

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS**



T E S I S

**“SUSTITUCIÓN PARCIAL DE HARINA DE TRIGO POR HARINA DE
MASHUA NEGRA (*Tropaeolum tuberosum*) CON DIFERENTES TIEMPOS DE
AMASADO SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN PAN INTEGRAL”**

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Presentado por el Bachiller:

JORGE RISCO CHÁVEZ

Asesores:

Ing. MS.c. RIMARACHÍN CHÁVEZ FANNY LUCILA

Ing. MS.c. ZOILA CECILIA ROJAS RAMÍREZ


CAJAMARCA – PERÚ

2024

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

1. Investigador:
JORGE RISCO CHÁVEZ
DNI: 71249109
Escuela Profesional/Unidad UNC:
DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
2. Asesor:
Ing. M. Sc. Fanny Lucila Rimarachín Chávez
Facultad/Unidad UNC:
DE CIENCIAS AGRARIAS
3. Grado académico o título profesional
 Bachiller Título profesional Segunda especialidad
 Maestro Doctor
4. Tipo de Investigación:
 Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional
 Trabajo académico
5. Título de Trabajo de Investigación:
"SUSTITUCIÓN PARCIAL DE HARINA DE TRIGO POR HARINA DE MASHUA NEGRA
(*Tropaeolum tuberosum*) CON DIFERENTES TIEMPOS DE AMASADO SOBRE LAS
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN PAN INTEGRAL"
6. Fecha de evaluación: 20/12/2024
7. Software antiplagio: TURNITIN URKUND (OURIGINAL) (*)
8. Porcentaje de Informe de Similitud: 27%
9. Código Documento: 3117:417850521
10. Resultado de la Evaluación de Similitud: 27%
 APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 26/12/2024

<i>Firma y/o Sello Emisor Constancia</i>
 Ing. M. Sc. Fanny Lucila Rimarachín Chávez DNI: 40028465

* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
"NORTE DE LA UNIVERSIDAD PERUANA"
Fundada por Ley N° 14015, del 13 de febrero de 1962
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
Secretaría Académica



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la ciudad de Cajamarca, a los diecinueve días del mes de noviembre del año dos mil veinticuatro, se reunieron en el ambiente 2H - 204 de la Facultad de Ciencias Agrarias, los miembros del Jurado, designados según **Resolución de Consejo de Facultad N° 288-2024-FCA-UNC, de fecha 17 de julio del 2024**, con la finalidad de evaluar la sustentación de la **TESIS** titulada: "**SUSTITUCIÓN PARCIAL DE HARINA DE TRIGO POR HARINA DE MASHUA NEGRA (*Tropaeolum tuberosum*) CON DIFERENTES TIEMPOS DE AMASADO SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN PAN INTEGRAL**", realizada por el Bachiller **JORGE RISCO CHÁVEZ** para optar el Título Profesional de **INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**.

A las ocho horas y trece minutos, de acuerdo a lo establecido en el **Reglamento Interno para la Obtención de Título Profesional de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca**, el Presidente del Jurado dio por iniciado el Acto de Sustentación, luego de concluida la exposición, los miembros del Jurado procedieron a la formulación de preguntas y posterior deliberación. Acto seguido, el Presidente del Jurado anunció la aprobación por unanimidad, con el calificativo de catorce (14); por tanto, el Bachiller queda expedito para proceder con los trámites que conlleven a la obtención del Título Profesional de **INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**.

A las nueve horas y cuatro minutos del mismo día, el Presidente del Jurado dio por concluido el Acto de Sustentación.




Dr. Jimmy Frank Oblitas Cruz
PRESIDENTE



Ing. Mtr. Max Edwin Sangay Terrones
SECRETARIO



Dr. José Gerardo Salhuana Granados
VOCAL



Ing. M. Sc. Fanny Lucila Rimarachin Chávez
ASESORA



Ing. M. Cs. Zoila Cecilia Rojas Ramírez
ASESORA

DEDICATORIA

"A mis padres, por su inquebrantable apoyo y aliento en cada paso de mi educación. A mis profesores, por su sabiduría y orientación que han moldeado mi camino. A mis compañeros de estudio, por compartir este viaje conmigo. Este título de Ingeniero en Industrias Alimentarias es un escalón hacia mi meta de convertirme en profesional, y dedicarlo a todos los que han creído en mí es un honor. ¡A seguir adelante con determinación y pasión!"

AGRADECIMIENTO

"Agradezco profundamente a mi director de tesis y asesores, por su invaluable orientación, paciencia y dedicación a lo largo de este arduo proceso, por su asesoramiento experto y valiosas sugerencias que han enriquecido mi trabajo. No puedo pasar por alto el apoyo de mi familia y amigos, quienes han sido mi soporte incondicional durante esta etapa. Este logro no sería posible sin su aliento constante y amor. Finalmente, agradezco a la Universidad Nacional de Cajamarca – Sede Cajabamba, por brindarme los recursos y oportunidades para crecer académicamente. Este título de Ingeniero en Industrias Alimentarias no solo representa mi esfuerzo, sino también el respaldo y la confianza de quienes me rodean. ¡Gracias a todos por ser parte de este importante hito en mi vida!"

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN	1
1.1	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	2
1.2	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.3	JUSTIFICACIÓN.....	3
1.4	OBJETIVOS.....	5
1.4.1	<i>Objetivo General</i>	5
1.4.2	<i>Objetivos Específicos</i>	5
1.5	HIPÓTESIS.....	5
II.	REVISIÓN DE LA LITERATURA	6
2.1	ANTECEDENTES	6
2.2.	MARCO TEÓRICO.....	11
2.2.1.	<i>Generalidades del trigo</i>	11
2.2.1.1.	Definición.....	11
2.2.1.2.	Origen	12
2.2.1.3.	Composición del salvado del trigo	12
2.2.2.	<i>Mashua</i>	13
2.2.2.1.	Variedades.....	14
2.2.2.2.	Composición química	15
2.2.2.3.	Aplicaciones o derivados	16
2.2.3.	<i>Harina</i>	17
2.2.3.1.	Generalidades	17

2.2.3.2.	Valor nutritivo de las harinas	18
2.2.3.3.	Harinas compuestas	18
2.2.3.4.	Harina de mashua	19
2.2.4.	<i>Pan</i>	19
2.2.4.1.	Definición.....	19
2.2.4.2.	Tipos de pan	19
2.2.4.3.	Control de calidad del pan	20
2.2.4.4.	Materias primas e insumos en la elaboración del pan	20
2.2.4.5.	Proceso de elaboración del pan	22
2.2.5.	<i>Control de calidad del pan integral</i>	23
2.2.5.1.	Densidad aparente	23
2.2.5.2.	Textura.....	24
2.3.	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS	24
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	27
3.1.	UBICACIÓN	27
3.2.	MATERIALES, INSUMOS Y EQUIPOS.....	27
3.2.1.	<i>Materia prima e insumos</i>	27
3.2.2.	<i>Materiales de laboratorio y equipos</i>	28
3.3.	METODOLOGÍA	29
3.3.1.	<i>Variables</i>	29
3.3.2.	<i>Diseño experimental, arreglo de tratamientos</i>	29
3.3.3.	<i>Procedimientos (descripción de los procesos experimentales)</i>	30
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	38
4.1.	ANÁLISIS DEL PERFIL DE TEXTURA.....	38
4.1.1.	<i>Análisis de Dureza (Firmeza)</i>	38

4.1.2. <i>Análisis de Fracturabilidad</i>	41
4.1.4. <i>Análisis de Elasticidad</i>	49
4.1.5. <i>Análisis de Masticabilidad</i>	52
4.2. ANÁLISIS DE LA CARACTERÍSTICA FÍSICA DE DENSIDAD APARENTE.....	56
V. CONCLUSIONES	62
VI. RECOMENDACIONES	63
VIII. ANEXOS	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Composición nutricional del salvado de trigo</i> _____	12
Tabla 2. <i>Variedades de Mashua (Tropaeolum tuberosum Ruiz y Pavón)</i> _____	15
Tabla 3. <i>Composición química del tubérculo de Mashua</i> _____	16
Tabla 4. <i>Composición química de la harina de trigo</i> _____	18
Tabla 5. <i>Control fisicoquímico del pan</i> _____	20
Tabla 6. <i>Tratamientos de la Experimentación (Combinación de variables y niveles)</i> _____	30
Tabla 7. <i>Mezcla de las proporciones de harina integral y harina de Mashua</i> _____	37
Tabla 8. <i>Resultados del parámetro de Dureza</i> _____	39
Tabla 9. <i>Análisis de varianza para Dureza</i> _____	40
Tabla 10. <i>Resultados del parámetro de Fracturabilidad</i> _____	42
Tabla 11. <i>Análisis de varianza para Fracturabilidad</i> _____	44
Tabla 12. <i>Resultados del parámetro de Cohesividad</i> _____	46
Tabla 13. <i>Análisis de varianza para Cohesividad</i> _____	48
Tabla 14. <i>Resultados del parámetro de Elasticidad</i> _____	50
Tabla 15. <i>Análisis de varianza para Elasticidad</i> _____	51
Tabla 16. <i>Resultados del parámetro de Masticabilidad</i> _____	53
Tabla 17. <i>Análisis de varianza para Masticabilidad</i> _____	55
Tabla 18. <i>Resultados de la característica de Densidad Aparente</i> _____	57
Tabla 19. <i>Análisis de varianza para Densidad Aparente</i> _____	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Escanda, harina, centeno - grano, trigo, grano-planta.....	11
Figura 2. La mashua.....	12
Figura 3. Variedades de Mashua.....	14
Figura 4. Ubicación de la Universidad Nacional de Cajamarca.....	27
Figura 5. Flujograma de la Obtención de harina de Mashua.....	32
Figura 6. Flujograma para la elaboración del pan integral con cierto % de Harina de Mashua.....	35
Figura 7. Gráfico de barras de la influencia de las variables sobre la dureza.....	39
Figura 8. Contorno de superficie de respuesta estimada para la dureza.....	41
Figura 9. Gráfico de barras de la influencia de las variables sobre la fracturabilidad....	43
Figura 10. Contorno de superficie de respuesta estimada para la fracturabilidad.....	45
Figura 11. Gráfico de barras de la influencia de las variables sobre la cohesividad.....	47
Figura 12. Contorno de superficie de respuesta estimada para la cohesividad.....	48
Figura 13. Gráfico de barras de la influencia de las variables sobre la elasticidad.....	50
Figura 14. Contorno de superficie de respuesta estimada para la elasticidad.....	52
Figura 15. Gráfico de barras de la influencia de las variables sobre la masticabilidad.	54
Figura 16. Contorno de superficie de respuesta estimada para la masticabilidad.....	56
Figura 17. Gráfico de barras de la influencia de las variables sobre la densidad Aparente.....	58
Figura 18. Contorno de superficie de respuesta estimada para la densidad aparente....	60

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se desarrolló en la Universidad Nacional de Cajamarca, teniendo como objetivo principal la elaboración y determinación de las características físicas del pan integral con sustitución parcial de harina de trigo por harina de mashua (*Tropaeolum tuberosum*) a diferentes tiempos de amasado. La metodología empleada para este trabajo de investigación fue experimental; por las variables es cuantitativo, los cuales se expresó en un Diseño Estadístico Factorial de (3A X 3B). El primer factor (A) % Harina de mashua (H1=5%, H2= 10% y H3=15%, el factor B corresponde al Tiempo de amasado (T1= 10 minutos, T2=12.5 minutos y T3= 15 minutos, con 9 tratamientos, donde la variable respuesta es la textura y densidad aparente. Las evaluaciones se llevaron a cabo gracias al equipo texturómetro CT3Texture Analyzer empleando el software TexturePro CT con una frecuencia de 3 repeticiones por cada tratamiento. Los resultados obtenidos fueron sometidos a un Análisis de varianza mediante un diseño factorial (DOE) del paquete de Programa Minitab, donde tenemos el grado de significancia valor ($p < 0.05$) para el % harina de mashua, indicándonos que esta variable presento mayor influencia sobre el perfil de textura y densidad aparente; en comparación el tiempo de amasado presento valor de significancia valor ($p > 0.05$), indicando menor influencia sobre los resultados. Finalmente, se concluyó que los parámetros de (Dureza 19.2 N, Fracturabilidad 16.3 N, elasticidad 7.56 mm y masticabilidad 0.07 J); sin embargo, la Cohesividad fue 0.37, siendo el parámetro que se mantuvo más estable. Y en cuanto al análisis de la densidad aparente, presento un aumento de hasta 0.42 gr./ml, en función al aumento de los % de harina de mashua específicamente.

Palabras claves: Trigo, Mashua, Harina, Pan, Textura, Densidad aparente.

SUMMARY

The present research work was developed at the National University of Cajamarca, having as its main objective the elaboration and determination of the physical characteristics of whole wheat bread with partial substitution of wheat flour for mashua flour (*Tropaeolum tuberosum*) at different kneading times. The methodology used for this research work was experimental; for the variables it is quantitative, which was expressed in a Factorial Statistical Design of (3A X 3B). The first factor (A) % Mashua flour (H1=5%, H2= 10% and H3=15%), factor B corresponds to the kneading time (T1= 10 minutes, T2=12.5 minutes and T3= 15 minutes, with 9 treatments, where the response variable is texture and bulk density. The evaluations were carried out thanks to the CT3Texture Analyzer texturometer equipment using the TexturePro CT software with a frequency of 3 repetitions for each treatment. The results obtained were subjected to an Analysis of variance using a factorial design (DOE) of the Minitab Program package, where we have the degree of significance value ($p < 0.05$) for the % mashua flour, indicating that this variable had a greater influence on the texture and bulk density profile; In comparison, the kneading time presented a significance value ($p > 0.05$), indicating less influence on the results. Finally, it was concluded that the parameters of (Hardness 19.2 N, Fractureability 16.3 N, elasticity 7.56 mm and chewability 0.07 J); however, Cohesiveness was 0.37, being the parameter that remained more stable. And as for the analysis of the bulk density, it presented an increase of up to 0.42 gr./ml, depending on the increase in the % of mashua flour specifically.

Keywords: Wheat, Mashua, Flour, Bread, Texture, Bulk density.

I. INTRODUCCIÓN

Uno de los principales motivos que llevó a desarrollar esta investigación, es que existe desconocimiento de sus amplias propiedades tanto medicinales como nutricionales de la mashua negra y no se le da un valor agregado o el uso adecuado para su consumo, y con la finalidad de buscar alternativas alimentarias que promuevan la salud y la diversificación de la dieta ha llevado a explorar el potencial de ingredientes no convencionales en la industria alimentaria. En este sentido, la harina de mashua negra (*Tropaeolum tuberosum*) emerge como un recurso prometedor, gracias a su contenido nutricional y sus propiedades funcionales. La mashua negra, una raíz nativa de los Andes, se caracteriza por su alto contenido de proteínas, fibras, minerales y compuestos bioactivos, lo que la convierte en una opción atractiva para enriquecer productos horneados como el pan integral.

Debido a la creciente demanda de alternativas nutritivas y la necesidad de diversificar la base de ingredientes, la sustitución parcial de harina de trigo por harina de mashua negra (*Tropaeolum tuberosum*) en la producción de pan integral es un área de investigación relevante. La planta andina mashua negra, que tiene propiedades nutricionales notables, puede mejorar el perfil nutricional del pan integral. Las características físicas del pan integral se ven afectadas por diferentes tiempos de amasado cuando se utiliza esta sustitución parcial.

El objetivo de esta investigación fue evaluar cómo varios tiempos de amasado afectaron las características físicas del pan integral al reemplazar parcialmente la harina de trigo por harina de mashua negra.

Se llevó a cabo un diseño experimental que varía con el tiempo de amasado durante la preparación del pan integral mientras se reemplaza el porcentaje de harina de trigo por harina de mashua negra constante. Para evaluar el impacto de los diferentes tiempos de

amasado en la calidad del producto final, se midió varias características físicas del pan, como volumen, textura, color y aroma.

Este estudio determinó cómo las características físicas del pan integral se vieron afectadas por la sustitución parcial de harina de trigo por harina de mashua negra, así como por varios tiempos de amasado. Los resultados muestran que usar harina de mashua negra en lugar de harina de trigo en la elaboración de pan integral puede ser una estrategia prometedora para mejorar su perfil nutricional y agregar valor al producto. Sin embargo, para obtener el mejor pan integral, es necesario tener en cuenta los efectos de textura, volumen y color, así como ajustar los tiempos de amasado.

1.1 Descripción del problema

La mashua (*Tropaeolum tuberosum*) planta originaria de los andes centrales, probablemente en las mismas zonas donde se originó la papa. En el Perú ha sido cultivada desde épocas preincaicas y numerosas culturas la han representado en sus ceramios. Crece en forma silvestre o cultivada en la cordillera de los andes desde Colombia hasta Argentina, en altitudes que van desde el nivel del mar hasta 4,000 m. Es una planta de fácil cultivo que puede ser cosechada a los 6 u 8 meses de su siembra, y está asociada a la pobreza en vista que desarrolla en pisos altitudinales elevados. Crece en suelos pobres y no requiere de fertilizantes ni pesticidas, es resistente a las heladas, y en estado natural es capaz de repeler insectos y nemátodos.

La mashua tiene un alto contenido de proteínas, carbohidratos, fibras y calorías, es rica en vitaminas B y C, su valor nutritivo supera al de algunos cereales y de la papa, por lo que forma parte de la dieta diaria de los habitantes de las zonas rurales de nuestro Perú. La presencia de glucosinolatos en este tubérculo tiene efectos beneficiosos para el sistema inmunológico.

La investigación tiene como finalidad procesar la harina de mashua para la elaboración

de pan y así resaltar los productos andinos y a la vez contribuya como alimento nutritivo para el consumo diario.

Uno de los principales problemas con el uso de la mashua negra para su consumo mediante la elaboración de pan integral, es que la gente en su mayoría desconoce que esta es rica en nutrientes como carbohidratos, proteínas, fibra y antioxidantes, lo que la convierte en un excelente ingrediente para la fabricación de pan integral. Su sabor distintivo también puede agregar un toque único al pan.

1.2 Formulación del problema

¿Qué características físicas presentará el pan integral con sustitución parcial de harina de trigo por harina de mashua (*Tropaeolum tuberosum*) a diferentes tiempos de amasado?

1.3 Justificación

La harina de mashua negra, derivada de la raíz de la planta *Tropaeolum tuberosum*, posee características únicas que la hacen un ingrediente prometedor en la elaboración de pan integral. En primer lugar, su composición nutricional es notable, ya que es rica en proteínas de alta calidad, fibras dietéticas, vitaminas y minerales, incluyendo calcio, hierro y zinc. Estos nutrientes son esenciales para una dieta equilibrada y contribuyen a la salud y el bienestar general de los consumidores.

La mashua negra es una raíz andina rica en almidón, fibra dietética y antioxidantes, lo que la convierte en una adición nutritiva al pan integral. Su alto contenido de fibra puede ayudar a mejorar la salud digestiva y controlar los niveles de azúcar en la sangre. Además, aporta una variedad de vitaminas y minerales importantes. Integrar la mashua en el pan integral podría mejorar su perfil nutricional, ofreciendo beneficios para la salud sin comprometer el sabor.

Incorporar harina de mashua negra al pan integral puede ofrecer varias ventajas técnicas y prácticas. La mashua negra tiene propiedades que pueden mejorar la textura del pan,

como su capacidad para retener humedad, lo que resulta en una miga más suave y fresca por más tiempo. Además, su contenido de almidón contribuye a la estructura del pan, ayudando a que mantenga su forma durante el horneado y la manipulación. Además, la mashua negra agrega un sabor único y terroso al pan integral, lo que puede aumentar su atractivo para los consumidores que buscan nuevas experiencias gastronómicas saludables.

La inclusión de harina de mashua negra en el pan integral puede respaldar iniciativas de sostenibilidad y promoción de cultivos locales. Al utilizar ingredientes regionales y tradicionales como la mashua negra, las panaderías y empresas alimentarias pueden contribuir al desarrollo económico de comunidades agrícolas locales y fomentar la conservación de variedades autóctonas.

A nivel personal, el consumo de pan integral con harina de mashua negra ofrece la oportunidad de experimentar sabores nuevos y nutritivos, mientras se apoya a los productores locales. Además, al saber que se está contribuyendo al desarrollo de prácticas alimentarias más sostenibles y a la preservación de la diversidad agrícola, se puede sentir una mayor conexión con la comunidad y el entorno.

En resumen, la justificación científica del uso de harina de mashua negra en la elaboración de pan integral se basa en su composición nutricional, y su potencial impacto en la calidad tecnológica del producto final. Estudios adicionales en este campo pueden contribuir a una mejor comprensión de los beneficios y desafíos asociados con el uso de esta harina en la industria alimentaria.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Elaborar y determinar las características físicas del pan integral con sustitución parcial de harina de trigo por harina de mashua (*Tropaeolum tuberosum*) a diferentes tiempos de amasado.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Elaborar pan integral con sustitución parcial de harina de trigo por harina de mashua (*Tropaeolum tuberosum*) a diferentes tiempos de amasado.
- Determinar las características físicas del pan integral con sustitución parcial de harina de trigo por harina de mashua (*Tropaeolum tuberosum*) a diferentes tiempos de amasado.

1.5 Hipótesis

Las mejores características texturales del pan integral sustituido parcialmente con harina de mashua (*Tropaeolum tuberosum*) se dan a una sustitución menores del 12.5% y a un tiempo de amasado de amasado de 10 minutos.

II. REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1 Antecedentes

Aguilar (2023) llevó a cabo una investigación en Pucallpa, Perú, con el objetivo de explorar la incorporación de harina de pijuayo como sustituto parcial de la harina de trigo en la producción de fideos tipo tallarín. Los resultados del estudio indicaron que la adición de un 10% de harina de pijuayo (tratamiento T2) resultó en una mejora notable en las características sensoriales de los fideos, incluyendo aroma, sabor, textura y aceptación general por parte de los consumidores. Además, el análisis fisicoquímico del tratamiento T2 demostró que los fideos elaborados con esta proporción de harina de pijuayo cumplieron con los requisitos de la norma técnica peruana NTP 206.010:2016, lo que garantiza su calidad y seguridad para el consumo humano. Estos hallazgos sugieren que la sustitución parcial de harina de trigo por harina de pijuayo en la elaboración de fideos es una alternativa viable para mejorar la calidad sensorial y nutricional del producto, al mismo tiempo que cumple con los estándares de seguridad alimentaria.

Oyola y Padilla (2020) llevaron a cabo un estudio sobre el enriquecimiento de galletas mediante la incorporación parcial de harina de tocosh de papa (*Solanum tuberosum* L.) y harina de kiwicha (*Amaranthus caudatus*). El propósito de esta investigación fue desarrollar y evaluar galletas enriquecidas utilizando la metodología de diseño de mezcla D-óptimo, que dio lugar a la creación de 11 diferentes formulaciones. Se realizaron evaluaciones de aceptabilidad general, así como análisis de acidez y humedad, con la participación de 30 panelistas. También se realizaron pruebas microbiológicas para detectar mohos. Durante el proceso de elaboración, se llevaron a cabo controles precisos de tiempo, temperatura y rendimiento. La combinación óptima de ingredientes para las galletas resultó ser 75,28% de harina de trigo, 19,72% de harina de kiwicha y 5% de tocosh, lo que se tradujo en un nivel de aceptabilidad de 7,39. Las características

fisicoquímicas del producto mostraron un contenido de humedad del 3,58%, ceniza del 1,64%, acidez de 0,064%, grasa del 21,50%, un índice de peróxido de 2,5 meq O₂/kg y una actividad de agua de 0,405. La vida útil de las galletas fue estimada en 10,85 meses cuando se almacenaron en envases de polipropileno biorientado (BOPP) en condiciones normales. Estos resultados serán útiles para contrastar con los hallazgos de la presente investigación.

Torres (2018) realizó un estudio sobre la elaboración de fideos en el que se sustituyó parcialmente la harina de trigo por pasta de mashua (*Tropaeolum tuberosum*) y extracto de zanahoria (*Daucus carota* L.) en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, ubicada en Tingo María, Perú. El objetivo principal fue desarrollar fideos que incorporaran estas alternativas y evaluar sus características. Se llevaron a cabo análisis químicos, se determinó el tiempo óptimo de cocción, se evaluó la pérdida de cocción y el índice de absorción, además de realizar un análisis sensorial utilizando una escala hedónica de 5 puntos. La calidad de la harina se evaluó mediante el método farinográfico. Los resultados indicaron que la combinación más efectiva fue la que contenía un 15% de pasta de mashua y un 15% de extracto de zanahoria, con un rendimiento del 66,12%. El análisis sensorial mostró que el tratamiento T4 presentó los mejores resultados en términos de aroma, sabor, textura y aceptabilidad para los fideos cocidos, así como en color, olor, textura de superficie, apariencia y firmeza para los fideos crudos. Los fideos producidos bajo el tratamiento T4 tenían un contenido de humedad del 11,36%, proteína del 16,61%, grasa del 1,38%, fibra del 0,03% y ceniza del 0,86%. El tiempo de cocción requerido fue de 23 minutos, con un índice de absorción de agua de $129,49 \pm 1,12\%$. Después de 60 días de almacenamiento, la absorción de humedad fue de 0,24%, y el análisis microbiológico reportó un recuento final de 125,00 ufc/g, lo cual es considerado adecuado para este tipo de productos. Estos resultados serán fundamentales para comparar con los hallazgos de

la investigación actual y para establecer el porcentaje adecuado de sustitución de harina de mashua.

Los antecedentes de esta investigación han sido fundamentales para comprender el contexto y la relevancia de la sustitución parcial de harina de trigo por harina de mashua negra en la elaboración de pan integral. Un estudio relevante en este sentido es el realizado por Apaza-Vargas et al. (2019), donde se exploró la incorporación de harina de mashua negra en la producción de productos horneados, destacando su potencial para mejorar el perfil nutricional y sensorial de los alimentos.

Además, investigaciones como la de Mamani-Linares et al. (2017) han resaltado las propiedades funcionales y nutricionales de la mashua negra, lo que respalda su consideración como un ingrediente prometedor en la industria alimentaria. Estos antecedentes subrayan la importancia de explorar cómo diferentes tiempos de amasado pueden influir en las características físicas del pan integral enriquecido con mashua negra. Noreña (2022) llevó a cabo una investigación en Pucallpa, Perú, con el objetivo de evaluar la posibilidad de utilizar harina de cáscara de cacao como un sustituto parcial de la harina de trigo en la elaboración de pan. El estudio se enfocó en determinar el impacto de la sustitución en las características nutricionales y sensoriales del pan. Se realizaron cuatro tratamientos, variando la proporción de harina de cáscara de cacao (0%, 10%, 15% y 20%). Los resultados demostraron que el tratamiento con 10% de harina de cáscara de cacao (T1) resultó en un pan con mayor contenido de fibra dietética y un perfil sensorial más aceptable para los consumidores. El pan elaborado con T1 obtuvo mejores puntuaciones en color, aroma, sabor y textura, lo que sugiere que este porcentaje de sustitución podría ser óptimo para mejorar el valor nutricional del pan sin afectar negativamente su calidad sensorial. Esto nos ayudará a determinar el % de harina de mashua que debemos utilizar en nuestro pan integral a elaborar.

Bracamonte (2023) estudió el impacto de la sustitución parcial de harina de trigo por harinas de tarwi y kañiwa en las características de las galletas. Ambos ingredientes, originarios de los Andes, poseen propiedades nutricionales valiosas. La investigación empleó un método de diseño de mezclas para determinar la mejor combinación de estos ingredientes. Se analizaron las propiedades de las harinas, las masas y las galletas resultantes, considerando factores como humedad, firmeza y contenido de proteínas. Los resultados indicaron que un mayor porcentaje de harina de kañiwa resultó en galletas más firmes, mientras que la harina de tarwi produjo galletas más blandas. Se encontró que la fórmula óptima para las galletas, en términos de textura y contenido nutricional, consistía en 40% de harina de trigo, 40% de harina de kañiwa y 20% de harina de tarwi.

Beatriz y Kasandra (2018) realizaron un estudio para encontrar la mejor manera de hacer cupcakes con harina de mashua, un tubérculo andino. Primero, investigaron las características de la harina de mashua. Luego, probaron diferentes tipos de leudantes químicos para determinar cuál era el más efectivo para hacer que los cupcakes subieran y tuvieran una buena textura. Se utilizaron pruebas sensoriales para evaluar el sabor, la apariencia y la textura de los cupcakes. Los resultados indicaron que una mezcla de leudantes, que incluía pirofosfato ácido de sodio, bicarbonato de sodio y almidón de maíz, era la mejor opción para hacer cupcakes de mashua. Los cupcakes de mashua elaborados con esta mezcla de leudantes se mantuvieron en buen estado durante 89 días cuando se almacenaban a 20°C en un envase de polipropileno.

Ocaña (2019) investigó las propiedades de varios cultivos andinos, como la oca, el camote, la mashua y el chocho, para determinar su potencial en la industria alimentaria. El estudio analizó la composición nutricional, las propiedades funcionales y las características reológicas de las harinas de estos cultivos. Se encontró que las harinas de estos cultivos, especialmente la de chocho, son ricas en proteínas y otros nutrientes.

Además, las propiedades de las harinas, como la capacidad de retención de agua y la formación de geles, las hacen adecuadas para la elaboración de productos de repostería. Los resultados del estudio sugieren que estos cultivos andinos infrautilizados tienen un gran potencial para ser utilizados en la industria alimentaria, ofreciendo alternativas nutritivas y funcionales a los productos tradicionales.

Cañar (2023) exploró la posibilidad de utilizar la zanahoria blanca y la mashua como ingredientes principales para hacer galletas dulces. Se descubrió que estas harinas, al ser usadas completamente, permitieron crear masas estables y galletas con buena apariencia, sabor y textura. El análisis de los nutrientes de las galletas mostró que las de mashua son ricas en fibra y otros componentes, mientras que las de zanahoria blanca tienen un alto contenido de carbohidratos. Los resultados del estudio indican que la mashua y la zanahoria blanca tienen un gran potencial como ingredientes para galletas, ya que proporcionan características positivas tanto en sabor como en valor nutricional.

Rubio y Ortiz (2019) realizaron un estudio sobre el potencial de la harina de ibia (*Oxalis tuberosa*) como reemplazo de la harina de trigo en la creación de galletas, subrayando su valor nutricional y su capacidad antioxidante. Se probaron varias formulaciones de galletas que contenían entre 7% y 9% de proteína de la harina de ibia. Los análisis fisicoquímicos revelaron que la harina tenía un 13,65% de humedad, 6,52% de cenizas y 8,30% de proteína. Asimismo, se evaluaron características funcionales como la capacidad de retención de agua y aceite, así como la capacidad de hinchamiento. La harina de ibia mostró una actividad antioxidante significativa, con un resultado de 380,12 μM de Trolox/100g y 67,70 mg AG/100g para fenoles totales. Aunque no se presentaron diferencias notables en la textura de las galletas entre las distintas formulaciones, la mezcla 1 fue la preferida en la evaluación sensorial, a pesar de que la mezcla 3 contenía más antioxidantes.

2.2. Marco teórico.

2.2.1. Generalidades del trigo

2.2.1.1. Definición

El trigo constituye base de la industria panadera y de la formadora de piensos; es un alimento energético que aporta vitaminas al ser humano y a los animales. Es utilizado también como modelo experimental para estudiar la relación planta y ambiente (Nonhebel, 2013).

Se elaboran muchos alimentos con harina de trigo, tales como los productos de panificación, por otro lado, el salvado es utilizado en la alimentación animal (Heuzé et al., 2013).

Entre los cereales, solo la harina de trigo tiene la capacidad de formar una masa resistente, viscoelástica y cohesiva capaz de retener gas y producir productos horneados ligeros y aireados (Hoseney, 1994). Este es el motivo por el cual el pan y los bizcochos crecen o levantan en el horno y no “desprenden”. Las proteínas del trigo y específicamente el gluten son las responsables de esta característica única del trigo, aunque la manera precisa en la que los componentes interaccionan en el gluten para lograr estas propiedades únicas aún está sin resolver.

Figura 1.

Escanda, Harina, Centeno - Grano, Trigo, Grano-Planta



2.2.1.2. Origen

El trigo (*Triticum aestivum L.*) es originario del suroeste de Asia, en Siria, Jordania y Turquía se encontraron restos de antiguas cosechas. En los Estados Unidos fue por primera vez cultivado en el año 1602 en una isla ubicada frente a Massachusetts (Gibson et al., 2002).

2.2.1.3. Composición del salvado del trigo

Desde los inicios de la civilización ya se cultivaba el trigo (Javed et al., 2012), en la actualidad, es el tercer cereal que se produce en mayor proporción a nivel mundial, con un volumen anual de aproximadamente 729 millones (Faostat, 2016). El germen o embrión, constituye el órgano de reproducción, así como de almacenamiento, constituye 2 a 3% del peso del grano. El endospermo, es la parte más abundante del grano (81 a 84 %) siendo la principal fuente de energía utilizada en la germinación. Se muestra la información nutricional en la Tabla 1.

Tabla 1.

Composición nutricional del salvado de trigo

Información nutricional		
100 g		
Energía	Kcal	295
Proteínas	g.	15.55
Grasa Total	g.	4.25
Hidratos de Carbono	g	64.51
Fibra dietaría	g.	42.8
Fibra soluble	g.	2.8
Fibra insoluble	g.	4
Agua	g.	9.8

Nota. Adaptado de tabla de composición nutricional del salvado de trigo(<https://www.botanical-online.com/alimentos/salvado-trigo-propiedades>)

2.2.2. Mashua

El centro de origen del cultivo se encuentra en algún lugar de los Andes. Asimismo, el lugar de domesticación ha debido darse en la región que comprende entre el Ecuador y Bolivia. Ello se confirma por la amplia diversidad presente en esta área. Sin embargo, debido a la ausencia de un estudio sobre la diversidad de las formas silvestres y de la cultivadas es difícil identificar un centro de origen más específico (Grau et al., 2003) La mashua (*Tropaeolum tuberosum*) es un tubérculo comestible originario de los Andes que fue domesticado por pueblos autóctonos desde épocas preincaicas (Espin, 2013).

Figura 2

La Mashua



Se distribuye desde Colombia hasta el Noroeste de Argentina y se conjetura que fue domesticada en la región que abarca desde Ecuador a Bolivia, zona en la que se encuentra gran diversidad de variedades (Valle, 2017).

La mashua (*Tropaeolum tuberosum*), es uno de los tubérculos más importantes después de la papa, olluco y oca; se cultiva en los valles húmedos de la zona andina de Perú, Colombia, Argentina, Ecuador y Bolivia (Pacco, 2015). Crece en alturas de 3000 a 4000 msnm, pero la planta produce sus mejores cosechas y alto rendimiento entre 3500 y 3800 msnm (Cuya, 2009). La mashua es un alimento altamente nutritivo que contiene proteínas,

carbohidratos, vitaminas B y C, minerales (calcio, fósforo, hierro y ácido ascórbico) y fibra. (Flores, 2015).

2.2.2.1. Variedades

Dentro de sus características, alemán (2019) menciona que, de acuerdo con la coloración, se clasifican en tubérculos de color uniforme, en su mayoría blancos, los cuales contienen altos niveles de antocianinas y se manifiestan con franjas longitudinales rojas o moradas.

Figura 3.

Variedades de Mashua



Por su parte, Del Águila (2018) añade que existen más de cien tipos de mashua, los cuales son reconocidos por sus tonos: ocecaño, yanaaño, puccaño, yuracaño, ckelloaño o sapalluaño, checcheaño y muruaño.

Según las investigaciones repasadas en los párrafos precedentes, se determina que no hay una sola forma de clasificar las variedades de mashua que existen, dado que se han registrado más de cien tipos de mashua; sin embargo, se resalta que las clasificaciones

van a estar determinadas por el color, textura, forma, entre otras características, las cuales van a contribuir para la elección de su consumo y su inclusión en la dieta de las personas.

Tabla 2.

Variedades de Mashua (Tropaeolum tuberosum Ruiz y Pavón)

Variedad	Color
Occe año, occe izaño	Plomizo
Yana año, Chiara izaño	Negruzco
Puca año, Chupica izaño	Rojizo
Muru año	Morado
Chhecce año	Gris
Zapallo año, izaño	Amarillo
Checche izaño	Amarillo con ojos azules
Wilajachasquiri izaño	Amarillo con rayas rojas
Yarac año	Blanco

2.2.2.2. Composición química

Este tubérculo está compuesto de sólidos en un 20% en su forma de materiaseca, de los cuales el 11% es proteína. Algunas variedades pueden contener más de un 12% de proteínas en su forma de materia seca. La mashua a comparación de la oca o el ulluco, posee mayor cantidad de proteínas, calcio, hierro, fósforo, vitaminas tales como B1, B2 y vitamina C.

Tabla 3.*Composición química del tubérculo de Mashua*

Parámetro	Valor
Proteínas%	9.17
Fibra %	5.86
Carbohidrato total %	75.40
Almidón %	46.96
Azúcares Totales %	42.81
Azúcares reductores %	35.83
Ca %	0.006
P %	0.32
Mg %	0.11
Na %	0.044
K %	1.99
Cu %	9.00
Fe %	42.00
Mn %	7.00
Zn %	48.00
Energía (Kcal/100 g)	440.0
Vitamina C (mg/ 100 g mf)	77.37

Fuente: Espín (1999). Datos expresados en base seca, muestra entera.

2.2.2.3. Aplicaciones o derivados

La mashua y sus derivados en néctar y harina de mashua se expenden en las ferias ecológicas y en los mercados de Lima. La mashua, se licúa agregándole agua hervida con miel de abeja canela y clavo de olor, quedando listo para servir el exquisito refresco (Rodríguez, 2017).

a) Culinarias

Los tubérculos recién extraídos del suelo son amargos. Tradicionalmente se consume en forma de “tayacha”, que es la mashua cocida, congelada y sopada en miel de caña. Ocasionalmente se utiliza para espesar sopas o también en “wathia” similar a la oca, luego se asolear por varios días. En Bolivia se consume para el engorde de los cerdos (Terrazas et al., 1998).

b) Medicinal

La mashua tiene “fama” de tener efectos beneficiosos sobre el hígado y los riñones, y aliviar trastornos de próstata y urinarios. (Grau et al., 2003). En la sierra ecuatoriana utilizan el isaño negro cocinado con panela para contrarrestar la prostatitis y también para aliviar la blenorragia. Los enfermos de riñones mejoran al tomar una infusión de isaño, caballochupa y pelo de choclo. Además, también es utilizado como depurativo, para curar enfermedades venéreas; también detiene hemorragias y cicatriza heridas internas y externas (Cadima, 2006).

2.2.3. Harina

2.2.3.1. Generalidades

El 25% del área mundial de producción de cereales está constituido por el trigo, cultivándose mayormente en zonas templadas. El núcleo del trigo está constituido por el endospermo, salvado y germen, en el endospermo se encuentra el almidón, la proteína, el salvado y el germen que son ricos en fibra dietética y en minerales, indican (Punia et al., 2017).

Las harinas se obtienen a partir de los cereales en su mayoría, y la más común es la harina de trigo, ingrediente básico para la elaboración de panes; existen otros tipos de harinas que combinadas elevan el valor nutricional del pan. Igualmente, moliendo semilla seca de garbanzos y habas se obtienen harinas de leguminosas (Rivera, 2012).

2.2.3.2. Valor nutritivo de las harinas

La tabla 4 muestra la composición química de la harina de trigo, según (Jiménez et al., 2009).

Tabla 4.

Composición química de la harina de trigo

Componente g/100 g	
Humedad	12.10 ± 0.40
Ceniza	0.47 ± 0.04
Proteína	16.2 ± 0.25
Grasa	0.85 ± 0.02
Almidón	64.24 ± 1.05
Fibra dietética	2.95 ± 0.05

Los principales componentes de la harina de trigo son las proteínas, que proporcionan la capacidad para formar una masa viscoelástica al ser mezcladas con agua, estas proteínas se denominan gliadinas y gluteninas que aportan funcionalidad a la harina en procesos de panificación. Las gluteninas son las que dan fuerza y elasticidad a la masa y las gliadinas que proporcionan viscosidad (Vásquez et al., 2009).

2.2.3.3. Harinas compuestas

Se denominan harinas compuestas a la mezcla de dos o más harinas de cereales; leguminosa o tubérculos. Con harinas compuestas se pueden elaborar horneados; especialmente el pan, cuya función sería una harina de trigo que sea atractiva, palatable y digerible (Torres et al., 2007) también se utilizan en productos fermentados o no fermentados y en pastas.

2.2.3.4. Harina de mashua

La harina de mashua es elaborada a partir del tubérculo tomando en cuenta sus características organolépticas y técnicas apropiadas para el procesamiento de la harina.

2.2.4. Pan

2.2.4.1. Definición

Viene a ser el producto obtenido a partir de una masa cocida y esponjosa cuyos componentes son: harina de trigo, sal, agua y levadura, bien horneada al que se adiciona grasa y otros mejoradores (Pascual et al., 2006). Según, (Hui et al., 2006), el pan se elabora con: harina, agua, Levadura y sal, además de otros ingredientes y aditivos que se incluyen en la formulación para la obtención de productos que sean panificables.

2.2.4.2. Tipos de pan

Según MINSA (2010), se tienen los siguientes tipos de panes:

a) Pan bregado, de miga dura, español o candeal

Obtenido por elaboración especial, se caracteriza principalmente por el uso de cilindros para la refinación.

b) Pan de flama o de miga blanda

Tiene mayor cantidad de agua y no requiere el uso de cilindros para la refinación.

c) Pan integral

Se elabora con harina integral o con grañones bien tratados.

d) De molde

Posee corteza blanda y para su cocción se coloca en molde.

e) Pan especial

Todo pan con características diferentes a los indicados anteriormente, pudiendo no llevar sal o levadura, llevar grasa u otro complemento panario o podría ser la forma de moldearse.

f) Tostado

Aquel que después de cocerse se corta en rebanadas que luego es tostado y posteriormente envasado.

2.2.4.3. Control de calidad del pan

En la tabla 5, se observa los controles que deben de cumplir los panes y sus diferentes parámetros.

Tabla 5

Control fisicoquímico del pan

Producto	Parámetro	Límites Máximos Permisibles
PAN	Humedad	12%
	Cenizas totales	3%
	Acidez (Expresada en ácido sulfúrico)	0.10%

Fuente: MINSA (2010)

2.2.4.4. Materias primas e insumos en la elaboración del pan

a) Harina

Obtenida de la molienda y cernido del grano de trigo, separando cáscara, afrecho y germen, tiene un color marfil, fina y muy suave al tacto.

b) Agua

Su función principal en panificación es la de permitir la hidratación de los ingredientes secos. El agua, al mezclarse con las proteínas del trigo (gliadina y glutenina) forman el gluten. También sirve como solvente de otros ingredientes (azúcar, la sal, etc). También actúa en la gelatinización del almidón en el horneado (Quintong y Tenesaca, 2013). La cantidad de agua que se utiliza en relación a la harina es la que proporcionan las propiedades reológicas a la masa (movilidad, plasticidad, extensibilidad y pegajosidad), que son básicos para la calidad final del producto.

c) Sal

Según Molinera (2004), la sal fortalece el gluten y disminuye la actividad que da la levadura a la masa, por tanto, retarda la producción de gas e interviene en el sabor del pan. Al regular el tiempo de fermentación, se obtiene un producto cuya miga es más blanca, la corteza es más compacta y posee un sabor característico (Lynch et al., 2009).

d) Levadura

Es la encargada de producir enzimas responsables de los cambios bioquímicos en los que participan la temperatura, nutrientes, pH y acidez. Según, Lezcano (2011), “la levadura es un hongo, cuyo papel es crucial en procesos fermentativos requeridos en panificación”. De La Cruz (2009) indica que “la levadura actúa sobre los azúcares fermentables (dextrosa y la levulosa de la harina) y sobre la maltosa, formada en la hidrólisis del almidón, de allí que es importante la disposición de los azúcares para que se produzca el CO₂ necesaria para que la masa de eleve”.

e) Grasa

De olor neutro, puede ser de origen animal o vegetal, posee menor densidad que el agua y es insoluble en ella. Proporciona al organismo un mayor número de calorías. Es utilizado en panificación en la masa ya sea en forma directa o de rociado de la superficie en menor grado; se utiliza también como antiadherente en los recipientes como bandejas (Cabezas, 2010).

f) Azúcar

Se emplean la sacarosa, lactosa, glucosa, maltosa, melaza, miel. Es el alimento de la levadura, y es el que da color a la corteza del pan, por el proceso de caramelización que sufre el azúcar, también tiene la función de ser conservador ya que incrementa la presión osmótica, inhibe la proliferación de microorganismos, absorbe humedad por la higroscopicidad que posee y se almacena con el agua para dar las características de

suavidad al producto (Hernández, 2006).

g) Mejorador

Fleischmann (2006) indica que “El mejorador da alto rendimiento porque refuerza y acondiciona la masa. Es elaborado con insumos naturales para estimular la actividad de la levadura procesos directos y tipo esponja y ayuda en la textura de la masa y retener el gas, que permite una mayor tolerancia en cuanto al tiempo de desarrollo de los panes antes de llevarse al horneado”. Las ventajas de utilizar mejorador, según Fleischmann (2006) son: Permitir una fermentación controlada, así como un producto de buena calidad, porque no contiene químicos cancerígenos ya que es totalmente orgánico, se incrementa la conservación del producto final y se consigue mayor volumen en los panes, el pan es más uniforme y el tiempo de amasado disminuye.

2.2.4.5. Proceso de elaboración del pan

El proceso de elaboración del pan se detalla según Henao y Aristizábal (2009):

- **Pesado:** permite conocer las cantidades exactas de materias primas para la formulación de procesamiento.
- **Mezclado:** sirve para homogenizar los materiales sólidos y para luego al adicionar el agua a la masa proporcionar elasticidad y extensibilidad que es conferido por el gluten recién en formación.
- **Amasado:** En esta operación se desarrolla el gluten que es formado al adicionar el agua durante el mezclado, es muy importante el buen desarrollo del gluten para proporcionar mayor retención del gas producto de la fermentación (Piscoya, 2007).
- **Boleado:** Se realiza al final del amasado con rodillos que desarrollan el gluten y producen una masa lisa para el caso de los panes lisos.
- **Reposo:** se realiza antes del formado, con el objetivo de que la masa se haga más maleable, es muy importante la gasificación de la masa previo al formado para

conseguir que presente buen desempeño de la masa apto para las operaciones posteriores.

- **Formado:** es dar forma simétrica a los trozos de masa, se debe realizar apretando fuertemente, pero sin desgarrar la masa, para no reducir el volumen del pan; esta operación interviene en la fuerza y tenacidad de la masa.
- **Corte:** Su finalidad es dar volumen y estética al producto final. Cuando la pieza está en el horno, el calor atraviesa la hogaza que hace que el gas carbónico se expanda mejor; por la presión del gas, los cortes en el pan se abren, permitiendo un máximo desarrollo y creando zonas de solidificación de la corteza que se retrasa (Piscoya, 2007)
- **Fermentación:** operación cuya finalidad es que la levadura al actuar sobre los azúcares de la masa produzca CO₂, que es encapsulado en la película de gluten desarrollado en la masa en la operación de amasado, la masa fermenta a 28 – 32°C.
- **Horneado:** habiéndose alcanzado el punto de fermentación, la masa es colocada en el horno a temperatura que varía con el tamaño de la pieza y tipo de horno, a 130 – 150 °C, al entrar las piezas al horno, la masa sigue fermentando hasta llegar a los 45 °C por lo que continúa la producción de gas carbónico y las burbujas se dilatan por el calor (Piscoya, 2007).

2.2.5. Control de calidad del pan integral

2.2.5.1. Densidad aparente

Se determina del mismo modo que la densidad real, salvo que se tiene en cuenta los espacios vacíos entre las partículas y es una característica física del pan que se refiere a la relación entre su masa y el volumen que ocupa. Esta puede variar dependiendo de la composición de la masa, la cantidad de aire atrapado durante el proceso de amasado y fermentación, la temperatura y humedad del ambiente durante la cocción (Peláez, 2015).

Un pan con alta densidad aparente tendrá una textura más compacta y densa, mientras que un pan con baja densidad aparente tendrá una más ligera y esponjosa. La densidad aparente puede influir en la durabilidad del pan, ya que un pan más denso tiende a mantenerse fresco por más tiempo

2.2.5.2. Textura

Conjunto de propiedades físicas que dependen de las estructuras macro y microscópicas del alimento, que pueden ser percibidas por receptores táctiles de la piel, por músculos bucales, receptores químicos del gusto y lumínicos de la vista (Szczesniak, 1963). La textura definida por (Szczesniak, 2002), es la manifestación sensorial y funcional de las propiedades estructurales mecánicas y superficiales de los alimentos, determinadas a través de los sentidos, definición que encierra conceptos definidos a través de diferentes parámetros (Muñoz, 2014); las propiedades mecánicas están relacionadas con la reacción del producto a una fuerza; las geométricas, al tamaño, forma y distribución de las partículas en el producto y las de superficie aluden a las sensaciones producidas por el contenido de agua o de grasa del producto, donde la textura juega un papel importante en la valoración del alimento y a menudo se utiliza para juzgar la calidad y la aceptación. Así también, la humedad tiene un importante papel en la textura de los snacks, ya que afecta directamente a su comportamiento reológico, provocando que estos snacks sean más o menos crujientes, lo cual resulta un factor determinante en la aceptabilidad del consumidor (García, 2017); otro factor que influye en la textura del producto extruido es el contenido proteico y de fibra de la matriz alimentaria (Shah et al., 2016).

2.3. Definición de términos

- Adherencia

Se define como la fuerza molecular de atracción que se manifiesta entre dos cuerpos de diferente naturaleza en contacto entre sí.

- **Amasado**

Este proceso causa que la masa se expanda y mejora las propiedades físicas, facilitando el laminado y la formación de las piezas (Edel y Rosell, 2007).

- **Dureza**

Fuerza máxima que tiene lugar, en cualquier tiempo, durante el ciclo de compresión. También se define como la fuerza necesaria para comprimir una rodaja de pan hasta un 50% del espesor original.

- **Densidad aparente**

Es un parámetro importante porque influye en la calidad y textura, se calcula dividiendo la masa del pan por el volumen que ocupa, incluyendo los huecos de la miga.

- **Fracturabilidad**

Es una característica sensorial importante de los alimentos, en el cual el consumidor basa su apreciación, es el carácter crujiente y/o crocante, donde el carácter crujiente es una propiedad notoria textural de la mayoría de productos alimenticios frescos y secos, como también un sinónimo de frescura y una respuesta simultánea a los estímulos mecánicos y acústicos.

- **Harina de mashua.**

Producto obtenido de la molienda de la raíz de la planta *Tropaeolum tuberosum*, conocida como mashua.

- **Harina de trigo**

La harina de trigo es un polvo obtenido al moler granos de trigo, fundamental en la cocina para hacer pan, pasteles y otros productos horneados.

- **Pan integral**

Es aquel en cuya elaboración se utiliza harina integral, es decir, la obtenida por trituración del grano completo, sin separar ninguna parte del mismo.

- **Textura**

Es una medida de parámetros de los atributos de textura de los alimentos analizados, cuyo equipo es acompañado de un software para su uso en la industria alimentaria y en laboratorios de investigación. Las propiedades mecánicas que se determinan como resistencia, dureza, elasticidad, fragilidad, etc., son propiedades intensivas, es decir, son independientes del tamaño del objeto en análisis.

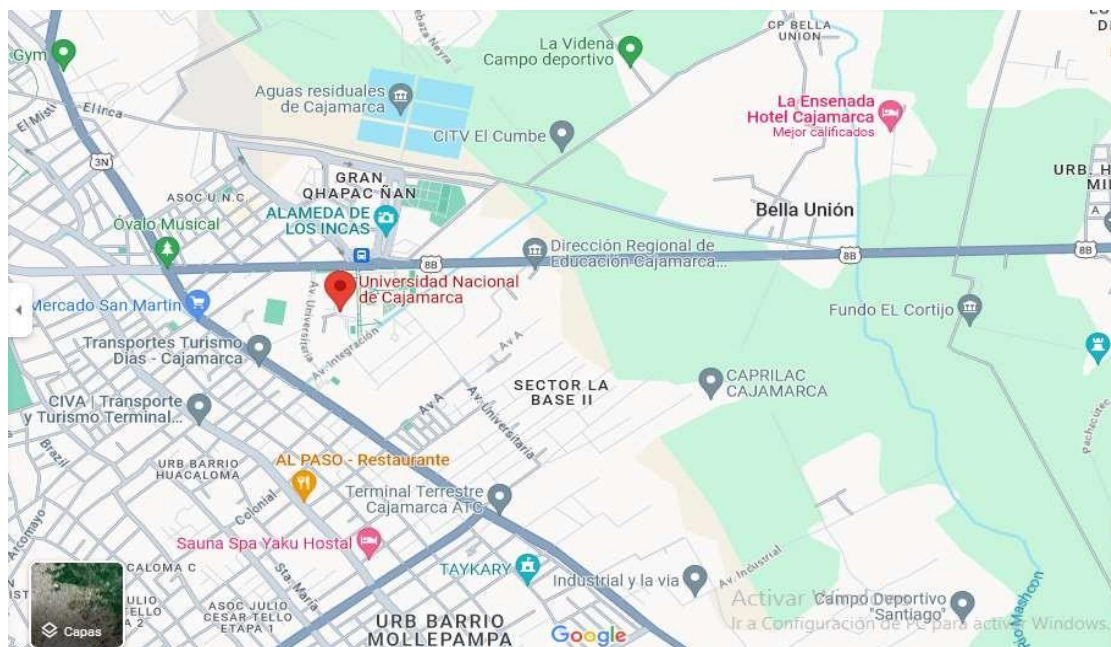
III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación

La presente investigación se desarrolló en las instalaciones de la Universidad Nacional de Cajamarca, con dirección referencial en la Av. Atahualpa 1050 - Carretera Baños del Inca, en el Edificio 2H en los laboratorios de la EAP de Industrias Alimentarias, específicamente en los Laboratorio de Frutas y Hortalizas y el Laboratorio de Análisis de alimentos.

Figura 4

Ubicación de la Universidad Nacional de Cajamarca



Fuente: Google maps

3.2. Materiales, insumos y equipos

3.2.1. Materia prima e insumos

- Las materias primas empleadas fueron: harina de mashua comercial proveniente de Cachachi- Cajabamba y harina de trigo del mercado de la ciudad de Cajamarca.
- Harina de trigo
- Harina de mashua

- Azúcar
- Sal
- Manteca
- Mejorador de maza
- Agua

3.2.2. Materiales de laboratorio y equipos

- Molino manual (para la molienda de la mashua).
- Recipientes de metal o plástico
- 1 termómetro
- 1 cronómetro
- 1 balanza (para kilos)
- 1 balanza digital
- 1 Mesa de trabajo (Material: acero inoxidable).
- 1 colador.
- 2 ollas.
- 4 bandejas (acero).
- 1 cocina a gas
- 2 paletas.
- 1 rodillo de acero
- Jarra medidora
- Horno industrial
- Cámara de fermentación.

3.3. Metodología

3.3.1. Variables

- Independientes

- Harina de mashua (%)
- Tiempo de amasado (min)

- Dependientes

- Textura (Dureza, Fracturabilidad, Cohesividad, Elasticidad, Masticabilidad)
- Densidad aparente (gr/ml)

3.3.2. Diseño experimental, arreglo de tratamientos

La metodología empleada para este experimento es experimental, hipotético deductivo; por las variables es cuantitativo, los cuales se expresan en un Diseño Estadístico Completamente al Azar (DCA) con tres repeticiones y una estructura factorial de 3A x 3B . El primer factor (A) % Harina de mashua (H1=5%, H2= 10% y H3=15%, el factor B corresponde al Tiempo de amasado (T1= 10 minutos, T2=12.5 minutos y T3= 15 minutos, con 9 tratamientos, donde la variable respuesta es la textura y densidad aparente. Se muestra a continuación en la Tabla 6.

Tabla 6.*Tratamientos de la Experimentación (Combinación de variables y niveles)*

Variables			
		Harina de mashua	Tiempo amasado
		(%)	(minutos)
	Tratamientos		
Pan integral	Tr1		10
	Tr2	5%	12.5
	Tr3		15
	Tr4		10
	Tr5	10%	12.5
	Tr6		15
	Tr7		10
	Tr8	15%	12.5
	Tr9		15

3.3.3. Procedimientos (descripción de los procesos experimentales)

- **Procesos metodológicos para las variables de salida**

- **El texturómetro de Brookfield:** Se utiliza para medir diversas propiedades texturales de alimentos y materiales, incluidas la dureza, la fracturabilidad, la cohesividad, la elasticidad y la masticabilidad. Cada una de estas propiedades se mide de manera específica utilizando diferentes configuraciones y métodos en el texturómetro:

- a. **Dureza:** Se mide aplicando una fuerza controlada sobre el material y registrando la resistencia que ofrece al ser penetrado por una sonda. La dureza se determina generalmente como el punto en el que la curva de fuerza vs. distancia alcanza su máximo valor.

- b. **Fracturabilidad:** Se evalúa la facilidad con la que el material se rompe o fractura bajo una fuerza aplicada. Esto se puede medir observando el

comportamiento del material cuando se le aplica una fuerza de compresión o corte, y analizando la curva resultante de fuerza vs. distancia.

- c. **Cohesividad:** Se refiere a la capacidad del material para mantenerse unido internamente. Se puede evaluar observando cómo se comporta el material durante la deformación y la ruptura, así como analizando la uniformidad y la estructura interna del material.
- d. **Elasticidad:** Se mide observando la capacidad del material para recuperar su forma original después de ser deformado bajo una fuerza aplicada. Esto se puede evaluar mediante pruebas de compresión o extensión, y analizando la curva de fuerza vs. deformación.
- e. **Masticabilidad:** Se refiere a la facilidad con la que un material puede ser masticado o triturado por los dientes. Se puede medir evaluando la resistencia que ofrece el material al ser masticado con una sonda específica, y analizando la curva resultante de fuerza vs. tiempo.
- **Densidad aparente:** Se determina dividiendo la masa de los granos secos (m) entre el volumen ocupado por estos granos en el vaso de precipitado (V), utilizando la siguiente fórmula: $\rho = m / V$.

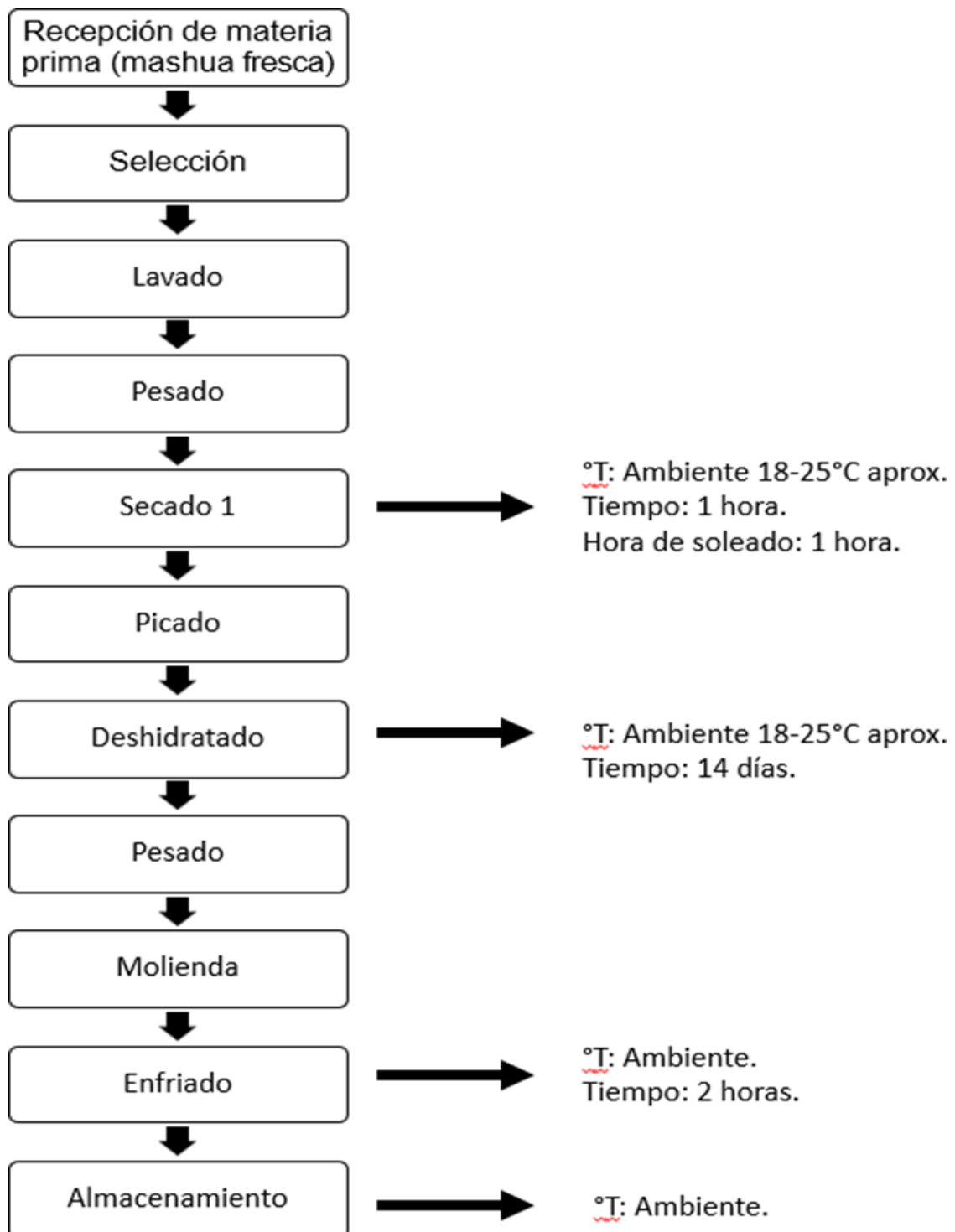
Este método proporciona una medida de la densidad de los granos secos en condiciones específicas, como el volumen ocupado en un recipiente determinado. Es importante tener en cuenta que la densidad aparente puede variar según factores como la humedad, la forma y el tamaño de los granos, y la compactación de los mismos en el recipiente.

- **Obtención de la harina de mashua**

Para nuestro proyecto de investigación el primer paso fue realizar el proceso de obtención de la harina de mashua.

Figura 5.

Flujograma de la Obtención de harina de Mashua



- **Descripción de las operaciones de la obtención de harina de mashua**

Se realizó la deshidratación solar dado que es un método natural y económico para secar alimentos, incluida la mashua negra, con el fin de convertirla en harina.

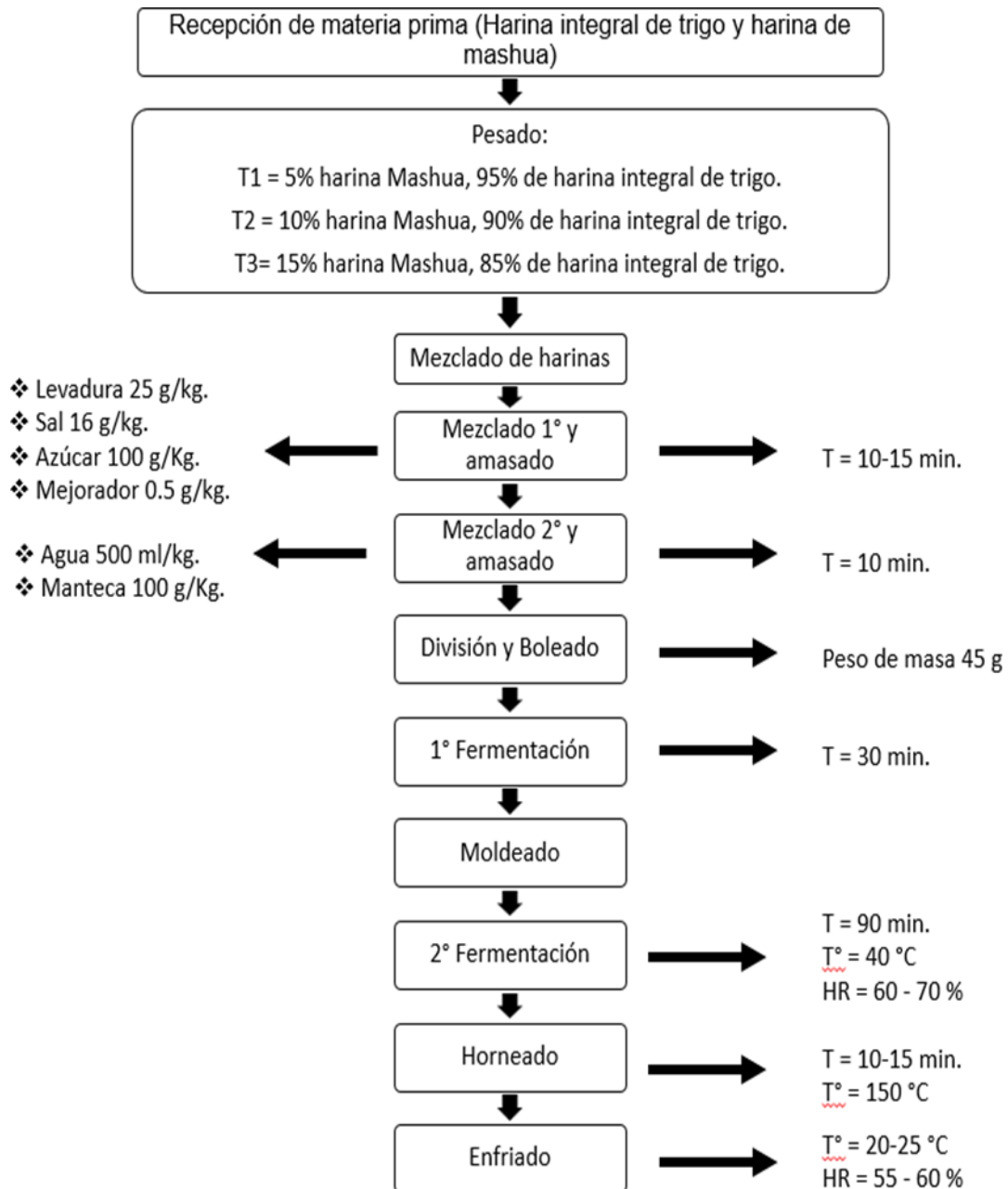
- a) **Recepción de materia prima:** La materia prima fue adquirida en el distrito de Cachachi, provincia de Cajabamba.
- b) **Selección:** Se escogió la mashua de variedad amarilla, fresca, sana los que no presenten daño mecánico, ni principios de descomposición por efectos microbianos.
- c) **Lavado:** La limpieza de la mashua se realizó con agua en forma manual con la finalidad de eliminar la tierra adherida y otros residuos contaminantes.
- d) **Pesado 1:** Se pesó la materia prima con la finalidad de registrar la cantidad de mashua que ingresa al proceso de secado y poder determinar cuánto de humedad pierde en dicho proceso.
- e) **Secado 1:** Se procedió con una exposición de los tubérculos a los rayos solares, para secarlo y luego picarlo, a una T° aproximada de 18-25°C. por una hora.
- f) **Picado:** Se llevó a cabo de manera manual, corte en rodajas con un espesor aproximado de 3 mm. incluyendo la cascara con la finalidad de incrementar la fibra que contiene la mashua.
- g) **Deshidratado:** Una vez cortada en rodajas la mashua se colocó en una manta con la finalidad de secarlo al medio ambiente cuya temperatura aprox. 18 – 25°C, horas expuestas a los rayos solares 96 horas aprox. en cuanto al producto se torna duro y quebradizo.
- h) **Pesado 2:** Nuevamente se registró el peso con la finalidad de saber la pérdida de agua y poder determinar la cantidad de materia seca que se obtendrá por cada kilo de mashua fresca.

- i) **Molienda:** Se introdujo la mashua seca en un molino BLACK&DECKER, modelo HC3000, con velocidad de 1. Con la finalidad de obtener harina de mashua.
- j) **Enfriado:** Esta operación de enfriamiento se realizó a temperatura ambiente por un tiempo de 30 minutos para finalmente almacenarlas.
- k) **Almacenado:** La harina se colocó en recipientes plásticos con tapa, en un lugar fresco a temperatura ambiente.

- Proceso de la elaboración del pan integral con cierto % de Harina de Mashua

Figura 6

Flujograma para la elaboración del pan integral con cierto % de Harina de Mashua.



- **Descripción de las etapas de elaboración del pan integral con cierto % de Harina de Mashua**
 - a) **Recepción de la materia prima:** La harina panadera y los insumos que se utilizaron en el experimento fueron adquiridos en la tienda comercial San Fernando- Cajamarca, mientras que la mashua fue la mencionada anteriormente, procedente del distrito Cachachi-provincia de Cajabamba.
 - b) **Pesado:** Se pesó la materia prima (harina de trigo y harina de mashua) así como el pesado de todos los insumos necesarios para cada tratamiento.
 - c) **Mezclado:** Se mezcló los ingredientes secos en la amasadora tales como la harina integral de trigo, harina de mashua (dependiendo del nivel de sustitución), seguidamente a ello se agregará, sal, azúcar, mejorador y levadura, por un tiempo de 10 min.
 - d) **Amasado:** Después de tener una mezcla homogénea en la amasadora se añadió agua poco a poco para facilitar la disolución de los ingredientes y fue un proceso que duró por espacio de 10 minutos. Una vez que se obtuvo una masa homogénea se añadió la manteca y posteriormente se amasa por aproximadamente 5 minutos.
 - e) **División y boleado:** Una vez listo la masa en su punto en la amasadora se procedió al retiro en la mesa de acero inoxidable y en seguida se hizo la división de la masa, con un peso de 45 gramos para finalmente dar forma de bola al fragmento de masa.
 - f) **Fermentación 1:** Una vez boleado el fragmento de masa se dejó descansar la masa para que se recupere de la desgasificación sufrida durante la división y boleado, se dejó fermentar en la lata por un espacio de tiempo de 30 min.
 - g) **Moldeado:** Esta operación consistió en dar forma a la masa ya en la lata, en nuestro caso fue realizar el pan integral que consistió en aplastar la masa que ya

ganó volumen en la fermentación 1, para que finalmente fuese llevado a la cámara de fermentación 2.

- h) Fermentación 2:** Se dio después que se dio la forma al pan integral en la lata y llevado a la cámara de fermentación a temperaturas de 28 – 32°C y por un tiempo aproximado de 1 hora y media con la finalidad de que la levadura fermente y gane volumen la masa.
- i) Horneado:** La masa fermentada luego de pasar el tiempo de 1 hora y 30 minutos fue llevada al horno. La cocción de los panes se realizó a una temperatura aproximada de 150°C por espacio de 10 -15 min.
- j) Enfriado y almacenamiento:** Se dejó enfriar el pan integral por espacio de 1 hora a temperatura ambiente, para posteriormente envasar en papel manteca, cajas y bolsas de polietileno.

Tabla 7

Mezcla de las proporciones de harina integral y harina de Mashua

Ingredientes	Tratamientos		
	T1 (5% HM)	T2 (10% HM)	T3 (15% HM)
Harina integral (gr.)	1900	1800	1700
Harina de mashua (gr.)	100	200	300
Mejorador (gr.)	0.5	0.5	0.5
Azucar (10%) gr.	200	200	200
Sal (0.05%) gr.	50	50	50
Manteca (10%) gr.	200	200	200
Levadura (0,04%) gr.	40	40	40
Agua (60%) ml.	1200	1200	1200

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados encontrados en base al análisis de Textura y Densidad aparente que nos brindó la etapa de experimentación, han sido ordenados, graficados y sometidos a un análisis estadístico correspondiente. A su vez, comparados y discutidos como se muestra a continuación.

4.1. Análisis del perfil de textura

El análisis de perfil de textura (TPA) se mostró reflejado en un gráfico de carga vs tiempo con el que se calculó y analizó los parámetros de: Dureza (N), Fracturabilidad (N), Cohesividad, Elasticidad (mm) y masticabilidad (J) del pan integral con sus diferentes porcentajes de sustitución de harina de trigo por harina de mashua negra (*Tropaeolum tuberosum*) con diferentes tiempos de amasado. En los Anexo 5. se observa las curvas de TPA de los 9 tratamientos de la etapa de experimentación.

4.1.1. Análisis de Dureza (Firmeza)

Los resultados de la evaluación del parámetro de dureza, se encuentran reflejados en la Tabla 8, juntamente con sus respectivas repeticiones por cada tratamiento y su promedio. Es importante resaltar, que la dureza o firmeza está referida a la fuerza necesaria para comprimir el pan en la primera mordida. Es una medida de resistencia que indica cuán duro o firme es el pan en términos de la fuerza requerida para romper o deformar su estructura (Szczesniak, 2002). La unidad de medida para efectos de este parámetro es el Newton (N), esta unidad cuantifica la fuerza aplicada para comprimir el pan y se ha medido mediante el texturómetro.

Tabla 8

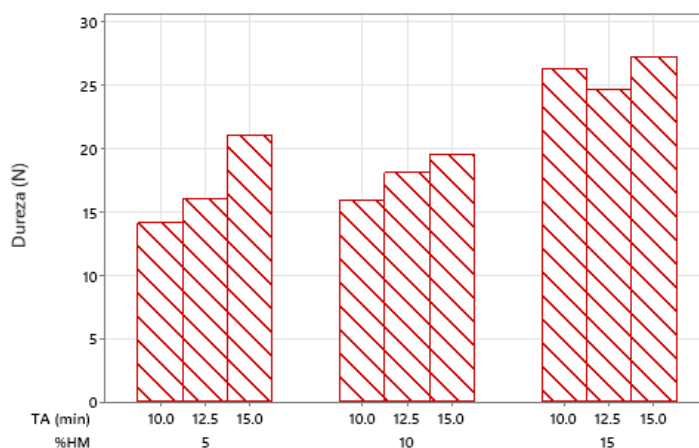
Resultados del parámetro de Dureza

tratamientos	Combinación de niveles (variables)		Resultados de la Dureza (N) Repeticiones			Promedio
	Harina de mashua (%)	Tiempo amasado (minutos)	b1	b2	b3	
Tr1		10	14	14	14	14
Tr2	5%	12.5	15	15	15	15
Tr3		15	16	16	16	16
Tr4		10	16	16	16	16
Tr5	10%	12.5	18	17	18	18
Tr6		15	19	19	19	19
Tr7		10	24	24	24	24
Tr8	15%	12.5	26	26	26	26
Tr9		15	27	27	27	27

Posterior a ello, en la Figura 7 tenemos la representación gráfica de la influencia de las variables independientes sobre la dureza. Donde vemos claramente que a mayor % de harina de mashua, que sustituye parcialmente a la harina de trigo, la dureza del pan integral va aumentando considerablemente. Y a su vez, el tiempo de amasado también presenta cambios en la dureza, pero menos significativos.

Figura 7

Gráfico de barras de la influencia de las variables sobre la Dureza



Nota: El %HM observado en la figura indica el nivel de sustitución de harina de trigo por harina mashua. Y el TA (min) es el tiempo de amasado en minutos.

En la (Tabla 9). tenemos el Análisis de varianza para la dureza obtenido mediante un análisis de diseño factorial (DOE) del Programa Minitab. Dicho análisis, da como resultado que el **valor p es 0.001, es decir menor que 0.05** en cuanto a la variable de % de harina de mashua (tanto para 5, 10 y 15 %), lo cual indica que esta variable si tiene un impacto significativo en la dureza del pan; sin embargo, **el valor p es de 0.277** para el tiempo de amasado (10, 12.5 y 15 minutos) siendo este valor **mayor que 0.05**; indicándonos que esta segunda variable no presenta una diferencia estadísticamente significativa sobre la dureza del pan.

Tabla 9

Análisis de varianza para Dureza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
HM (%)	2	393.720	196.8590	11.13	0.001
TA (min)	2	48.840	24.4190	1.38	0.277
Interacciones de 2 términos	4	20.720	5.1790	0.29	0.879
HM (%) TA (min)	4	20.720	5.1790	0.29	0.879
Error	18	318.400	17.6890		
Total	26	781.680			

R-cuadrado 59.27%

R-cuadrado (ajustado) 41.16%

%HA= porcentaje de harina de mashua

TA (min)= tiempo de amasado en minutos

Finalmente, el contorno de superficie de respuesta estimada para la dureza (figura 8), brinda una visualización detallada de cómo las dos variables independientes interactúan y muestran su efecto sobre la dureza del pan integral. Donde se ve claramente que a mayor % de harina de mashua, los rangos de dureza van en aumento. Y la variación del tiempo de amasado, también muestra cambios en la dureza, pero no tan significativos.

Tabla 10

*Prueba de significación de Tukey al 95% de confianza, para la dureza con concentración de harina de mashua * tiempo de amasado.*

harina de mashua * tiempo de amasado	N	Media	Agrupación
15 15	3	27	A
15 12.5	3	26	A
15 10	3	24	A
10 15	3	19	B
10 12.5	3	18	B
10 10	3	16	B
5 15	3	16	B
5 12.5	3	15	B C
5 10	3	14	B C

Nota. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

4.1.2. Análisis de Fracturabilidad

En cuanto a los resultados de la evaluación del parámetro de fracturabilidad, se observan en la (Tabla 10), juntamente con sus respectivas repeticiones por cada tratamiento y su promedio.

La fracturabilidad es la primera caída significativa de la curva durante el primer ciclo de compresión, producto de un alto grado de dureza y bajo grado de cohesividad, Se refiere a la dureza con la cual el alimento se desmorona, cruje o revienta. La unidad de medida para efectos de este parámetro es el Newton (N), de igual manera que la dureza, su medida está en unidades cuantificativas que se ha medido mediante el texturómetro.

Tabla 11*Resultados del parámetro de Fracturabilidad.*

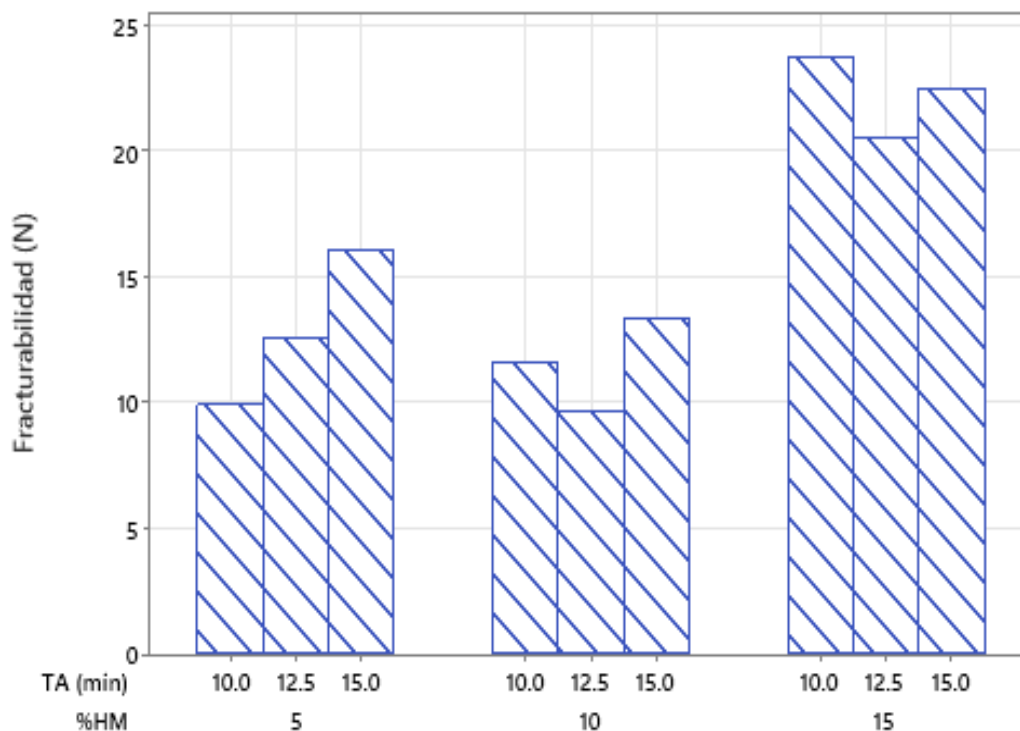
tratamientos	Combinacion de niveles (variables)		Resultados de la FRACTURABILIDAD (N)			
	Harina de mashua (%)	Tiempo amasado (minutos)	Repeticiones			Promedio
			b1	b2	b3	
Tr1		10	10	10	10	10
Tr2	5%	12.5	12	12	12	12
Tr3		15	14	14	14	14
Tr4		10	11	11	11	11
Tr5	10%	12.5	13	13	13	13
Tr6		15	15	15	15	15
Tr7		10	12	12	12	12
Tr8	15%	12.5	14	14	14	14
Tr9		15	17	17	17	17

En la (Figura 9), tenemos la representación gráfica de la influencia de las variables independientes sobre la fracturabilidad, donde existe una similitud de comportamiento al de la dureza. A mayor % de harina de mashua, que sustituye parcialmente a la harina de trigo, la fracturabilidad del pan integral va aumentando considerablemente. Y a su vez, el tiempo de amasado también presenta cambios, pero menos significativos

Torres (2018), en su estudio de sustitución de harina mashua negra para elaboración de panes y pastas. Hace referencia a una fracturabilidad de un pan de 5.85 N, y que esta característica es considerada como el momento que el pan cruje o revienta, y tiene relación directa con la dureza. De esta manera en nuestros resultados, los niveles de fracturabilidad también están por encima de dicho resultado, esto debido a la presencia de harina de mashua que se aplicó como variable, juntamente con las variaciones del tiempo de amasado.

Figura 8

Gráfico de barras de la influencia de las variables sobre la Fracturabilidad



Nota: El %HM observado en la figura indica el nivel de sustitución de harina de trigo por harina mashua. Y el TA (min) es el tiempo de amasado en minutos.

En la Tabla 11 tenemos el Análisis de varianza para la fracturabilidad obtenido mediante un análisis de diseño factorial (DOE) del Programa Minitab. Dicho análisis, da como resultado que el **valor p es 0.000**, es decir **menor que 0.05** en cuanto a la variable de % de harina de mashua (tanto para 5, 10 y 15 %), lo cual indica que esta variable si tiene un impacto significativo en la fracturabilidad del pan; sin embargo, **el valor p es de 0.362** para el tiempo de amasado (10, 12.5 y 15 minutos) siendo este valor **mayor que 0.05**; indicándonos que esta segunda variable no presenta una diferencia estadísticamente significativa sobre la fracturabilidad del pan. Presentando un comportamiento similar a la dureza

Tabla 12*Análisis de varianza para Fracturabilidad*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
HM (%)	2	651.490	325.750	16.70	0.000
TA (min)	2	41.980	20.990	1.08	0.362
Interacciones de 2 términos	4	62.740	15.680	0.80	0.538
HM (%)*TA (min)	4	62.740	15.680	0.80	0.538
Error	18	351.130	19.510		

R-cuadrado 68.29%

R-cuadrado (ajustado) 54.2%

%HA= porcentaje de harina de mashua

TA (min)= tiempo de amasado en minutos

Además, el Contorno de superficie de respuesta estimada para la fracturabilidad (figura 10), brinda una visualización detallada de cómo las dos variables independientes interactúan y muestran su efecto sobre la fracturabilidad del pan integral. Donde se ve claramente que a mayor % de harina de mashua, los rangos de fracturabilidad van en aumento. Y la variación del tiempo de amasado, también muestra cambios en la fracturabilidad, pero no tan significativos al igual que la dureza.

Tabla 13

*Prueba de significación de Tukey al 95% de confianza, para la fracturabilidad con concentración de harina de mashua * tiempo de amasado.*

harina de mashua * tiempo de amasado	N	Media	Agrupación
15 15	3	17	A
15 12.5	3	15	A
15 10	3	14	A
10 15	3	14	B
10 12.5	3	13	B
10 10	3	12	B
5 15	3	12	B
5 12.5	3	11	B C
5 10	3	10	B C

Nota. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Los resultados de la evaluación del parámetro de cohesividad, se observan en la (Tabla 14), juntamente con sus respectivas repeticiones por cada tratamiento y su promedio. La cohesividad del pan se refiere al grado en que el pan puede comprimirse entre los dientes antes de desintegrarse o romperse bajo una fuerza aplicada. Es una medida de la capacidad del pan para mantener su estructura interna y coherencia cuando se somete a una presión o masticación (Szczeniak, 2002).

Tabla 14*Resultados del parámetro de Cohesividad*

Tratamientos	Combinación de niveles (variables)		Resultados de la COHESIVIDAD			Promedio
	Harina de Mashua (%)	Tiempo Amasado (minutos)	Repeticiones			
			b1	b2	b3	
Tr1		10	0.33	0.33	0.29	0.32
Tr2	5%	12.5	0.30	0.37	0.29	0.32
Tr3		15	0.31	0.26	0.26	0.28
Tr4		10	0.33	0.33	0.30	0.32
Tr5	10%	12.5	0.39	0.40	0.40	0.40
Tr6		15	0.35	0.34	0.35	0.35
Tr7		10	0.35	0.37	0.40	0.37
Tr8	15%	12.5	0.45	0.39	0.43	0.42
Tr9		15	0.35	0.41	0.40	0.39

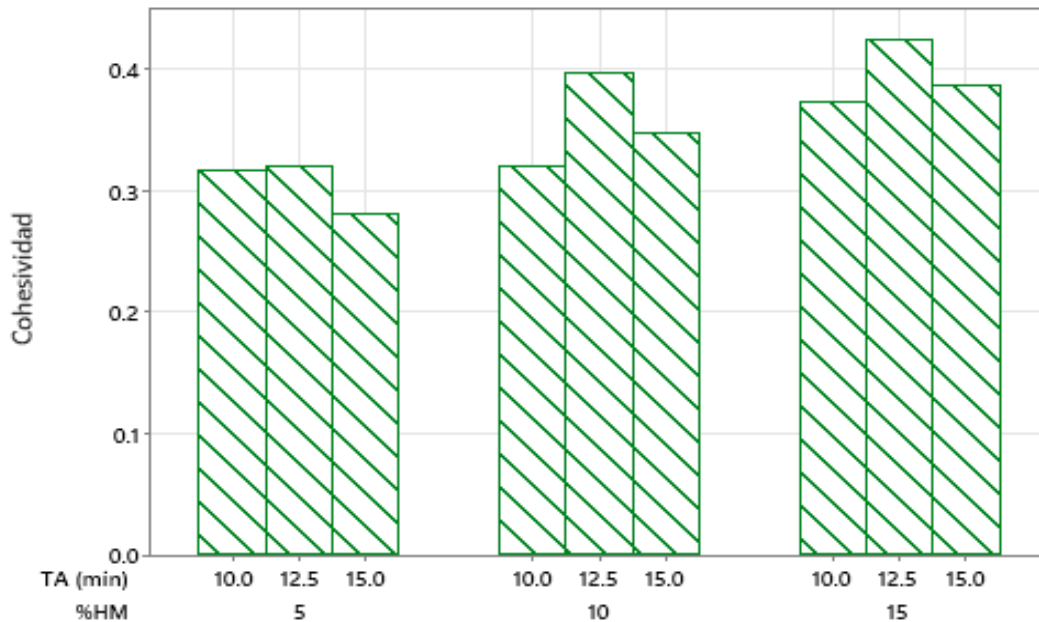
Fuente: Elaboración propia

Posterior a ello, en la Figura 11 tenemos la representación gráfica de la influencia de las variables independientes sobre la cohesividad. Donde muestra un ligero cambio de cohesividad en función al aumento del % de harina de mashua, que sustituye parcialmente a la harina de trigo. Y a su vez, el tiempo de amasado también presenta cambios en la cohesividad.

En la investigación de la incorporación de harina de arroz en la elaboración de pan integral, según Bressani (2004), en su estudio encontró que un mayor porcentaje de harina de arroz resultó en una textura harinosa y una disminución en la cohesividad. Reemplazar el 25% de la harina de trigo por harina de maíz también produjo una masa ligeramente harinosa, lo que resultó en un pan de baja cohesividad, fácil de desmenuzarse.

Figura 9.

Gráfico de barras de la influencia de las variables sobre la Cohesividad



Nota: El %HM observado en la figura indica el nivel de sustitución de harina de trigo por harina mashua. Y el TA (min) es el tiempo de amasado en minutos.

En la (Tabla 15), tenemos el Análisis de varianza para la cohesividad que nos ayuda a entender e interpretar de mejor manera los resultados. Dicho análisis, da como resultado que el **valor p es 0.000, es decir menor que 0.05** en cuanto a la variable de % de harina de mashua (tanto para 5, 10 y 15 %), lo cual indica que esta variable si tiene un impacto significativo en la cohesividad del pan; de igual manera en este caso, **el valor p es de 0.002** para el tiempo de amasado (10, 12.5 y 15 minutos) siendo también menor **que 0.05**; indicándonos que esta segunda variable también presenta una diferencia estadísticamente significativa sobre la cohesividad del pan.

Tabla 15*Análisis de varianza para Cohesividad*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
HM (%)	2	0.036467	0.018233	26.33	0.000
TA (min)	2	0.012200	0.006100	8.81	0.002
Interacciones de 2 términos	4	0.006667	0.001667	2.41	0.088
HM (%)*TA (min)	4	0.006667	0.001667	2.41	0.088
Error	18	0.012467	0.000693		
Total	26	0.067800			

R-cuadrado 81.61%

R-cuadrado (ajustado) 73.44%

%HA= porcentaje de harina de mashua

TA (min)= tiempo de amasado en minutos

En la (tabla 16), el Contorno de superficie de respuesta estimada para la cohesividad, brinda una visualización detallada de cómo las dos variables independientes interactúan y muestran su efecto sobre este parámetro del pan integral. Donde la cohesividad no presenta grandes cambios entre los rangos descritos, a diferencia de la dureza y fracturabilidad que presentaron mayores variaciones.

Tabla 16

*Prueba de significación de Tukey al 95% de confianza, para la cohesividad con concentración de harina de mashua * tiempo de amasado.*

harina de mashua * tiempo de amasado	N	Media	Agrupación	
15 15	3	0.42	A	
15 12.5	3	0.40	A	
15 10	3	0.39	A	
10 15	3	0.37	B	
10 12.5	3	0.35	B	
10 10	3	0.32	B	
5 15	3	0.32	B	
5 12.5	3	0.32	B	C
5 10	3	0.28	B	C

Nota. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

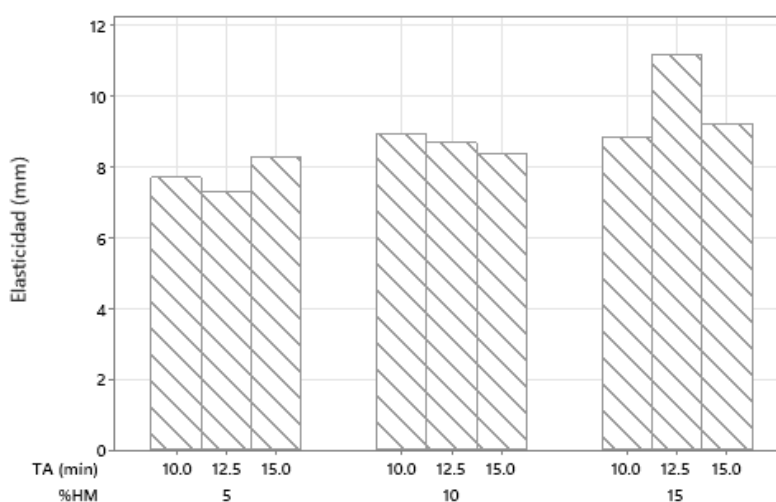
4.1.4. Análisis de Elasticidad

Los resultados de la evaluación del parámetro de Elasticidad, se encuentran reflejados en la (Tabla 17), juntamente con sus respectivas repeticiones por cada tratamiento y su promedio. Es importante detallar, que la elasticidad o esponjosidad de un pan se refiere a la capacidad de volver a su forma original después de haber sido deformada, la unidad de medida para efectos de este parámetro se mide en (mm), donde las muestras del pan integral han sido sometidas a una compresión mediante el texturómetro.

Tabla 17*Resultados del parámetro de Elasticidad*

Tratamientos	Combinación de niveles (variables)		Resultados de la ELASTICIDAD (mm)			
	Harina de Mashua (%)	Tiempo Amasado (minutos)	Repeticiones			Promedio
			b1	b2	b3	
Tr1	5%	10	7.93	8.21	6.98	7.71
Tr2		12.5	6.96	7.66	7.23	7.28
Tr3		15	7.76	7.50	9.57	8.28
Tr4	10%	10	9.92	9.92	7.00	8.95
Tr5		12.5	9.16	8.44	8.44	8.68
Tr6		15	9.14	7.62	8.34	8.37
Tr7	15%	10	9.21	7.56	9.79	8.85
Tr8		12.5	11.88	10.57	11.09	11.18
Tr9		15	9.11	9.43	9.11	9.22

Dentro del marco de los resultados, la (figura 13), brinda la representación gráfica de la influencia de las variables independientes sobre la elasticidad. Donde tenemos que los valores de elasticidad van elevándose en función al aumento del % de harina de mashua, que sustituye parcialmente a la harina de trigo. Y a su vez, el tiempo de amasado también presenta cambios, pero menos significativos, como se dio en la dureza y fracturabilidad.

Figura 10.*Gráfico de barras de la influencia de las variables sobre la Elasticidad*

Nota: El %HM observado en la figura indica el nivel de sustitución de harina de trigo por harina mashua. Y el TA (min) es el tiempo de amasado en minutos.

En la (Tabla 18), tenemos el Análisis de varianza para la elasticidad. Esto nos ayuda a entender e interpretar de mejor manera los resultados. Dicho análisis, se asemeja al de la dureza y fracturabilidad, donde como resultado muestra que el **valor p es de 0.001, es decir menor que 0.05** en cuanto a la variable de % de harina de mashua (tanto para 5, 10 y 15 %), lo cual indica que esta variable si tiene un impacto significativo en la elasticidad; sin embargo, **el valor p es mayor que 0.05 para el tiempo de amasado, presentando un valor de 0.423**, indicándonos que esta variable de tiempo de amasado tanto para 10, 12.5 y 15 minutos, no presentan una diferencia estadísticamente significativa sobre la elasticidad del pan.

Tabla 18

Análisis de varianza para Elasticidad

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
HM (%)	2	17.901	8.95030	11.76	0.001
TA (min)	2	1.373	0.68650	0.90	0.423
Interacciones de 2 términos	4	9.710	2.42750	3.19	0.038
HM (%)*TA (min)	4	9.710	2.42750	3.19	0.038
Error	18	13.696	0.76090		
Total	26	42.679			

R-cuadrado 67.91%

R-cuadrado (ajustado) 53.65%

%HA= porcentaje de harina de mashua

TA (min)= tiempo de amasado en minutos

Posteriormente, el Contorno de superficie de respuesta estimada para la elasticidad (tabla 19), brinda una visualización detallada de cómo las dos variables independientes interactúan y muestran su efecto sobre la estabilidad del pan integral. Donde se ve claramente que a mayor % de harina de mashua, los rangos de elasticidad van en aumento. Y la variación del tiempo de amasado, también muestra cambios en la elasticidad, pero no tan significativos al igual que la dureza y fracturabilidad.

Tabla 19

*Prueba de significación de Tukey al 95% de confianza, para la elasticidad con concentración de harina de mashua * tiempo de amasado.*

harina de mashua * tiempo de amasado	N	Media	Agrupación	
15 15	3	19.22	A	
15 12.5	3	11.18	A	
15 10	3	8.85	A	
10 15	3	8.37	B	
10 12.5	3	8.68	B	
10 10	3	8.95	B	
5 15	3	8.28	B	
5 12.5	3	7.28	B	C
5 10	3	7.7	B	C

Nota. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

4.1.5. Análisis de Masticabilidad

Los resultados de la evaluación del parámetro de Masticabilidad, se observan en la (Tabla 20), juntamente con sus respectivas repeticiones por cada tratamiento y su promedio.

La masticabilidad se refiere a la energía que necesitamos para masticar el pan hasta un estado adecuado de deglución. (Szczesniak, 2002). La unidad de medida para efectos de este parámetro es el Joule (J), su medida está en unidades cuantificativas que se ha medido mediante el texturómetro.

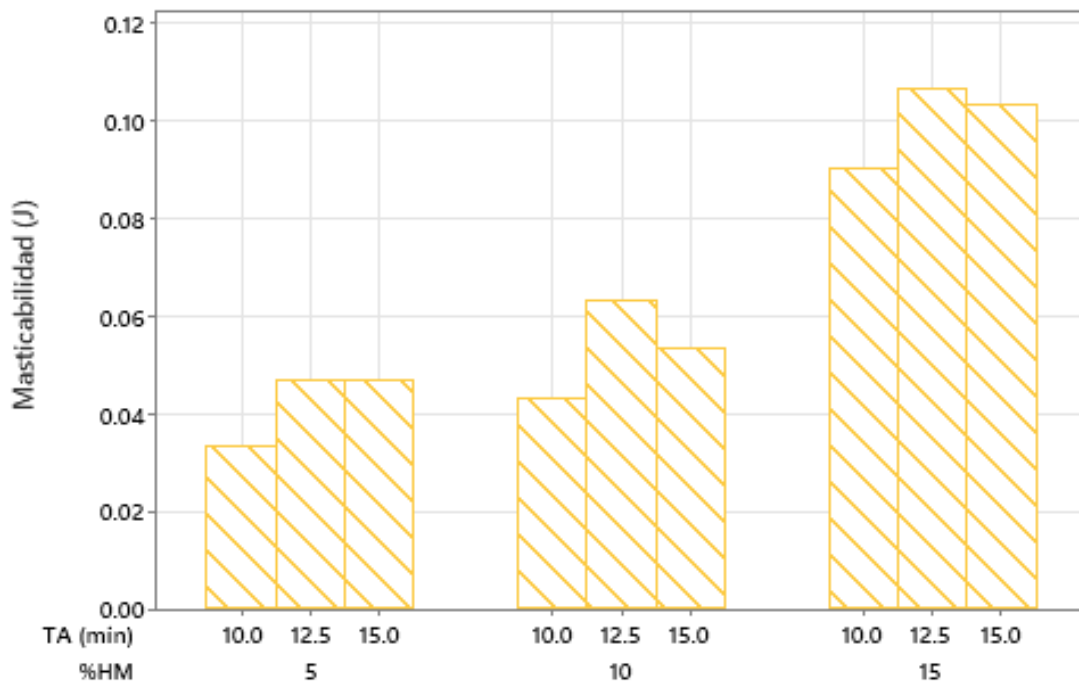
Tabla 20*Resultados del parámetro de Masticabilidad*

Tratamientos	Combinación de niveles (variables)		Resultados de la MASTICABILIDAD (J)			
			Repeticiones			Promedio
	Harina de Mashua (%)	Tiempo Amasado (minutos)	b1	b2	b3	
Tr1		10	0.04	0.03	0.03	0.03
Tr2	5%	12.5	0.04	0.05	0.05	0.05
Tr3		15	0.04	0.05	0.05	0.05
Tr4		10	0.05	0.05	0.03	0.04
Tr5	10%	12.5	0.05	0.07	0.07	0.06
Tr6		15	0.06	0.05	0.05	0.05
Tr7		10	0.09	0.07	0.11	0.09
Tr8	15%	12.5	0.10	0.12	0.10	0.11
Tr9		15	0.09	0.10	0.12	0.10

La (figura 15), brinda la representación gráfica de la influencia de las variables independientes sobre la Masticabilidad. Donde muestra un ligero cambio de masticabilidad en función al aumento de los 3 niveles de porcentaje de harina de mashua, que sustituye parcialmente a la harina de trigo. Y a su vez, el tiempo de amasado también presenta cambios, pero menos significativos.

Figura 11

Gráfico de barras de la influencia de las variables sobre la Masticabilidad



Nota: El %HM observado en la figura indica el nivel de sustitución de harina de trigo por harina mashua. Y el TA (min) es el tiempo de amasado en minutos.

En la (Tabla 21), tenemos el Análisis de varianza para la masticabilidad. Esto nos ayuda a entender e interpretar de mejor manera los resultados. Dicho análisis, se asemeja al de la cohesividad, el **valor p es 0.000, es decir menor que 0.05** en cuanto a la variable de % de harina de mashua (tanto para 5, 10 y 15 %), lo cual indica que esta variable si tiene un impacto significativo sobre la masticabilidad del pan; de igual manera en este caso, **el valor p es de 0.017** para el tiempo de amasado (10, 12.5 y 15 minutos) siendo también menor **que 0.05**; indicándonos que esta segunda variable también presenta una diferencia estadísticamente significativa sobre la masticabilidad del pan.

Tabla 21*Análisis de varianza para Masticabilidad*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
HM (%)	2	0.016919	0.008459	65.26	0.000
TA (min)	2	0.001341	0.000670	5.17	0.017
Interacciones de 2 términos	4	0.000081	0.000020	0.16	0.957
HM (%)*TA (min)	4	0.000081	0.000020	0.16	0.957
Error	18	0.002333	0.000130		
Total	26	0.020674			

R-cuadrado 88.71%

R-cuadrado(ajustado) 83.7%

%HA= porcentaje de harina de mashua

TA (min)= tiempo de amasado en minutos

Y en la (figura 16), el Contorno de superficie de respuesta estimada para la masticabilidad, brinda una visualización detallada de cómo las dos variables independientes interactúan y muestran su efecto sobre este parámetro del pan integral. Donde la masticabilidad varía entre los rangos descritos, en función tanto del %HM como del tiempo de amasado.

Tabla 22

*Prueba de significación de Tukey al 95% de confianza, para la masticabilidad con concentración de harina de mashua * tiempo de amasado.*

harina de mashua * tiempo de amasado	N	Media	Agrupación
15 15	3	0.11	A
15 12.5	3	0.10	A
15 10	3	0.09	A
10 15	3	0.06	B
10 12.5	3	0.05	B
10 10	3	0.05	B
5 15	3	0.05	B
5 12.5	3	0.04	B C
5 10	3	0.03	B C

Nota. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

4.2. Análisis de la característica física de densidad aparente

Los resultados de la evaluación de la característica física de densidad aparente, se observan en la (Tabla 22), juntamente con sus respectivas repeticiones por cada tratamiento y su promedio.

La densidad aparente en un pan, está relacionada directamente con el volumen de los poros. Este parámetro es un buen índice de buena elaboración y calidad. Se determinó mediante el volumen determinado en un vaso de precipitado llenado con granos secos y medidos en una probeta $\rho = m / V$.

Tabla 22*Resultados de la característica de Densidad Aparente.*

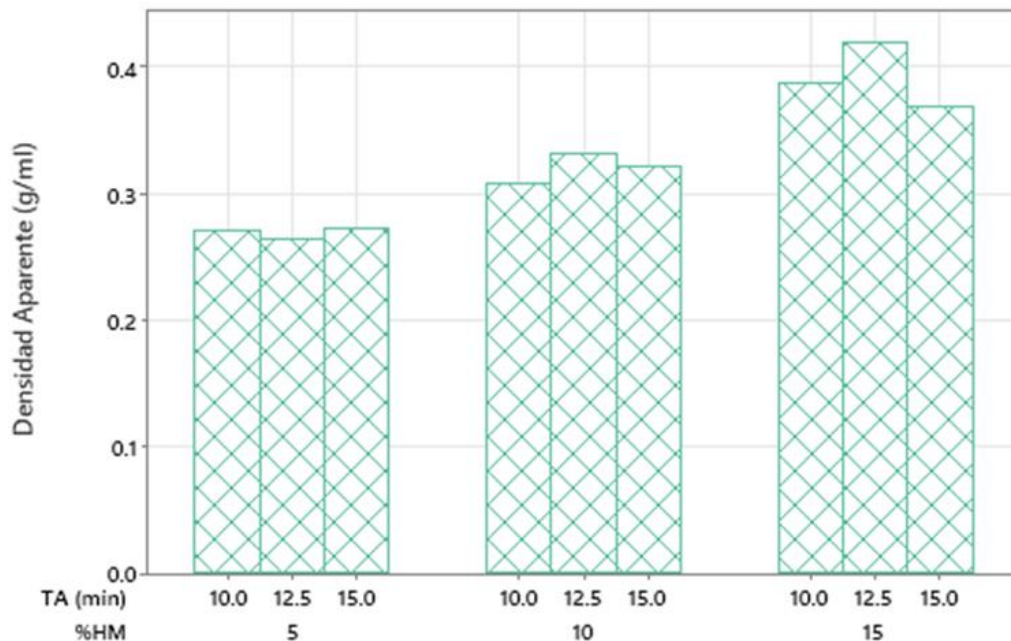
Tratamientos	Combinación de niveles (variables)		Resultados de la Densidad Aparente (g/ml)			Promedio
	Harina de Mashua (%)	Tiempo Amasado (minutos)	Repeticiones			
			b1	b2	b3	
Tr1		10	0.258	0.242	0.313	0.27
Tr2	5%	12.5	0.245	0.280	0.266	0.26
Tr3		15	0.276	0.238	0.306	0.27
Tr4		10	0.290	0.318	0.317	0.31
Tr5	10%	12.5	0.326	0.340	0.332	0.33
Tr6		15	0.358	0.285	0.321	0.32
Tr7		10	0.402	0.441	0.320	0.39
Tr8	15%	12.5	0.396	0.410	0.450	0.42
Tr9		15	0.380	0.314	0.413	0.37

De igual manera que en los resultados del análisis de perfil de textura, la figura 17, brinda la representación gráfica de la influencia de las variables independientes sobre la Densidad Aparente. Donde los tres niveles de porcentaje de harina de mashua, que sustituye parcialmente a la harina de trigo muestra variación de aumento en los resultados de la densidad aparente. A su vez, el tiempo tanto de 10, 12.5 y 15 minutos de amasado también presenta cambios, pero menos significativos.

SILVA (2009), nos menciona con respecto a la densidad aparente del pan, debe de ir desde 0.20 a 0.22. Nuestros resultados en este estudio, se encuentran sobre estos rangos, el cual nos indica que el uso parcial de la harina de mashua va mostrando un aumento de densidad y por ende aumento de presencia de poros dentro del pan.

Figura 12.

Gráfico de barras de la influencia de las variables sobre la Densidad Aparente



Nota: El %HM observado en la figura indica el nivel de sustitución de harina de trigo por harina mashua. Y el TA (min) es el tiempo de amasado en minutos.

En la (Tabla 23), tenemos el Análisis de varianza para la densidad aparente. Dicho análisis, muestra que el **valor p es de 0.000, es decir menor que 0.05** en cuanto a la variable de % de harina de mashua (tanto para 5, 10 y 15 %), lo cual indica que esta variable si tiene un impacto significativo densidad aparente; sin embargo, **el valor p es mayor que 0.05 para el tiempo de amasado, presentando un valor de 0.531**, indicándonos que esta variable de tiempo de amasado tanto para 10, 12.5 y 15 minutos, no presentan una diferencia estadísticamente significativa sobre la densidad aparente del pan.

Tabla 23*Análisis de varianza para Densidad Aparente*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
HM (%)	2	0.067978	0.033989	26.26	0.000
TA (min)	2	0.001697	0.000848	0.66	0.531
Interacciones de 2 términos	4	0.003138	0.000785	0.61	0.663
HM (%) * TA (min)	4	0.003138	0.000785	0.61	0.663
Error	18	0.023297	0.001294		
Total	26	0.096110			

R-cuadrado 75.76%

R-cuadrado (ajustado) 64.99%

%HA= porcentaje de harina de mashua

TA (min)= tiempo de amasado en minutos

Finalmente, en la (tabla 24), el Contorno de superficie de respuesta estimada para la densidad aparente, brinda una visualización detallada de cómo las dos variables independientes interactúan y muestran su efecto sobre este parámetro del pan integral. Donde se ve claramente que a mayor % de harina de mashua, los rangos de densidad aparente van en aumento. Y la variación del tiempo de amasado, también muestra cambios en la densidad aparente pero no tan significativos.

Tabla 24

*Prueba de significación de Tukey al 95% de confianza, para la densidad aparente con concentración de harina de mashua * tiempo de amasado.*

harina de mashua * tiempo de amasado	N	Media	Agrupación
15 15	3	0.42	A
15 12.5	3	0.39	A
15 10	3	0.37	A
10 15	3	0.33	B
10 12.5	3	0.32	B
10 10	3	0.31	B
5 15	3	0.27	B
5 12.5	3	0.27	B C
5 10	3	0.26	B C

Nota. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Finalmente, En el marco de nuestra investigación, los porcentajes de harina de mashua presentaron los siguientes cambios en el perfil de textura:

- La sustitución de 5% mostro: Dureza 15.8 N, Fracturabilidad 14 N, Cohesividad 0.32, elasticidad 7.50 mm y masticabilidad 0.04 J.
- La sustitución del 10% mostro: Dureza 17 N, Fracturabilidad 12 N, Cohesividad 0.36, elasticidad 4.075 mm y masticabilidad 0.05 J.
- Y la sustitución del 15 % mostro: Dureza 25 N, Fracturabilidad 21.1 N, Cohesividad 0.40 elasticidad 10.49 mm y masticabilidad 0.11 J.

Esto, frente a investigaciones como la de Mamani-Linares et al. (2017) nos resaltan que

las propiedades funcionales y nutricionales de la mashua negra, lo que respalda su consideración como un ingrediente prometedor en la industria alimentaria. Estos antecedentes subrayan la importancia de explorar cómo diferentes tiempos de amasado pueden influir en las características físicas del pan integral enriquecido con mashua negra. Como podemos apreciar en los resultados descritos.

Además, en la investigación de la incorporación de harina de arroz en la elaboración de pan integral, según Bressani (2004), en su estudio encontró que un mayor porcentaje de harina de arroz resultó en una textura harinosa y una disminución en la cohesividad. Reemplazar el 25% de la harina de trigo por harina de maíz también produjo una masa ligeramente harinosa, lo que resultó en un pan de baja cohesividad, fácil de desmenuzarse. Teniendo de esta manera un comportamiento similar la harina de mashua en elaboración de pan, ya que presentó disminución en la cohesividad frente a los parámetros de un pan normal.

V. CONCLUSIONES

Finalizando el presente trabajo de investigación, concluimos con lo siguiente:

- Se elaboró un pan integral con sustitución parcial de harina de trigo por harina de mashua (*Tropaeolum tuberosum*) con los porcentajes del 5%, 10% y 15%; aplicando a su vez diferentes tiempos de amasado que fueron de 10, 12.5 y 15 minutos. Donde los 3 niveles de porcentaje de harina de mashua, presentaron mayores cambios significativos en los resultados finales, a comparación de la variación de los niveles de tiempo de amasado. Teniendo que el 15 % de sustitución de harina, fue la que presentó mayores cambios en las características físicas y el 5% menores cambios.
- Finalmente, se logró determinar las características físicas de dicho pan integral. En cuanto al análisis de perfil de textura, se tuvo los parámetros de (dureza, fracturabilidad, elasticidad y masticabilidad) los cuales mostraron datos superiores respecto al perfil de textura, presentando a su vez mayores variaciones la concentración de 15%; sin embargo, la cohesividad fue el parámetro que se mantuvo más estable y en cuanto al análisis de la densidad aparente, está presentó un aumento en sus valores al incrementarse los % de harina de mashua específicamente.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar más muestras, para obtener mejores resultados y sacar mejores promedios para su análisis.
- Es importante siempre tener bien calibrados los equipos y dispositivos al momento de las evaluaciones de las características texturales y de densidad aparente.
- Finalmente, para futuras investigaciones que deseen continuar con este tema de investigación, se recomienda hacer un análisis de color, para definir la variación que puede influenciar la harina de mashua sobre el pan integral. De igual manera, se recomienda hacer una evaluación sensorial para correlacionarla a nuestros resultados obtenidos.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, D. C.(2023). Sustitución parcial de harina de trigo (*Triticum durum*) por harina de pijuayo (*Bactris gasipaes Kunth*) en la elaboración de fideo tipo tallarin. Universidad Nacional de Ucayali.
- Braulio, B. O. (2019). Aplicación de pre fermento líquido (*poolish*), para optimizar la formulación del pan libre de gluten a base de harina de arroz (*Oryza sativa*). Universidad Nacional del Callao.
- Bravo, H. (2023). Caracterización fisicoquímica y reológica de galletas sustituidas parcialmente por harina de tarwi (*Lupinus mutabilis*) y harina de kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*). Universidad Nacional Agraria la Molina.
- Bressani, R. (2004). *Desarrollo de un producto de panificación apto para el adulto mayor a base de harina de trigo y harina de arroz.*
- Cabo, S. M. & Elmer, V. M. (2018). Determinación de los modelos reológicos asociados a una bebida mix piña (*Ananas comosus*)-mashua negra (*Tropaeolum tuberosum*). Universidad Nacional Hermilio Valdizán Huánuco.
- Carranza, G. C. (2022). Elaboración de pan de molde con sustitución parcial de harina de quinua y tarwi. Universidad Nacional Agraria la Molina.
- Campos, A. P. (2023). Influencia del uso de cultivos andinos Zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza*) y Mashua (*Tropaeolum tuberosum*) en el desarrollo de galletas dulces. Universidad Técnica de Ambato.
- Chávez Cruz, R. E. (2023). *Evaluación del perfil de textura de pan elaborado con sustitución de harina de trigo por harina de maíz.*
- SILVA GONZALES, G. (2009). *Análisis Bromatológico Del Pan.*
- Szczesniak. (2002). *Classification of Textural Characteristics. Journal of Food Science.*
<https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1963.tb00215.x>

- UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO. (2020). *Calidad del pan*.
<https://1library.co/article/calidad-pan-revisión-literatura-universidad-autónoma-chapingo.q2n1rknr>
- Melissa, O. C. & Rossy, P. F. (2020). Enriquecimiento de galleta con sustitución parcial de harina de tocosh de papa (*Solanum tuberosum L.*) y harina de kiwicha (*Amaranthus caudatus*). Universidad Nacional de Barranca.
- Jersei, O. T. (2018). Elaboración de fideos con sustitución parcial de harina de trigo por pasta de mashua (*Tropaeolum tuberosum*) y extracto de zanahoria (*Daucus carota L.*). Universidad Agraria de la Selva.
- Walter, N.M. (2022). Elaboración de panes enriquecidos con fibra mediante sustitución parcial de harina de trigo (*Triticum*) por harina de cáscara de cacao (*Theobroma cacao L.*) en la ciudad de Pucallpa. Universidad Nacional de Ucayali.
- Medina & Uscca (2018). Elaboración de cupcakes a partir de harina de mashua (*Tropaeolum tuberosum*), utilizando como agentes fermentadores leudantes químicos. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Ivan, O.P. (2019). Caracterización Físicoquímica, Nutricional y Reológica de Cultivos Andinos Infrautilizados. Universidad Técnica de Ambato.
- Rubi, V. G. (2021). Sustitución parcial de harina de trigo (*Triticum aestivum L.*) Por harina de tocosh de papa (*Solanum tuberosum*) y pasta de tarwi (*Lupinus mutabilis*) en panificación. Universidad Nacional Agraria de la Selva.
- Ramirez, D.G. & Maria, O. O. (2019). Evaluación de la harina de ibia (*Oxalis tuberosa*), por su aporte antioxidante, como sustituto de harina de trigo en la elaboración de galletas. Universidad de la Salle.
- Rafael, V. F. (2014). El gluten del trigo y su rol en la industria de la panificación. Universidad de Lima.

- Santisteban, R. S. (2011). Desarrollo de una técnica que incremente el contenido de fibra dietética soluble en el salvado de trigo (*Triticum spp*). Universidad Técnica de Ambato.
- Olimpa, Ch. C. (2019). Efecto de la densidad de siembra en el rendimiento de mashua (*Tropaeolum tuberosum*) cv.yanaañu en la región natural suni – Cusco. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Jorge, F.C. & Franklin,O.A. & Jovencio, T. H. (2021). Evaluación de factores determinantes en el rendimiento y antioxidación de antocianinas extraídas en Mashua Negra (*Tropaeolum tuberosum*) por fluidos supercríticos (FSC).Este libro fue publicado por Editora UNC después de la evaluación del Comité Científico de la Universidad Nacional De Cajamarca – UNC.
- Mauricio, S.Ch. (2014). Procesamiento de harina de mashua (*Tropaeolum tuberosum*) para la aplicación en productos de panadería”. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Fabricio, N. A. (2022). Estudio de prefactibilidad para la implementación de una planta productora de fideos cortosa base de harina de trigo (*Triticuma estivum*) enriquecidos con harina de lenteja (*lensculinaris*). Universidad de Lima.
- Sory, M. P. & Aura, O. O.(2019). Evaluación de los parámetros de textura en un snack a partir de una mezcla de cereales desarrollado en la empresa segalco s.a.s. Universidad del Cauca.

VIII. ANEXOS

ANEXO 1

Fotografías en la panadería de la elaboración de las muestras



ANEXO II

Muestras del pan Integral con sustitución parcial de harina de trigo por harina de Mashua Negra (*Tropaeolum Tuberosum*) al 5%



ANEXO 3

Muestras del pan Integral con sustitución parcial de harina de trigo por harina de Mashua Negra (*Tropaeolum Tuberosum*) al 10%



ANEXO 4

Muestras del pan Integral con sustitución parcial de harina de trigo por harina de Mashua Negra (*Tropaeolum Tuberosum*) al 15%



ANEXO 5

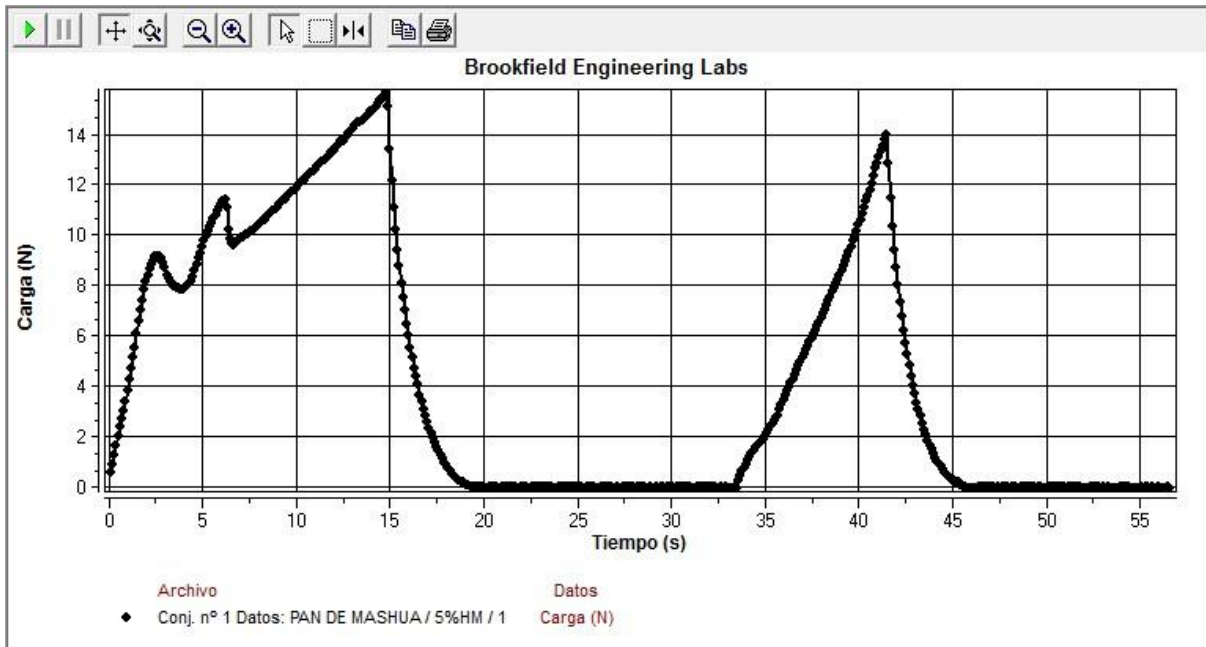
Muestras generales del pan Integral con sustitución parcial de harina de trigo por harina de Mashua Negra (*Tropaeolum Tuberosum*)



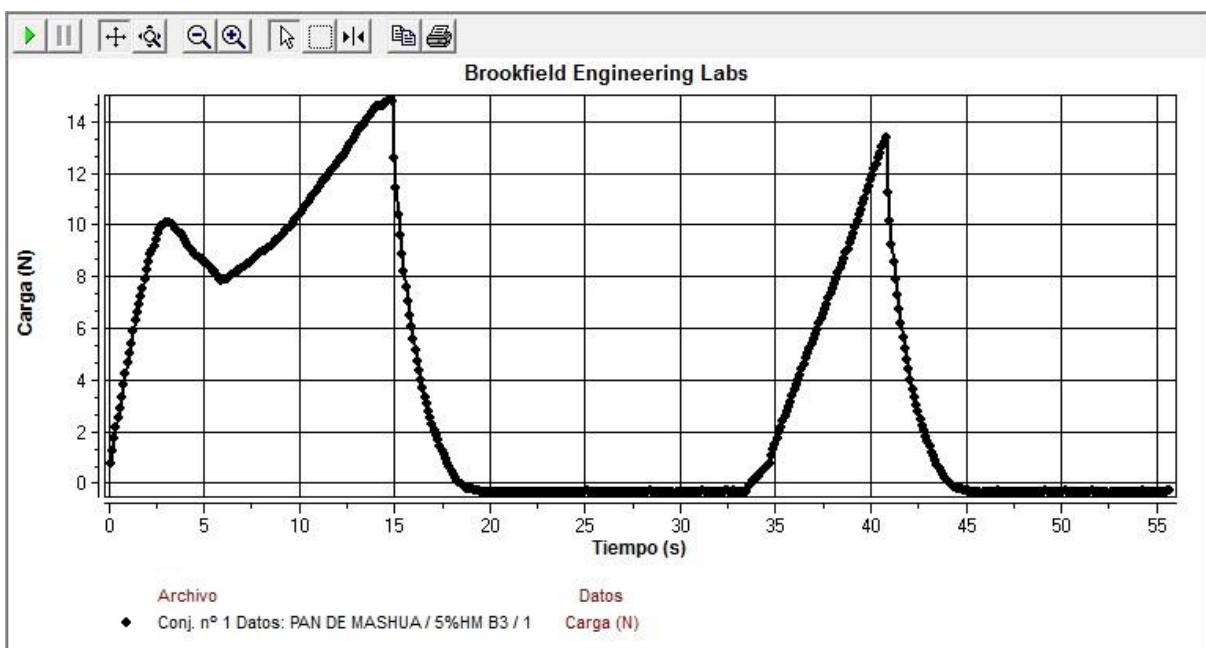
ANEXO 6

Curvas del Análisis de perfil de textura TPA de cada tratamiento estudiado

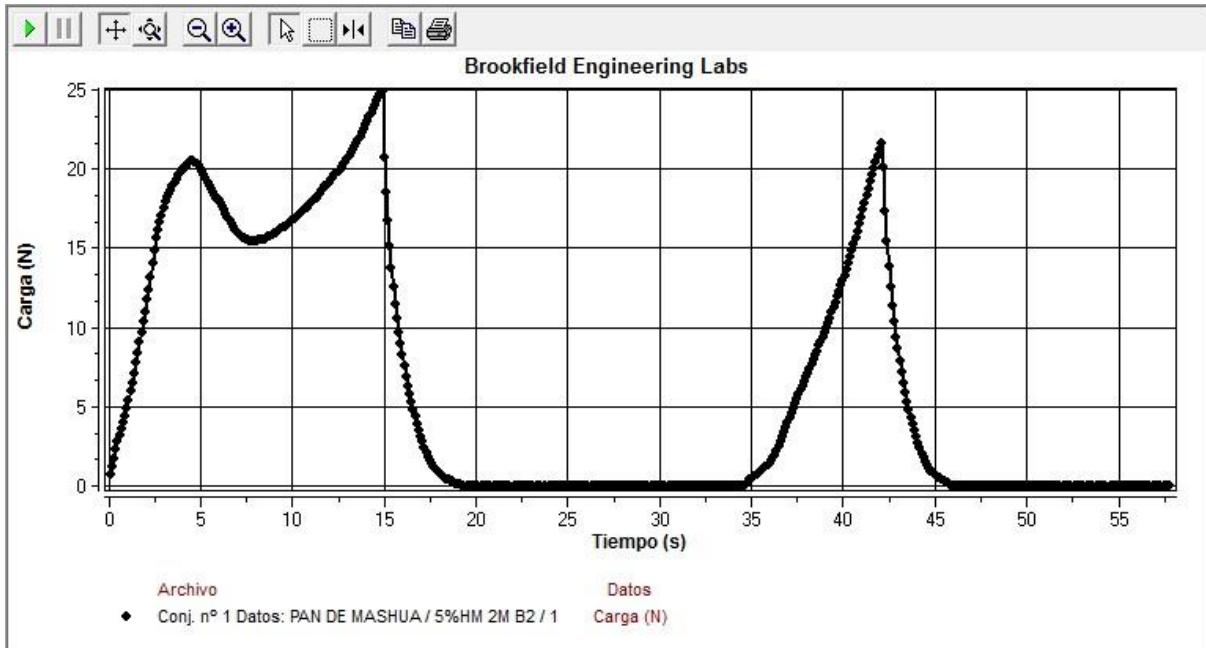
TRATAMIENTO 1



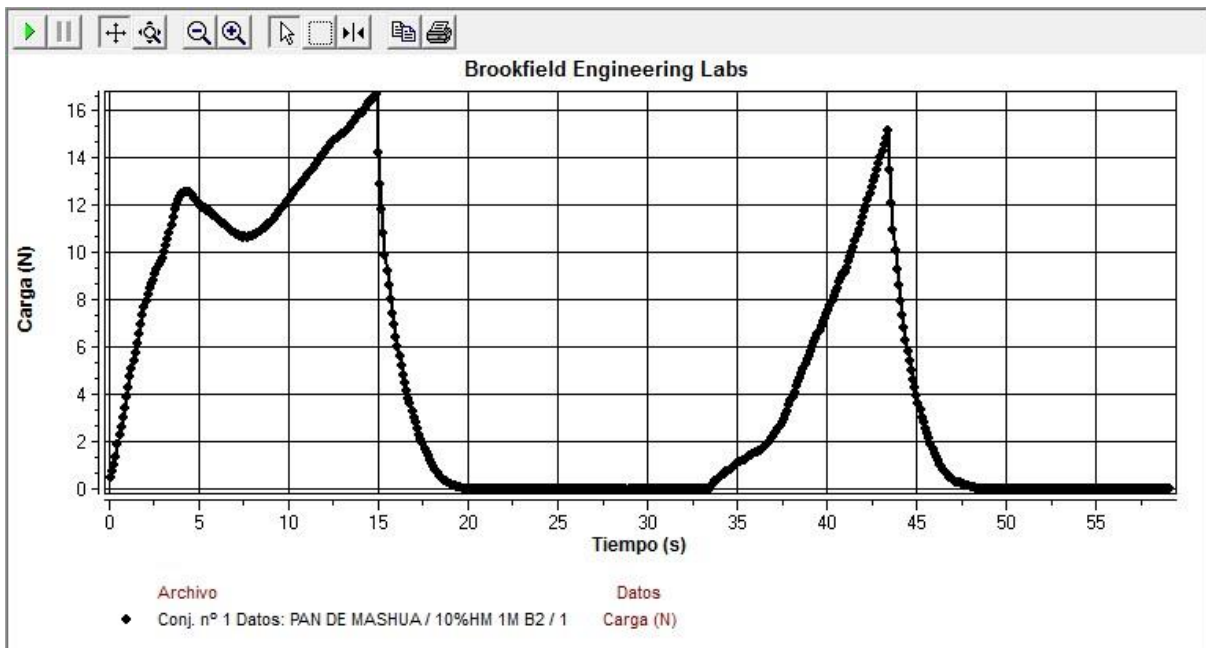
TRATAMIENTO 2



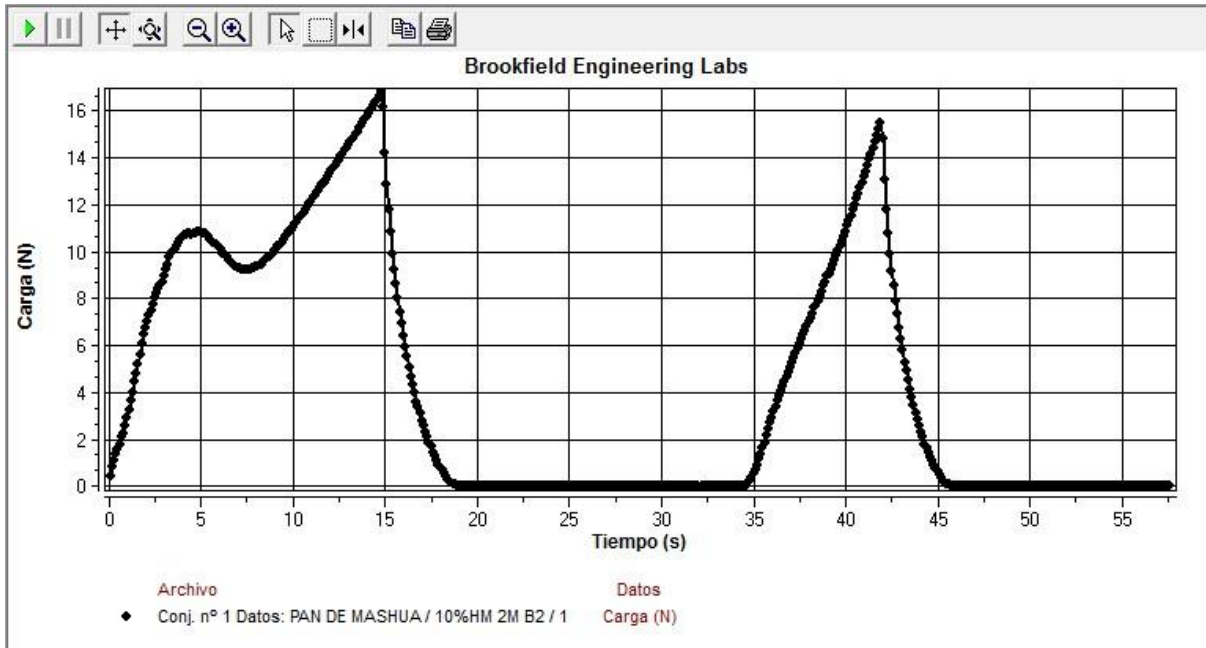
TRATAMIENTO 3



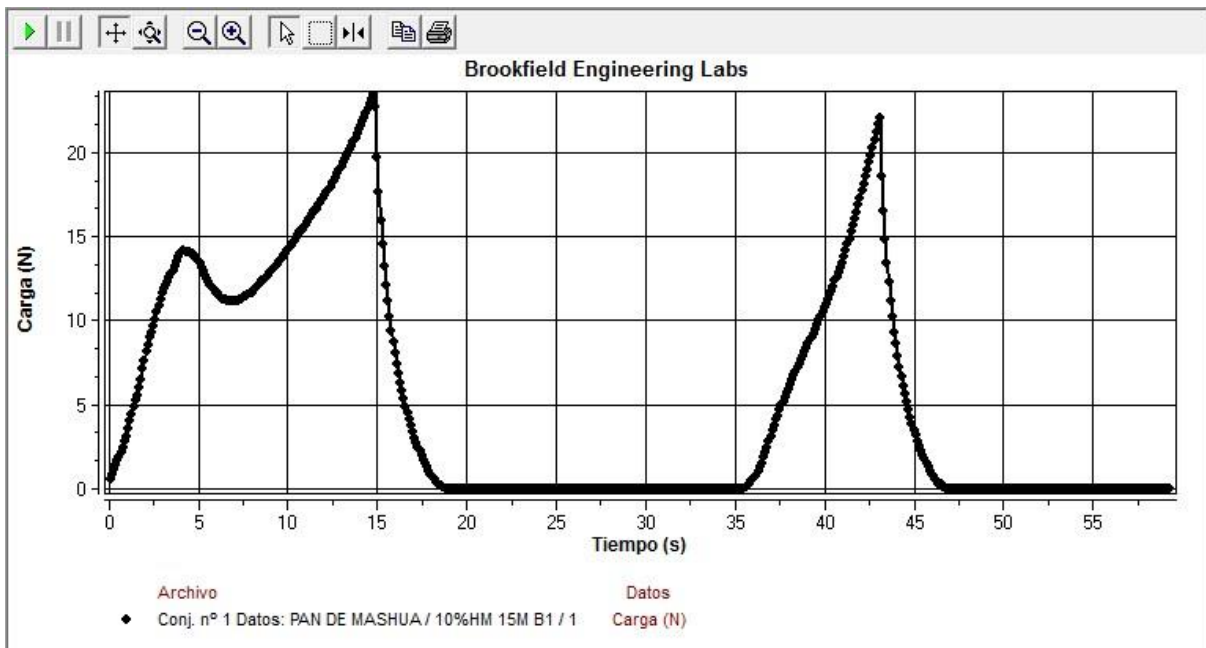
TRATAMIENTO 4



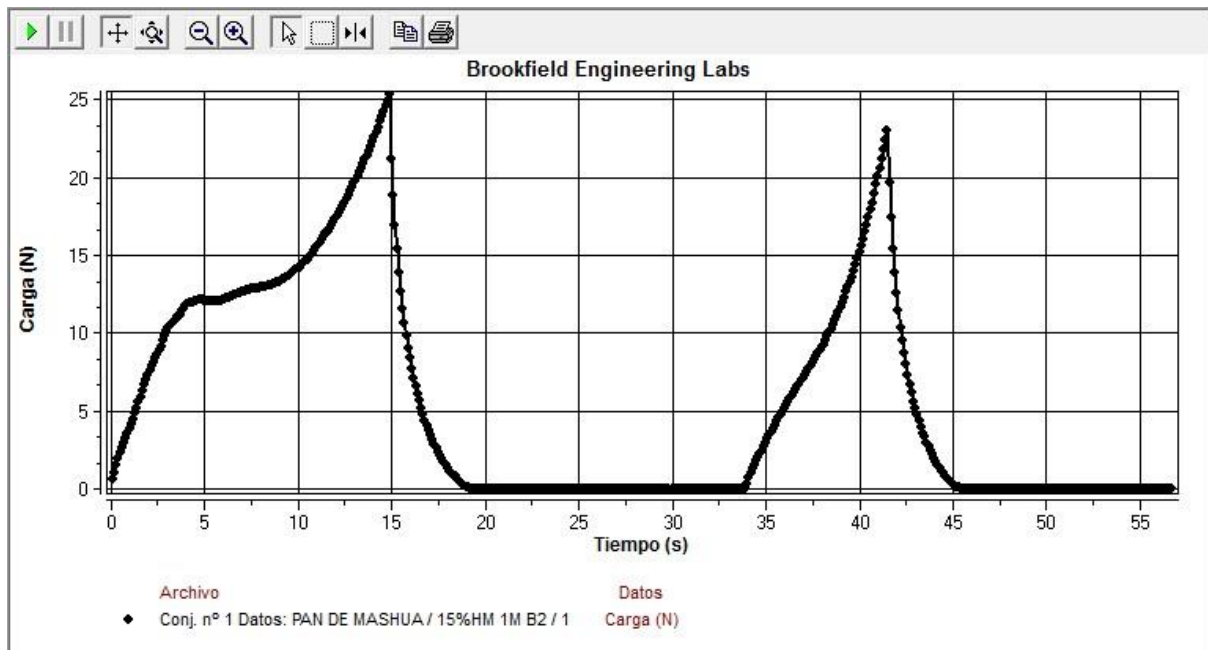
TRATAMIENTO 5



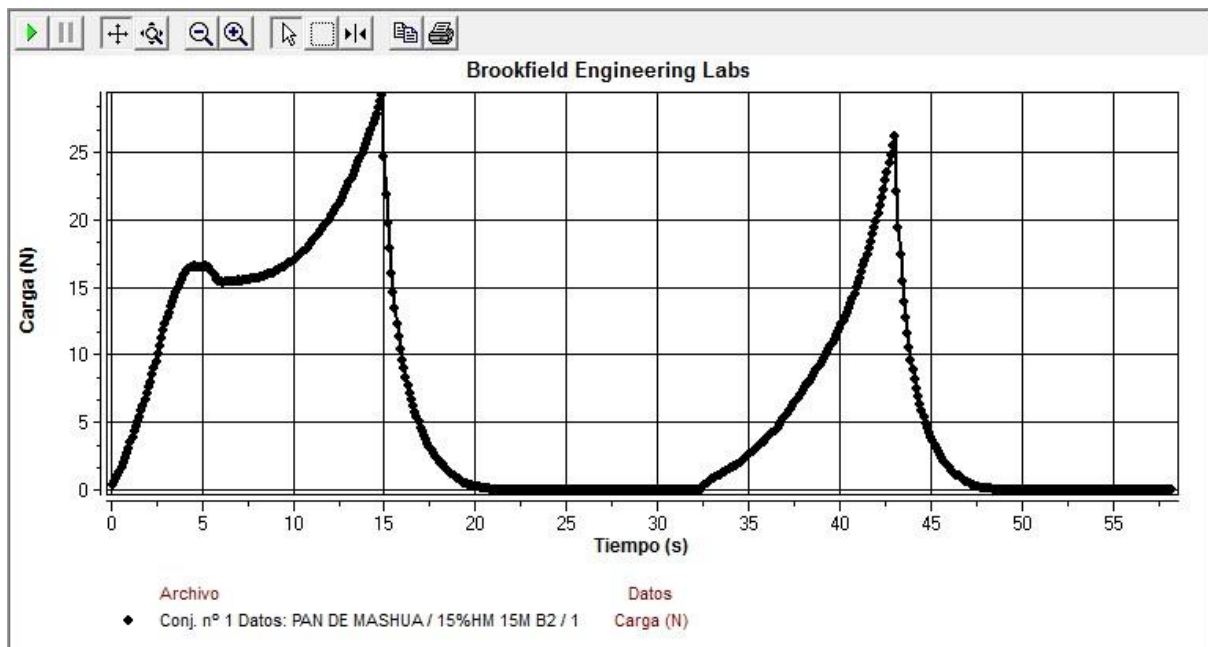
TRATAMIENTO 6



TRATAMIENTO 7



TRATAMIENTO 8



TRATAMIENTO 9

