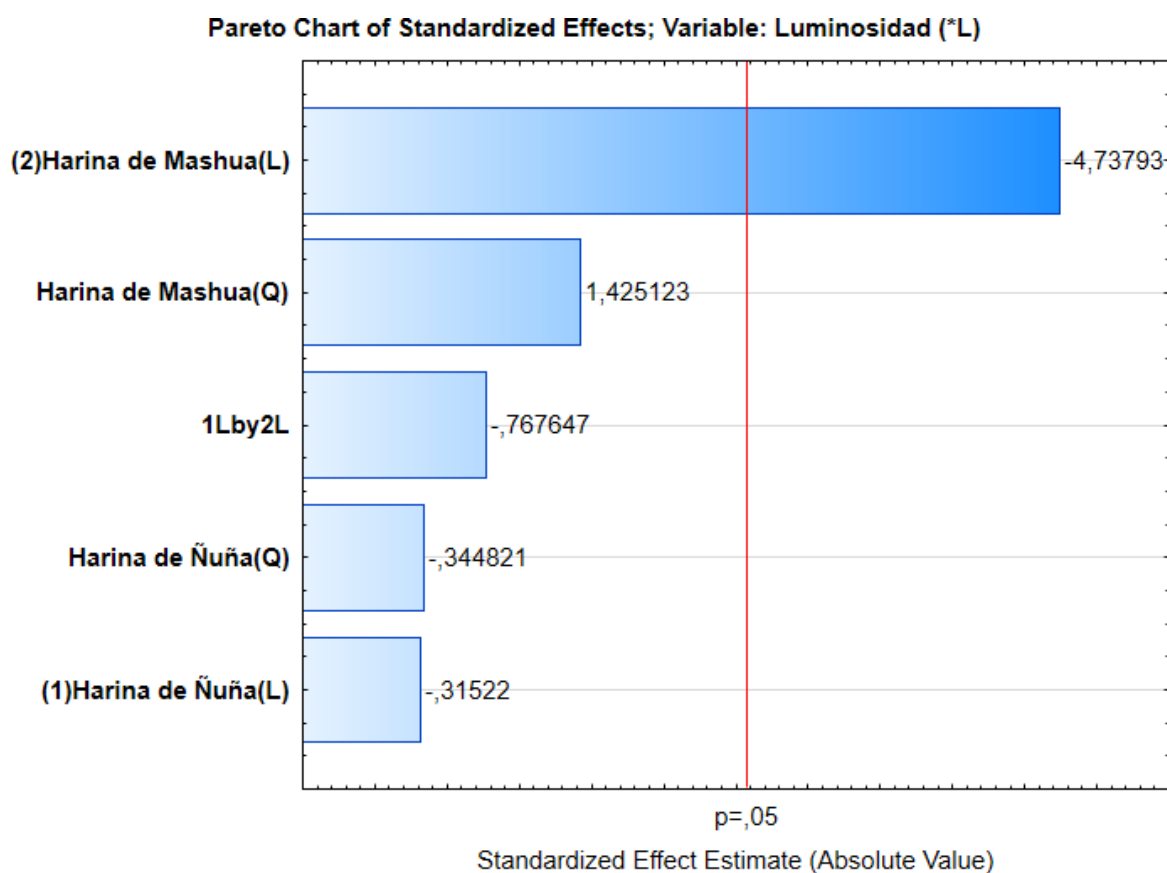
*Media de 3 repeticiones

Los niveles de luminosidad en las formulaciones evaluadas variaron entre 64.58 y 75.12. La formulación F8 registró la menor luminosidad, mientras que la formulación F7 alcanzó el valor más elevado. Una mayor luminosidad en la formulación F7 sugiere que una menor inclusión de harinas contribuye significativamente a la luminosidad del producto final.

Un color más oscuro suele ser el resultado de las reacciones de Maillard y la caramelización. Asimismo, la diferente composición de aminoácidos y el color original de las materias primas determinan el color final del pan (Protonotariou et al., 2020). El valor de L* tiende a disminuir, lo que representa una disminución de la luminosidad a mayor sustitución de la harina de trigo; el valor de a* y b* tienden a aumentar, lo que representa una intensificación del color.

Figura 6

Diagrama de paleta de la luminosidad del pan de molde



El diagrama de Pareto corrobora que la harina de mashua tiene el impacto más significativo en la luminosidad del pan de molde, con un coeficiente estandarizado de -4.74. Dado que estos valores superan el umbral de significancia estadística ($p = 0.05$).

La Tabla 15 muestra los resultados del análisis de varianza (ANOVA) aplicada luminosidad del pan de molde. Los datos revelan que el modelo matemático cuadrático es el que mejor representa las variaciones en el contenido de proteína, con un p-valor de 0.0455 ($p < 0.05$), lo que indica su relevancia estadística. Además, el coeficiente de determinación (R^2) alcanzó un 84.14 %, lo que demuestra un excelente ajuste del modelo a los datos experimentales y su idoneidad para predecir la luminosidad de futuras formulaciones.

Tabla 15*Análisis de ANOVA de la luminosidad del pan de molde*

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	81,91	5	16,38	5,31	0,0455	significant
A-Harina de mashua	0,8103	1	0,8103	0,2624	0,6303	
B-CPA	71,30	1	71,30	23,09	0,0049	
AB	1,84	1	1,84	0,5968	0,4747	
A ²	0,0418	1	0,0418	0,0136	0,9119	
B ²	7,56	1	7,56	2,45	0,1785	
Residual	15,44	5	3,09			
Lack of Fit	15,44	3	5,15	9720,94	0,0001	significant
Pure Error	0,0011	2	0,0005			
Cor Total	97,35	10				

A partir del análisis de varianza, se obtuvo un modelo matemático ajustado que describe la relación entre la luminosidad en el pan de molde y las proporciones de harina de ñuña y mashua utilizadas en la formulación.

$$\text{Luminosidad} = 68,49 - 0,32A - 2,99B - 0,68AB + 0,09A^2 + 1,16B^2$$

Donde:

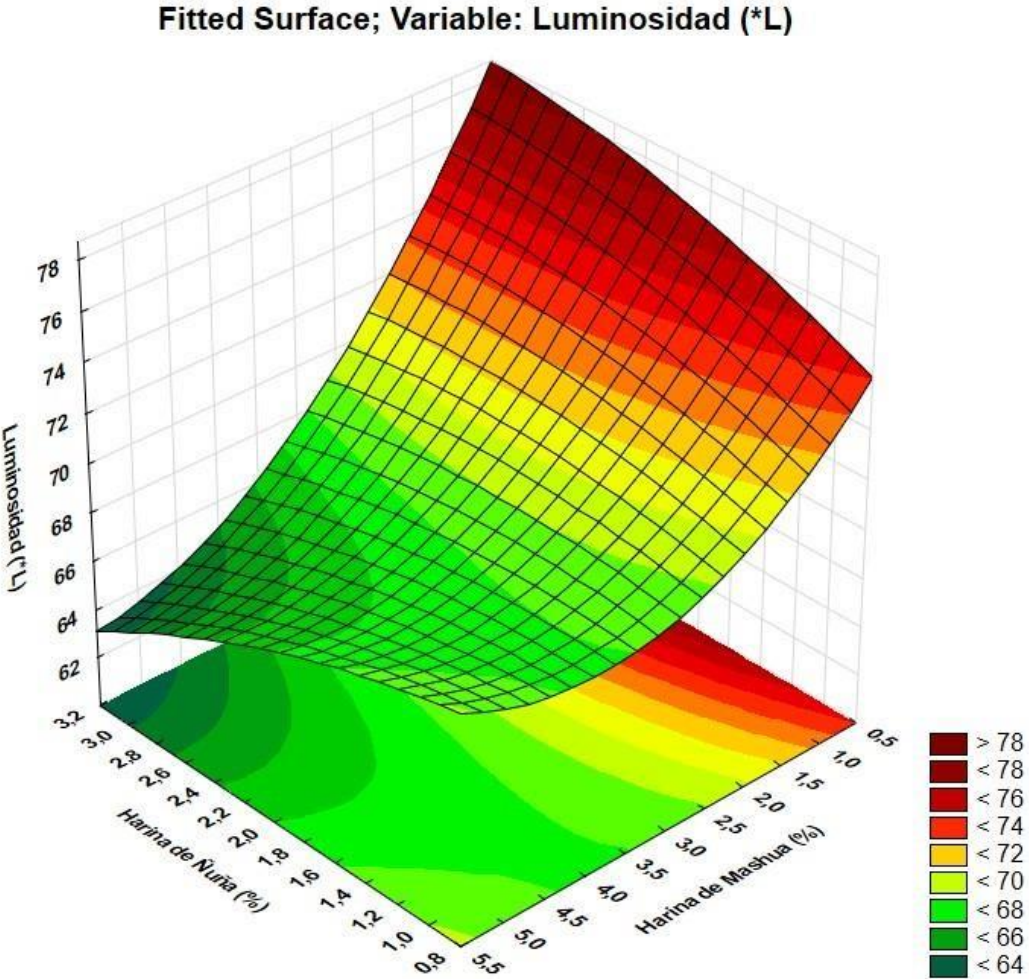
A: Harina de Ñuña

B: Harina de Mashua

Este modelo permite anticipar la luminosidad del pan de molde en función de la composición de sus ingredientes, facilitando así la optimización de la formulación para alcanzar los objetivos de calidad deseados. Además, con base en esta ecuación, se generaron gráficos de superficie de respuesta y de contorno, los cuales permiten visualizar la interacción entre los ingredientes y su influencia sobre la luminosidad, como se ilustra en la Figura 7.

Figura 7

Superficie de respuesta de la luminosidad del pan de molde



4.4. Textura Instrumental

La Tabla 16 presenta los resultados del análisis de la textura Instrumental en las diversas formulaciones del diseño experimental de pan de molde que contienen harina de ñuña y mashua.

Tabla 16

Análisis de la dureza en pan de molde.

Formulación	Harina de ñuña (%)	Harina de mashua (%)	Dureza (N)
F1	1,5	1,5	3,55
F2	2,5	1,5	4,31
F3	1,5	4,5	4,12
F4	2,5	4,5	4,21
F5	1	3	3,21
F6	3	3	4,15
F7	2	1	3,47
F8	2	5	3,28
F9	2	3	3,18
F10	2	3	3,01
F11	2	3	3,09
Control	-	-	2,85

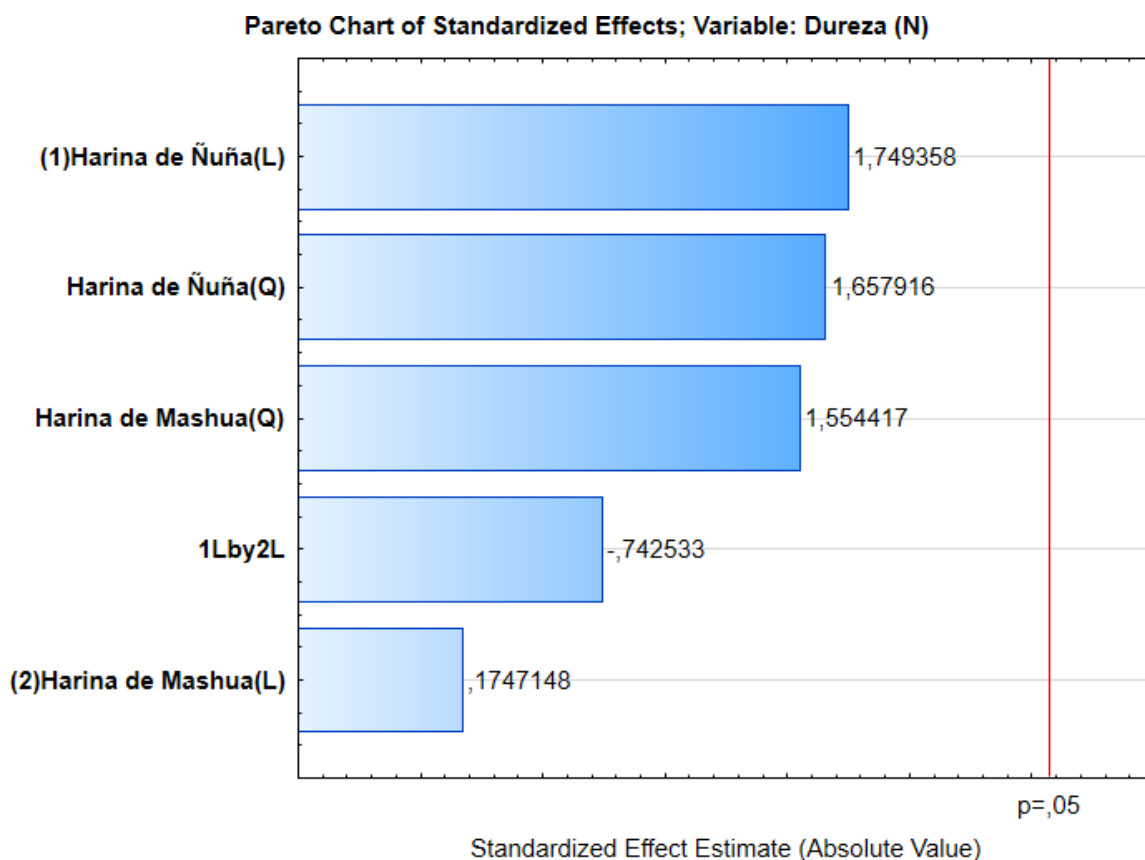
*Media de 3 repeticiones

Los niveles de dureza en las formulaciones evaluadas variaron entre 3.01 y 4.31 N. La formulación F10 registró la menor dureza, mientras que la formulación F2 alcanzó el valor más elevado

La dureza de la corteza y la sequedad del pan se consideran dos de los factores más importantes que determinan la duración de la masticación del pan (Gao & Zhou, 2021). La dureza es un parámetro que se mide por la fuerza requerida para deformar el pan sin desintegrarlo (Gaytán-Martínez et al., 2011). En este sentido, Ogunsina et al. (2011) mencionó que la firmeza del pan es mayor cuando aumenta el porcentaje de sustitución en el pan.

Figura 8

Diagrama de paleta de la dureza del pan de molde



El diagrama de Pareto corrobora que ni la harina de ñuña y ni la harina de mashua tienen impacto significativo en la dureza del pan de molde. Motivo por el cual, estos valores no superan el umbral de significancia estadística ($p = 0.05$).

La Tabla 17 muestra los resultados del análisis de varianza (ANOVA) aplicada a la dureza del pan de molde. Los datos revelan que el modelo matemático cuadrático es el que mejor representa las variaciones en el contenido de proteína, sin embargo, el p-valor de 0.1370 ($p < 0.05$) indica que no hay relevancia estadística. Además, el coeficiente de determinación (R^2) alcanzó un 74.07 %, lo que demuestra un deficiente ajuste del modelo a los datos experimentales y su idoneidad para predecir la dureza de futuras formulaciones.

Tabla 17*Análisis de ANOVA de la dureza del pan de molde*

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	1,86	5	0,3727	2,86	0,1370	not significant
A-Harina de mashua	0,5952	1	0,5952	4,56	0,0858	
B-CPA	0,0051	1	0,0051	0,0388	0,8516	
AB	0,1122	1	0,1122	0,8602	0,3963	
A ²	1,02	1	1,02	7,80	0,0383	
B ²	0,4164	1	0,4164	3,19	0,1341	
Residual	0,6524	5	0,1305			
Lack of Fit	0,6370	3	0,2123	27,73	0,0350	significant
Pure Error	0,0153	2	0,0077			
Cor Total	2,52	10				

A partir del análisis de varianza, se determinó que no hay diferencias significativas (0.1370 ; $p < 0.05$), por lo cual no se obtiene un modelo matemático ajustado que describa la relación entre la dureza en el pan de molde y las proporciones de harina de ñuña y mashua utilizadas en la formulación.

4.5. Proteína

La Tabla 18 presenta los resultados del análisis del contenido de proteína en las diversas formulaciones del diseño experimental de pan de molde que contienen harina de ñuña y mashua.

Tabla 18

Análisis del contenido de proteína en pan de molde.

Formulación	Harina de ñuña (%)	Harina de mashua (%)	Proteína (%)
F1	1,5	1,5	12,05
F2	2,5	1,5	12,16
F3	1,5	4,5	12,05
F4	2,5	4,5	12,15
F5	1	3	12,00
F6	3	3	12,21
F7	2	1	12,11
F8	2	5	12,10
F9	2	3	12,10
F10	2	3	12,10
F11	2	3	12,10
Control	-	-	11,90

*Media de 3 repeticiones

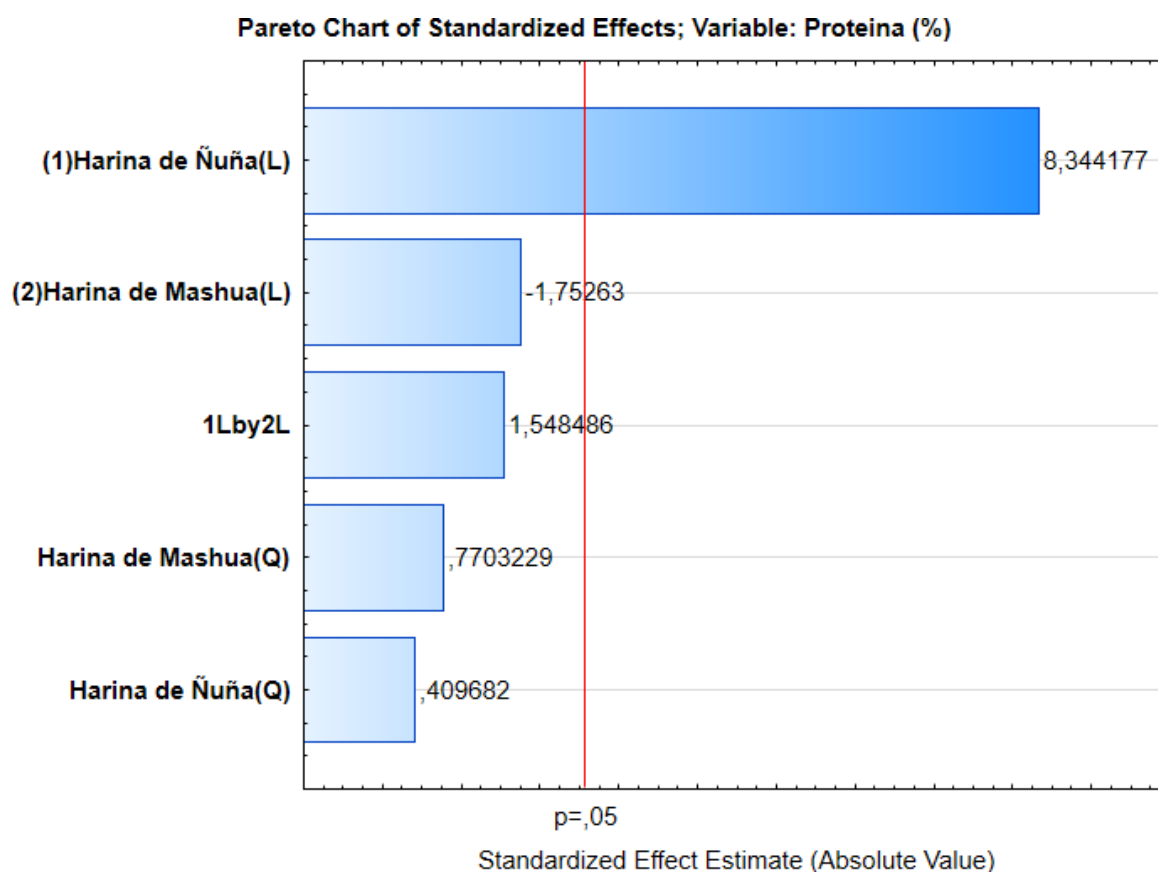
Los niveles de contenido de proteína en las formulaciones evaluadas variaron entre 12.00 y 12.21%. La formulación F5 registró el menor contenido de proteína, mientras que la formulación F6 alcanzó el valor más elevado. Un mayor contenido de proteína en la formulación F6 sugiere que una mayor inclusión de harina de Ñuña contribuye significativamente a aumentar el contenido de proteína del producto final.

En los últimos años, ha aumentado el interés en el enriquecimiento proteico de los productos de panadería, tanto en la industria como en la comunidad científica. Algunas de las razones de esta tendencia son las necesidades específicas de ciertos grupos de población que requieren una mayor ingesta proteica, como los deportistas, cuya ingesta diaria recomendada es de 1,2-2 g/kg de peso corporal (Thomas et al., 2016). El pan sin gluten contiene menos

proteínas que el elaborado con trigo (Miranda et al., 2014); por lo tanto, enriquecer el pan sin gluten con proteínas es una opción interesante, ya que los consumidores de pan sin gluten también demandan productos con mayor calidad nutricional.

Figura 9

Diagrama de paleta del contenido de proteína del pan de molde



El diagrama de Pareto corrobora que la harina de ñuña tiene el impacto más significativo en el contenido de proteína del pan de molde, con un coeficiente estandarizado de 8.34. Dado que estos valores superan el umbral de significancia estadística ($p = 0.05$).

La Tabla 19 muestra los resultados del análisis de varianza (ANOVA) aplicado contenido de proteína del pan de molde. Los datos revelan que el modelo matemático cuadrático es el que mejor representa las variaciones en el contenido de proteína, con un p-valor de 0.0310 ($p < 0.05$), lo que indica su relevancia estadística. Además, el coeficiente de determinación (R^2) alcanzó un 86.55 %, lo que demuestra un excelente ajuste del modelo a los datos experimentales y su idoneidad para predecir el contenido de proteína de futuras formulaciones.

Tabla 19*Análisis de ANOVA del contenido de proteína del pan de molde*

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	0,0262	5	0,0052	6,44	0,0310	significant
A-Harina de mashua	0,0239	1	0,0239	29,30	0,0029	
B-CPA	0,0011	1	0,0011	1,36	0,2961	
AB	0,0009	1	0,0009	1,10	0,3413	
A ²	0,0002	1	0,0002	0,2708	0,6250	
B ²	0,0002	1	0,0002	0,2708	0,6250	
Residual	0,0041	5	0,0008			
Lack of Fit	0,0041	3	0,0014			
Pure Error	0,0000	2	0,0000			
Cor Total	0,0303	10				

A partir del análisis de varianza, se obtuvo un modelo matemático ajustado que describe la relación entre el contenido de proteína en el pan de molde y las proporciones de harina de ñuña y mashua utilizadas en la formulación.

$$\text{Contenido de proteína} = 12,10 + 0,05A - 0,01B + 0,02AB + 0,01A^2 + 0,01B^2$$

Donde:

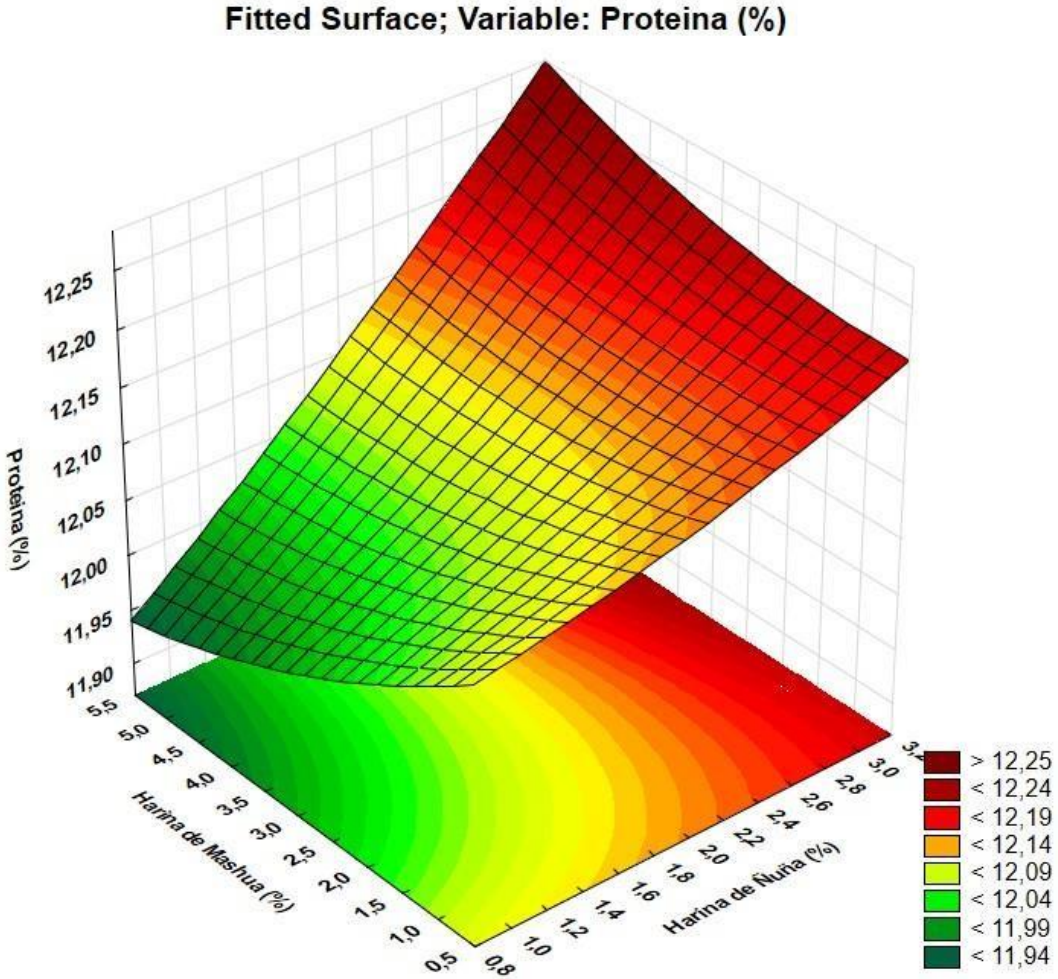
A: Harina de Ñuña

B: Harina de Mashua

Este modelo permite anticipar el contenido de proteína del pan de molde en función de la composición de sus ingredientes, facilitando así la optimización de la formulación para alcanzar los objetivos de calidad deseados. Además, con base en esta ecuación, se generaron gráficos de superficie de respuesta y de contorno, los cuales permiten visualizar la interacción entre los ingredientes y su influencia sobre el contenido de proteína, como se ilustra en la Figura 10.

Figura 10

Superficie de respuesta del contenido de proteína del pan de molde



4.6. Fibra dietética total

La Tabla 20 presenta los resultados del análisis del contenido de fibra dietética total en las diversas formulaciones del diseño experimental de pan de molde que contienen harina de ñuña y mashua.

Tabla 20

Análisis del contenido de fibra dietética total en pan de molde.

Formulación	Harina de ñuña	Harina de mashua	Fibra dietética total
	(%)	(%)	(%)
F1	1,5	1,5	2,12
F2	2,5	1,5	2,25
F3	1,5	4,5	2,62
F4	2,5	4,5	2,76
F5	1	3	2,30
F6	3	3	2,57
F7	2	1	2,10
F8	2	5	2,78
F9	2	3	2,44
F10	2	3	2,44
F11	2	3	2,44
Control	-	-	1,66

*Media de 3 repeticiones

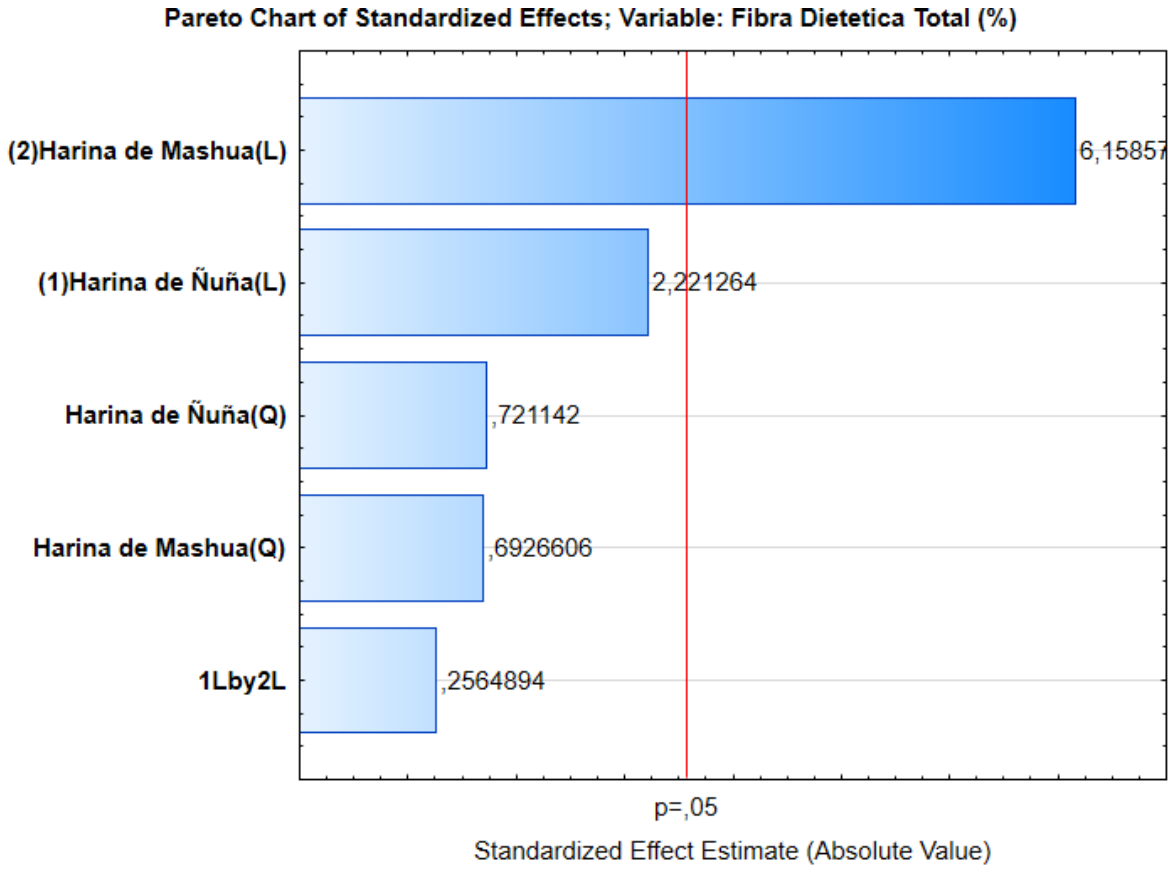
Los niveles de contenido de fibra dietética total en las formulaciones evaluadas variaron entre 2.10 y 2.78 %. La formulación F7 registró el menor contenido de fibra dietética total, mientras que la formulación F8 alcanzó el valor más elevado. Un mayor contenido de fibra dietética total en la formulación F8 sugiere que una mayor inclusión de harina de mashua contribuye significativamente a aumentar el contenido de fibra dietética total del producto final.

Uno de los ingredientes de los alimentos que pueden tener un efecto beneficioso sobre la salud humana es la fibra. La fibra dietética está naturalmente presente en la mayoría de los alimentos derivados de plantas, como cereales integrales, verduras, frutas y legumbres. Cada vez más, los ingredientes que contienen fibra y las fibras dietéticas extraídas se ven no solo

como un medio para aumentar la ingesta de fibra, sino también como un reemplazo funcional para otros ingredientes, como los azúcares (Bingle et al., 2020). Se recomienda comer una dieta rica en fibra, ya que es un ingrediente deseable debido a sus efectos beneficiosos sobre la salud humana (Makki et al., 2018).

Figura 11

Diagrama de paleta del contenido de fibra dietética total del pan de molde



El diagrama de Pareto corrobora que la harina de mashua tiene el impacto más significativo en el contenido de fibra dietética total del pan de molde, con un coeficiente estandarizado de 6.15. Dado que estos valores superan el umbral de significancia estadística ($p = 0.05$).

La Tabla 21 muestra los resultados del análisis de varianza (ANOVA) aplicado contenido de fibra dietética total del pan de molde. Los datos revelan que el modelo matemático cuadrático es el que mejor representa las variaciones en el contenido de proteína, con un p-valor de 0.0150 ($p < 0.05$), lo que indica su relevancia estadística. Además, el coeficiente de determinación (R^2) alcanzó un 90.11 %, lo que demuestra un excelente ajuste del modelo a

los datos experimentales y su idoneidad para predecir el contenido de fibra dietética total de futuras formulaciones.

Tabla 21

Análisis de ANOVA del contenido de fibra dietética total del pan de molde

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	0,4165	5	0,0833	9,12	0,0150	significant
A-Harina de mashua	0,0548	1	0,0548	6,00	0,0580	
B-CPA	0,3575	1	0,3575	39,13	0,0015	
AB	0,0006	1	0,0006	0,0684	0,8041	
A ²	0,0005	1	0,0005	0,0593	0,8174	
B ²	0,0035	1	0,0035	0,3799	0,5647	
Residual	0,0457	5	0,0091			
Lack of Fit	0,0424	3	0,0141	8,66	0,1053	not significant
Pure Error	0,0033	2	0,0016			
Cor Total	0,4622	10				

A partir del análisis de varianza, se obtuvo un modelo matemático ajustado que describe la relación entre el contenido de fibra dietética total en el pan de molde y las proporciones de harina de ñuña y mashua utilizadas en la formulación.

$$\text{Fibra dietética total} = 2,42 + 0,08A + 0,21B + 0,01AB + 0,01A^2 + 0,02B^2$$

Donde:

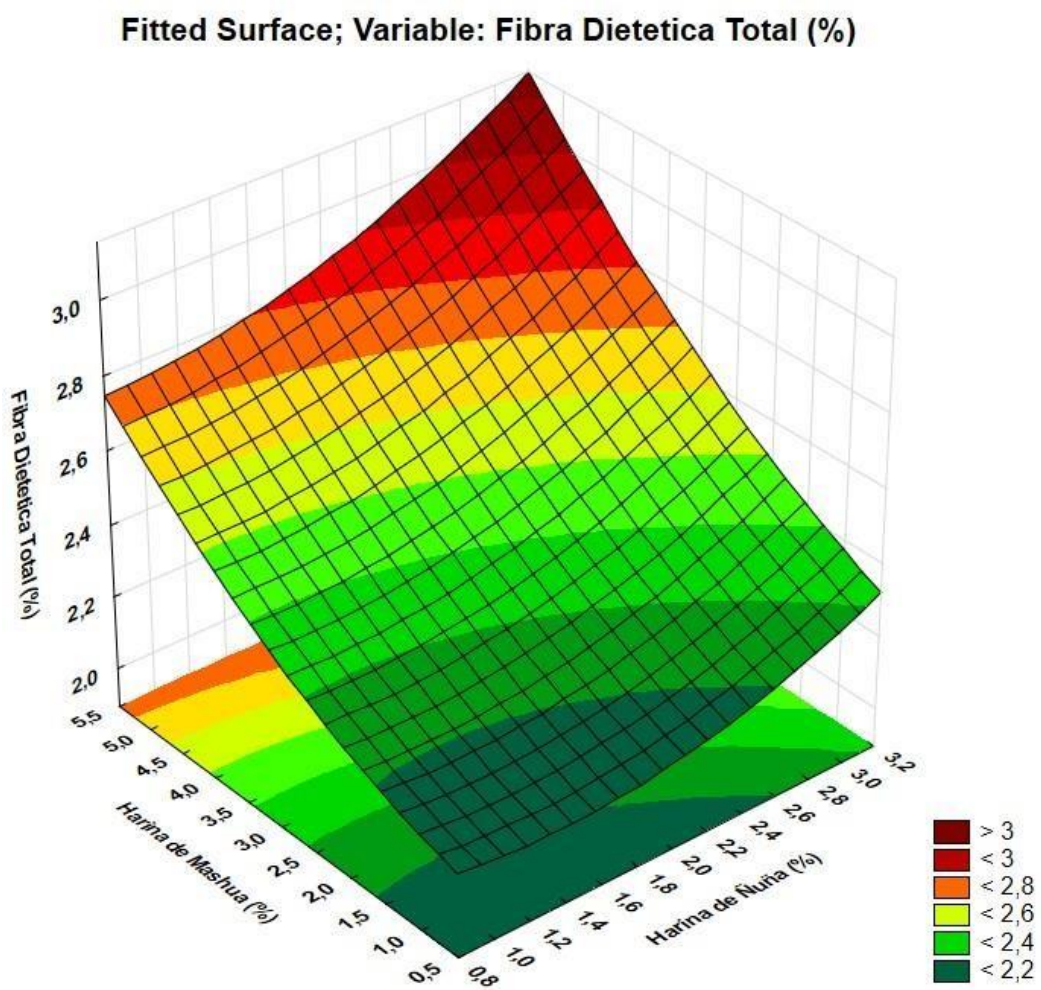
A: Harina de Ñuña

B: Harina de Mashua

Este modelo permite anticipar el contenido de fibra dietética total del pan de molde en función de la composición de sus ingredientes, facilitando así la optimización de la formulación para alcanzar los objetivos de calidad deseados. Además, con base en esta ecuación, se generaron gráficos de superficie de respuesta y de contorno, los cuales permiten visualizar la interacción entre los ingredientes y su influencia sobre el contenido de fibra dietética total, como se ilustra en la Figura 12.

Figura 12

Superficie de respuesta del contenido de fibra dietética total del pan de molde



4.7. Fosforo

La Tabla 22 presenta los resultados del análisis del contenido de fosforo en las diversas formulaciones del diseño experimental de pan de molde que contienen harina de ñuña y mashua.

Tabla 22

Análisis del contenido de fosforo en pan de molde.

Formulación	Harina de ñuña (%)	Harina de mashua (%)	Fosforo (mg/100g)
F1	1,5	1,5	93
F2	2,5	1,5	155
F3	1,5	4,5	93
F4	2,5	4,5	155
F5	1	3	62
F6	3	3	186
F7	2	1	124
F8	2	5	124
F9	2	3	124
F10	2	3	124
F11	2	3	124
Control	-	-	0

*Media de 3 repeticiones

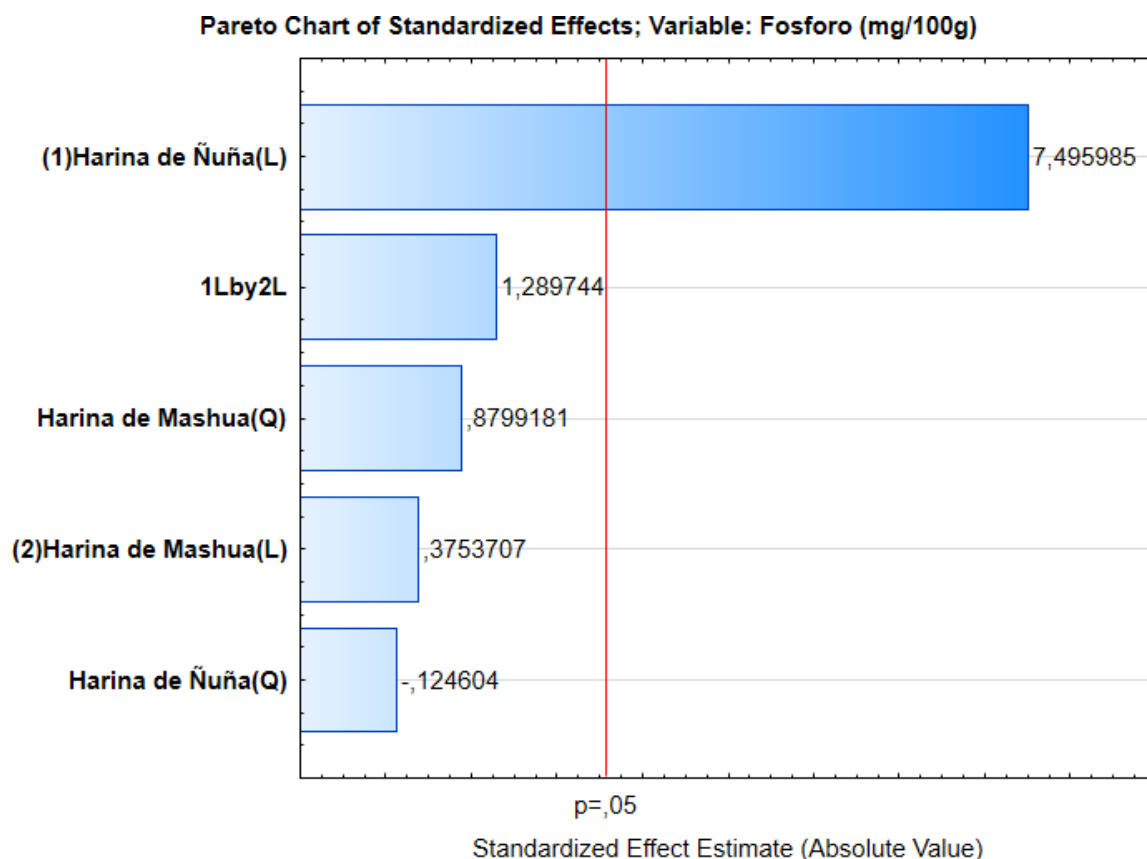
Los niveles de contenido de fosforo en las formulaciones evaluadas variaron entre 62 y 186 mg/100g. La formulación F5 registró el menor contenido de fosforo, mientras que la formulación F6 alcanzó el valor más elevado. Un mayor contenido de fosforo en la formulación F6 sugiere que una mayor inclusión de harina de Ñuña contribuye significativamente a aumentar el contenido de fosforo del producto final.

El fósforo es un nutriente esencial que desempeña funciones vitales tanto en los tejidos esqueléticos como en los no esqueléticos y es fundamental para la producción de energía. Además, actúa como una molécula señalizadora, induciendo respuestas fisiológicas complejas. La homeostasis del fósforo es crucial para la salud (Bird & Eskin, 2021). Según

el Instituto de Medicina (Bethesda, MD, EE. UU.) y la Asociación Alemana de Nutrición, se recomienda una ingesta diaria de 700 mg de fósforo (Trautvetter et al., 2018).

Figura 13

Diagrama de paleta del contenido de fósforo del pan de molde



El diagrama de Pareto corrobora que la harina de ñuña tiene el impacto más significativo en el contenido de fósforo del pan de molde, con un coeficiente estandarizado de 7.49. Dado que estos valores superan el umbral de significancia estadística ($p = 0.05$).

La Tabla 23 muestra los resultados del análisis de varianza (ANOVA) aplicado contenido de fósforo del pan de molde. Los datos revelan que el modelo matemático cuadrático es el que mejor representa las variaciones en el contenido de proteína, con un p-valor de 0.0179 ($p < 0.05$), lo que indica su relevancia estadística. Además, el coeficiente de determinación (R^2) alcanzó un 89.34 %, lo que demuestra un excelente ajuste del modelo a los datos experimentales y su idoneidad para predecir el contenido de fósforo de futuras formulaciones.

Tabla 23*Análisis de ANOVA del contenido de fosforo del pan de molde*

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	7737,22	5	1547,44	8,38	0,0179	significant
A-Harina de mashua	7264,84	1	7264,84	39,34	0,0015	
B-CPA	18,00	1	18,00	0,0975	0,7675	
AB	225,00	1	225,00	1,22	0,3199	
A ²	52,25	1	52,25	0,2829	0,6176	
B ²	112,25	1	112,25	0,6078	0,4709	
Residual	923,33	5	184,67			
Lack of Fit	734,66	3	244,89	2,60	0,2903	not significant
Pure Error	188,67	2	94,33			
Cor Total	8660,55	10				

A partir del análisis de varianza, se obtuvo un modelo matemático ajustado que describe la relación entre el contenido de fosforo en el pan de molde y las proporciones de harina de ñuña y mashua utilizadas en la formulación.

$$\text{Fosforo} = 126,33 + 30,13A + 1,50B + 7,50AB - 3,04A^2 + 4,46B^2$$

Donde:

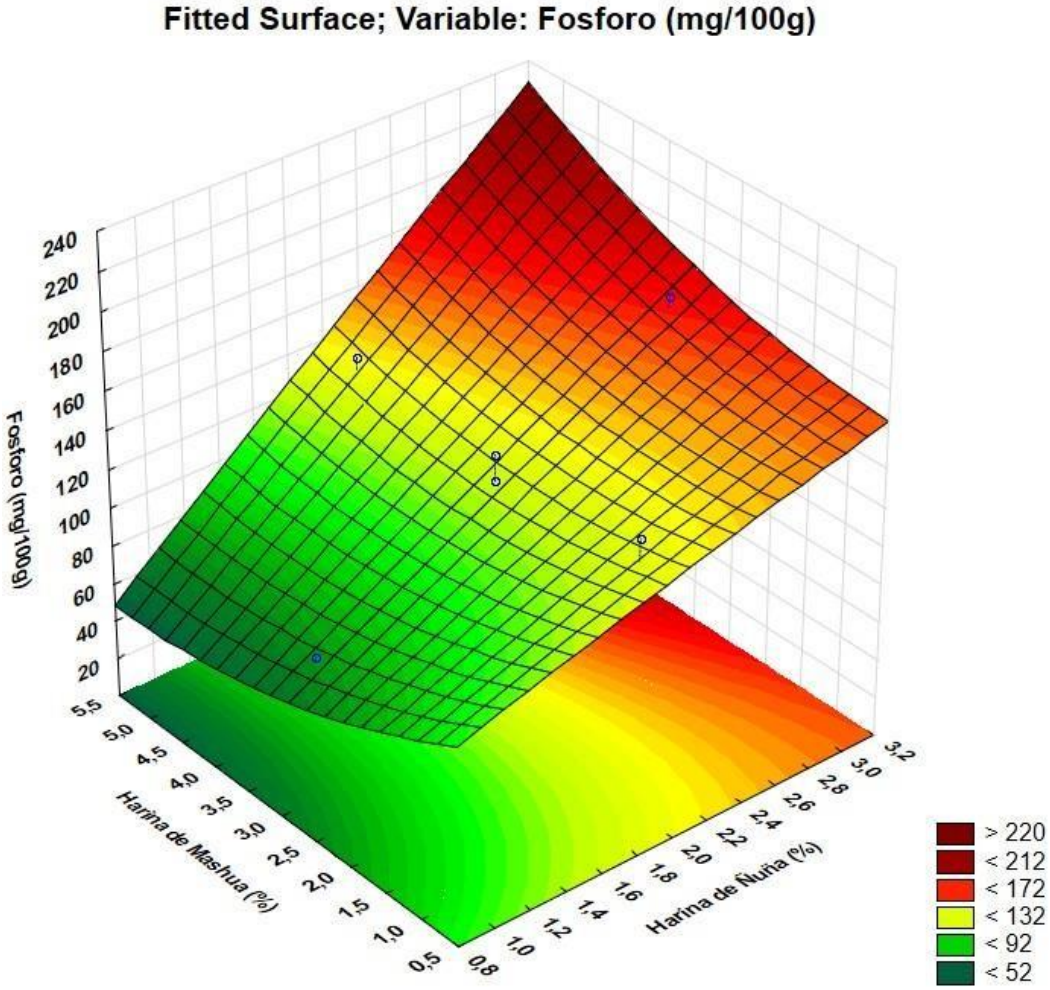
A: Harina de Ñuña

B: Harina de Mashua

Este modelo permite anticipar el contenido de fosforo del pan de molde en función de la composición de sus ingredientes, facilitando así la optimización de la formulación para alcanzar los objetivos de calidad deseados. Además, con base en esta ecuación, se generaron gráficos de superficie de respuesta y de contorno, los cuales permiten visualizar la interacción entre los ingredientes y su influencia sobre el contenido de fosforo, como se ilustra en la Figura 14.

Figura 14

Superficie de respuesta del contenido de fosforo del pan de molde



4.8. Calcio

La Tabla 24 presenta los resultados del análisis del contenido de calcio en las diversas formulaciones del diseño experimental de pan de molde que contienen harina de ñuña y mashua.

Tabla 24

Análisis del contenido de calcio en pan de molde.

Formulación	Harina de ñuña (%)	Harina de mashua (%)	Calcio (mg/100g)
F1	1,5	1,5	17,45
F2	2,5	1,5	19,10
F3	1,5	4,5	16,99
F4	2,5	4,5	18,64
F5	1	3	16,39
F6	3	3	19,70
F7	2	1	18,35
F8	2	5	17,74
F9	2	3	18,04
F10	2	3	18,04
F11	2	3	18,04
Control	-	-	15,20

*Media de 3 repeticiones

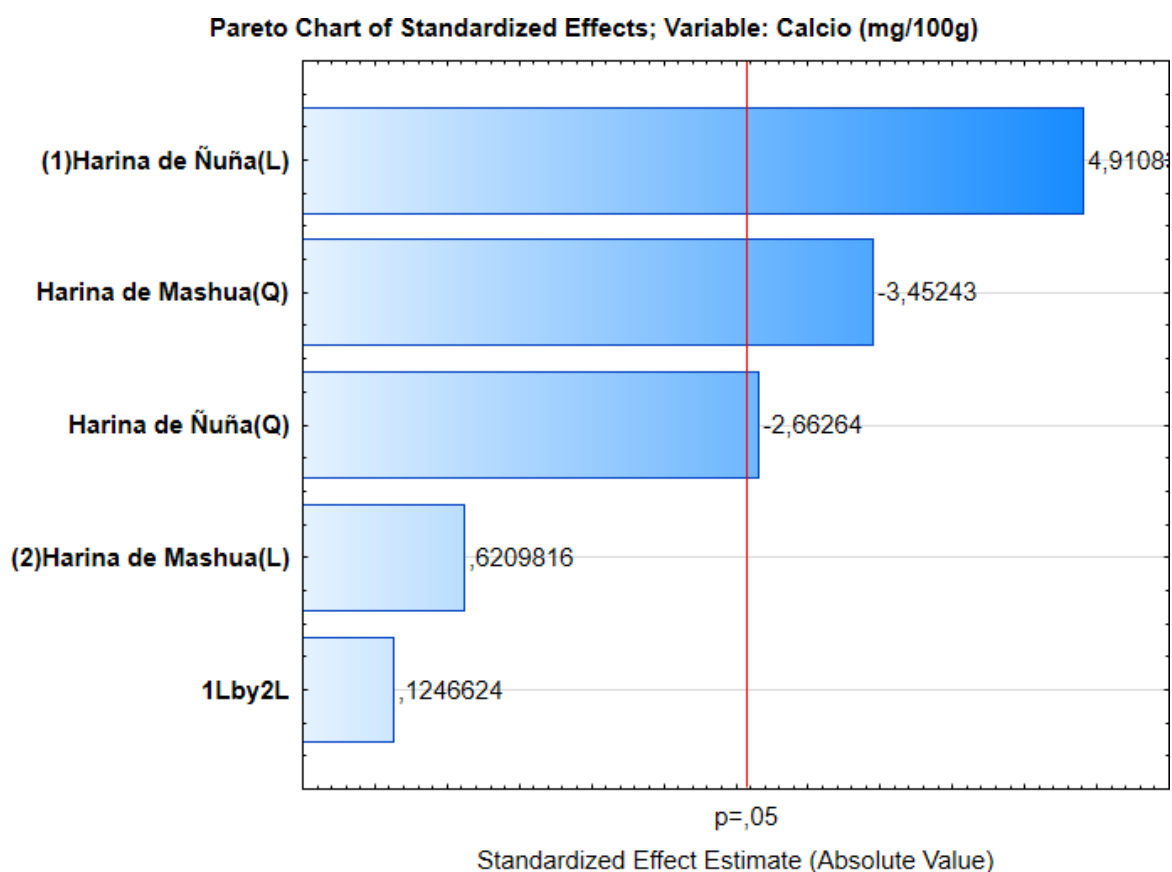
Los niveles de contenido de calcio en las formulaciones evaluadas variaron entre 16.39 y 19.70 mg/100g. La formulación F5 registró el menor contenido de calcio, mientras que la formulación F6 alcanzó el valor más elevado. Un mayor contenido de calcio en la formulación F6 sugiere que una mayor inclusión de harina de Ñuña contribuye significativamente a aumentar el contenido de calcio del producto final.

La ingesta adecuada de calcio ha demostrado muchos beneficios para la salud, como la reducción de los trastornos hipertensivos del embarazo, la presión arterial más baja, especialmente entre los jóvenes, la prevención de la osteoporosis y los adenomas colorrectales, los valores más bajos de colesterol y la presión arterial más baja en la progenie de las madres que toman suficiente calcio durante el embarazo (Cormick & Belizán, 2019).

Los requisitos de calcio son altos durante todas las etapas de la vida. Los valores de referencia dietéticos para personas mayores de 19 años varían de 1000 mg a 1300 mg al día (2011).

Figura 15

Diagrama de paleta del contenido de calcio del pan de molde



El diagrama de Pareto corrobora que la harina de ñuña tiene el impacto más significativo en el volumen específico del pan de molde, con un coeficiente estandarizado de 4.91. Seguido de la harina de mashua con -3.45. Dado que estos valores superan el umbral de significancia estadística ($p = 0.05$).

La Tabla 25 muestra los resultados del análisis de varianza (ANOVA) aplicado contenido de calcio del pan de molde. Los datos revelan que el modelo matemático cuadrático es el que mejor representa las variaciones en el contenido de proteína, con un p-valor de 0.0457 ($p < 0.05$), lo que indica su relevancia estadística. Además, el coeficiente de determinación (R^2) alcanzó un 84.10 %, lo que demuestra un excelente ajuste del modelo a los datos experimentales y su idoneidad para predecir el contenido de calcio de futuras formulaciones.

Tabla 25*Análisis de ANOVA del contenido de calcio del pan de molde*

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	9,94	5	1,99	5,29	0,0457	significant
A-Harina de mashua	6,48	1	6,48	17,25	0,0089	
B-CPA	0,1230	1	0,1230	0,3274	0,5920	
AB	0,0042	1	0,0042	0,0112	0,9197	
A ²	1,36	1	1,36	3,63	0,1152	
B ²	2,84	1	2,84	7,55	0,0404	
Residual	1,88	5	0,3757			
Lack of Fit	1,86	3	0,6193	60,12	0,0164	significant
Pure Error	0,0206	2	0,0103			
Cor Total	11,82	10				

A partir del análisis de varianza, se obtuvo un modelo matemático ajustado que describe la relación entre el contenido de calcio en el pan de molde y las proporciones de harina de ñuña y mashua utilizadas en la formulación.

$$\text{Contenido de calcio} = 18,87 + 0,90A + 0,12B + 0,03AB - 0,49A^2 - 0,71B^2$$

Donde:

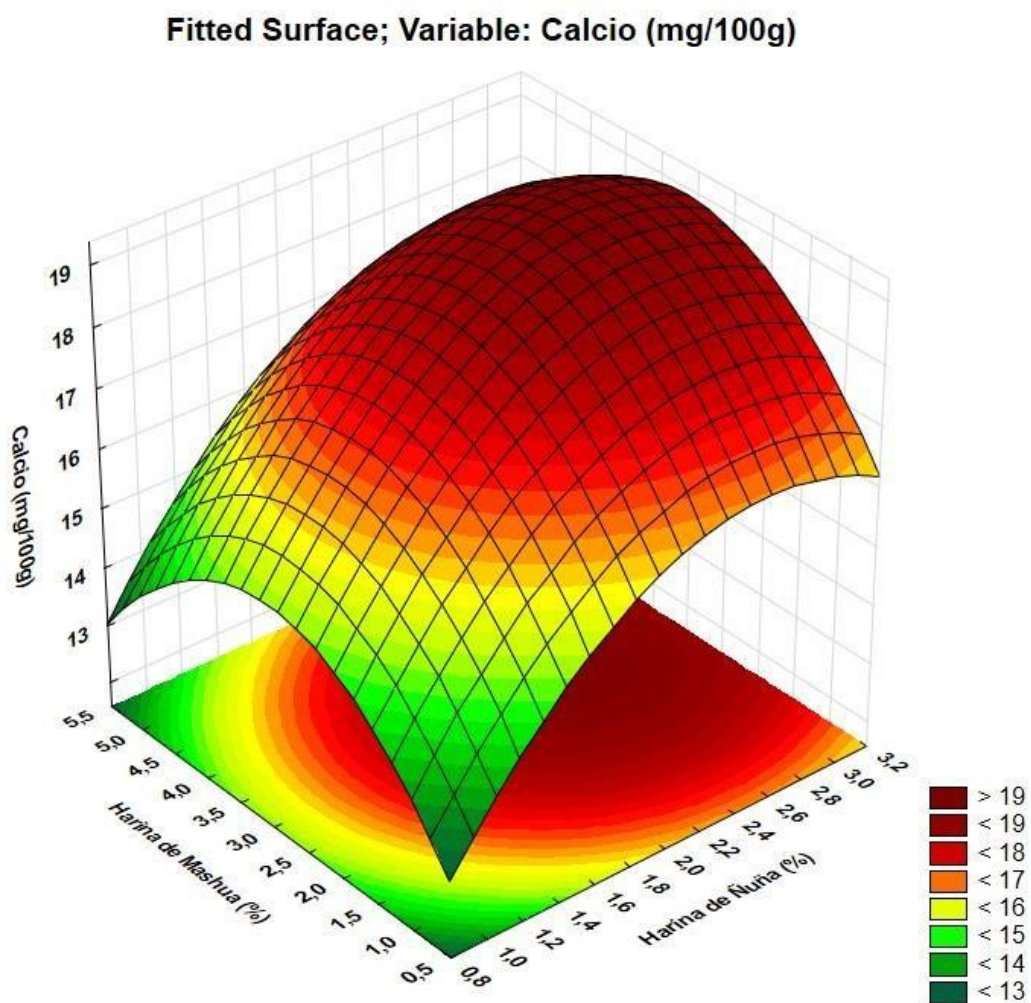
A: Harina de Ñuña

B: Harina de Mashua

Este modelo permite anticipar el contenido de calcio del pan de molde en función de la composición de sus ingredientes, facilitando así la optimización de la formulación para alcanzar los objetivos de calidad deseados. Además, con base en esta ecuación, se generaron gráficos de superficie de respuesta y de contorno, los cuales permiten visualizar la interacción entre los ingredientes y su influencia sobre el contenido de calcio, como se ilustra en la Figura 16.

Figura 16

Superficie de respuesta del contenido de calcio del pan de molde



4.9. Hierro

La Tabla 26 presenta los resultados del análisis del contenido de hierro en las diversas formulaciones del diseño experimental de pan de molde que contienen harina de ñuña y mashua.

Tabla 26

Análisis del contenido de hierro en pan de molde.

Formulación	Harina de ñuña (%)	Harina de mashua (%)	Hierro (mg/100g)
F1	1,5	1,5	8,82
F2	2,5	1,5	8,86
F3	1,5	4,5	20,77
F4	2,5	4,5	20,80
F5	1	3	14,77
F6	3	3	14,85
F7	2	1	6,85
F8	2	5	22,78
F9	2	3	14,81
F10	2	3	14,81
F11	2	3	14,81
Control	-	-	2,79

*Media de 3 repeticiones

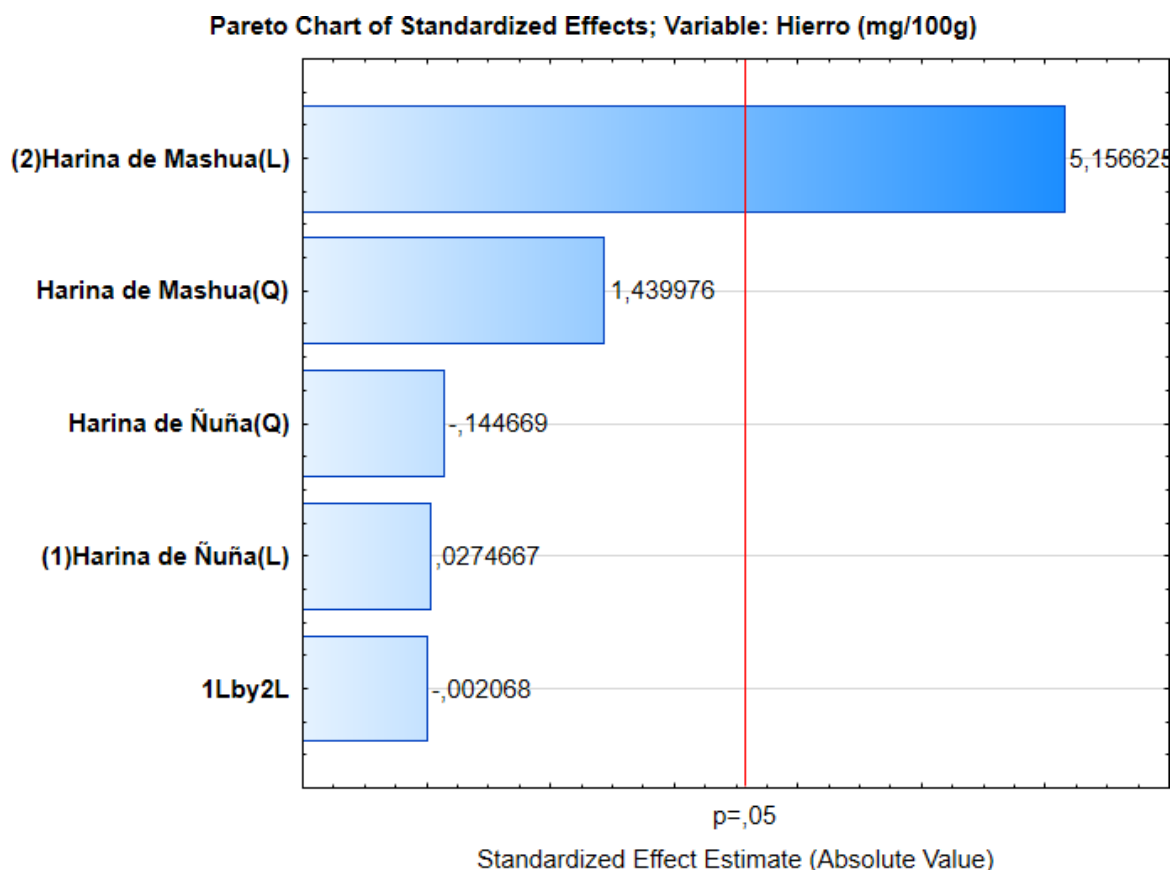
Los niveles de contenido de hierro en las formulaciones evaluadas variaron entre 6.85 y 22.78 mg/100g. La formulación F7 registró el menor contenido de hierro, mientras que la formulación F8 alcanzó el valor más elevado. Un mayor contenido de hierro en la formulación F8 sugiere que una mayor inclusión de harina de mashua contribuye significativamente a aumentar el contenido de hierro del producto final.

El hierro es un micronutriente esencial para el transporte de oxígeno, el metabolismo energético celular y numerosas reacciones enzimáticas. Para satisfacer las demandas metabólicas y minimizar la toxicidad causada por los radicales libres generados por el hierro, el organismo ha desarrollado mecanismos fisiológicos complejos para su adquisición y

regulación (Lal, 2020). El Instituto de Medicina (2001) recomienda una ingesta diaria de hierro de 11 a 18 mg para hombres y mujeres de entre 4 y 50 años.

Figura 17

Diagrama de paleta del contenido de hierro del pan de molde



El diagrama de Pareto corrobora que la harina de mashua tiene el impacto más significativo en el contenido de hierro del pan de molde, con un coeficiente estandarizado de 5.15. Dado que estos valores superan el umbral de significancia estadística ($p = 0.05$).

La Tabla 27 muestra los resultados del análisis de varianza (ANOVA) aplicado contenido de hierro del pan de molde. Los datos revelan que el modelo matemático cuadrático es el que mejor representa las variaciones en el contenido de proteína, con un p-valor de 0.0370 ($p < 0.05$), lo que indica su relevancia estadística. Además, el coeficiente de determinación (R^2) alcanzó un 85.48 %, lo que demuestra un excelente ajuste del modelo a los datos experimentales y su idoneidad para predecir el contenido de hierro de futuras formulaciones.

Tabla 27*Análisis de ANOVA del contenido de hierro del pan de molde*

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	171,11	5	34,22	5,89	0,0370	significant
A-Harina de mashua	0,0042	1	0,0042	0,0007	0,9796	
B-CPA	152,19	1	152,19	26,18	0,0037	
AB	0,0000	1	0,0000	4,301E-06	0,9984	
A ²	1,47	1	1,47	0,2521	0,6369	
B ²	13,23	1	13,23	2,28	0,1918	
Residual	29,06	5	5,81			
Lack of Fit	29,06	3	9,69			
Pure Error	0,0000	2	0,0000			
Cor Total	200,18	10				

A partir del análisis de varianza, se obtuvo un modelo matemático ajustado que describe la relación entre el contenido de hierro en el pan de molde y las proporciones de harina de ñuña y mashua utilizadas en la formulación.

$$\text{Contenido de hierro} = 14,81 + 0,02A + 4,36B - 0,002AB - 0,51A^2 + 1,53B^2$$

Donde:

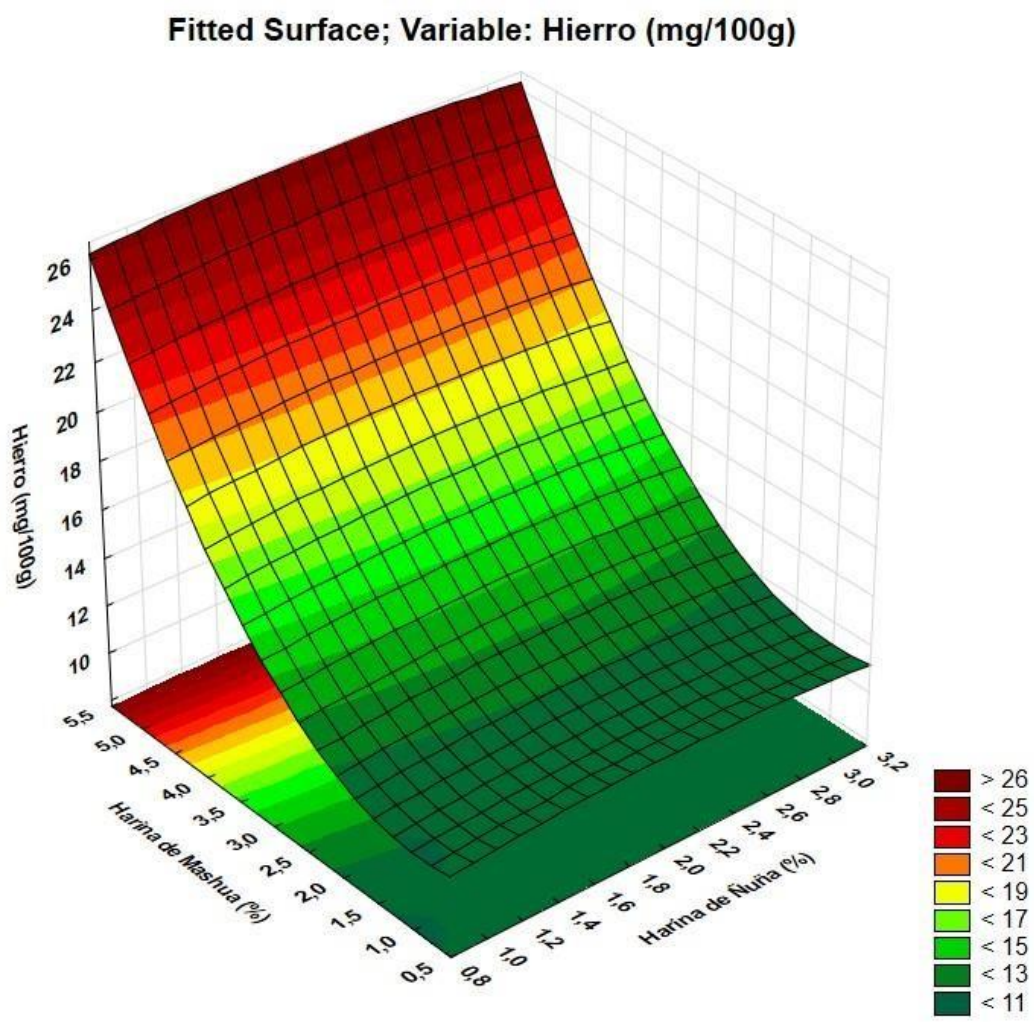
A: Harina de Ñuña

B: Harina de Mashua

Este modelo permite anticipar el contenido de hierro del pan de molde en función de la composición de sus ingredientes, facilitando así la optimización de la formulación para alcanzar los objetivos de calidad deseados. Además, con base en esta ecuación, se generaron gráficos de superficie de respuesta y de contorno, los cuales permiten visualizar la interacción entre los ingredientes y su influencia sobre el contenido de hierro, como se ilustra en la Figura 18.

Figura 18

Superficie de respuesta del contenido de hierro del pan de molde



4.10. Potasio

La Tabla 28 presenta los resultados del análisis del contenido de potasio en las diversas formulaciones del diseño experimental de pan de molde que contienen harina de ñuña y mashua.

Tabla 28

Análisis del contenido de potasio en pan de molde.

Formulación	Harina de ñuña (%)	Harina de mashua (%)	Potasio (mg/100g)
F1	1,5	1,5	17,40
F2	2,5	1,5	29,00
F3	1,5	4,5	17,40
F4	2,5	4,5	29,00
F5	1	3	11,60
F6	3	3	34,80
F7	2	1	23,20
F8	2	5	23,20
F9	2	3	23,20
F10	2	3	23,20
F11	2	3	23,20
Control	-	-	0,00

*Media de 3 repeticiones

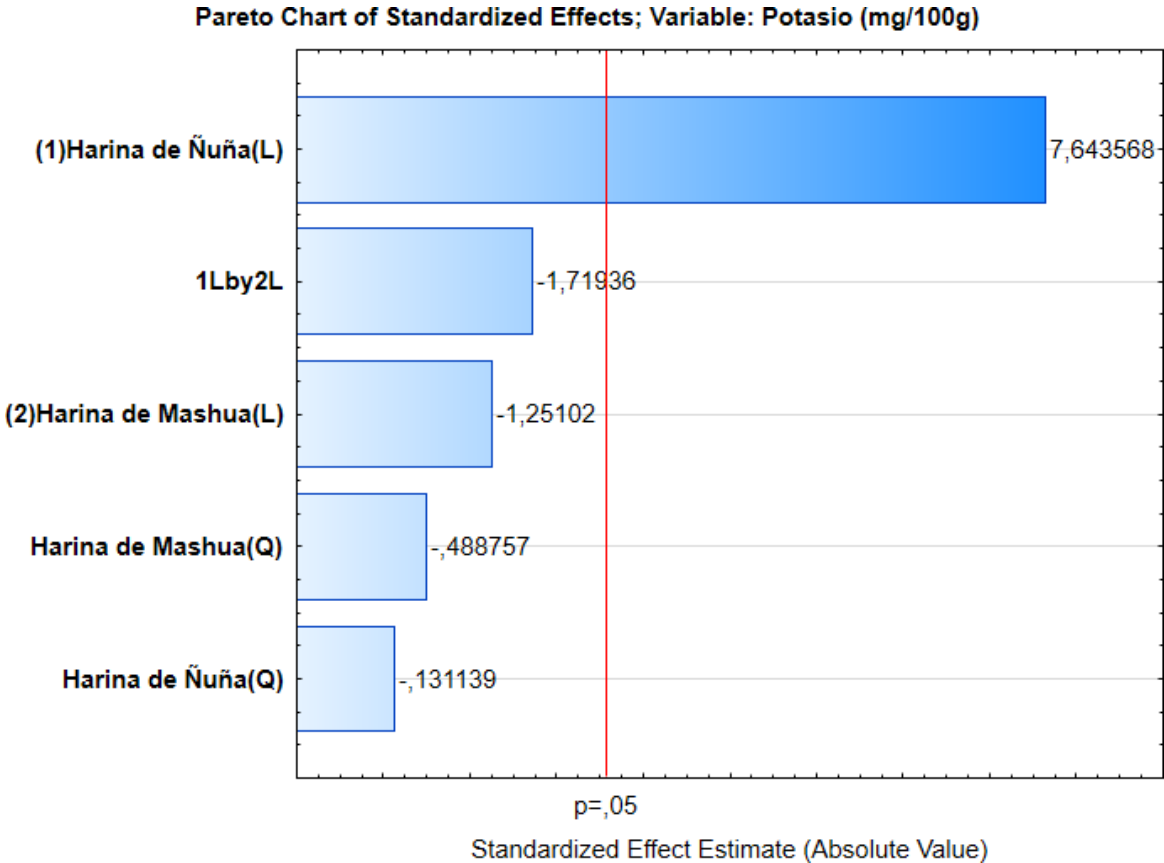
Los niveles de contenido de potasio en las formulaciones evaluadas variaron entre 11.60 y 34.80 mg/100g. La formulación F5 registró el menor contenido de potasio, mientras que la formulación F6 alcanzó el valor más elevado. Un mayor contenido de potasio en la formulación F6 sugiere que una mayor inclusión de harina de Ñuña contribuye significativamente a aumentar el contenido de potasio del producto final.

El potasio es un nutriente esencial que desempeña un papel fundamental en las funciones celulares, incluido el mantenimiento del equilibrio de líquidos y la osmolalidad celular. Su homeostasis es regulada principalmente por el riñón, y la mayor parte del potasio ingerido se excreta a través de la orina (McLean & Wang, 2021). La Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda una ingesta diaria de al menos 3510 mg (90 mmol) para adultos,

mientras que en los niños la cantidad recomendada se ajusta según sus requerimientos energéticos (Organización Mundial de la Salud, 2012).

Figura 19

Diagrama de paleta del contenido de potasio del pan de molde



El diagrama de Pareto corrobora que la harina de ñuña tiene el impacto más significativo en el contenido de potasio del pan de molde, con un coeficiente estandarizado de 7.64. Dado que estos valores superan el umbral de significancia estadística ($p = 0.05$).

La Tabla 29 muestra los resultados del análisis de varianza (ANOVA) aplicado contenido de potasio del pan de molde. Los datos revelan que el modelo matemático cuadrático es el que mejor representa las variaciones en el contenido de proteína, con un p-valor de 0.0390 ($p < 0.05$), lo que indica su relevancia estadística. Además, el coeficiente de determinación (R^2) alcanzó un 85.16 %, lo que demuestra un excelente ajuste del modelo a los datos experimentales y su idoneidad para predecir el contenido de potasio de futuras formulaciones.

Tabla 29*Análisis de ANOVA del contenido de potasio del pan de molde*

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	314,30	5	62,86	5,74	0,0390	significant
A-Harina de mashua	288,12	1	288,12	26,31	0,0037	
B-CPA	8,00	1	8,00	0,7304	0,4318	
AB	16,00	1	16,00	1,46	0,2808	
A ²	1,41	1	1,41	0,1289	0,7342	
B ²	1,41	1	1,41	0,1289	0,7342	
Residual	54,76	5	10,95			
Lack of Fit	54,76	3	18,25			
Pure Error	0,0000	2	0,0000			
Cor Total	369,06	10				

A partir del análisis de varianza, se obtuvo un modelo matemático ajustado que describe la relación entre el contenido de potasio en el pan de molde y las proporciones de harina de ñuña y mashua utilizadas en la formulación.

$$\text{Contenido de potasio} = 23,20 + 6,00A - 1,00B - 2,00AB - 0,50A^2 - 0,50B^2$$

Donde:

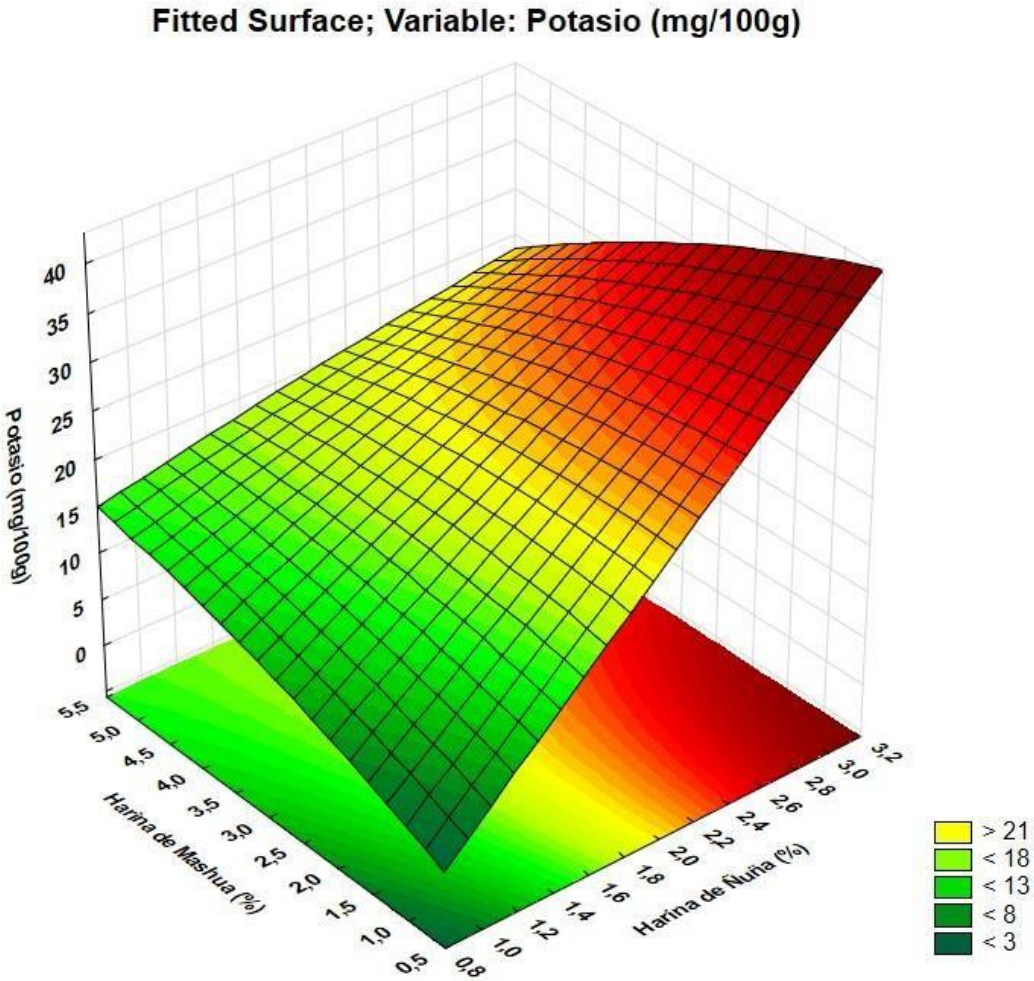
A: Harina de Ñuña

B: Harina de Mashua

Este modelo permite anticipar el contenido de potasio del pan de molde en función de la composición de sus ingredientes, facilitando así la optimización de la formulación para alcanzar los objetivos de calidad deseados. Además, con base en esta ecuación, se generaron gráficos de superficie de respuesta y de contorno, los cuales permiten visualizar la interacción entre los ingredientes y su influencia sobre el contenido de potasio, como se ilustra en la Figura 20.

Figura 20

Superficie de respuesta del contenido de potasio del pan de molde



4.11. Magnesio

La Tabla 30 presenta los resultados del análisis del contenido de magnesio en las diversas formulaciones del diseño experimental de pan de molde que contienen harina de ñuña y mashua.

Tabla 30

Análisis del contenido de magnesio en pan de molde.

Formulación	Harina de ñuña (%)	Harina de mashua (%)	Magnesio (mg/100g)
F1	1,5	1,5	6
F2	2,5	1,5	10
F3	1,5	4,5	6
F4	2,5	4,5	10
F5	1	3	4
F6	3	3	12
F7	2	1	8
F8	2	5	8
F9	2	3	8
F10	2	3	8
F11	2	3	8
Control	-	-	0

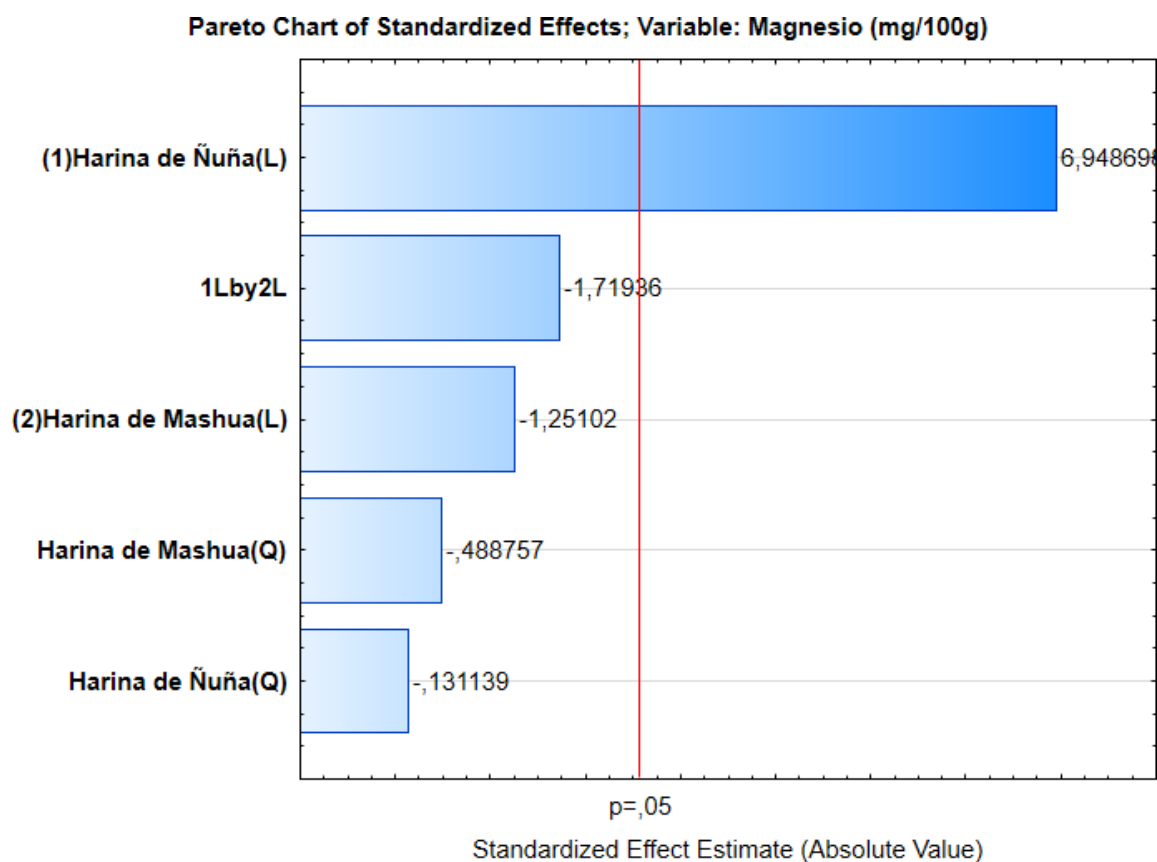
*Media de 3 repeticiones

Los niveles de contenido de magnesio en las formulaciones evaluadas variaron entre 4 y 12 mg/100g. La formulación F5 registró el menor contenido de magnesio, mientras que la formulación F6 alcanzó el valor más elevado. Un mayor contenido de magnesio en la formulación F6 sugiere que una mayor inclusión de harina de Ñuña contribuye significativamente a aumentar el contenido de magnesio del producto final.

El magnesio es un elemento esencial que actúa como cofactor en más de 300 reacciones enzimáticas, siendo indispensable para el correcto funcionamiento de numerosas vías metabólicas (Schwalfenberg & Genuis, 2017). Para los adultos, la ingesta diaria recomendada de magnesio es de 350 mg para hombres y 300 mg para mujeres (EFSA, 2015).

Figura 21

Diagrama de paleta del contenido de magnesio del pan de molde



El diagrama de Pareto corrobora que la harina de ñuña tiene el impacto más significativo en el contenido de magnesio del pan de molde, con un coeficiente estandarizado de 6.94. Dado que estos valores superan el umbral de significancia estadística ($p = 0.05$).

La Tabla 31 muestra los resultados del análisis de varianza (ANOVA) aplicado contenido de magnesio del pan de molde. Los datos revelan que el modelo matemático cuadrático es el que mejor representa las variaciones en el contenido de proteína, con un p-valor de 0.0489 ($p < 0.05$), lo que indica su relevancia estadística. Además, el coeficiente de determinación (R^2) alcanzó un 83.63 %, lo que demuestra un excelente ajuste del modelo a los datos experimentales y su idoneidad para predecir el contenido de magnesio de futuras formulaciones.

Tabla 31*Análisis de ANOVA del contenido de magnesio del pan de molde*

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	36,95	5	7,39	5,11	0,0489	significant
A-Harina de mashua	33,27	1	33,27	23,00	0,0049	
B-CPA	1,13	1	1,13	0,7777	0,4182	
AB	2,25	1	2,25	1,56	0,2676	
A ²	0,1985	1	0,1985	0,1372	0,7262	
B ²	0,1985	1	0,1985	0,1372	0,7262	
Residual	7,23	5	1,45			
Lack of Fit	7,23	3	2,41			
Pure Error	0,0000	2	0,0000			
Cor Total	44,18	10				

A partir del análisis de varianza, se obtuvo un modelo matemático ajustado que describe la relación entre el contenido de magnesio en el pan de molde y las proporciones de harina de ñuña y mashua utilizadas en la formulación.

$$\text{Contenido de magnesio} = 8,00 + 2,04A - 0,38B - 0,75AB - 0,19A^2 - 0,19B^2$$

Donde:

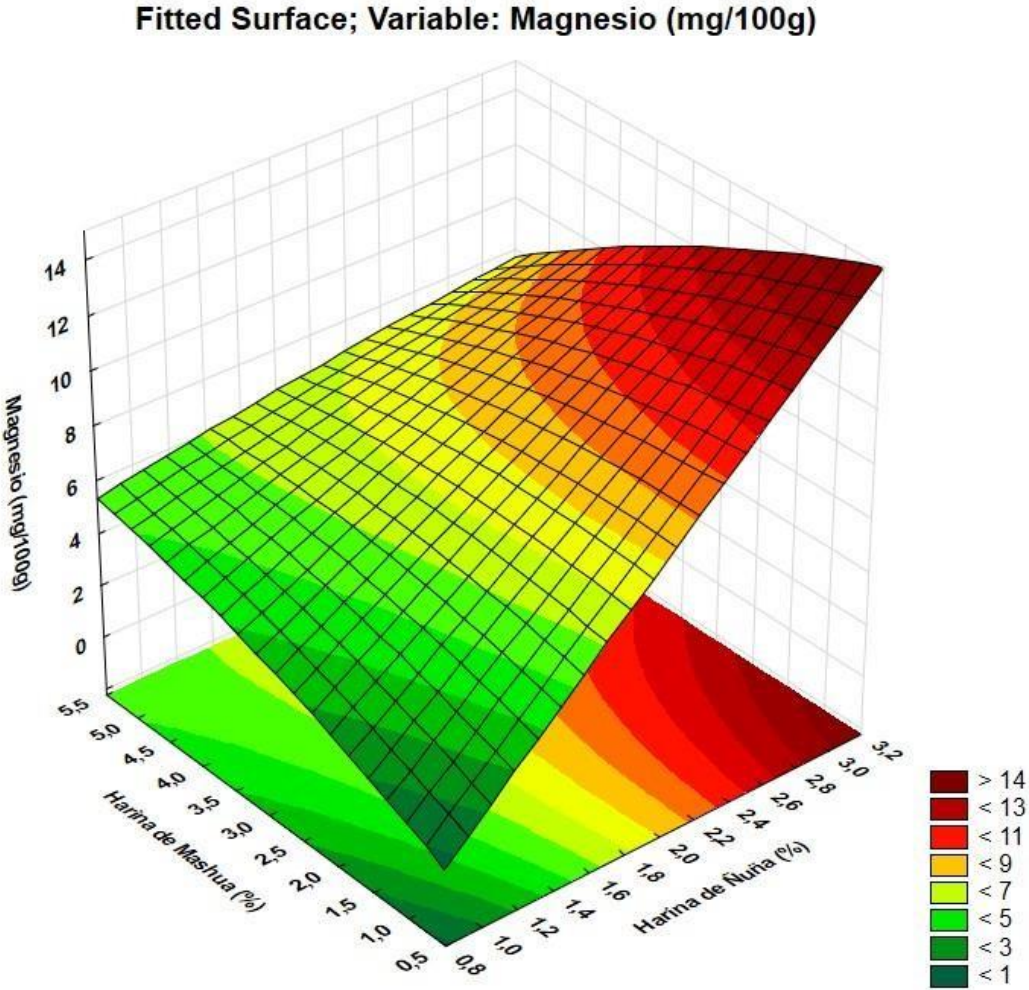
A: Harina de Ñuña

B: Harina de Mashua

Este modelo permite anticipar el contenido de magnesio del pan de molde en función de la composición de sus ingredientes, facilitando así la optimización de la formulación para alcanzar los objetivos de calidad deseados. Además, con base en esta ecuación, se generaron gráficos de superficie de respuesta y de contorno, los cuales permiten visualizar la interacción entre los ingredientes y su influencia sobre el contenido de magnesio, como se ilustra en la Figura 22.

Figura 22

Superficie de respuesta del contenido de magnesio del pan de molde



4.12. Zinc

La Tabla 32 presenta los resultados del análisis del contenido de zinc en las diversas formulaciones del diseño experimental de pan de molde que contienen harina de ñuña y mashua.

Tabla 32

Análisis del contenido de zinc en pan de molde.

Formulación	Harina de ñuña (%)	Harina de mashua (%)	Zinc (mg/100g)
F1	1,5	1,5	5,67
F2	2,5	1,5	5,67
F3	1,5	4,5	17,02
F4	2,5	4,5	17,02
F5	1	3	11,35
F6	3	3	11,35
F7	2	1	3,78
F8	2	5	18,91
F9	2	3	11,35
F10	2	3	11,35
F11	2	3	11,35
Control	-	-	0,00

*Media de 3 repeticiones

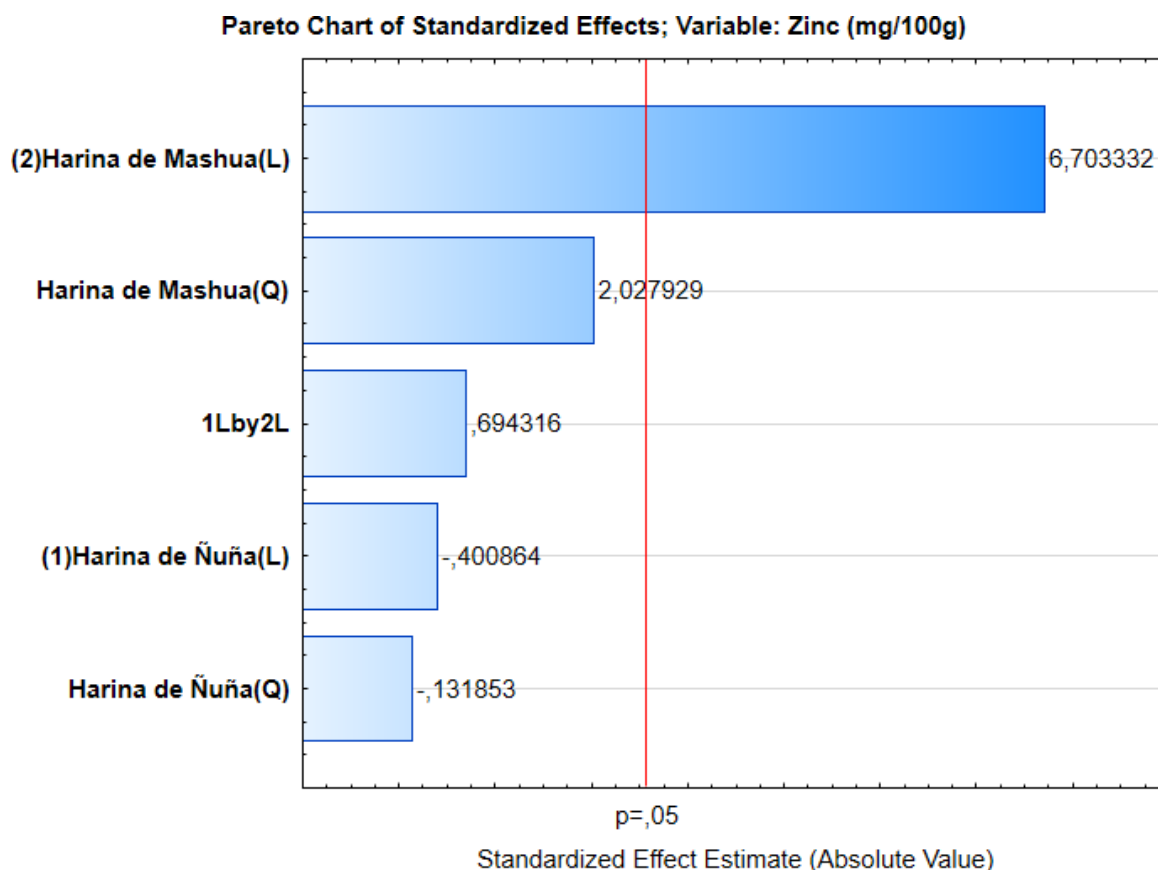
Los niveles de contenido de zinc en las formulaciones evaluadas variaron entre 3.78 y 18.91 mg/100g. La formulación F7 registró el menor contenido de zinc, mientras que la formulación F8 alcanzó el valor más elevado. Un mayor contenido de zinc en la formulación F8 sugiere que una mayor inclusión de harina de mashua contribuye significativamente a aumentar el contenido de zinc del producto final.

El zinc es un micronutriente esencial con un papel fundamental en diversas funciones biológicas. Contribuye al funcionamiento de más de 300 enzimas, fortalece el sistema inmunológico, favorece la cicatrización de heridas y participa en la síntesis de ADN. Además, es clave para el crecimiento, el desarrollo neurológico, la regulación hormonal y la salud de la piel y el cabello (Sangeeth et al., 2022). El Instituto de Medicina (2001)

recomienda una ingesta diaria de 5 a 13 mg de zinc para hombres y mujeres de entre 4 y 50 años.

Figura 23

Diagrama de paleta del contenido de zinc del pan de molde



El diagrama de Pareto corrobora que la harina de mashua tiene el impacto más significativo en el contenido de zinc del pan de molde, con un coeficiente estandarizado de 6.70. Dado que estos valores superan el umbral de significancia estadística ($p = 0.05$).

La Tabla 33 muestra los resultados del análisis de varianza (ANOVA) aplicado contenido de zinc del pan de molde. Los datos revelan que el modelo matemático cuadrático es el que mejor representa las variaciones en el contenido de proteína, con un p-valor de 0.0001 ($p < 0.05$), lo que indica su relevancia estadística. Además, el coeficiente de determinación (R^2) alcanzó un 99.57 %, lo que demuestra un excelente ajuste del modelo a los datos experimentales y su idoneidad para predecir el contenido de zinc de futuras formulaciones.

Tabla 33*Análisis de ANOVA del contenido de zinc del pan de molde*

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	142,60	5	28,52	10,03	0,0122	significant
A-Harina de mashua	0,6786	1	0,6786	0,2386	0,6459	
B-CPA	124,48	1	124,48	43,76	0,0012	
AB	1,36	1	1,36	0,4772	0,5205	
A ²	0,5296	1	0,5296	0,1862	0,6841	
B ²	12,64	1	12,64	4,44	0,0888	
Residual	14,22	5	2,84			
Lack of Fit	14,22	3	4,74			
Pure Error	0,0000	2	0,0000			
Cor Total	156,82	10				

A partir del análisis de varianza, se obtuvo un modelo matemático ajustado que describe la relación entre el contenido de zinc en el pan de molde y las proporciones de harina de ñuña y mashua utilizadas en la formulación.

$$\text{Contenido de zinc} = 11,35 - 0,29A + 3,94B + 0,58AB - 0,31A^2 + 1,50B^2$$

Donde:

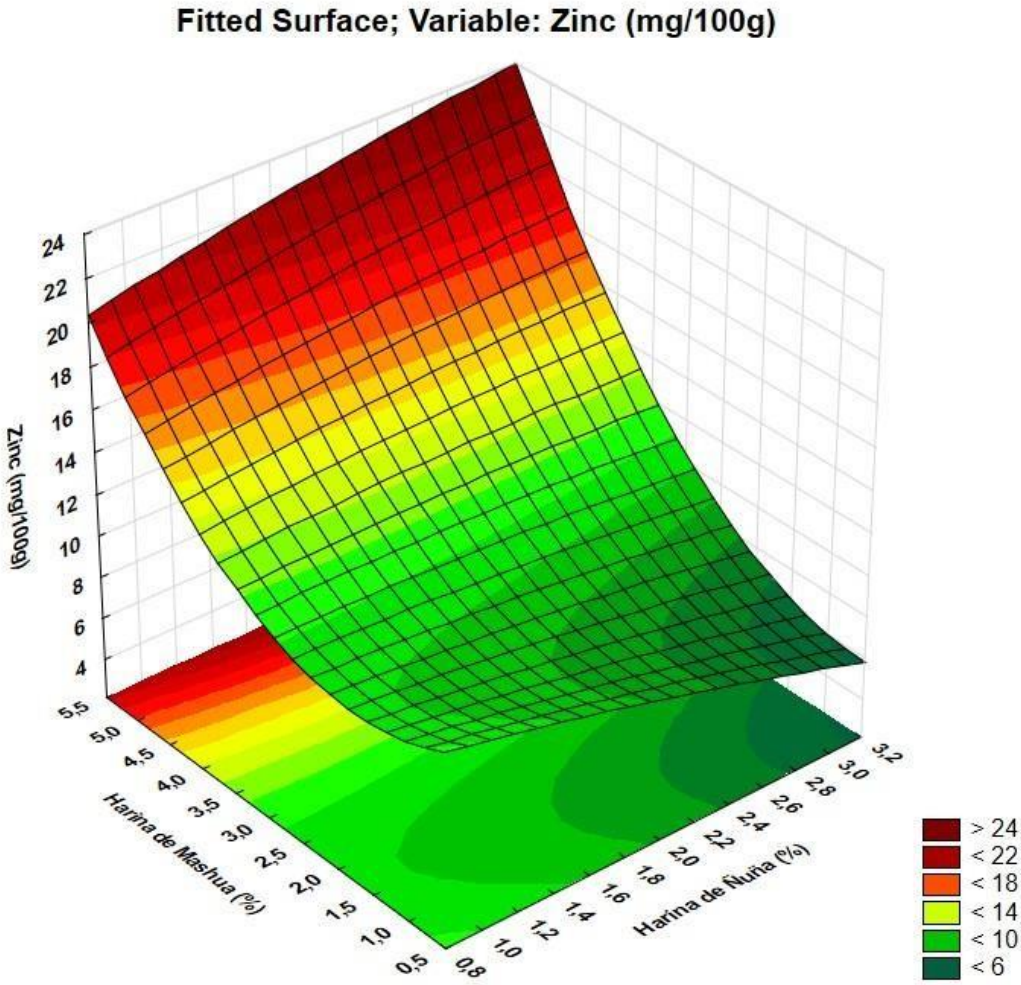
A: Harina de Ñuña

B: Harina de Mashua

Este modelo permite anticipar el contenido de zinc del pan de molde en función de la composición de sus ingredientes, facilitando así la optimización de la formulación para alcanzar los objetivos de calidad deseados. Además, con base en esta ecuación, se generaron gráficos de superficie de respuesta y de contorno, los cuales permiten visualizar la interacción entre los ingredientes y su influencia sobre el contenido de zinc, como se ilustra en la Figura 24.

Figura 24

Superficie de respuesta del contenido de zinc del pan de molde



4.13. Polifenoles totales

La Tabla 34 presenta los resultados del análisis de los polifenoles totales en las diversas formulaciones del diseño experimental de pan de molde que contienen harina de ñuña y mashua.

Tabla 34

Análisis de los polifenoles totales en pan de molde.

Formulación	Harina de ñuña (%)	Harina de mashua (%)	Polifenoles totales (mg AGE/g)
F1	1,5	1,5	0,64
F2	2,5	1,5	0,64
F3	1,5	4,5	1,81
F4	2,5	4,5	1,81
F5	1	3	1,22
F6	3	3	1,23
F7	2	1	0,45
F8	2	5	2,00
F9	2	3	1,23
F10	2	3	1,23
F11	2	3	1,23
Control	-	-	0,06

*Media de 3 repeticiones

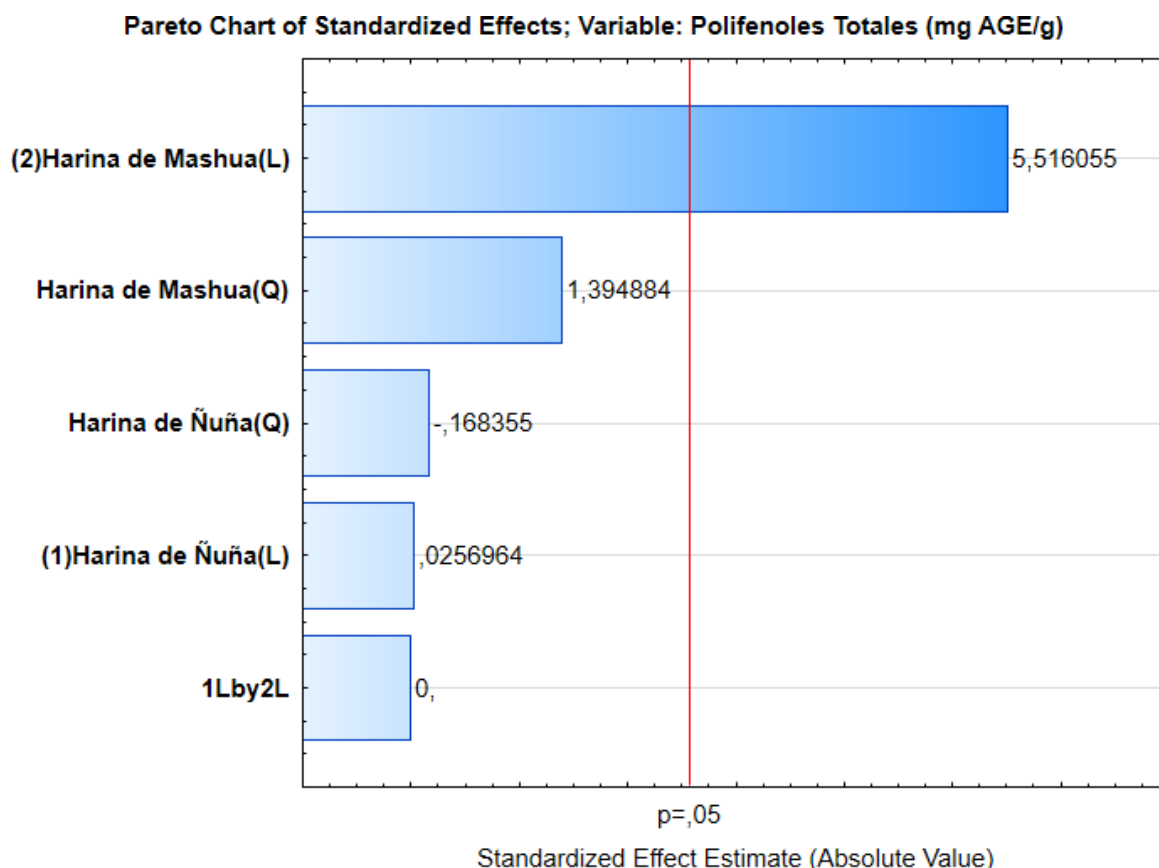
Los niveles de polifenoles totales en las formulaciones evaluadas variaron entre 0.45 y 2.00 mg AGE/g. La formulación F7 registró el menor polifenoles totales, mientras que la formulación F8 alcanzó el valor más elevado. Un mayor polifenol totales en la formulación F7 sugiere que una mayor inclusión de harina de Mashua contribuye significativamente a aumentar los polifenoles totales del producto final.

En este estudio, se obtuvo un contenido de 0.45 y 2.00 mg AGE/g. Sin embargo, la cantidad de polifenoles obtenida es menor en comparación con los resultados de Guzmán (2015), quien reportó 67.93 mg EAG/100 g en pan elaborado con subproductos de la agroindustria. Por otro lado, Ponce (2018) determinó un contenido de 12.48 ± 0.11 mg EAG/g en pan formulado con harina de cáscara de plátano, lo que indica que el uso de este subproducto

puede aportar una mayor cantidad de compuestos fenólicos en comparación con la formulación evaluada en el presente estudio.

Figura 25

Diagrama de paleta de los polifenoles totales del pan de molde



El diagrama de Pareto corrobora que la harina de mashua tiene el impacto más significativo en los polifenoles totales del pan de molde, con un coeficiente estandarizado de 5.51. Dado que estos valores superan el umbral de significancia estadística ($p = 0.05$).

La Tabla 35 muestra los resultados del análisis de varianza (ANOVA) aplicados polifenoles totales del pan de molde. Los datos revelan que el modelo matemático cuadrático es el que mejor representa las variaciones en el contenido de proteína, con un p-valor de 0.0296 ($p < 0.05$), lo que indica su relevancia estadística. Además, el coeficiente de determinación (R^2) alcanzó un 86.81 %, lo que demuestra un excelente ajuste del modelo a los datos experimentales y su idoneidad para predecir los polifenoles totales de futuras formulaciones.

Tabla 35*Análisis de ANOVA de los polifenoles totales del pan de molde*

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	1,66	5	0,3328	6,58	0,0296	significant
A-Harina de mashua	0,0000	1	0,0000	0,0005	0,9831	
B-CPA	1,51	1	1,51	29,78	0,0028	
AB	0,0000	1	0,0000	0,0000	1,0000	
A ²	0,0138	1	0,0138	0,2721	0,6242	
B ²	0,1077	1	0,1077	2,13	0,2043	
Residual	0,2529	5	0,0506			
Lack of Fit	0,2529	3	0,0843			
Pure Error	0,0000	2	0,0000			
Cor Total	1,92	10				

A partir del análisis de varianza, se obtuvo un modelo matemático ajustado que describe la relación entre los polifenoles totales en el pan de molde y las proporciones de harina de ñuña y mashua utilizadas en la formulación.

$$\text{Polifenoles totales} = 1,23 + 0,001A + 0,43B + 0,00AB - 0,05A^2 + 0,14B^2$$

Donde:

A: Harina de Ñuña

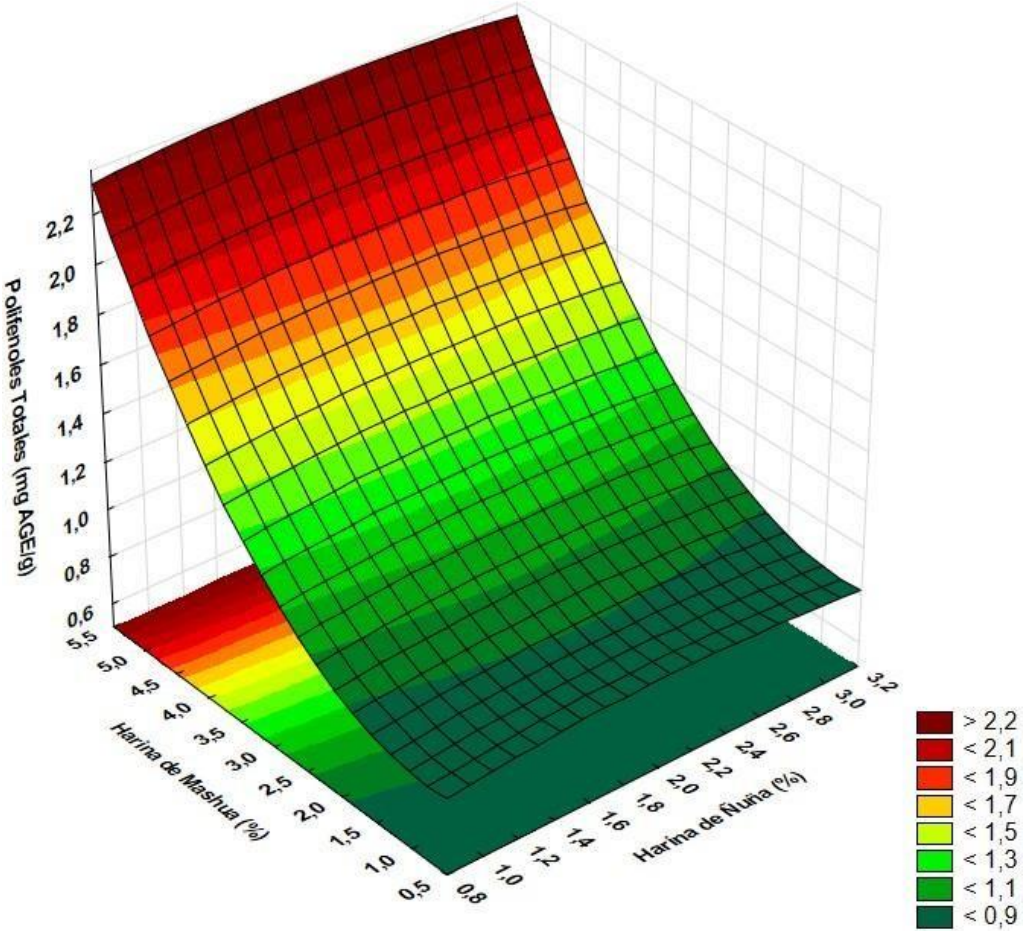
B: Harina de Mashua

Este modelo permite anticipar los polifenoles totales del pan de molde en función de la composición de sus ingredientes, facilitando así la optimización de la formulación para alcanzar los objetivos de calidad deseados. Además, con base en esta ecuación, se generaron gráficos de superficie de respuesta y de contorno, los cuales permiten visualizar la interacción entre los ingredientes y su influencia sobre los polifenoles totales, como se ilustra en la Figura 26.

Figura 26

Superficie de respuesta de los polifenoles totales del pan de molde

Fitted Surface; Variable: Polifenoles Totales (mg AGE/g)



4.14. Capacidad Antioxidante

La Tabla 36 presenta los resultados del análisis de la capacidad antioxidante en las diversas formulaciones del diseño experimental de pan de molde que contienen harina de ñuña y mashua.

Tabla 36

Análisis de la capacidad antioxidante en pan de molde.

Formulación	Harina de ñuña (%)	Harina de mashua (%)	Capacidad Antioxidante (umol TE/g)
F1	1,5	1,5	2,76
F2	2,5	1,5	2,77
F3	1,5	4,5	7,77
F4	2,5	4,5	7,78
F5	1	3	5,26
F6	3	3	5,28
F7	2	1	1,93
F8	2	5	8,61
F9	2	3	5,27
F10	2	3	5,27
F11	2	3	5,27
Control	-	-	0,25

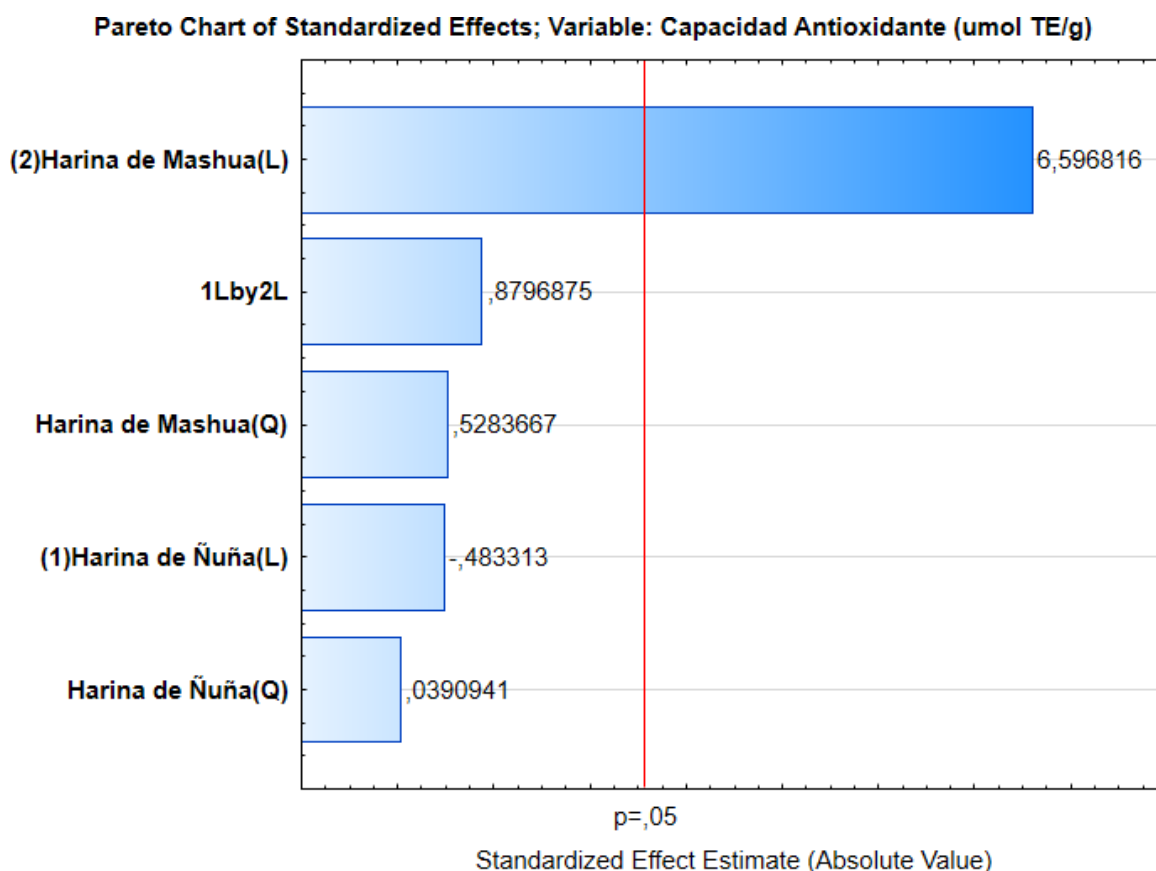
*Media de 3 repeticiones

Los niveles de capacidad antioxidante en las formulaciones evaluadas variaron entre 1.93 y 8.61 umol TE/g. La formulación F7 registró la menor capacidad antioxidante, mientras que la formulación F8 alcanzó el valor más elevado. Una mayor capacidad antioxidante en la formulación F8 sugiere que una mayor inclusión de harina de Mashua contribuye significativamente a aumentar la capacidad antioxidante del producto final.

En este estudio, se obtuvo un contenido de 1.93 y 8.61 umol TE/g. Sin embargo, la cantidad de polifenoles obtenida es menor en comparación con los resultados de Guzmán (2015), quien reportó 453mg μ M ET/100 g en pan elaborado con subproductos de la agroindustria.

Figura 27

Diagrama de paleta de la capacidad antioxidante del pan de molde



El diagrama de Pareto corrobora que la harina de mashua tiene el impacto más significativo en la capacidad antioxidante del pan de molde, con un coeficiente estandarizado de 6.59. Dado que estos valores superan el umbral de significancia estadística ($p = 0.05$).

La Tabla 37 muestra los resultados del análisis de varianza (ANOVA) aplicada capacidad antioxidante del pan de molde. Los datos revelan que el modelo matemático cuadrático es el que mejor representa las variaciones en el contenido de proteína, con un p-valor de 0.0214 ($p < 0.05$), lo que indica su relevancia estadística. Además, el coeficiente de determinación (R^2) alcanzó un 88.51 %, lo que demuestra un excelente ajuste del modelo a los datos experimentales y su idoneidad para predecir la capacidad antioxidante de futuras formulaciones.

Tabla 37*Análisis de ANOVA de la capacidad antioxidante del pan de molde*

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	21,91	5	4,38	7,70	0,0214	significant
A-Harina de mashua	0,1775	1	0,1775	0,3121	0,6005	
B-CPA	21,20	1	21,20	37,27	0,0017	
AB	0,3844	1	0,3844	0,6757	0,4485	
A ²	0,0134	1	0,0134	0,0236	0,8839	
B ²	0,1514	1	0,1514	0,2662	0,6279	
Residual	2,84	5	0,5689			
Lack of Fit	2,84	3	0,9481			
Pure Error	0,0000	2	0,0000			
Cor Total	24,76	10				

A partir del análisis de varianza, se obtuvo un modelo matemático ajustado que describe la relación entre la capacidad antioxidante en el pan de molde y las proporciones de harina de ñuña y mashua utilizadas en la formulación.

$$\text{Capacidad antioxidante} = 5,27 - 0,15A + 1,63B + 0,31AB + 0,05A^2 + 0,16B^2$$

Donde:

A: Harina de Ñuña

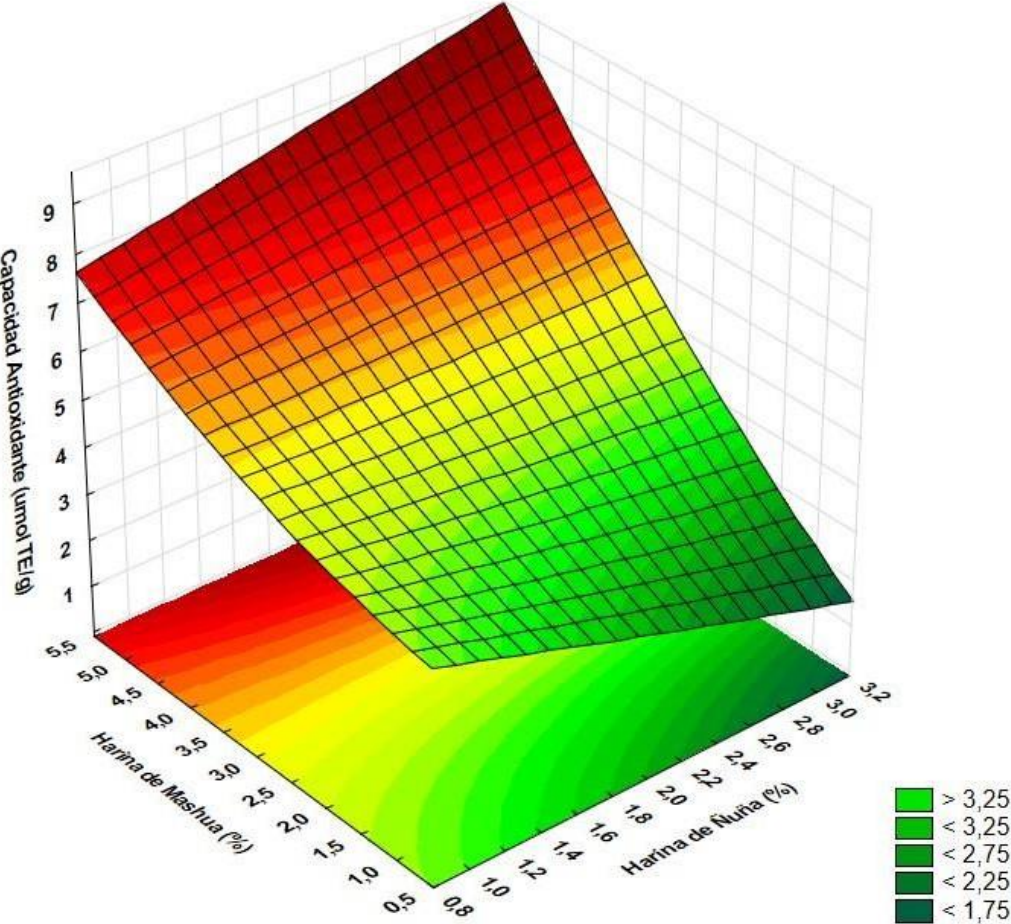
B: Harina de Mashua

Este modelo permite anticipar la capacidad antioxidante del pan de molde en función de la composición de sus ingredientes, facilitando así la optimización de la formulación para alcanzar los objetivos de calidad deseados. Además, con base en esta ecuación, se generaron gráficos de superficie de respuesta y de contorno, los cuales permiten visualizar la interacción entre los ingredientes y su influencia sobre la capacidad antioxidante, como se ilustra en la Figura 28.

Figura 28

Superficie de respuesta de la capacidad antioxidante del pan de molde

Fitted Surface; Variable: Capacidad Antioxidante (umol TE/g)



4.15. Color

La Tabla 38 presenta los resultados del análisis del color sensorial en las diversas formulaciones del diseño experimental de pan de molde que contienen harina de ñuña y mashua.

Tabla 38

Análisis del color sensorial en pan de molde.

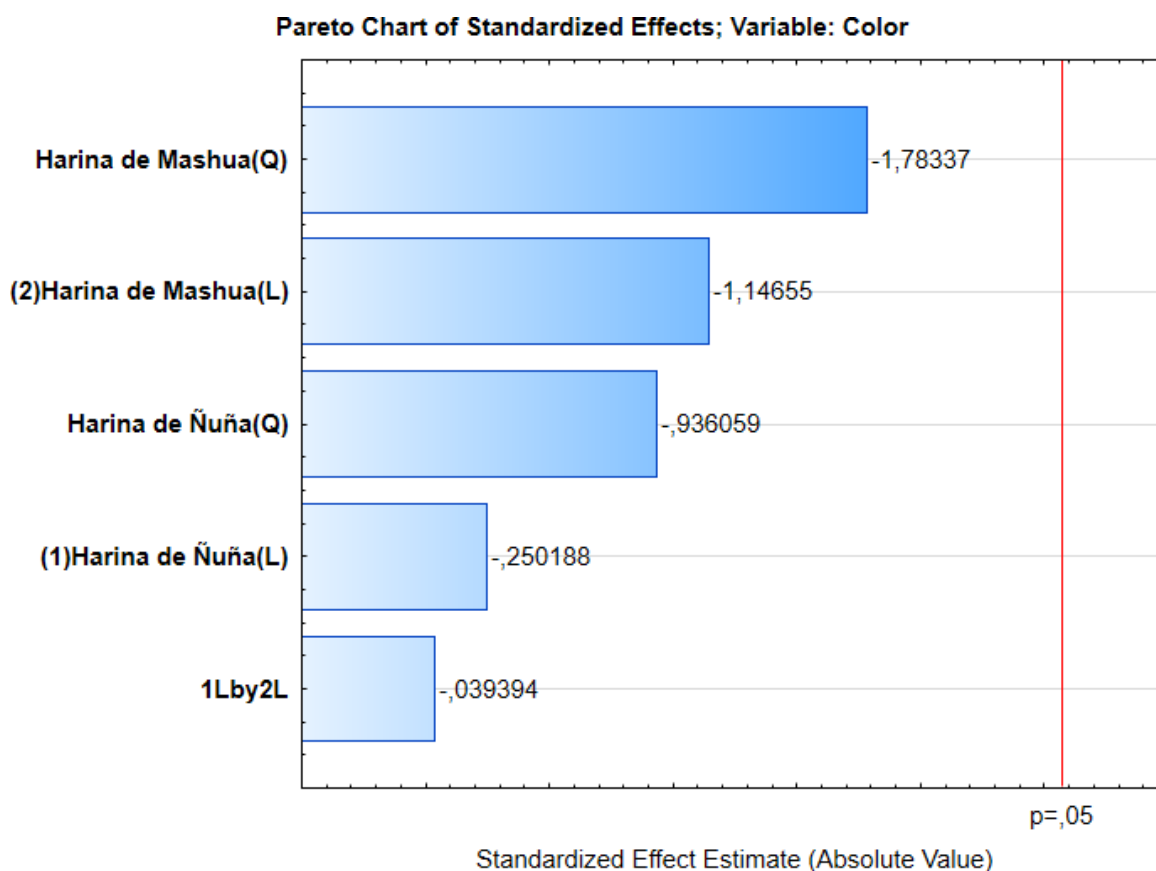
Formulación	Harina de ñuña (%)	Harina de mashua (%)	Color
F1	1,5	1,5	5,88
F2	2,5	1,5	5,81
F3	1,5	4,5	5,47
F4	2,5	4,5	5,38
F5	1	3	5,97
F6	3	3	5,94
F7	2	1	5,88
F8	2	5	5,91
F9	2	3	6,16
F10	2	3	6,09
F11	2	3	6,13
Control	-	-	7,50

*Media de 3 repeticiones

Los niveles de color sensorial en las formulaciones evaluadas variaron entre 5.38 y 6.16. La formulación F4 registró el menor color sensorial, mientras que la formulación F9 alcanzó el valor más elevado.

Figura 29

Diagrama de paleta del color sensorial del pan de molde



El diagrama de Pareto corrobora que ni la harina de ñuña y ni la harina de mashua tienen impacto significativo en el color sensorial del pan de molde. Motivo por el cual, estos valores no superan el umbral de significancia estadística ($p = 0.05$).

La Tabla 39 muestra los resultados del análisis de varianza (ANOVA) aplicado al color sensorial del pan de molde. Los datos revelan que el modelo matemático cuadrático es el que mejor representa las variaciones en el contenido de proteína, sin embargo, el p-valor de 0.3903 ($p < 0.05$) indica que no hay relevancia estadística. Además, el coeficiente de determinación (R^2) alcanzó un 56.51 %, lo que demuestra un deficiente ajuste del modelo a los datos experimentales y su idoneidad para predecir el color sensorial de futuras formulaciones.

Tabla 39*Análisis de ANOVA del color sensorial del pan de molde*

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	0,3505	5	0,0701	1,30	0,3903	not significant
A-Harina de mashua	0,0051	1	0,0051	0,0949	0,7704	
B-CPA	0,0795	1	0,0795	1,47	0,2789	
AB	0,0001	1	0,0001	0,0019	0,9673	
A ²	0,1416	1	0,1416	2,62	0,1662	
B ²	0,2003	1	0,2003	3,71	0,1119	
Residual	0,2697	5	0,0539			
Lack of Fit	0,2673	3	0,0891	72,23	0,0137	significant
Pure Error	0,0025	2	0,0012			
Cor Total	0,6203	10				

A partir del análisis de varianza, se determinó que no hay diferencias significativas (0.3903 ; $p < 0.05$), por lo cual no se obtiene un modelo matemático ajustado que describa la relación entre el color sensorial en el pan de molde y las proporciones de harina de ñuña y mashua utilizadas en la formulación.

4.16. Olor

La Tabla 40 presenta los resultados del análisis del olor sensorial en las diversas formulaciones del diseño experimental de pan de molde que contienen harina de ñuña y mashua.

Tabla 40

Análisis del olor sensorial en pan de molde.

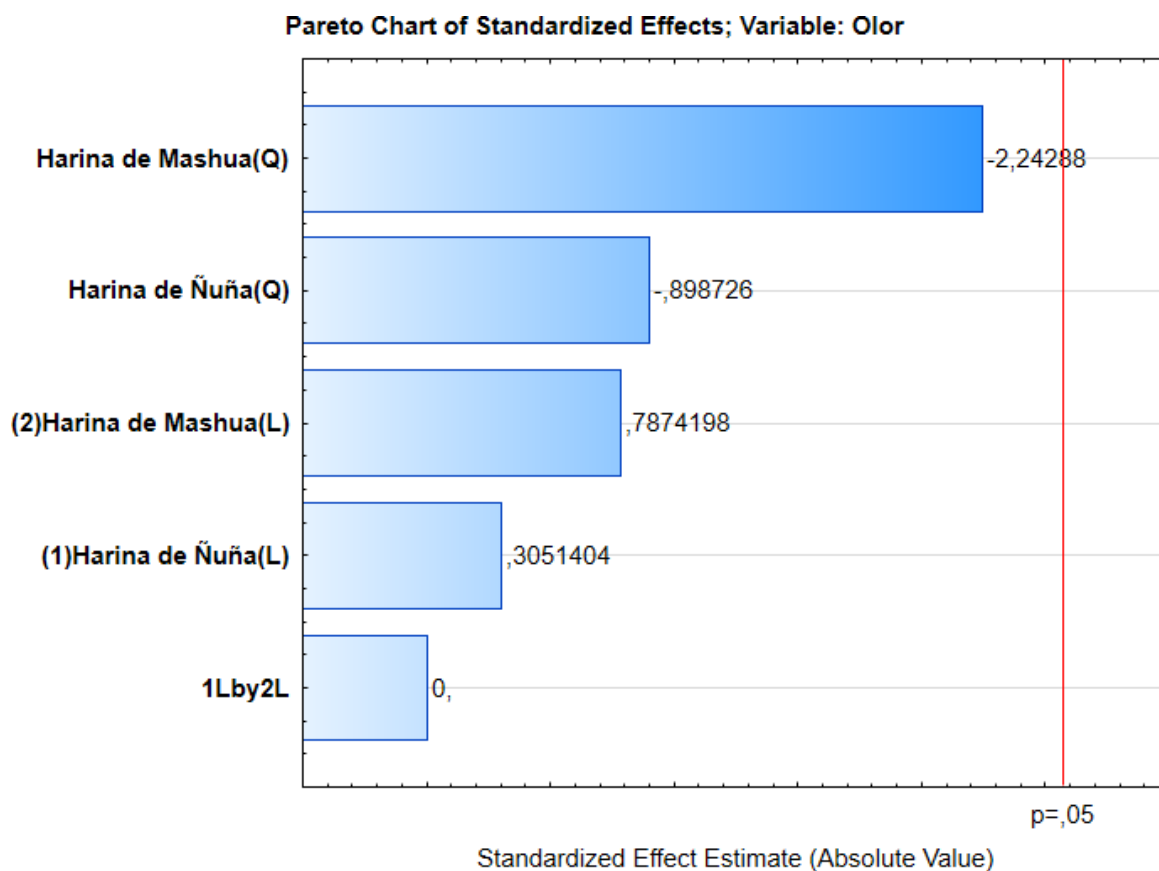
Formulación	Harina de ñuña (%)	Harina de mashua (%)	Olor
F1	1,5	1,5	6,59
F2	2,5	1,5	6,50
F3	1,5	4,5	6,50
F4	2,5	4,5	6,41
F5	1	3	6,53
F6	3	3	6,69
F7	2	1	6,31
F8	2	5	6,66
F9	2	3	6,69
F10	2	3	6,75
F11	2	3	6,69
Control	-	-	7,06

*Media de 3 repeticiones

Los niveles de olor sensorial en las formulaciones evaluadas variaron entre 6.31 y 6.75. La formulación F7 registró el menor olor sensorial, mientras que la formulación F10 alcanzó el valor más elevado.

Figura 30

Diagrama de paleta del olor sensorial del pan de molde



El diagrama de Pareto corrobora que ni la harina de ñuña y ni la harina de mashua tienen impacto significativo en el olor sensorial del pan de molde. Motivo por el cual, estos valores no superan el umbral de significancia estadística ($p = 0.05$).

La Tabla 41 muestra los resultados del análisis de varianza (ANOVA) aplicado al olor sensorial del pan de molde. Los datos revelan que el modelo matemático cuadrático es el que mejor representa las variaciones en el contenido de proteína, sin embargo, el p-valor de 0.4127 ($p < 0.05$) indica que no hay relevancia estadística. Además, el coeficiente de determinación (R^2) alcanzó un 55.17 %, lo que demuestra un deficiente ajuste del modelo a los datos experimentales y su idoneidad para predecir el olor sensorial de futuras formulaciones.

Tabla 41*Análisis de ANOVA del olor sensorial del pan de molde*

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	0,1040	5	0,0208	1,23	0,4127	not significant
A-Harina de mashua	0,0003	1	0,0003	0,0158	0,9048	
B-CPA	0,0124	1	0,0124	0,7338	0,4308	
AB	1,388E-17	1	1,388E-17	8,212E-16	1,0000	
A ²	0,0216	1	0,0216	1,28	0,3093	
B ²	0,0874	1	0,0874	5,17	0,0721	
Residual	0,0845	5	0,0169			
Lack of Fit	0,0821	3	0,0274	22,80	0,0423	significant
Pure Error	0,0024	2	0,0012			
Cor Total	0,1885	10				

A partir del análisis de varianza, se determinó que no hay diferencias significativas (0.4127 ; $p < 0.05$), por lo cual no se obtiene un modelo matemático ajustado que describa la relación entre el olor sensorial en el pan de molde y las proporciones de harina de ñuña y mashua utilizadas en la formulación.

4.17. Sabor

La Tabla 42 presenta los resultados del análisis del sabor sensorial en las diversas formulaciones del diseño experimental de pan de molde que contienen harina de ñuña y mashua.

Tabla 42

Análisis del sabor sensorial en pan de molde.

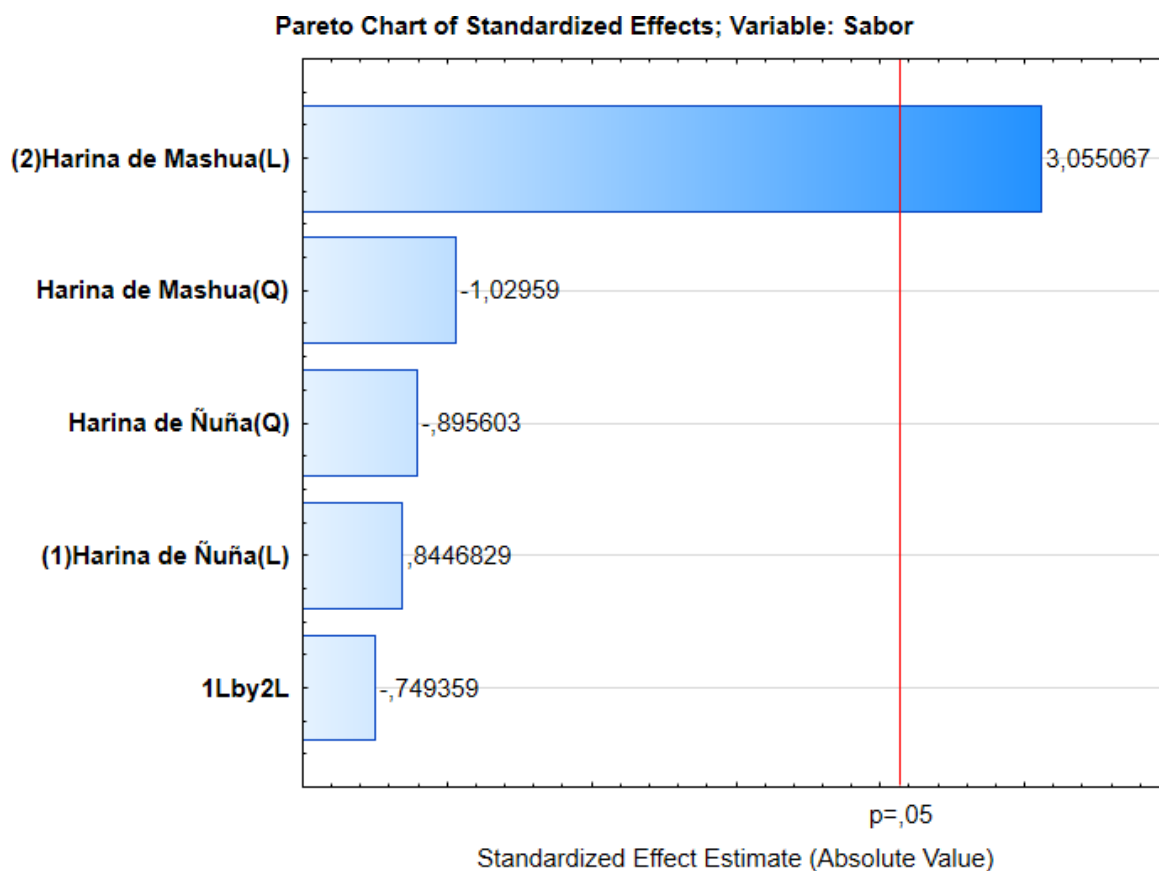
Formulación	Harina de ñuña (%)	Harina de mashua (%)	Sabor
F1	1,5	1,5	6,19
F2	2,5	1,5	6,25
F3	1,5	4,5	6,59
F4	2,5	4,5	6,44
F5	1	3	6,38
F6	3	3	6,63
F7	2	1	6,34
F8	2	5	6,78
F9	2	3	6,56
F10	2	3	6,59
F11	2	3	6,63
Control	-	-	7,63

*Media de 3 repeticiones

Los niveles de sabor sensorial en las formulaciones evaluadas variaron entre 6.19 y 6.78. La formulación F1 registró el menor sabor sensorial, mientras que la formulación F8 alcanzó el valor más elevado. Un mayor sabor sensorial en la formulación F8 sugiere que una mayor inclusión de harina de mashua contribuye significativamente a aumentar el sabor sensorial del producto final.

Figura 31

Diagrama de paleta del sabor sensorial del pan de molde



El diagrama de Pareto corrobora que la harina de mashua tiene el impacto más significativo en el sabor sensorial del pan de molde, con un coeficiente estandarizado de 3.05. Dado que estos valores superan el umbral de significancia estadística ($p = 0.05$).

La Tabla 43 muestra los resultados del análisis de varianza (ANOVA) aplicado sabor sensorial del pan de molde. Los datos revelan que el modelo matemático cuadrático es el que mejor representa las variaciones en el contenido de proteína, sin embargo, el p-valor de 0.1214 ($p < 0.05$) indica que no ahí relevancia estadística. Además, el coeficiente de determinación (R^2) alcanzó un 75.48 %, lo que demuestra un deficiente ajuste del modelo a los datos experimentales y su idoneidad para predecir el sabor sensorial de futuras formulaciones.

Tabla 43*Análisis de ANOVA del sabor sensorial del pan de molde*

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	0,2513	5	0,0503	3,08	0,1214	not significant
A-Harina de mashua	0,0087	1	0,0087	0,5318	0,4986	
B-CPA	0,1837	1	0,1837	11,25	0,0202	
AB	0,0110	1	0,0110	0,6752	0,4486	
A ²	0,0412	1	0,0412	2,52	0,1730	
B ²	0,0189	1	0,0189	1,16	0,3306	
Residual	0,0816	5	0,0163			
Lack of Fit	0,0792	3	0,0264	21,40	0,0450	significant
Pure Error	0,0025	2	0,0012			
Cor Total	0,3329	10				

A partir del análisis de varianza, se determinó que no hay diferencias significativas (0.1214 ; $p < 0.05$), por lo cual no se obtiene un modelo matemático ajustado que describa la relación entre el sabor sensorial en el pan de molde y las proporciones de harina de ñuña y mashua utilizadas en la formulación.

4.18. Textura

La Tabla 44 presenta los resultados del análisis de la textura sensorial en las diversas formulaciones del diseño experimental de pan de molde que contienen harina de ñuña y mashua.

Tabla 44

Análisis de la textura sensorial en pan de molde.

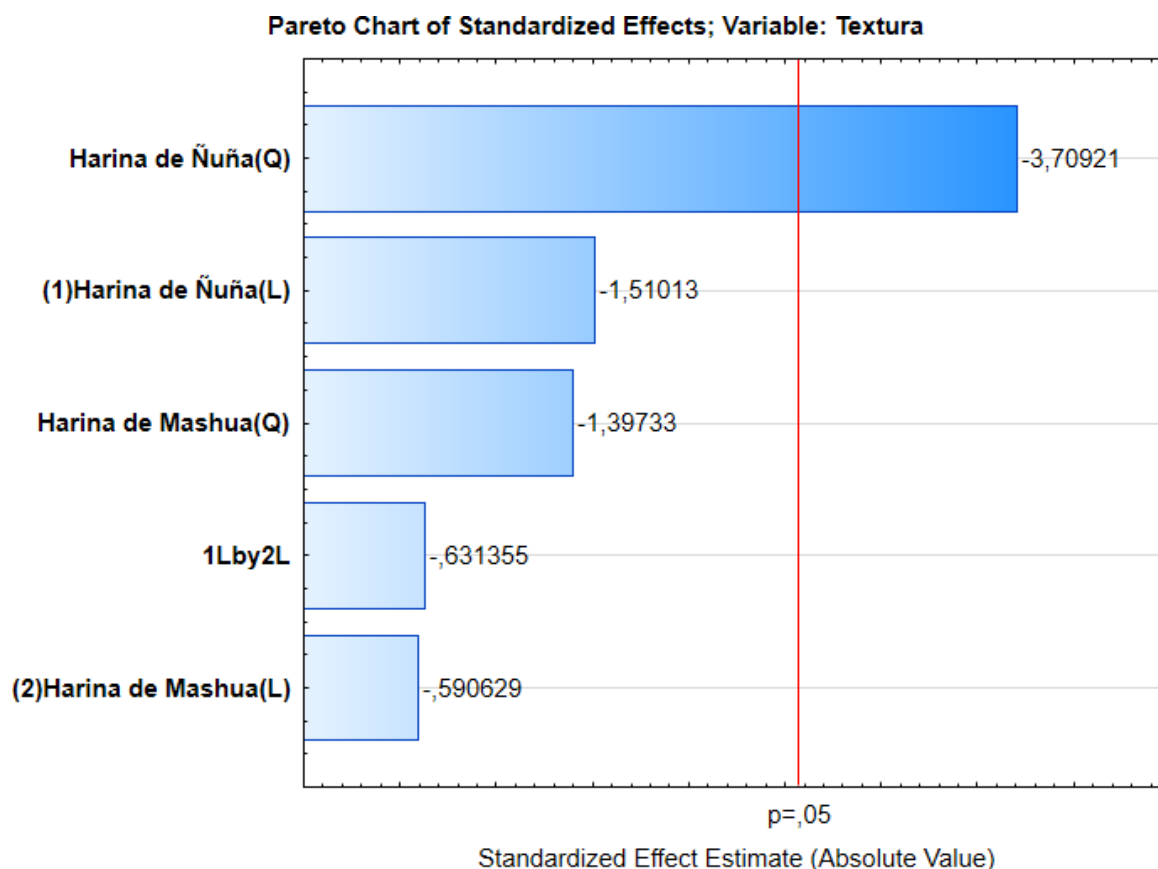
Formulación	Harina de ñuña (%)	Harina de mashua (%)	Textura
F1	1,5	1,5	5,94
F2	2,5	1,5	5,88
F3	1,5	4,5	5,91
F4	2,5	4,5	5,78
F5	1	3	5,75
F6	3	3	5,70
F7	2	1	5,81
F8	2	5	5,84
F9	2	3	5,91
F10	2	3	5,91
F11	2	3	5,94
Control	-	-	7,22

*Media de 3 repeticiones

Los niveles de textura sensorial en las formulaciones evaluadas variaron entre 5.70 y 5.94. La formulación F6 registró la menor textura sensorial, mientras que la formulación F1 alcanzó el valor más elevado. Una mayor textura sensorial en la formulación F1 sugiere que una mayor inclusión de harina de Ñuña contribuye significativamente a aumentar la textura sensorial del producto final.

Figura 32

Diagrama de paleta de la textura sensorial del pan de molde



El diagrama de Pareto corrobora que la harina de ñuña tiene el impacto más significativo en la textura sensorial del pan de molde, con un coeficiente estandarizado de -3.70. Dado que estos valores superan el umbral de significancia estadística ($p = 0.05$).

La Tabla 45 muestra los resultados del análisis de varianza (ANOVA) aplicada textura sensorial del pan de molde. Los datos revelan que el modelo matemático cuadrático es el que mejor representa las variaciones en el contenido de proteína, sin embargo, el p-valor de 0.3413 ($p < 0.05$) indica que no ahí relevancia estadística. Además, el coeficiente de determinación (R^2) alcanzó un 59.52 %, lo que demuestra un deficiente ajuste del modelo a los datos experimentales y su idoneidad para predecir la textura sensorial de futuras formulaciones.

Tabla 45*Análisis de ANOVA de la textura sensorial del pan de molde*

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	0,0399	5	0,0080	1,47	0,3413	not significant
A-Harina de mashua	0,0085	1	0,0085	1,57	0,2660	
B-CPA	0,0010	1	0,0010	0,1768	0,6916	
AB	0,0012	1	0,0012	0,2260	0,6546	
A ²	0,0292	1	0,0292	5,38	0,0681	
B ²	0,0027	1	0,0027	0,4984	0,5117	
Residual	0,0271	5	0,0054			
Lack of Fit	0,0265	3	0,0088	29,45	0,0330	significant
Pure Error	0,0006	2	0,0003			
Cor Total	0,0670	10				

A partir del análisis de varianza, se determinó que no hay diferencias significativas (0.3413 ; $p < 0.05$), por lo cual no se obtiene un modelo matemático ajustado que describa la relación entre la textura sensorial en el pan de molde y las proporciones de harina de ñuña y mashua utilizadas en la formulación.

4.19. Intención de compra

La Tabla 46 presenta los resultados del análisis de la intención de compra en las diversas formulaciones del diseño experimental de pan de molde que contienen harina de ñuña y mashua.

Tabla 46

Análisis de la intención de compra en pan de molde.

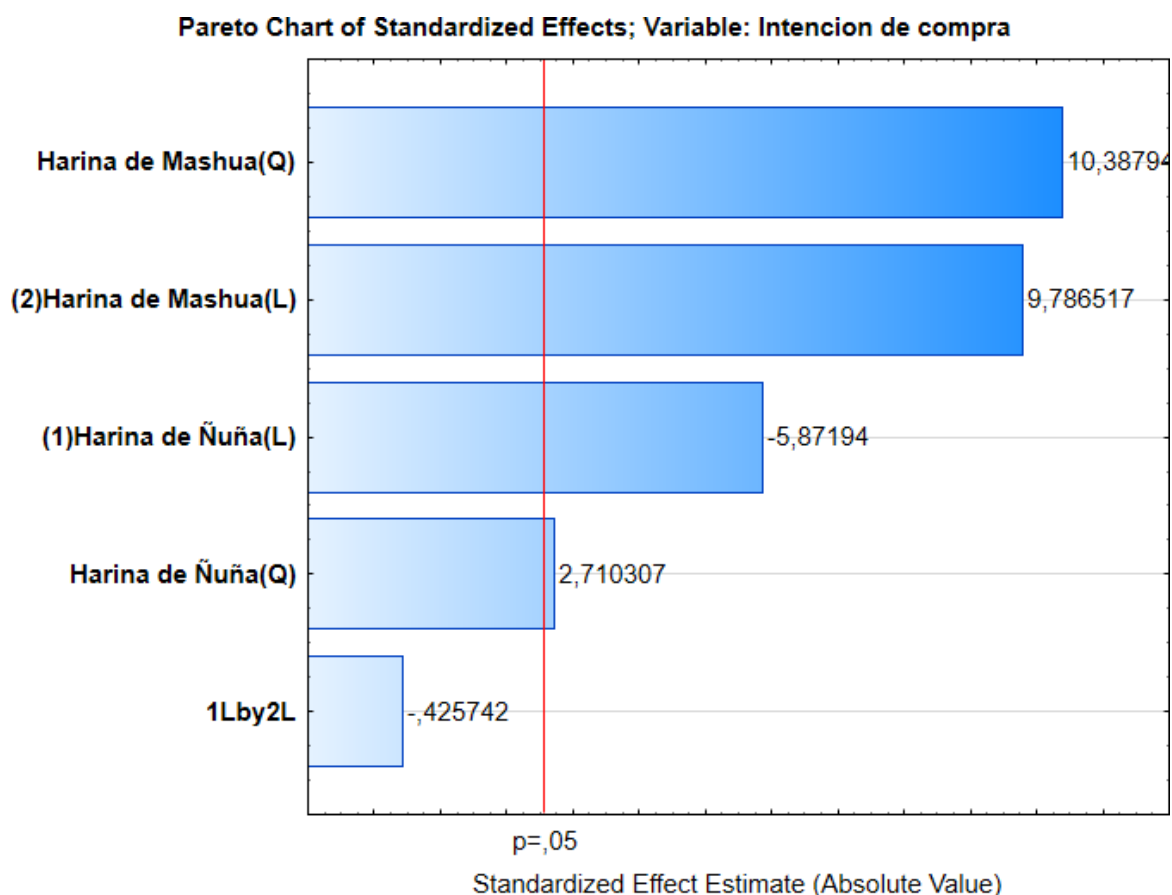
Formulación	Harina de ñuña (%)	Harina de mashua (%)	Intención de compra	
F1	1,5	1,5	3,38	68%
F2	2,5	1,5	3,22	64%
F3	1,5	4,5	4,22	84%
F4	2,5	4,5	3,97	79%
F5	1	3	3,75	75%
F6	3	3	2,88	58%
F7	2	1	3,50	70%
F8	2	5	4,44	89%
F9	2	3	3,13	63%
F10	2	3	3,06	61%
F11	2	3	3,00	60%
Control	-	-	4,53	91%

*Media de 3 repeticiones

Los niveles de intención de compra en las formulaciones evaluadas variaron entre 2.88 y 4.44. La formulación F6 registró la menor intención de compra, mientras que la formulación F8 alcanzó el valor más elevado. Una mayor intención de compra en la formulación F8 sugiere que una mayor inclusión de harina de mashua contribuye significativamente a aumentar la intención de compra del producto final.

Figura 33

Diagrama de paleta de la intención de compra del pan de molde



El diagrama de Pareto corrobora que la harina de mashua tiene el impacto más significativo en la intención de compra del pan de molde, con un coeficiente estandarizado de 9.78. Dado que estos valores superan el umbral de significancia estadística ($p = 0.05$).

La Tabla 47 muestra los resultados del análisis de varianza (ANOVA) aplicada intención de compra del pan de molde. Los datos revelan que el modelo matemático cuadrático es el que mejor representa las variaciones en el contenido de proteína, con un p-valor de 0.016 ($p < 0.05$), lo que indica su relevancia estadística. Además, el coeficiente de determinación (R^2) alcanzó un 96.09 %, lo que demuestra un excelente ajuste del modelo a los datos experimentales y su idoneidad para predecir la intención de compra de futuras formulaciones.

Tabla 47*Análisis de ANOVA de la intención de compra del pan de molde*

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	2,64	5	0,5271	24,60	0,0016	significant
A-Harina de mashua	0,3363	1	0,3363	15,70	0,0107	
B-CPA	1,07	1	1,07	49,72	0,0009	
AB	0,0020	1	0,0020	0,0945	0,7709	
A ²	0,1100	1	0,1100	5,13	0,0728	
B ²	1,23	1	1,23	57,50	0,0006	
Residual	0,1071	5	0,0214			
Lack of Fit	0,0987	3	0,0329	7,77	0,1162	not significant
Pure Error	0,0085	2	0,0042			
Cor Total	2,74	10				

A partir del análisis de varianza, se obtuvo un modelo matemático ajustado que describe la relación entre la intención de compra en el pan de molde y las proporciones de harina de ñuña y mashua utilizadas en la formulación.

$$\text{Intención de compra} = 3,06 - 0,21A + 0,36B - 0,02AB + 0,14A^2 + 0,47B^2$$

Donde:

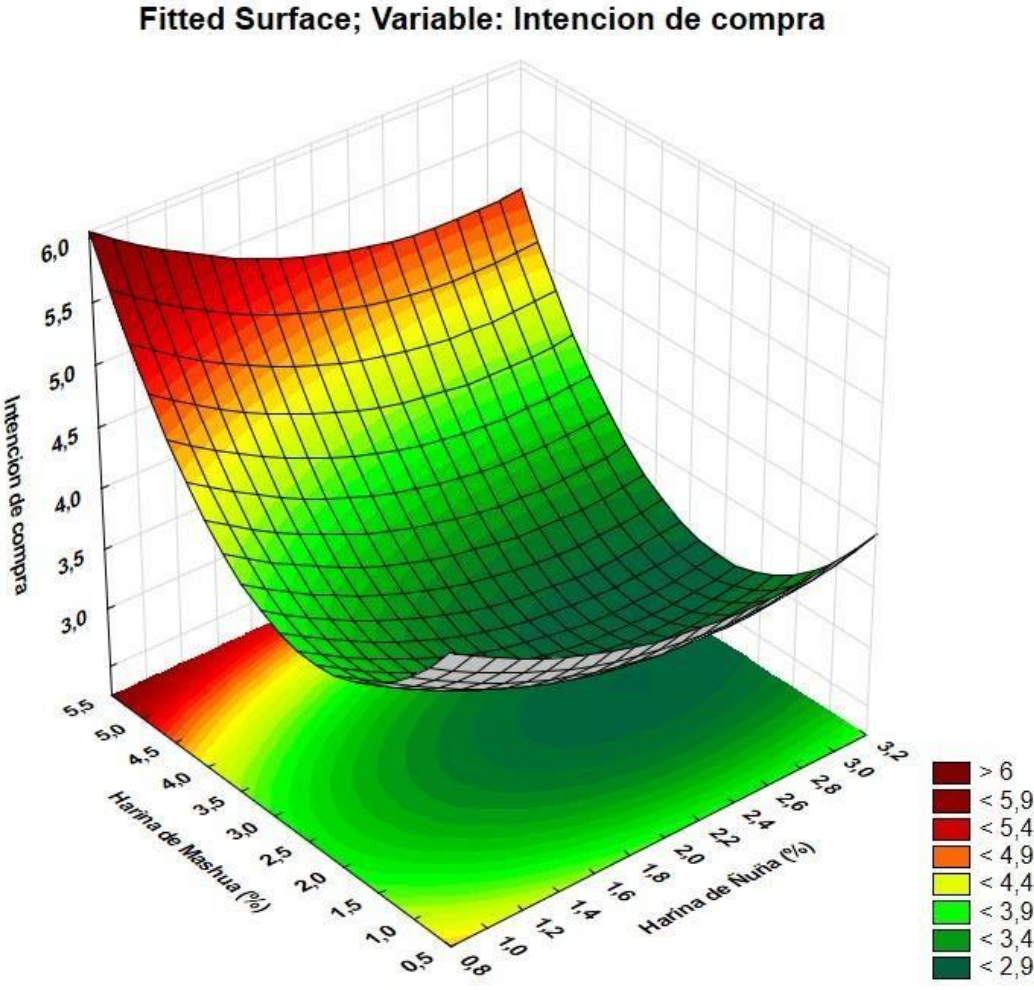
A: Harina de Ñuña

B: Harina de Mashua

Este modelo permite anticipar la intención de compra del pan de molde en función de la composición de sus ingredientes, facilitando así la optimización de la formulación para alcanzar los objetivos de calidad deseados. Además, con base en esta ecuación, se generaron gráficos de superficie de respuesta y de contorno, los cuales permiten visualizar la interacción entre los ingredientes y su influencia sobre la intención de compra, como se ilustra en la Figura 34.

Figura 34

Superficie de respuesta de la intención de compra del pan de molde



4.20. Optimización de las variables dependientes e independientes

Para determinar la formulación óptima, se recurrió a la técnica de optimización de respuesta múltiple. Se aplicó la función de deseabilidad para este propósito, eligiendo las variables relevantes que se mostraron estadísticamente significativas ($p\text{-value} < 0.05$ y $R^2 > 0.70$) de los resultados del pan de molde:

Tabla 48

Criterios de deseabilidad para optimización de respuesta múltiple

Variable dependiente	Meta	Deseabilidad baja	Deseabilidad alta
Volumen Especifico	Maximizar	4,068	4,393
Luminosidad	Maximizar	64,58	75,123
Proteína	Maximizar	12	12,21
FDT	Maximizar	2,05	2,78
Fosforo	En rango	75	179
Calcio	En rango	16,12	18,98
Hierro	En rango	8,82	22,78
Potasio	En rango	11,6	34,8
Magnesio	En rango	4	12
Zinc	En rango	5,67	18,91
Polifenoles totales	Maximizar	0,64	2
Capacidad antioxidante	Maximizar	2,77	7,78
Intención de compra	Maximizar	2,88	4,44

Se realizó la optimización de múltiples respuestas para las variables relevantes que mostraron significancia estadística, de acuerdo a lo detallado en la **Tabla 49**.

Tabla 49

Parámetros seleccionados para el método de optimización de deseabilidad, formulaciones óptimas de pan de molde con valor de deseabilidad óptimo.

VARIABLES RESPUESTAS	CRITERIO	LÍMITE INFERIOR	LÍMITE SUPERIOR	IMPORTANCIA	VALORES ESPERADOS
Harina de ñuña	En rango	1	3	3	2
Harina de mashua	En rango	1	5	3	5
Volumen Especifico	Maximizar	4,068	4,393	3	4,143
Luminosidad	Maximizar	64,58	75,123	3	66,802
Proteína	Maximizar	12	12,21	3	12,081
FDT	Maximizar	2,05	2,78	3	2,705
Fosforo	En rango	75	179	3	127,357
Calcio	En rango	16,12	18,98	3	17,679
Hierro	En rango	8,82	22,78	3	22,78
Potasio	En rango	11,6	34,8	3	20,414
Magnesio	En rango	4	12	3	6,998
Zinc	En rango	5,67	18,91	3	18,658
Polifenoles totales	Maximizar	0,64	2	3	2
Capacidad antioxidante	Maximizar	2,77	7,78	3	7,551
Intención de compra	Maximizar	2,88	4,44	3	4,33
Valor óptimo de deseabilidad					0.578

De acuerdo con los resultados de la tabla 49, la formulación F8 (2% de harina de ñuña y 5% de harina de mashua) exhibe la mejor y mayor deseabilidad prevista entre las formulaciones.

La **Tabla 50** presenta la composición del pan de molde, que se produce mediante la sustitución parcial de un 2% de harina de ñuña y 5% de harina de mashua (F8)

Tabla 50*Composición nutricional del pan de molde optimo*

Componentes	Pan de Molde Optimo
Proteína (%)	12,10
Fibra Dietética Total (%)	2,78
Fosforo (mg/100g)	124
Calcio (mg/100g)	17,74
Hierro (mg/100g)	22,78
Potasio (mg/100g)	23,20
Magnesio (mg/100g)	8
Zinc (mg/100g)	18,91
Polifenoles Totales (mg AGE/g)	2,00
Capacidad Antioxidante (umol TE/g)	8,61

Nota: Media de tres repeticiones

V. CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio confirman que la harina de ñuña y la harina de mashua representan una alternativa viable para la formulación de pan de molde con un perfil nutricional mejorado. Su incorporación no solo enriquece el producto con proteínas, fibra y minerales esenciales, sino que también responde a la creciente demanda de alimentos funcionales y con beneficios adicionales para la salud.

El análisis de las formulaciones permitió identificar que la sustitución parcial de harina de trigo con estos ingredientes influye significativamente en la composición nutricional del pan, aumentando los niveles de proteína, fibra dietética, calcio, fósforo, hierro, potasio, sodio, zinc y polifenoles totales. Además, las evaluaciones sensoriales demostraron una alta aceptación e intención de compra del producto.

A través del análisis de optimización por deseabilidad, se determinó que la formulación óptima (F8) corresponde a la combinación de 2% de harina de ñuña y 5% de harina de mashua. Esta formulación logra un equilibrio adecuado entre valor nutricional y aceptación sensorial, consolidándose como una alternativa innovadora en la panificación saludable. Teniendo 12.10 % de proteína, 2.78 % de fibra dietética total, 124 mg/100g de fosforo, 17,74 mg/100g de calcio, 22,78 mg/100g de hierro, 23.20 mg/100g de potasio 8 mg/100g de magnesio, 18.91 mg/100g de zinc, 2.00 mg AGE/g de polifenoles totales y 8,61 umol TE/g de capacidad antioxidante.

En conclusión, el uso de harina de ñuña y mashua en la elaboración de pan de molde no solo contribuye a la diversificación de productos funcionales, sino que también ofrece una opción viable para el desarrollo de alimentos con mayor valor agregado, alineados con las tendencias actuales del mercado.

VI. RECOMENDACIONES

Implementar estudios de vida útil que permitan analizar la estabilidad sensorial, nutricional y microbiológica de las formulaciones a lo largo del tiempo. Esto incluye pruebas de almacenamiento y transporte para garantizar la calidad del producto hasta su consumo final.

Investigar cómo la incorporación de estos ingredientes afecta la digestibilidad de los nutrientes y la absorción de minerales en el organismo, asegurando que los beneficios nutricionales sean aprovechados de manera eficiente por los consumidores.

Desarrollar versiones del producto dirigidas a grupos específicos de consumidores, como personas con diabetes, deportistas o adultos mayores, ajustando la formulación para mejorar su perfil glicémico, proteico o de micronutrientes esenciales.

VII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Arteaga, D., Chacón, L., Samamé, V., Valverde, D., & Paucar, L. (2022). Mashua (*Tropaeolum tuberosum*): Composición nutricional, características químicas, compuestos bioactivos y propiedades beneficiosas para la salud. *Agroindustrial Science*, 12(1), 95-101. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2022.01.12>
- Aruquipa, R., Trigo, R., Bosque, H., Mercado, G., & Condori, J. (2017). El Isaño (*Tropaeolum tuberosum*) un cultivo de consumo y medicina tradicional en Huatacana para el beneficio de la población boliviana. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 3(2), 146-151. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttextpid=S2409-16182016000200004yln=esytln=es.
- Baquerizo, M., Córdova, L., Samaniego, C., Yábar, F., Artica, L., & Reyes, Vi. (2021). Composición química, valor biológico y glucosinolatos de harina de maca negra (*Lepidium meyenii* W.) extruida y obtención de mezcla con avena (*Avena sativa*). *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 87(4), 332-344. <https://dx.doi.org/10.37761/rsqp.v87i4.359>
- Bernabe & Cancho (2017). *Caracterización fisicoquímica, fitoquímica y funcional de la harina de khaya y oca (oxalis tuberosa) para uso industrial* [Tesis de Título, Universidad Nacional del Centro del Perú.]. <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/1221/TESIS%20YESICA%20BERNAB%C3%89.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Bingley, C. (2020). The technological challenges of reformulating with different dietary fibres. *Nutrition Bulletin*, 45(3), 328-331. <https://doi.org/10.1111/nbu.12451>
- Bird, R. P., & Eskin, N. M. (2021). The emerging role of phosphorus in human health. In *Advances in food and Nutrition Research* (Vol. 96, pp. 27-88). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2021.02.001>

- Cabrera, M. S., Andrade, G. M., & Sampedro, S. E. L. (2020). Caracterización nutricional y funcional de la harina de mashua. *Conciencia Digital*, 3(3), 199-214. <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v3i3.1299>
- Calixto, D., & Lazo, G. (2017). *Harina de oca (oxalis tuberosa) como sustituto parcial de la harina de trigo para la elaboración de pan de molde edulcorada con stevia (stevia rebaudina)* [Tesis de Título, Universidad Nacional Hermilio Valdizán.]. <https://hdl.handle.net/20.500.13080/1680>
- Castañeda, M. (2019). *Evaluación de la actividad fotoprotectora in vitro y efecto fotoprotector in vivo de una formulación a base de extracto acuoso liofilizado de Lepidium meyenii (Maca)* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Hermilio Valdizán]. <http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/11578#.YOIBWtElh8.mendeley>
- Chuqui (2021). *Obtención de productos saludables de panificación utilizando harina de cáscara de maracuyá (passiflora edulis sims), variedad amarilla y ácido ascórbico* [Tesis Doctorar, Universidad Nacional Del Santa]. <https://repositorio.uns.edu.pe/discover?scope=%2Fyquery=chuqui+saulysubmit=>
- Cormick, G., & Belizán, J. M. (2019). Calcium intake and health. *Nutrients*, 11(7), 1606. <https://doi.org/10.3390/nu11071606>
- Correa Trigoso, Denis E., & Chaman Medina, Mercedes E. (2023). Caracteres microscópicos del gránulo de almidón de las especies Phaseolus vulgaris y Phaseolus lunatus (Fabaceae). *Arnaldoa*, 30(2), 273-286. <https://dx.doi.org/10.22497/arnaldoa.302.30213>
- Cruz, C. (2019). *Efecto de la sustitución de harina de trigo (Triticum aestivum) por harina de maca (Lepidium peruvianum) en el contenido proteico y la aceptabilidad general del pan integral* [Tesis de Título, Universidad Privada Antenor Orrego]. http://repositorio.upao.edu.pe/bitstream/20.500.12759/5413/1/RE_IND.ALIM_CARLOS.CRUIZ_SUSTITUCI%c3%93N.DE.HARINA_DATOS.PDF

- De La Rosa Vila, A. M. (2022). *Elaboración de una mezcla alimenticia a base de harina extruida de Ñuña (Phaseolus vulgaris L.), Plátano (Musa paradisiaca) y Maca (Lepidium peruvianum Chacón)* [Tesis de título, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión].
- Del Águila, S. (2018). El cultivo e importancia socio-económico-cultural del cultivo de la Mashua. *Página* 27-29. <http://repositorio.une.edu.pe/handle/20.500.14039/4104>
- Doylet, R., & Rodríguez, L. (2018). *Estudio comparativo de la composición química y carácter reductor de dos variedades de Tropaeolum tuberosum (Ruíz y Pavón, Kuntze) mashua* [Tesis de grado, Universidad de Guayaquil]. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/28380>
- EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). (2015). Scientific opinion on dietary reference values for magnesium. *EFSA Journal*, 13(7), 4186. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2015.4186>
- Emswiler, E., Theim, T., Grau, A., Nina, V., & Terrazas, F. (2009) Origins of domestication and polyploidy in oca (Oxalis tuberosa; Oxalidaceae). 3. AFLP data of oca and four wild, tuber-bearing taxa. *American journal of botany*, 96(10), 1839-1848.
- Espín, S. (2012). Caracterización Físico - Química, Nutricional y Funcional de Raíces y Tubérculos Andinos. *Raíces y tubérculos andinos*. Quito, Ecuador. 109 p.
- Espinosa, J. (2007). Universitaria. *Evaluación Sensorial de los Alimentos*. Cuba. 6 al 10 p.
- FAO (2015). Norma para aceites vegetales especificados. *Codez alimentarius*. CODEX STAN 210-1999. <https://www.fao.org/common-pages/search/es/?q=protein>
- Fermín, W., & Corzo, O. (2004) Comparación teórica y práctica del diseño compuesto central rotatable con el diseño san cristóbal ortogonalizado en la optimización de la deshidratación osmótica del melón. *Saber*, 16(1), 39-40. <https://api.core.ac.uk/oai/oai:ojs.www.ojs.udo.edu.ve:article/573>

- Gabriela Massari (2016). *Análisis de tres índices de madurez del fruto de pan artocarpus altilis para el aprovechamiento de sus semillas en la elaboración de un snack* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte]. <http://repositorio.utn.edu.ec/simple-search?query=gabriela+massari>
- Gaces, B. (2019). *Obtención de harina de mashua (Tropaeolum Tuberosum) y oca (Oxalis Tuberosa) mediante deshidratación para la elaboración de pastas artesanales* [Tesis de Título, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/11786>
- Gao, J., & Zhou, W. (2021). Oral processing of bread: Implications of designing healthier bread products. *Trends in Food Science & Technology*, 112, 720-734. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.04.030>
- Gaytán-Martínez, M., Figueroa, J. D. C., Morales-Sánchez, E., Vázquez-Landaverde, P. A., & Martínez-Flores, H. E. (2011). Physicochemical properties of masa and corn tortilla made by ohmic heating. *African Journal of Biotechnology*, 10(71), 16028-16036.
- Gómez, M., Gutkoski, L. C., & Bravo- Núñez, Á. (2020). Understanding whole-wheat flour and its effect in breads: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(6), 3241-3265.
- Gonzales, G. (2012). Ethnobiology and Ethnopharmacology of *Lepidium meyenii* (Maca), a Plant from the Peruvian Highlands. Evidence-based complementary and alternative medicine, *eCAM*, 2012, 193496. <https://doi.org/10.1155/2012/193496>
- Guerra, A. (2014). *Estudio de la utilización de la harina de Mashua (Tropaeolum tuberosum) en la obtención del pan de molde* [Tesis de Título, Universidad Tecnológica Equinoccial].
- Gunsha, L. (2020). *Utilización de cuatro niveles de harina de mashua en la elaboración de pan de molde* [Tesis de Título, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/15505>

- Guzmán Cifuentes, M. (2015). *Formulación y caracterización de pan de molde con la adición de un ingrediente funcional proveniente de subproductos de la agroindustria* [Tesis de Grado, Universidad de Chile]. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/148083>
- Institute of Medicine. Food and Nutrition Board. Dietary Reference Intakes for Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium, and Zinc : a Report of the Panel on Micronutrientsexternal link disclaimer. Washington, DC: National Academy Press; 2001.
- Jorge Claudio, F. C., & Ponce Fermín, H. (2016). *Determinación de la proporción óptimo de harina de mashua (Tropaeolum tuberosum) como sustituto parcial para la elaboración de pan integral-Huánuco* [Tesis de título, Universidad Nacional Hermilio Valdizán].
- Junta de andalucia. (2013) Harina y Pan. http://www.juntadeandalucia.es/defensacompetencia/sites/all/themes/competencia/files/fichas/pdf/7_Harina.pdf.
- Lal, A. (2020). Iron in health and disease: an update. *The Indian Journal of Pediatrics*, 87(1), 58-65. <https://doi.org/10.1007/s12098-019-03054-8>
- Llempen, Y. (2020) *Evaluación del comportamiento reológico de las mezclas de harinas: trigo (triticumvulgare), chía (salvia hispánica) y quinua (chenopodium quinua willdenow), para la utilización en productos de panificación* [Tesis de pregrado, Universidad Señor de Sipán]. <https://hdl.handle.net/20.500.12802/7329>
- Lyon, P. J. (2008). Lost crops of the incas: Little-known plants of the andes with promise for worldwide cultivation. *The Latin American Anthropology Review*, 4(1), 174–180. <https://doi.org/10.1525/jlca.1992.4.1.41.1>.
- Makki, K., Deehan, E. C., Walter, J., & Bäckhed, F. (2018). The impact of dietary fiber on gut microbiota in host health and disease. *Cell host & microbe*, 23(6), 705-715. <https://doi.org/10.1016/j.chom.2018.05.012>

- Manrique, I., Arbizú, C., Vivanco, F., Gonzales, R., Ramírez, C., Chávez, O., Tay, D., & Ellis, D. (2014). *Tropaeolum tuberosum* Ruiz y Pav. Colección de germoplasma de mashua conservada en el Centro Internacional de la Papa (CIP). *Centro Internacional de la Papa*. <https://doi.org/10.4160/9789290604310>
- Marmolejo Gutarra, K. J. (2018). *Variabilidad genética del frijol común tipo ñuña (Phaseolus vulgaris L.) en las localidades de Carhuaz y Chiquián, Ancash* [Tesis de Título, Universidad Nacional Agraria La Molina]. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/3398/marmolejo-gutarra-karina-jessica.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Martínez, K. (2015). *Evaluación de diferentes variedades de oca (Oxalis tuberosa) para la obtención de harina con fines industriales* [Tesis de Título, Universidad Técnica Estatal de Quevedo]. <https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/0191d204-ebc2-4981-8492-acb24a954912/content>
- McLean, R. M., & Wang, N. X. (2021). Potassium. In *Advances in food and nutrition research* (Vol. 96, pp. 89-121). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2021.02.013>
- Méndez, J., Molina, E., Valdiviezo, R., Armendariz, C., & Portilla, A. (2022). Estudio de las propiedades enológicas de la naranjilla con fines gastronómicos en pacto-pichincha. La Granja. *Revista de Ciencias de la Vida*, 35(1), 124-140. <https://doi.org/10.17163/lgr.n35.2022.10>
- Mendoza, L. (2017). *Proyecto de factibilidad planta panificadora de la empresa la nueva gaita SRL* [Tesis de Título, Universidad Mayor de San Andrés]. <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/21272>
- Menera (2020). *Evaluación de Buenas Prácticas de Manufactura en una planta extractora de aceite de girasol* [Tesis de pregrado, Facultad de Ciencias Agropecuarias]. https://scholar.google.es/scholar?hl=esyas_sdt=0%2C5yq=Evaluaci%C3%B3n+de+Buenas+Pr%C3%A1cticas+de+Manufactura+en+una+planta+extractora+de+aceite+de+girasol+ybtnG=

- MINSA (2017) *Tablas peruanas de composición de alimentos*. Ministerio de salud
<https://cnp.org.pe/tablas-peruanas-composicion-alimentos/>
- Miranda, J., Lasa, A., Bustamante, M. A., Churruca, I., & Simon, E. (2014). Nutritional differences between a gluten-free diet and a diet containing equivalent products with gluten. *Plant Foods for Human Nutrition*, 69(2), 182–187. <https://doi.org/10.1007/s11130-014-0410-4>.
- Moncayo, W. (2022). *Evaluación de tres distancias de trasplante del cultivo demaca (lepidium meyenii) en la parroquia tabacundo, cantón pedro moncayo, provincia de Pichincha* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato].
<https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/34886>
- Mondino, M., & Ferratto, J. (2006) El análisis sensorial, Una herramienta para la evaluación de la Calidad desde el consumidor. 2006.
- Mudgil, D., Barak, S., & Khatkar, B. S. (2016). Optimization of bread firmness, specific loaf volume and sensory acceptability of bread with soluble fiber and different water levels. *Journal of Cereal Science*, 70, 186-191.
<https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.06.009>
- Niu, M., Hou, G. G., & Zhao, S. (2017). Dough rheological properties and noodle-making performance of non-waxy and waxy whole-wheat flour blends. *Journal of Cereal Science*, 75, 261-268.
<https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.05.002>
- Ogunsina, B. S., Radha, C., & Indrani, D. (2011). Quality characteristics of bread and cookies enriched with debittered Moringa oleifera seed flour. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 62(2), 185-194.
<https://doi.org/10.3109/09637486.2010.526928>
- Ortiz, J., Ortiz, K. J., Castro, B. S., Nuñez, R. S. C., & Rengifo, G. L. (2019). Factores sociodemográficos y prenatales asociados a la anemia en gestantes peruanas. *Enferm. Glob.*, 18(56), 273-290.
<http://dx.doi.org/10.6018/eglobal.18.4.358801>.
- Pacheco, A. (2016). *Elaboración de panes sin gluten utilizando harina de quinua (chenopodium quinoa willd.) Y almidón de papa (Solanum tuberosum)*”. Lima

- Perú [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/2605/Q02-P323-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pacheco, M. T., Hernández-Hernández, O., Moreno, F. J., & Villamiel, M. (2020). Andean tubers grown in Ecuador: New sources of functional ingredients. *Food Bioscience*, 35, 100601. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100601>
- Paucar-Menacho, Luz María, Salvador-Reyes, Rebeca, Guillén-Sánchez, Jhoseline, & Mori-Arismendi, Sigry. (2016). Efecto de la sustitución parcial de la harina de trigo por harina de soya en las características tecnológicas y sensoriales de cupcakes destinados a niños en edad escolar. *Scientia Agropecuaria*, 7(2), 121-132. <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2016.02.05>
- Pietrysiak, Ewa., Zhu, Yujing., Bon-Jae, Gu., & Ganjyal, Girish M. (2020). Whole nuña bean (*Phaseolus vulgaris* L.) flour showed higher direct expansion during extrusion processing at relatively lower temperatures. *Journal of Food Science*, 85(7), 1750-3841.15180. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15180>
- Ponce Rosas, F. C. (2018). *Características físicoquímicas, sensoriales y bioactivas del pan de trigo sustituido parcialmente con harina de cáscara de plátano (musa paradisiaca l.)* [Tesis de Doctorado, Universidad Nacional Federico Villarealú]. <https://repositorio.unfv.edu.pe/handle/20.500.13084/2389>
- Protonotariou, S., Stergiou, P., Christaki, M., & Mandala, I. G. (2020). Physical properties and sensory evaluation of bread containing micronized whole wheat flour. *Food Chemistry*, 318, 126497. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126497>
- Quispe, R. (2021). *Sustitución parcial de harina de trigo por harina de Papa, harina de Tarwi y de Harina de Oca en la elaboración del pan mediante el método de diseño de mezclas* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional San Luis Gonzaga]. <https://repositorio.unica.edu.pe/items/da4e051d-0b18-4f3b-9f84-ad2a7910b70c>

- Requena, J. (2013) Harinas. Obtenido de https://archivos.csif.es/archivos/andalucia/ensenanza/revistas/iee/Numero_60/JOSE_REQUENA_1.pdf
- Riveros, Y. (2020) *Efecto de la proporción de harinas de tarwi (lupinus mutabilis): yuca (manihot esculenta): arracacha (arracacia xanthorrhiza) sobre las características fisicoquímicas y aceptabilidad general de un snack* [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo].
- Romero, V., Tirado, A., Durán, M., & Dávalos, J. (2016). Propiedades energéticas de la harina de maca (*Lepidium peruvianum Chacón* o *Lepidium meyenii* Walpers). *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 82(1), 38-48. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2016000100005&lng=es&tyng=es.
- Ross, A. C., Manson, J. E., Abrams, S. A., Aloia, J. F., Brannon, P. M., Clinton, S. K., ... & Shapses, S. A. (2011). The 2011 report on dietary reference intakes for calcium and vitamin D from the Institute of Medicine: what clinicians need to know. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 96(1), 53-58. <https://doi.org/10.1210/jc.2010-2704>
- Salazar, D., Arancibia, M., Ocaña, I., Rodríguez-Maecker, R., Bedón, M., López Caballero, M. E., & Montero, M. (2021) Characterization and Technological Potential of Underutilized Ancestral Andean Crop Flours from Ecuador. *Agronomy*, 11(9), 1693. <https://doi.org/10.3390/agronomy11091693>
- Samame, P. (2018). *Evaluación de la aceptabilidad del pan elaborado con harina de Oca (Oxalis tuberosa)* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo] <https://hdl.handle.net/20.500.193/812228>
- Sangeetha, V. J., Dutta, S., Moses, J. A., & Anandharamakrishnan, C. (2022). Zinc nutrition and human health: Overview and implications. *EFood*, 3(5), e17.
- Schwalfenberg, G. K., & Genies, S. J. (2017). The importance of magnesium in clinical healthcare. *Scientifica*, 2017(1), 4179326. <https://doi.org/10.1155/2017/4179326>

- Shewry, P. R. (2007). Improving the protein content and composition of cereal grain. *Journal of Cereal Science*, 46(3), 239–250. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2007.06.006>.
- Shewry, P. R. (2009). Wheat. *Journal of experimental botany*, 60(6), 1537-1553. <https://doi.org/10.1093/jxb/erp058>
- Simpson, M. G. (2019). *Plant Systematics*. USA
- Taipe, L. (2017). *Fenoles totales y actividad antioxidante en mashua (tropaeolum tuberosum) en estado fresco, soleado y cocido de las variedades amarillo zapallo y negra* [Tesis de grado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/1592>
- Taype, L (2017). *Fenoles totales y actividad antioxidante en mashua (Tropaeolum tuberosum) en estado fresco, soleado y cocido de las variedades amarillo zapallo y negra* [Tesis de Titulación, Universidad Nacional Centro del Perú] <https://repositorio.uncp.edu.pe/discover>
- Thomas, T., Erdman, K. A., & Burke, L. M. (2016). Nutrition and athletic performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 48(3), 543– 568. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000852>.
- Ticona, L. N. A., Pérez, V. T., & Benito, P. B. (2020). Local/traditional uses, secondary metabolites and biological activities of Mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón). *Journal of ethnopharmacology*, 247, <https://doi.org/112152>. 10.1016/j.jep.2019.112152.
- Trautvetter, U., Ditscheid, B., Jahreis, G., & Glei, M. (2018). Habitual intakes, food sources and excretions of phosphorus and calcium in three German study collectives. *Nutrients*, 10(2), 171. <https://doi.org/10.3390/nu10020171>
- Valle, M. (2017). *Caracterización morfológica y fenología en variedades de tropaeolum tuberosum (mashua) de interés medicinal* [Tesis de grado, Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/26125>

- Vásconez Barrera, F., Oleas López, J., Bonilla Lucero, M., & Benítez Santillán, L. (2023) Homemade bread made with mashua and wheat flour: Added value to the raw material and nutritional contribution to the health of children and adults. *Journal of Survey in Fisheries Sciences* 10(3S) 348-358.
- Vílchez, L., Guevara, A., & Encina, C. (2012) Influencia del tamaño de partícula, humedad y temperatura en el grado de gelatinización durante el proceso de extrusión de maca (*Lepidium meyenii* Walp). *Rev. Soc. Quím. Perú*, 78(2).
- World Health Organization. (2012). Guideline: potassium intake for adults and children. In *Guideline: potassium intake for adults and children*.

VIII. ANEXO

Anexo 1

Formulación base para la elaboración de pan de molde

Insumos	%	Gramos	Kilos
Harina especial	58.0%	1000	1
Azúcar rubia	4.6%	80	0.08
Levadura	1.2%	20	0.02
Agua	29.0%	500	0.5
Aceite de girasol	2.9%	50	0.05
Leche en polvo	1.7%	30	0.03
Mejorador	0.6%	10	0.01
Antimoho	0.2%	3	0.003
Sal	1.2%	20	0.02
Emulsificante	0.6%	10	0.01
Masa total	100.0%	1723	1.723

Anexo 2

Formulaciones del diseño experimental para la elaboración de pan de molde – Por un kilo de harina

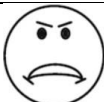




Insumos	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	Fcontrol
Harina especial	970	960	940	930	960	940	970	930	950	950	950	1000
Ñuña	15	25	15	25	10	30	20	20	20	20	20	-
Mashua	15	15	45	45	30	30	10	50	30	30	30	-
Azúcar rubia	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
Levadura	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Agua	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
Aceite de girasol	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Leche en polvo	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Mejorador	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Antimoho	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Sal	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Emulsificante	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

Técnica para la evaluación sensorial

Se diseñó una ficha de prueba afectiva para evaluar los atributos de sabor, color, olor, textura e intención de compra para el pan de molde. La escala a usar es la escala hedónica de 5 puntos como se observa en el anexo 3 que será usada para los atributos sabor, color, olor y textura mientras que en el anexo 4 se muestra el puntaje para evaluar la intención de compra.

Anexo 3

Escala hedónica de 5 puntos utilizada para la evaluación sensorial de sabor, color, olor y textura del pan de molde.

Puntaje	Nivel de agrado
 1	Me disgusta mucho
 2	Me disgusta moderadamente
 3	No me gusta ni me disgusta
 4	Me gusta moderadamente
 5	Me gusta mucho

Nota: Páucar-Menacho et al. (2016); Menacho et al., (2022).

Anexo 4

Escala hedónica de 5 puntos para evaluar la intención de compra del pan de molde.

Puntaje	Calificación
1	No lo compraría
2	Posiblemente no lo compraría
3	Tal vez lo compraría
4	Posiblemente lo compraría
5	Sí lo compraría

Nota: Páucar-Menacho et al. (2016)

Anexo 5

Ficha de evaluación sensorial del pan de molde.

FICHA DE EVALUACIÓN SENSORIAL


Fecha: _____

PRODUCTO: PAN DE MOLDE CON HARINA DE MACA, OCA, MASHUA Y ACEITE DE GIRASOL

Por favor evalúe las muestras de pan de molde en cuanto a los atributos presentados en la tabla inferior.


☒ Recomendación: Enjuáguese la boca con agua antes de probar la siguiente muestra.

1




Me disgusta mucho

2




Me disgusta moderadamente

3




No me gusta ni me disgusta

4



Me gusta moderadamente

5



Si me gusta

MUESTRA	ATRIBUTO			
	SABOR	COLOR	OLOR	TEXTURA

Por último, califique las muestras con respecto a su Intención de Compra.

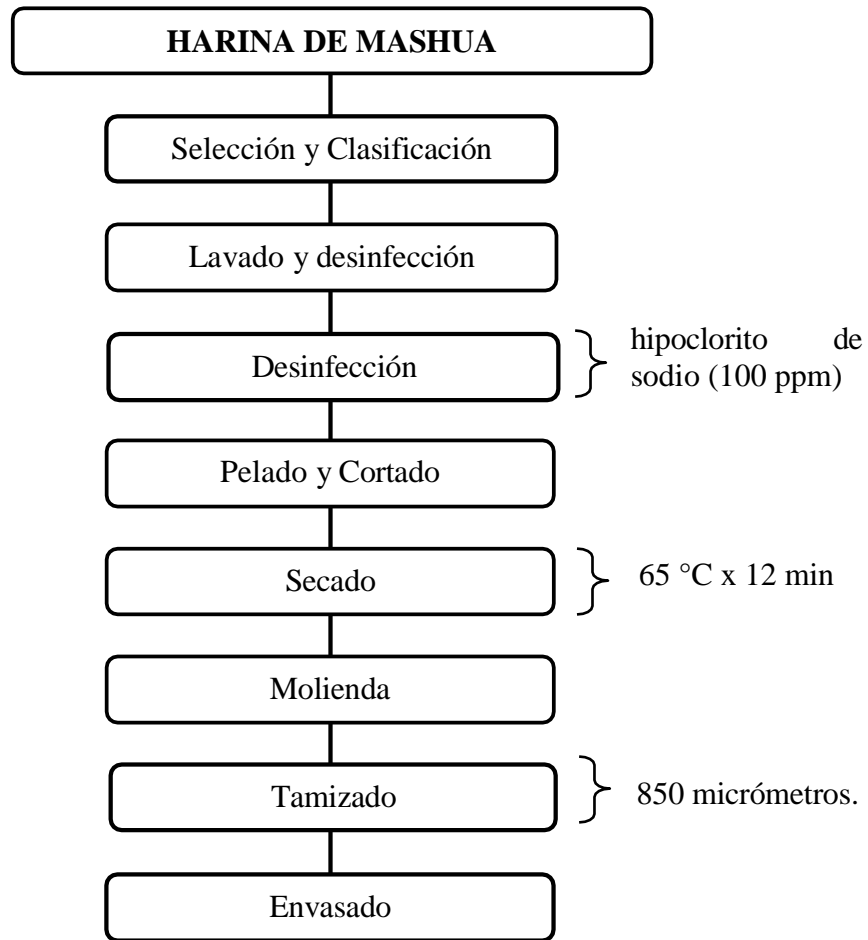
1	2	3	4	5
No lo compraría	Probablemente no lo compraría	Tal vez lo compraría	Posiblemente lo compraría	Si lo compraría

MUESTRA	INTENCION DE COMPRA

¡GRACIAS POR SU PARTICIPACIÓN!

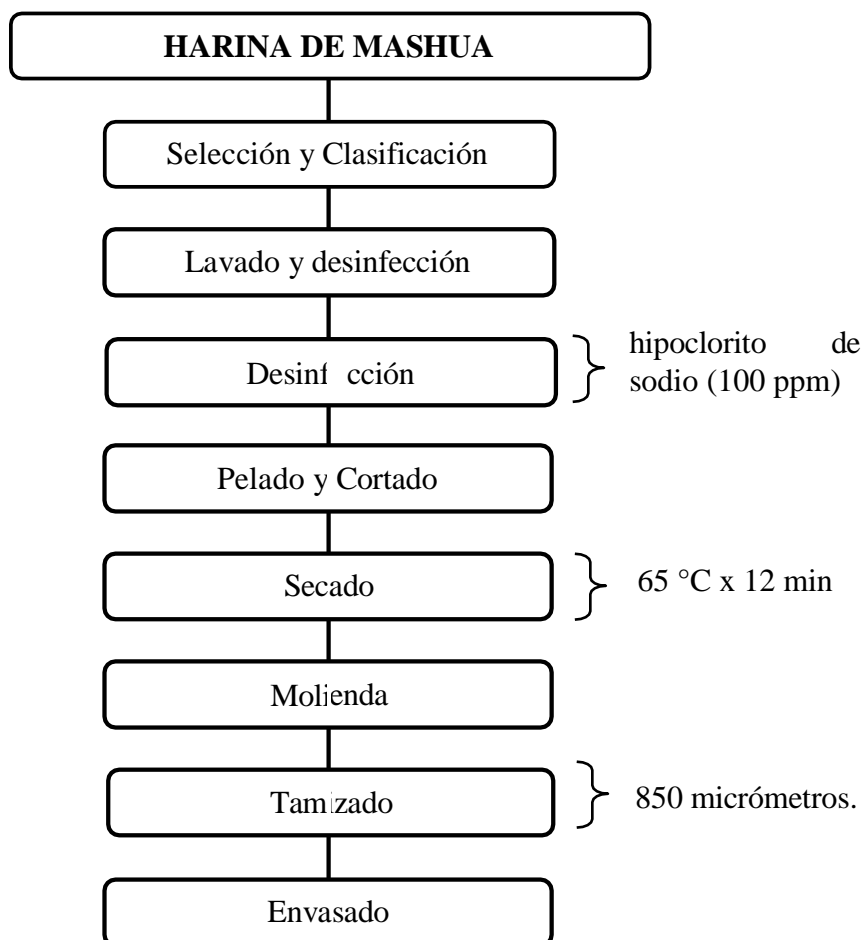
Anexo 6

Diagrama de flujo para la obtención de harina de Mashua.



Anexo 7

Diagrama de flujo para la obtención de harina de Ñuña



Anexo 8

Diagrama de flujo para la elaboración de pan de molde

