

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS



T E S I S

**“ Efecto de la presión y temperatura de fritura al vacío sobre las características
fisicoquímicas de hojuelas de mashua negra (*Tropaeolum tuberosum*) ”**

Para optar el título Profesional de:
INGENIERO DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Presentado por la Bachiller:

MARIANA DOLORES ROMERO TERÁN

Asesores:

Ing. M. Sc. Fanny Lucila Rimarachín Chávez

Ing. M. Cs. Zoila Cecilia Rojas Ramírez

CAJAMARCA – PERÚ

2024

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

1. Investigador:
Mariana Dolores Romero Terán
DNI: N° 47030736
Escuela Profesional/Unidad UNC:
ESCUELA PROFESIONAL DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
2. Asesor:
Ing. M. Sc. Fanny Lucila Rimarachín Chávez
Facultad/Unidad UNC:
FACULTAD 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:
EFFECTO DE LA PRESIÓN Y LA TEMPERATURA DE FRITURA AL VACÍO SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE HOJUELAS DE MASHUA NEGRA (*Tropaeolum tuberosum*)
6. Fecha de evaluación: 04/06/2025
7. Software antiplagio: ☒ TURNITIN ☐ URKUND (ORIGINAL) (*)
8. Porcentaje de Informe de Similitud: 24%
9. Código Documento: oid: 3117:464533851
10. Resultado de la Evaluación de Similitud:
☒ APROBADO ☐ PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 03/07/2025

Firma y/o Sello Emisor Constancia
 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 dos días del mes de diciembre 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° 384-2024-FCA-UNC, de fecha 27 de agosto del 2024, con la finalidad de evaluar la sustentación de la TESIS titulada: "EFECTO DE LA PRESIÓN Y TEMPERATURA DE FRITURA AL VACÍO SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE HOJUELAS DE MASHUA NEGRA (*Tropaeolum tuberosum*)", realizada por la Bachiller MARIANA DOLORES ROMERO TERÁN para optar el Título Profesional de INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS.

A las ocho horas y cuarenta y cuatro 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 diecisiete (17); por tanto, la Bachiller queda expedita para proceder con los trámites que conlleven a la obtención del Título Profesional de INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS.

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


Dr. Rodolfo Raúl Orejuela Chirinos
PRESIDENTE


Ing. Mtr. Max Edwin Sangay Terrones
SECRETARIO


Dr. José Gerardo Salhuana Granados
VOCAL


Ing. M. Sc. Fanny Lucila Rimarachín Chávez
ASESORA


Ing. M. Cs. Zolla Cecilia Rojas Ramírez
ASESORA

Dedicatoria

Al regalo más grande que Dios me supo entregar,
Mi amado hijo Mateo Benjamín, la personita con mayor
importancia en mi existencia, que con una sonrisa dibujada en su
rostro me fortalece y motiva a seguir adelante cada día.

Por él y para el todo mi esfuerzo y dedicación.

Agradecimiento

Ante todo, expreso mi profunda gratitud a Dios por la salud y por cada día que me permite trabajar en el cumplimiento de mis metas.

A mis padres, por ser un ejemplo constante de humildad, perseverancia y amor al prójimo; sus valores han sido una guía en mi vida.

A mis hermanos, gracias por su apoyo incondicional y su cariño, que me motivan a seguir adelante.

Finalmente, quiero agradecer a mis asesoras, la Ingeniera Zoila Cecilia Rojas Ramírez y la Ingeniera Fanny Lucila Rimarachín Chávez, quienes con su paciencia, orientación y valioso aporte de conocimientos hicieron posible el desarrollo de esta investigación.

La autora

Índice de Contenido

Dedicatoria.....	iv
Agradecimiento	v
Índice de Contenido	vi
Índice de Tablas	viii
Índice de figuras.....	ix
Resumen.....	x
Abstract.....	xi
Capítulo I: Introducción.....	1
1.1. Descripción Del Problema.	2
1.2. Formulación del problema	3
1.3. Justificación:	4
1.3.1. Justificación Científica:	4
1.3.2. Justificación Técnica Y Práctica:	4
1.3.3. Justificación Institucional:.....	5
1.3.4. Justificación Personal.....	5
1.4. Objetivos	6
1.4.1. Objetivo General.....	6
1.4.2. Objetivos Específicos	6
1.5. Hipótesis.	6
CAPITULO II: REVISIÓN DE LITERATURA	7
2.1. Antecedentes.....	7
2.2. Marco teórico.	12
2.2.1. Generalidades De La Mashua.	12
2.2.2. Usos De La Mashua:	16
2.2.3. Procesamiento Agroindustrial De Tubérculos	18
2.2.4. Generalidades De Las Hojuelas.	19
2.2.5. Análisis Físicoquímico De Las Hojuelas Fritas.	21
2.2.6. Fritura Al Vacío.	24
2.2.7. Parámetros que influyen en la fritura al vacío.....	26
2.2.8. Modificaciones Químicas Producidas Por El Procesamiento De Fritura Al Vacío.....	28

2.3. Definición De Términos.....	29
CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS.....	31
3.1. Ubicación	31
3.2. Materiales.....	31
3.2.1. <i>Materiales e Insumos</i>	31
3.2.2. <i>Equipos Y Materiales De Laboratorio</i>	31
3.3. Metodología	32
3.3.1. <i>Tipo De Investigación</i>	32
3.3.2. <i>Variables:</i>	33
3.3.3. <i>Diseño Experimental</i>	33
3.3.4. <i>Modelo Estadístico:</i>	36
3.3.5. <i>Proceso Productivo De Hojuelas De Mashua Negra Por Fritura Al Vacío.</i>	37
3.3.6. <i>Descripción Del Proceso De Producción De Hojuelas De Mashua Negra Por Fritura Al Vacío:</i>	38
3.3.7. <i>Descripción Del Análisis Fisicoquímico En Hojuelas De Mashua Negra Fritas Al Vacío</i>	41
CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	46
4.1. Acidez total en hojuelas de mashua negra	46
4.2. Textura en hojuelas de mashua negra	56
CAPITULO V: CONCLUSIONES.....	75
CAPITULO VI: RECOMENDACIONES.....	76
CAPITULO VII: BIBLIOGRAFÍA	77
ANEXOS.....	87

Índice de Tablas

Tabla 1	
Clasificación taxonómica de la mashua (<i>Tropaeolum tuberosum</i>).....	13
Tabla 2	
<i>Composición nutricional proximal de la mashua (<i>Tropaeolum tuberosum</i>) en 100 gramos de porción comestible.</i>	16
Tabla 3	
Cambios que se producen en el aceite por la fritura.....	29
Tabla 4	
Diseño experimental propuesto.....	35
Tabla 5	
Matriz de tratamiento y combinación de niveles	37
Tabla 6	
Análisis fisicoquímico de la acidez total (%) de las hojuelas de mashua negra por fritura al vacío para cada tratamiento.	47
Tabla 7	
Resultados del análisis de varianza para la acidez total (%) del producto final.	48
Tabla 8	
Prueba de comparación múltiple de tukey para el factor presión con respecto a la variable acidez total, 95 % de significancia.....	53
Tabla 9	
Comparaciones múltiples tukey para el factor temperatura para la variable acidez total, 95 % de significancia	54
Tabla 10	
Comparaciones múltiples tukey para la interacción de los factores (presión * temperatura) para la variable acidez total 95 % de significancia	56
Tabla 11	
Análisis fisicoquímico de la textura (Dureza, fracturabilidad y Cohesividad) de las hojuelas de mashua negra por fritura al vacío por cada tratamiento.	58
Tabla 12	
Análisis de varianza para la dureza (N.) del producto final.....	60
Tabla 13	
<i>Comparaciones múltiples tukey para el factor temperatura para la variable dureza, 95 % de significancia.</i>	64
Tabla 14	
Análisis de varianza para la fracturabilidad (N.) del producto final.....	65
Tabla 15	
Comparaciones múltiples tukey para el factor temperatura para la variable fracturabilidad 95 % de significancia	69
Tabla 16	
<i>Comparaciones múltiples tukey para la interacción de los factores (presión * temperatura) para la variable fracturabilidad 95 % de significancia.</i>	70
Tabla 17	
Análisis de varianza para la Cohesividad del producto final.....	71

Índice de figuras

Figura 1 Mashua Negra.....	13
Figura 2 Mapa de ubicación del lugar de desarrollo de la investigación	31
Figura 3 Diseño experimental, arreglo de los tratamientos.....	35
Figura 4 Flujograma de proceso de producción de hojuelas de mashua.....	38
Figura 5 Diagrama de Pareto de efectos estandarizados para acidez total.....	50
Figura 6 Efectos principales para acidez total (expresada en % de ac. Oxálico).....	51
Figura 7 Interacción de factores para acidez total (expresada en % de ac. Oxálico).....	52
Figura 8 Diagrama de Pareto de efectos estandarizados para la dureza	62
Figura 9 Interacción de factores para la textura (Dureza).....	63
Figura 10 Diagrama de Pareto efectos estandarizados para la textura (Fracturabilidad). ..	66
Figura 11 Efectos principales para la textura (Fracturabilidad)	67
Figura 12 Interacción para la textura (Fracturabilidad)	68
Figura 13 Diagrama de Pareto efectos estandarizados para la textura (Cohesividad).	72
Figura 14 Efectos principales para la textura (Cohesividad).	73
Figura 15 Interacción entre los factores de presión y temperatura para la textura (Cohesividad).	74

Resumen

Esta investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de Análisis de Alimentos (2H-301) de la Escuela de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de Cajamarca, con el objetivo de evaluar cómo la presión y la temperatura durante la fritura al vacío afectan las propiedades fisicoquímicas de las hojuelas de mashua (*Tropaeolum tuberosum*), centrándose en la acidez titulable y la textura del producto final. Se aplicó un diseño experimental completamente al azar (DCA), con presión (0.20, 0.35 y 0.50 bar) como factor A y temperatura (110 °C, 120 °C y 130 °C) como factor B, obteniéndose nueve tratamientos replicados tres veces, obteniendo un total de 27 muestras. Las hojuelas se prepararon cortando el tubérculo en rodajas de 2 mm, luego fueron fritas al vacío y almacenadas en bolsas de polipropileno durante siete días. La acidez titulable se determinó según el método AOAC 942.15, expresándose como porcentaje de ácido oxálico. La textura, evaluada mediante análisis instrumental, consideró dureza, fracturabilidad y cohesividad. Los resultados mostraron que la combinación de 0.50 bar y 110 °C (Tratamiento 7) produjo una reducción significativa de la acidez a 0.0651 % de ácido oxálico, mientras que la mayor fracturabilidad se obtuvo con la presión de 0.20 bar y temperatura de 130 °C (Tratamiento 3). Se concluye que tanto la presión como la temperatura tienen un impacto significativo en las propiedades fisicoquímicas de las hojuelas de mashua, siendo ambos factores claves para optimizar la calidad del producto final.

Palabras clave: Mashua (*Tropaeolum tuberosum*), fritura al vacío, presión, temperatura, características fisicoquímicas, acidez, textura.

Abstract

This research was conducted in the Food Analysis Laboratory (2H-301) of the School of Food Industry Engineering at the National University of Cajamarca. The objective was to evaluate the effects of pressure and temperature during vacuum frying on the physicochemical properties of mashua (*Tropaeolum tuberosum*) chips, focusing specifically on titratable acidity and texture of the final product. A completely randomized design (CRD) was applied, with pressure (0.20, 0.35, and 0.50 bar) as factor A and temperature (110 °C, 120 °C, and 130 °C) as factor B, resulting in nine treatments, each replicated three times, totaling 27 samples. The chips were prepared by slicing the tuber into 2 mm thick slices, followed by vacuum frying and storage in polypropylene bags for seven days. Titratable acidity was determined according to AOAC method 942.15, expressed as a percentage of oxalic acid. Texture was instrumentally analyzed considering hardness, fracturability, and cohesiveness. Results indicated that the combination of 0.50 bar and 110 °C (Treatment 7) significantly reduced acidity to 0.0651% oxalic acid, while the highest fracturability was achieved at 0.20 bar and 130 °C (Treatment 3). It is concluded that both pressure and temperature significantly influence the physicochemical characteristics of mashua chips, and both factors are key for optimizing the quality of the final product.

Keywords: Mashua (*Tropaeolum tuberosum*), vacuum frying, pressure, temperature, physicochemical characteristics, total titratable acidity, texture

Capítulo I: Introducción

A nivel nacional, las regiones de la sierra en el Perú, como Ayacucho, Cajamarca, Huancavelica, Pasco y La Libertad, poseen un gran potencial en diversidad agrícola, incluyendo varios cultivos como la mashua (*Tropaeolum tuberosum*). La mashua es el cuarto cultivo más consumido después de la papa, la oca y el olluco. Es rica en carbohidratos, con aproximadamente un 11% en contenido fresco. La mashua contiene glucocianatos, que son responsables de sus propiedades medicinales (Arteaga, 2022). Sin embargo, este cultivo está en peligro de desaparecer debido a la falta de difusión a nivel nacional y la adopción de otras costumbres y tecnologías alimentarias (Grau, et al., 2003).

Uno de los principales desafíos de la industria alimentaria es extender la vida útil de sus productos. La fritura al vacío (FV) es una tecnología innovadora en el mercado que mejora los atributos de calidad de los productos finales, ya que se realiza a presión subatmosférica, lo que permite utilizar temperaturas más bajas que la fritura convencional (Da Silva & Moreira, 2008). Las investigaciones en papas han demostrado una reducción en la absorción de aceite de hasta un 24% (Da Silva & Moreira, 2008), lo que preserva la calidad nutricional y el color (García et al., 2016), controla la oxidación del producto y reduce el deterioro del aceite (Crosa et al., 2014).

El desarrollo de productos a base de mashua, como las hojuelas tipo aperitivo, se presenta como una alternativa tecnológica para diversificar su uso actual, aumentar su disponibilidad y ofrecer otra opción de consumo, lo que ampliaría el mercado y beneficiaría directamente a los productores agrícolas y, de manera indirecta, a los consumidores de las hojuelas debido a su excelente valor nutricional (Pillajo et al., 2019a).

En este contexto, con el objetivo de agregar valor a la cadena productiva de la mashua e identificar las condiciones operativas más favorables para obtener un snack más saludable, esta investigación determina cual es el efecto de la presión y la temperatura en el proceso de fritura al vacío sobre las características fisicoquímicas de las hojuelas de mashua negra (*Tropaeolum tuberosum*).

El estudio de la acidez y las propiedades texturales de las hojuelas de mashua son trascendentales para determinar cómo el método de fritura al vacío impacta la calidad

general e integridad de este producto alimenticio. Los datos de acidez expresados en % de ácido oxálico, dan información sobre los cambios químicos que ocurren durante el procesamiento, mientras que las mediciones de textura revelan importantes características sensoriales y de calidad de las hojuelas fritas finales, permitiéndoles a los investigadores a optimizar los parámetros de fritura al vacío para retener de la mejor manera los beneficios nutricionales y funcionales del tubérculo de mashua y brindar un producto final de calidad. Se plantea la hipótesis de que al utilizar una presión de 0.35 bar y una temperatura de 120°C durante el proceso de fritura al vacío para producir hojuelas de mashua negra (*Tropaeolum tuberosum*), se verán afectadas sus características fisicoquímicas. Obteniendo un producto con una textura crujiente, con una fuerza de fractura de 2 N y una acidez titulable total de 0.15 % de ácido oxálico por cada 100g. de muestra.

1.1. Descripción Del Problema.

En los últimos años, la preferencia del consumidor por opciones alimenticias más saludables ha motivado a la industria de alimentos a incorporar tecnologías innovadoras de procesamiento que permitan obtener productos con bajo contenido graso, buena conservación de nutrientes y características sensoriales atractivas. Entre estas tecnologías, la fritura al vacío ha surgido como una alternativa eficiente, ya que opera bajo condiciones controladas de temperatura y presión, lo que posibilita una menor absorción de aceite y la preservación de componentes nutricionales, al tiempo que se logran texturas y sabores más agradables.

A pesar de sus ventajas, aún existen limitaciones en la investigación sobre cómo influyen los parámetros de presión y temperatura en las propiedades fisicoquímicas de los productos sometidos a este tipo de fritura. Factores como la acidez y la textura tienen un papel determinante en la percepción de calidad y aceptación comercial de los snacks. Por ello, el presente estudio analiza los efectos de estas variables en la elaboración de hojuelas de mashua negra (*Tropaeolum tuberosum*), un tubérculo originario de los Andes con atributos funcionales y nutricionales, cuyo cultivo ha ido disminuyendo en años recientes.

El propósito principal de esta investigación es evaluar cómo diferentes combinaciones de temperatura y presión inciden sobre la textura y la acidez del producto final, con miras a optimizar el proceso de fritura al vacío. Así, se busca generar un producto más saludable que, además de responder a la demanda del mercado, permita revalorizar el

cultivo de mashua en las regiones altoandinas y fortalecer iniciativas agroindustriales sostenibles orientadas a la innovación y al aprovechamiento de cultivos tradicionales.

1.2. Formulación del problema

La mashua (*Tropaeolum tuberosum*) es un tubérculo originario de los Andes que destaca por su composición nutricional y su potencial terapéutico, gracias a la presencia de antioxidantes y compuestos bioactivos (Hess y Slavin, 2017). No obstante, su consumo ha disminuido en los últimos años debido a la escasa promoción y a la preferencia del consumidor por otros alimentos más conocidos o de mayor aceptación comercial. Frente a este panorama, surge la necesidad de diversificar sus aplicaciones mediante alternativas tecnológicas que permitan transformarla en productos innovadores, como las hojuelas, un tipo de snack valorado por su facilidad de consumo y sus propiedades organolépticas.

La aplicación de la fritura al vacío representa una opción tecnológica con múltiples beneficios frente a la fritura tradicional, entre los que destacan la menor retención de grasa, la conservación de nutrientes y la mejora en las características sensoriales del alimento. Sin embargo, existe poca literatura que explore el impacto de parámetros operativos como la temperatura y la presión en propiedades específicas de productos elaborados, tales como la textura y la acidez titulable, factores clave para la calidad del snack y su aceptación en el mercado.

En este contexto, se plantea la necesidad de analizar, a través de metodologías analíticas precisas, cómo influyen las condiciones de operación, específicamente temperatura y presión, sobre propiedades fisicoquímicas relevantes de las hojuelas de mashua. Determinar las combinaciones óptimas de estos parámetros permitirá diseñar un producto final competitivo, que aporte valor agregado a la cadena productiva de la mashua y contribuya a su valorización sostenible en zonas altoandinas del Perú. Así, esta investigación busca responder a la siguiente interrogante: ¿Cuál es el efecto de la presión y la temperatura de fritura al vacío sobre las características fisicoquímicas de las hojuelas de mashua negra (*Tropaeolum tuberosum*)?

1.3. Justificación:

1.3.1. Justificación Científica:

Esta investigación encuentra sustento científico en el análisis del efecto de variables operativas, como la presión y la temperatura, durante el proceso de fritura al vacío sobre propiedades fisicoquímicas de las hojuelas elaboradas a partir de mashua (*Tropaeolum tuberosum*). Según Arteaga et al. (2022), pese a que este tubérculo posee un elevado valor nutricional, su aprovechamiento a nivel industrial es aún limitado, por lo que la fritura al vacío representa una alternativa viable para su transformación y conservación.

El estudio propone generar conocimiento técnico y científico que contribuya al diseño y control de procesos de fritura al vacío aplicados a este cultivo andino, favoreciendo así el desarrollo de productos con valor agregado en el ámbito de la agroindustria y la tecnología alimentaria.

En particular, la evaluación de la acidez titulable y la textura permite comprender cómo dichas condiciones de procesamiento inciden en la calidad del producto final. La acidez titulable es un indicador de estabilidad y de las reacciones químicas que ocurren durante la fritura, mientras que la textura está directamente relacionada con las características sensoriales y la aceptabilidad del snack. Ambos parámetros son fundamentales para ajustar el proceso tecnológico de manera que se conserven los compuestos bioactivos y las propiedades funcionales de la mashua, promoviendo su revalorización como alimento funcional.

1.3.2. Justificación Técnica Y Práctica:

Desde un enfoque técnico y aplicado, esta investigación se justifica por su propuesta de elaborar hojuelas de mashua mediante un proceso de fritura al vacío, esta investigación se justifica por su propuesta de transformar la mashua en hojuelas mediante la fritura al vacío, lo cual representa una estrategia para diversificar su uso y generar un producto con valor agregado. Este tipo de procesamiento permite conservar mejor los nutrientes y compuestos funcionales del tubérculo durante la cocción, al tiempo que extiende la vida útil del producto final. El análisis de parámetros como la presión y la temperatura busca establecer directrices concretas que permitan estandarizar y optimizar la producción de

snacks de mashua, garantizando su calidad, seguridad y aceptación por parte del consumidor.

En cuanto a las propiedades fisicoquímicas evaluadas, la acidez titulable y la textura son indicadores clave. La acidez está asociada a la frescura y estabilidad del producto, ya que valores elevados pueden reflejar la presencia de ácidos grasos libres, derivados de la degradación lipídica, lo que afecta negativamente el sabor y aroma, pudiendo indicar enranciamiento o contaminación. Por su parte, la textura influye directamente en la percepción sensorial del consumidor, siendo un atributo decisivo para la aceptación del producto. La evaluación de estos parámetros resulta esencial para desarrollar un snack de calidad que aproveche las características funcionales de la mashua y responda a las exigencias de la industria alimentaria.

1.3.3. Justificación Institucional:

Desde el ámbito institucional, esta investigación se alinea con los objetivos de la Universidad Nacional de Cajamarca, que promueve el desarrollo científico, tecnológico e innovador, así como la formación de profesionales competentes en el campo de la agroindustria. El estudio sobre el efecto de la presión y la temperatura en el proceso de fritura al vacío de hojuelas de mashua (*Tropaeolum tuberosum*) responde a esta visión institucional, al abordar una problemática actual dentro del área de la ciencia y tecnología de alimentos.

Asimismo, esta investigación contribuye a la revalorización de un cultivo andino tradicional poco aprovechado, posicionándolo como una alternativa viable en el desarrollo de productos alimentarios innovadores y funcionales. Los conocimientos generados pueden ser de utilidad para instituciones, empresas agroindustriales y organizaciones vinculadas a la producción agrícola, la alimentación saludable y el aprovechamiento sostenible de cultivos nativos. A través del establecimiento de parámetros técnicos para el procesamiento de la mashua en forma de snack, este trabajo fortalece el vínculo entre la universidad, el sector productivo y la comunidad.

1.3.4. Justificación Personal:

A nivel personal, esta investigación surge de un profundo interés por contribuir al rescate y valorización de la mashua (*Tropaeolum tuberosum*) mediante su transformación en un producto innovador a través de la tecnología de fritura al vacío. Esta experiencia

representa una oportunidad para fortalecer mis competencias en el campo de la agroindustria, especialmente en el desarrollo de alimentos funcionales y saludables que incorporen insumos nativos poco aprovechados.

Asimismo, me motiva la posibilidad de generar aportes útiles que sirvan de base para futuros trabajos académicos o iniciativas empresariales orientadas a la elaboración de snacks a partir de tubérculos andinos. Considero que los conocimientos adquiridos durante este proceso permitirán establecer pautas técnicas valiosas para el diseño y control de procesos, promoviendo a su vez el consumo de alimentos locales y el aprovechamiento sostenible de la biodiversidad agrícola del país.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Evaluar el efecto de la presión y temperatura de fritura al vacío sobre las características fisicoquímicas de hojuelas de mashua negra (*Tropaeolum tuberosum*).

1.4.2. Objetivos Específicos

- ✓ Determinar el efecto de la presión sobre la acidez titulable y la textura de las hojuelas de mashua negra (*Tropaeolum tuberosum*).
- ✓ Determinar el efecto de la temperatura sobre la acidez titulable y la textura de las hojuelas de mashua negra (*Tropaeolum tuberosum*).
- ✓ Evaluar el efecto de la interacción de la presión y la temperatura sobre la acidez titulable y la textura de las hojuelas de mashua negra (*Tropaeolum tuberosum*).

1.5. Hipótesis.

La aplicación de una presión de 0.20 bar y una temperatura de 130 °C durante el proceso de fritura al vacío de hojuelas elaboradas a partir de mashua negra (*Tropaeolum tuberosum*) influirá significativamente en sus propiedades fisicoquímicas. Bajo estas condiciones, se espera obtener un producto con textura crujiente, caracterizada por una fuerza de fractura de aproximadamente 2 N, y una acidez titulable total de 0.15 %, expresada como ácido oxálico por cada 100 gramos de muestra.

CAPITULO II: REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes.

Shyu y Hwang (2001). *Effects of processing conditions on the quality of vacuum-fried carrot chips*. Artículo Científico. SCI (Science o Food ang Agriculture). Investigaron cómo las diferentes condiciones de procesamiento influyen en la calidad de hojuelas de zanahoria sometidas a fritura al vacío. En su estudio, aplicaron una presión constante de vacío de 3.115 kPa y evaluaron tres rangos de temperatura durante la fritura: 90, 100 y 110 °C. Tras la fritura, las hojuelas fueron sometidas a un proceso de centrifugado a 350 rpm durante 30 minutos, con el propósito de eliminar el exceso de aceite superficial. Posteriormente, se almacenaron en bolsas de polietileno a una temperatura de -30 °C para su conservación. Para evaluar la calidad del producto, se consideró la dureza como parámetro principal, determinando que las mejores condiciones de procesamiento correspondieron a temperaturas de fritura entre 100 y 110 °C, un tiempo de aplicación de vacío de 20 a 25 minutos y una inmersión previa en soluciones de fructosa con concentraciones entre 30 y 40%.

Garayo y Moreira (2011). *Vacuum frying of potato chips*. Artículo de revista científica. Science Directe Journal of Food Engineering, evaluaron la fritura al vacío como una técnica innovadora para obtener hojuelas de papa con menor contenido graso. En su estudio analizaron cómo la temperatura del aceite (118, 132 y 144 °C) y la presión de vacío (16.661, 9.888 y 3.115 kPa) influían en la velocidad de secado, la absorción de aceite y otras características cualitativas del producto, tales como la contracción volumétrica, el color y la textura. También realizaron una comparación entre las hojuelas de papa fritas al vacío a 3.115 kPa y 144 °C, y las elaboradas mediante fritura convencional a temperatura atmosférica (165 °C). Los resultados mostraron que tanto la temperatura del aceite como la presión aplicada durante la fritura afectaron significativamente la rapidez del secado y la cantidad de aceite absorbido por las hojuelas. En particular, las hojuelas sometidas a menor presión de vacío y mayor temperatura presentaron una menor contracción volumétrica. Por otro lado, el color no mostró variaciones significativas relacionadas con estos parámetros de procesamiento. Finalmente, se observó que la dureza del producto aumentó conforme incrementó la temperatura del aceite y disminuyó el nivel de vacío aplicado durante la fritura.

Quelal (2012). *Obtención de rodajas fritas “chips” de mashua (Tropaeolum tuberosum) aplicando la tecnología de fritura*. tesis para optar el título de ingeniera de alimentos en la universidad tecnológica equinoccial, Ecuador. En el estudio se analizaron los parámetros de acidez titulable y pH en los chips sometidos a distintos tratamientos de fritura a temperaturas de 160 y 170 °C durante tiempos de 40 y 60 segundos. Los resultados mostraron que no existieron diferencias estadísticamente significativas en dichos parámetros entre las condiciones evaluadas. No obstante, la fritura influyó notablemente en la acidez del tubérculo, reduciéndola a un valor de 0,19 %, lo que representa una disminución aproximada del 90 % respecto al tubérculo crudo. Esta reducción se atribuye probablemente a la solubilidad en agua de los glucosinolatos presentes en la mashua. Los procesos aplicados durante la fabricación de los chips contribuyeron a disminuir la acidez, los compuestos isotiocianatos y el sabor picante característico del tubérculo, resultando en un snack con sabor dulce, agradable, textura crujiente y un contenido energético elevado.

Serrano (2013). *Obtención de productos tipo aperitivos (snack) de mashua (Tropaeolum tuberosum) Mediante la Aplicación de Fritura Al Vacío*. Para obtener el título de Ingeniería de Alimentos. Universidad Tecnológica Equinoccial. Ecuador. Su investigación reveló que, aunque el tubérculo de mashua presenta ciertas ventajas sobre otros tubérculos en cuanto a su composición química, su consumo está limitado por el elevado contenido de isotiocianatos, compuestos derivados de la hidrólisis de glucosinolatos, responsables del sabor picante característico. En el ecotipo evaluado, la mashua contenía aproximadamente un 2 % de glucosinolatos. Para cuantificar estos compuestos, se utilizó la medición del porcentaje de acidez, que se correlaciona directamente con el nivel de isotiocianatos. Los resultados mostraron una reducción estadísticamente significativa en la acidez al comparar mashua fresca (2,22 %) con mashua cocida (0,68 %), evidenciando una disminución del 69 % tras el proceso térmico.

Acosta et al., (2019) *Efecto de la fritura por inmersión al vacío en rodajas de mango “tommy atkins” deshidratadas osmóticamente*. Artículo de revisión científica y tecnológica. Universidad de Cauca, Colombia, su trabajo destacó la importancia de la presión como factor determinante para disminuir la absorción de grasa durante la fritura al vacío, ya que esta condición modifica el punto de ebullición del agua en los poros del mango, minimizando así daños en la estructura del producto. Además, la deshidratación

osmótica aplicada antes de la fritura contribuyó a mejorar la calidad final y a mantener la integridad física del snack. El análisis estadístico del diseño experimental permitió identificar condiciones óptimas, específicamente una temperatura de 42.4 °C, presión de 10 kPa y un tiempo de 473.5 segundos, que favorecieron la textura y las propiedades sensoriales, confirmando la eficacia de esta técnica para la conservación y modificación estructural de snacks derivados de frutas.

Pillajo et al., (2019). *Efecto de la Cocción y la Concentración de Sal como Pretratamiento de Chips de mashua (Tropaeolum tuberosum) Obtenidos por Fritura al Vacío*. Artículo científico, Revista científica Scielo. La investigación determinó que la combinación de una temperatura de fritura de 110 °C con una presión de 5.34 kPa durante 14 minutos, junto con un pretratamiento de escaldado y salado, resultó en un valor de acidez titulable del 2.19%. Los resultados mostraron una relación inversa entre el contenido de grasa y el grado de acidez, observándose que a menor contenido graso correspondía un mayor nivel de acidez. Por esta razón, se seleccionó la muestra pretratada con un tiempo de cocción de 7.5 minutos y una concentración de sal del 0.63%, debido a que presentó el menor porcentaje de humedad y valores aceptables en parámetros clave como contenido graso, textura e índice de acidez, con 1.63%, 23.8%, 2.69 N y 0.9%, respectivamente. Este tratamiento fue aplicado tanto en fritura al vacío como en fritura convencional (atmosférica), evidenciando que los chips elaborados por fritura al vacío redujeron en un 50.42% el contenido final de grasa en comparación con los procesados en condiciones atmosféricas, bajo el mismo pretratamiento.

Trejo et al., (2019). *Influencia de Proceso de Fritura al Vacío Sobre la Calidad de Chips de Papa Nativa, Variedad Botella Roja*. Artículo científico Universidad Nacional de Colombia, Colombia. Los resultados mostraron que la textura presentó variaciones significativas en función de las variables independientes temperatura y presión, con valores medios de dureza fluctuando entre 2.4 y 4.8 N. Las características texturales de productos ricos en almidón fritos están condicionadas por procesos como la gelatinización del almidón, el contenido de azúcares y la resistencia de las paredes celulares. Por ejemplo, en chips de yuca, se observó que tiempos de fritura reducidos incrementan la fuerza de ruptura, probablemente debido a la rápida pérdida de humedad superficial. Este fenómeno de deshidratación superficial durante la fritura contribuye a la formación de una costra más

seca y dura, incrementando la dureza del producto final. Asimismo, la gelatinización y retrogradación del almidón generadas por el calor favorecen la formación de una corteza crocante y cambios estructurales internos en el chip. En el caso de la papa nativa Botella Roja, la calidad del producto obtenido por fritura al vacío estuvo principalmente condicionada por la temperatura y el tiempo de fritura, con la temperatura mostrando el mayor impacto. La optimización experimental realizada resultó ser una herramienta eficiente para definir las condiciones óptimas del proceso, alcanzando un índice de deseabilidad de 0.73. El producto final presentó características antioxidantes destacadas y una textura crujiente que satisface las preferencias del consumidor actual. Además, se reportó una baja absorción de aceite, con un promedio de $19.9 \pm 1.2\%$. Los modelos teóricos utilizados para predecir las variables dependientes mostraron una buena concordancia con los datos experimentales.

Vargas y Pinto (2020). *Evaluación de la influencia de temperatura y concentración de sacarosa en la deshidratación osmótica de mashua (Tropaeolum tuberosum)*. Para optar al grado académico de bachiller en Ingeniería de Industrias Alimentarias. Universidad Peruana Unión, Perú. El objetivo de la presente investigación fue evaluar la influencia de variables de temperatura y concentración de sacarosa en deshidratación osmótica de mashua, Para ello, seleccionaron manualmente los tubérculos, que fueron lavados y cortados en cilindros con un diámetro de 15 mm y un espesor promedio de 2.0 ± 0.6 mm. Las variables independientes consideradas fueron la concentración de sacarosa en solución acuosa (40 y 50 °Brix) y la temperatura de inmersión (35 y 45 °C). Como variables de respuesta se midieron la pérdida de peso (%), la pérdida de agua (%) y la ganancia de sólidos (%). Los resultados mostraron que el tratamiento con mayor concentración de sacarosa y temperatura más alta (50 °Brix y 45 °C) registró la mayor pérdida de peso, alcanzando un valor de 53.65%. A través del análisis cinético de transferencia de masa, se determinó que las condiciones de alta concentración de sacarosa y temperatura favorecen una mayor reducción del contenido de agua y pérdida de peso, además de incrementar la ganancia de sólidos, lo que confirma la influencia significativa de estos factores sobre la eficiencia del proceso de deshidratación osmótica en mashua.

Malpartida et al., (2022). *Características fisicoquímicas, composición nutricional y compuestos bioactivos en tres variedades de mashua (Tropaeolum tuberosum Ruiz y Pavon): Una revisión*. Artículo Científico, Universidad Nacional Autónoma Altoandina de Tarma, Perú. En el contexto de la pandemia por COVID-19, los autores enfatizan que, aunque no existe evidencia científica concluyente que relacione factores dietéticos específicos con la reducción del riesgo de infección por el virus, una nutrición adecuada puede contribuir a mantener un estado de salud óptimo y mitigar el impacto en caso de contagio. En este sentido, recomiendan el consumo de alimentos con alto valor nutricional como la mashua, destacada por su contenido mineral, entre ellos fósforo (0.56 ± 0.01 mg/g), calcio (0.025 ± 0.002 mg/g) y potasio (0.82 ± 0.31 mg/g), así como cenizas (0.76%), proteínas (1.23 ± 0.04 a 1.526%) y carbohidratos (11.41%). De las variedades estudiadas, la Muru-añu se destaca por sus propiedades fisicoquímicas, presentando altos niveles de grasa (0.70%), humedad (86.3%), ceniza (0.76%) y acidez titulable (77.2%) en estado fresco. Además, el genotipo morado contiene elevados niveles de compuestos fenólicos y glucosinolatos, los cuales están asociados con efectos antiproliferativos y proapoptóticos, vinculados a la prevención de enfermedades cancerígenas. Las variedades negro y morado también son reconocidas como fuentes naturales de antioxidantes, lo que contribuye a su potencial nutracéutico; sin embargo, la concentración de compuestos bioactivos depende del estado de la mashua al momento de su análisis. Finalmente, se destaca que la mashua es una especie rústica adaptada a condiciones climáticas extremas y suelos pobres, sin requerimiento de fertilizantes, razón por la cual su cultivo es común en las zonas altoandinas del Perú.

Urrutia (2023). *Determinación de las propiedades físicas, químicas y sensoriales en hojuelas fritas de tres clones de papa nativa (Solanum tuberosum) 21.2021, 511110.5 y selección wenqos*. Para optar el título Profesional de Ingeniero Agroindustrial. Universidad Nacional José María Arguedas, Perú. El autor señaló que, en investigaciones previas sobre papas congeladas, el rango promedio de calificaciones sensoriales para la textura se situó entre 1.75 y 2.375. Considerando este antecedente, en el presente estudio el rango promedio de textura obtenido fue de 1.45 a 2.28, indicando que las hojuelas fritas evaluadas se encuentran dentro de los parámetros de aceptabilidad sensorial para esta característica.

2.2. Marco teórico.

2.2.1. Generalidades De La Mashua.

La mashua (*Tropaeolum tuberosum*), conocida también como “añu”, “isaño” o “cubio”, es un tubérculo andino de amplia tradición en la región, considerado el cuarto en importancia alimentaria después de la papa, la oca y el olluco. Su cultivo se desarrolla principalmente en los Andes peruanos, aunque también se ha extendido a otras zonas montañosas húmedas de Bolivia, Colombia y Ecuador. Esta especie se adapta a altitudes que oscilan entre los 2400 y 4300 metros sobre el nivel del mar, siendo más frecuente entre los 3000 y 3700 m.s.n.m., donde las temperaturas medias anuales se sitúan entre los 8 y 11 °C.

Una de sus principales ventajas agronómicas es su notable resistencia a plagas y enfermedades, lo que la convierte en un cultivo de bajo requerimiento fitosanitario (Chirinos et al., 2006). Desde el punto de vista nutricional, la mashua se caracteriza por poseer un elevado contenido de carbohidratos, aproximadamente 11 % en base fresca, y una concentración significativa de vitamina C (64 mg por cada 100 g). Además, destaca por la presencia de glucosinolatos, compuestos responsables de muchas de sus propiedades medicinales (Saenz et al., 2019).

No obstante, pese a sus beneficios agronómicos y nutricionales, la mashua enfrenta un proceso de pérdida progresiva de su diversidad genética. Este fenómeno se asocia a la adopción de nuevas costumbres alimentarias, la incorporación de tecnologías modernas en la agricultura y la preferencia por cultivos foráneos, lo que ha llevado a una menor valoración de los productos tradicionales. Generalmente, este tubérculo se cultiva en pequeñas parcelas intercaladas con otros cultivos andinos.

Cabe señalar que el sabor característico de la mashua, de notas picantes y terrosas, se debe a los isotiocianatos presentes en su composición. Sin embargo, dicho perfil organoléptico se modifica a través de la cocción, proceso que transforma su sabor en uno más dulce y agradable al paladar (Arteaga et al., 2022).

Figura 1
Mashua Negra



Fuente: <https://tumercadoperu.com>.

Clasificación taxonómica

La mashua, cuyo nombre científico es *Tropaeolum tuberosum*, pertenece al reino Plantae. Taxonómicamente se ubica dentro de la división Magnoliophyta, clase Magnoliopsida, orden Brassicales y familia Tropaeolaceae. Esta especie presenta adaptaciones morfológicas distintivas, como la presencia de rizomas que emergen durante las temporadas lluviosas en su entorno natural. Sus tallos son aéreos y pueden alcanzar longitudes considerables, mientras que los órganos subterráneos se desarrollan en forma de tubérculos turbinados, evidenciando nudos bien definidos.

Además, la planta presenta pedúnculos de tonalidad rojiza y flores solitarias, rasgos que la distinguen dentro de su género (Coloma et al., 2022)

Tabla 1

Clasificación taxonómica de la mashua (Tropaeolum tuberosum)

Clasificación Taxonómica para <i>Tropaeolum tuberosum</i>	
Reino	Vegetal
Clase	Angiospermas
Subclase	Dicotiledoneas
Orden	Geraniales
Familia	Tropaeolaceae
Genero	Tropaeolum

Especie	Tuberosum Ruiz y Pav.
Nombre Científico	<i>Tropaeolum tuberosum</i> .
Nombres comunes	Mashua, aña, cubios, navios, isaño

Fuente: Temoche et al. (2004)

Producción nacional

En comparación con cultivos de mayor escala como la papa, la mashua, junto con la oca y el olluco, es clasificada dentro del grupo de tubérculos andinos menores debido a su menor volumen de producción (Trivelli & Smith, 1997).

En el contexto peruano, la mashua se cultiva principalmente en regiones altoandinas como Cusco, Puno, Apurímac, Ayacucho, Junín, Huánuco, Huancaavelica y Cajamarca, las cuales en conjunto representan aproximadamente el 88% del total de la producción nacional. De acuerdo con datos del Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI, 2021), esta producción ha experimentado un crecimiento importante en los últimos años, alcanzando un estimado de 41 mil toneladas, lo que representa un incremento del 36% respecto al año 2015, cuando se registraban 30 mil toneladas anuales.

A pesar de su potencial agroalimentario, el desarrollo productivo de este cultivo enfrenta diversas limitaciones, particularmente por su condición de cultivo rústico y su localización en zonas con recursos limitados (Gonzáles et al., 2017). Estas limitaciones pueden agruparse en tres categorías principales:

- **Limitaciones socioeconómicas:** relacionadas con la débil estructura comercial, la baja demanda en el mercado, precios no competitivos y el escaso aprovechamiento de variedades dulces con mayor potencial de aceptación, frente a aquellas más picantes o amargas que no se comercializan regularmente.
- **Limitaciones bióticas:** vinculadas a la calidad deficiente del material de siembra y al manejo inadecuado de enfermedades que afectan el rendimiento del cultivo.

- **Limitaciones abióticas:** asociadas al deterioro progresivo de la fertilidad de los suelos, a la ocurrencia de fenómenos climáticos adversos como las heladas y sequías, y a las condiciones marginales del entorno agrícola.

No obstante, un rasgo destacable de la mashua es su gran capacidad de adaptación a nuevas zonas de cultivo, incluso en contextos ambientales desafiantes (Pastor et al., 2006). Este panorama demanda la implementación de políticas públicas orientadas al fortalecimiento de la producción, el desarrollo de canales de comercialización y la promoción del consumo tanto a nivel local como nacional e internacional.

Composición nutricional de la mashua

La mashua (*Tropaeolum tuberosum*) destaca por su perfil nutricional altamente beneficioso, ya que presenta una notable concentración de minerales esenciales como calcio, fósforo e hierro. Asimismo, en su composición se encuentran macronutrientes clave como proteínas, carbohidratos y fibra dietética, además de compuestos bioactivos como antocianinas, reconocidas por sus propiedades terapéuticas (Malpartida et al., 2022).

Particularmente, la variedad, conocida comúnmente como mashua negra, aporta entre 9,000 y 10,000 unidades antioxidantes, lo cual la convierte en un alimento funcional con potencial para contribuir a la salud cardiovascular y mejorar la circulación sanguínea. La proporción de proteínas presente puede alcanzar hasta un 15%, aunque este valor puede variar según el ecotipo cultivado.

Asimismo, la mashua es fuente natural de beta caroteno, un precursor de la vitamina A, y presenta una diversidad de minerales como potasio (K), fósforo (P), hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn) y cobre (Cu). Estos elementos, junto con el ácido ascórbico, refuerzan la capacidad antioxidante del tubérculo, proporcionando beneficios tanto nutricionales como preventivos en la dieta humana (Pillajo et al., 2019).

Tabla 2

Composición nutricional proximal de la mashua (Tropaeolum tuberosum) en 100 gramos de porción comestible.

Componentes	Contenido (g/ 100 g de muestra húmeda)	Contenido (g/ 100 g de muestra seca)
Proteína (g)	0.70	9.17
Grasa total (g)	0.10	-
Agua (g)	88.0	-
Carbohidratos totales (g)	9.80	75.4
Extracto etéreo (g)	-	4.61
Fibra cruda (g)	0.90	5.86
Ceniza (g)	0.50	4.81
Hierro (mg)	0.37	4.2
Calcio (mg)	-	6.0
Zinc (mg)	0.28	
Fosforo (mg)	29.0	320
Vitamina C (mg)	42.06	-
Niacina (mg)	0.82	-
Riboflavina (mg)	0.03	-
Carotenos (ER)	-	73.56*
Ácido ascórbico (mg)	-	77.37*
Tiamina (mg)	0.02	-
Vitamina A (mg)	12	-
Retinol (µm)	12.0	-

Fuente: Basado (Espin et al., 2001). * Datos expresados en Base Seca, muestra entera.

2.2.2. Usos De La Mashua:

En la alimentación tradicional andina, la mashua (*Tropaeolum tuberosum*) tiene un uso versátil. Los tubérculos son sometidos a exposición solar antes de ser cocinados, técnica que permite aumentar su concentración de azúcares naturales. Posteriormente, se integran en diversas preparaciones culinarias como sopas, postres y mermeladas. Por otro

lado, tanto los brotes como las flores de la planta son utilizados en ensaladas, pueden

consumirse cocidos o incluso conservados en vinagre como encurtidos (Grau et al., 2003). En las comunidades rurales de los Andes, es común su consumo en formas como sancochado, asada, o preparada como “thayacha”, una práctica ancestral que consiste en dejar los tubérculos expuestos a las heladas nocturnas para luego consumirlos al día siguiente con miel de caña, acentuando su sabor y textura (Grau et al., 2003).

Además de su valor nutricional, la mashua posee propiedades medicinales reconocidas en la medicina tradicional. Se emplea en infusión para aliviar síntomas relacionados con la próstata y en forma de cataplasmas elaboradas con el tubérculo molido para el tratamiento del reumatismo (Pillajo et al., 2019b). También se le atribuyen efectos anafrodisíacos, debido a su capacidad para reducir los niveles de testosterona. A nivel industrial, sus compuestos bioactivos han sido estudiados como base para el desarrollo de antibióticos efectivos contra patógenos como: *Candida albicans*, *Escherichia coli* y *Staphylococcus spp.* (Arteaga et al., 2022).

➤ **Propiedades anticancerígenas**

El alto contenido de isotiocianatos en la mashua es responsable de su potencial terapéutico en la medicina preventiva y complementaria. Estas moléculas poseen actividades antibióticas, insecticidas, nematicidas, diuréticas y, especialmente, anticancerígenas (Saenz et al., 2019). Investigaciones recientes han evidenciado que los isotiocianatos pueden inducir apoptosis o muerte celular programada en diversas líneas celulares cancerosas, además de inhibir la proliferación de células malignas. Este efecto se logra mediante la interrupción de procesos enzimáticos involucrados en la carcinogénesis química, es decir, en la transformación de células sanas en cancerosas (Hernández et al., 2022; Dilas, 2020).

➤ **Propiedades antidiabéticas**

En cuanto a su efecto hipoglucemiante, se ha demostrado que la mashua posee un alto contenido de compuestos fenólicos, destacando las antocianinas, que actúan como inhibidores naturales de enzimas digestivas responsables de la degradación de carbohidratos. Esta acción se asemeja al mecanismo de fármacos como la acarbosa, ampliamente utilizada en el tratamiento de la diabetes mellitus tipo 2 (Garz, 2008). La capacidad inhibitoria sobre las carbohidrolasas digestivas, atribuida a la concentración y

perfil fenólico de la mashua, sugiere su utilidad como alimento funcional con potencial antidiabético.

2.2.3. *Procesamiento Agroindustrial De Tubérculos*

Actualmente, muchas políticas nacionales de desarrollo están siendo reformuladas con el fin de fomentar una mayor producción y diversificación en la oferta de alimentos, como estrategia clave para combatir el hambre y la malnutrición. En este marco, una de las acciones prioritarias es promover el uso y aprovechamiento de cultivos autóctonos, incentivando su cultivo, transformación y consumo mediante tecnologías accesibles y sostenibles. Esta iniciativa no solo busca mejorar la seguridad alimentaria, sino también impulsar la diversidad en la dieta y elevar la calidad de vida de las poblaciones, especialmente en zonas rurales (Hernández et al., 2022).

En ese sentido, la diversidad en la producción agrícola es reconocida como un factor crucial para el desarrollo de sistemas alimentarios más resilientes. Las autoridades responsables de la política agroalimentaria están prestando una atención creciente a los cultivos nativos que puedan abastecer la demanda del mercado interno, especialmente mediante productos innovadores que respondan al estilo de vida urbano, como los alimentos de preparación rápida y prolongada vida útil.

Los tubérculos andinos, entre ellos la mashua, representan una alternativa valiosa en este proceso de diversificación productiva. Su potencial agroindustrial radica en sus propiedades agronómicas favorables, su riqueza bioquímica y su versatilidad culinaria. Estas características hacen viable su transformación en productos elaborados con procesos simples y de bajo costo, que a su vez pueden generar valor agregado, mejorar la economía local y dinamizar las cadenas productivas rurales (Hernández et al., 2022).

Uno de los sectores más desarrollados dentro de la agroindustria de alimentos es el de las hojuelas fritas, donde existe una alta competitividad e innovación. En el Perú, la creciente demanda de snacks ha estimulado el desarrollo de complejos industriales dedicados a transformar materias primas locales como la papa, el camote, la yuca y otros tubérculos en productos altamente aceptados por el consumidor. Este contexto abre

oportunidades para incluir a la mashua en dicha industria, mediante la elaboración de hojuelas fritas que aprovechen sus propiedades funcionales y nutricionales, contribuyendo así a su valorización comercial y su incorporación sostenible en la alimentación moderna.

2.2.4. Generalidades De Las Hojuelas.

Las hojuelas representan una forma no convencional de consumo de frutas y tubérculos, con un mercado creciente que demanda materias primas con propiedades específicas que aseguren un adecuado comportamiento durante la fritura. En estos productos, entre el 35 y 50% de su peso corresponde a grasa, por lo que la selección de aceites y grasas utilizados en su elaboración resulta crucial. Estos deben presentar alta estabilidad térmica y puntos de fusión bajos, con el fin de reducir la sensación grasosa en boca y mejorar la aceptabilidad sensorial del producto final (Castellanos et al., 2012).

Durante el proceso de fritura, los aceites son sometidos a temperaturas elevadas, lo que desencadena simultáneamente reacciones químicas como la hidrólisis, oxidación y polimerización, que pueden modificar tanto la calidad del aceite como las propiedades del alimento. Pese a ello, la fritura es ampliamente utilizada debido a que mejora características como el color, el sabor y la textura de los alimentos, generando productos más apetecibles y con alta aceptación en el mercado (García et al., 2016; Da Silva & Moreira, 2008).

Este proceso, de naturaleza físico-química compleja, consiste en sumergir el alimento en un medio lipídico a alta temperatura. A diferencia del agua, que alcanza su punto de ebullición a 100 °C y cambia de fase rápidamente, los aceites permiten alcanzar temperaturas más elevadas, necesarias para generar una capa superficial crujiente que impida la pérdida rápida de humedad interna. Así, se obtienen productos con buena conservación de sabor, estructura y valor nutricional (Coronel, 2014).

La calidad del producto final depende en gran medida de las características de la materia prima. Parámetros como el contenido de materia seca, la concentración de sólidos solubles, el nivel de acidez, la actividad acuosa y la textura son indicadores clave que deben ser evaluados previamente para asegurar un resultado satisfactorio. En este contexto, resulta indispensable seleccionar variedades de tubérculos que reúnan estas propiedades,

lo cual también permitirá optimizar la eficiencia del proceso y la calidad del snack resultante.

Elaboración de hojuelas fritas.

El objetivo principal del proceso de fritura en raíces, tubérculos y frutas es alcanzar una cocción adecuada del interior del alimento, logrando la gelatinización del almidón presente en su estructura. Este procedimiento puede considerarse una forma de secado, ya que implica la migración de agua desde el centro hacia la superficie, permitiendo su reemplazo por aceite. A diferencia de otros tratamientos térmicos, la fritura se caracteriza por su brevedad, derivada de la marcada diferencia de temperatura entre el medio de cocción (aceite) y el producto. Además, variables como el grosor del alimento influyen significativamente en la eficiencia del proceso y en la calidad del producto final. En este sentido, el aceite utilizado no solo actúa como medio de cocción, sino que también se convierte en un componente importante del alimento, llegando a representar entre un 10 y un 40 % del peso del producto terminado, aportando crocancia y fragilidad a su superficie (Acosta et al., 2019).

Para asegurar la calidad de los productos fritos, es fundamental que la materia prima cuente con un manejo agronómico y postcosecha adecuados. Aspectos como el grado óptimo de madurez, la ausencia de daños mecánicos y una correcta manipulación posterior a la cosecha son condiciones imprescindibles para su uso industrial como insumo en frituras (Madrid & Álvarez, 2021).

En la industria, las grasas vegetales son comúnmente empleadas para el proceso de fritura, destacándose la oleína como una de las más recomendadas. Esta fracción líquida extraída del aceite de palma ofrece ventajas significativas frente a la manteca y otros aceites refinados, como una mayor resistencia a la oxidación, mejor capacidad de escurrimiento y posibilidad de reutilización sin afectar significativamente la calidad del producto, lo cual contribuye a una reducción en los costos de producción (Pillajo et al., 2019).

La evaluación y caracterización de los cambios físicos y químicos que ocurren durante las distintas etapas del procesamiento y almacenamiento de las hojuelas permite un mayor control del sistema productivo, favoreciendo su optimización. Este tipo de análisis resulta crucial en la industria de snacks, ya que no solo permite incrementar el valor agregado de materias primas de origen nacional, sino también desarrollar productos

que, mediante formulaciones mejoradas, puedan ofrecer beneficios a la salud del consumidor.

Durante la elaboración y conservación de las hojuelas fritas, las condiciones de tiempo y presión influyen en la aparición de cambios químicos significativos, los cuales inciden directamente en el perfil nutricional del alimento. Estas transformaciones son determinantes para establecer la aceptabilidad sensorial del producto, lo cual representa un aspecto clave para su posicionamiento en el mercado (Madrid & Álvarez, 2021).

2.2.5. Análisis Físicoquímico De Las Hojuelas Fritas.

Los principales factores de calidad asociados a las hojuelas fritas que influyen en la preferencia del consumidor son la apariencia, la combinación de sabor y aromas, la textura y el valor nutricional. Estas características resultan especialmente relevantes en alimentos con cualidades crocantes, como las hojuelas fritas.

El aspecto visual es uno de los primeros atributos que el consumidor evalúa. Asimismo, la combinación de sabores y aromas juega un papel fundamental en la percepción global del producto. La textura, especialmente la crujencia, es un factor clave que determina la aceptabilidad de las hojuelas por parte del consumidor. Finalmente, el valor nutricional del producto también influye en las preferencias, sobre todo cuando los consumidores buscan opciones más saludables (Crosa et al., 2014).

Entre los parámetros que influyen en la calidad de las hojuelas fritas, destacan las propiedades físicoquímicas evaluadas en esta investigación:

➤ Textura

La textura, según Matz (1962), se define como "la experiencia compleja que se deriva de las sensaciones de la piel de la boca, después de la ingestión de alimentos, y está relacionada con la densidad, viscosidad, superficie, tensión y otras propiedades físicas del material que constituye la muestra". Esta propiedad abarca características mecánicas, acústicas y estructurales percibidas como atributos físicos distintivos de los alimentos.

Depende de la composición y disposición de los elementos que conforman el alimento,

y puede evaluarse mediante métodos químicos, visuales, estructurales e instrumentales, como los análisis acústicos y mecánicos (Anton et al., 2007). En productos fritos como las hojuelas de mashua negra, la crujencia es una propiedad crítica, asociada al ruido al masticar y a la fractura del alimento, que puede ser frágil o quebradiza (Aguilera & Gloria-Hernández, 2000; Bourne, 2002). Estos aspectos influyen en la percepción de frescura y calidad, lo que resalta la importancia de realizar un análisis instrumental que brinde datos objetivos y reproducibles (Guerrero et al., 2009).

Atributo sensorial clave: La textura crujiente es altamente valorada por los consumidores. Su pérdida puede afectar negativamente la aceptación del producto.

Control de procesos: La medición de la textura permite controlar el proceso de fritura y almacenamiento. Factores como la humedad, la temperatura y el tiempo influyen directamente en la textura final (Acosta et al., 2019).

Para su medición se emplean pruebas sensoriales e instrumentales, como el test de ruptura, eficaz para detectar productos crocantes, los cuales se fracturan a bajas fuerzas y presentan múltiples eventos de fractura distinguibles.

➤ **Acidez titulable**

La acidez es un indicador de frescura y estabilidad del producto. Una acidez elevada puede deberse a la presencia de ácidos grasos libres, generados por la degradación de lípidos, lo que impacta negativamente el olor y sabor, e indica posible rancidez o contaminación.

Según la Norma Técnica Peruana NTP 900.058 (2019), el límite máximo de acidez titulable permitido en hojuelas fritas es de 0.3% del ácido orgánico predominante.

La calidad de la mashua está influenciada por su alto contenido de glucosinolatos, los cuales, al procesarse, pueden convertirse en isotiocianatos por acción de la enzima mirosinasa. Estos compuestos generan sabores indeseables y potencialmente tóxicos. Los tratamientos térmicos como la fritura buscan inactivar la mirosinasa y reducir así la formación de isotiocianatos (Espin et al., 2014).

La acidez titulable se relaciona directamente con la concentración de estos antinutrientes: a mayor acidez, mayor presencia de isotiocianatos (Rincón, 2014).

Otros parámetros fisicoquímicos relevantes

➤ **Contenido de materia seca**

Determina el rendimiento del producto terminado. Un contenido alto reduce la absorción de aceite, mejora la textura y aumenta el rendimiento. El rango ideal es 23-25%. Un contenido excesivo puede dar lugar a texturas duras y astillosas; uno muy bajo produce deformaciones en las hojuelas (Moreno et al., 2015).

➤ **Azúcares reductores**

La glucosa y fructosa intervienen en la formación del color y sabor mediante la reacción de Maillard. Un contenido alto genera color marrón oscuro y sabor amargo (Moreno et al., 2015; Alvis Celis, 2020).

Los niveles aceptables deben ser menores a 0,03% para hojuelas ("chips") y 0,04% para papas en tiras, evitando así el "marronamiento" (Manzoor et al., 2022).

➤ **Cenizas**

El contenido de cenizas y proteínas disminuye tras tratamientos térmicos debido a la solubilización de estos compuestos (Bradbury et al., 1988).

➤ **Almidón**

Está directamente relacionado con el contenido de materia seca (Moreno et al., 2015).

➤ **Índice de peróxido**

Permite predecir la vida útil de las hojuelas. Un valor elevado indica oxidación de lípidos (Mathias et al., 2014).

➤ **Color**

Resultado de la caramelización de azúcares y la reacción de Maillard durante la fritura (Mathias et al., 2014).

➤ **Aroma**

Relacionado con el índice de peróxido. En etapas iniciales de la oxidación de lípidos, se producen peróxidos sin señales sensoriales; su descomposición genera compuestos

volátiles responsables de la rancidez oxidativa (Ramos et al., 2001).

2.2.6. Fritura Al Vacío.

La fritura se entiende como una técnica de cocción y deshidratación que consiste en sumergir los alimentos en aceite caliente, a temperaturas que oscilan entre 130 y 190 °C, superando el punto de ebullición del agua (Moreira, 2005). Esta práctica tiene sus raíces históricas en la región mediterránea, donde la disponibilidad del aceite de oliva favoreció su desarrollo y difusión (Suatema Hurtado, 2011).

En años recientes, se ha profundizado en la comprensión de cómo diversos factores, tales como el tipo de aceite, la naturaleza del alimento y el diseño de la freidora, influyen directamente en las transformaciones físicas y químicas que se producen durante el proceso de fritura (Badui, 2006).

En la actualidad, la fritura por inmersión se mantiene como uno de los métodos de cocción más empleados a nivel global. Su popularidad se debe no solo a su capacidad para cocinar los alimentos, sino también a su impacto positivo sobre atributos organolépticos como el aroma, la textura y el sabor, lo que mejora significativamente la aceptabilidad del producto final. Además, el calor aplicado durante el proceso contribuye a la eliminación de microorganismos y enzimas, al tiempo que reduce la actividad del agua, especialmente cuando se procesan tubérculos en forma de rodajas delgadas (Dobarganes, 2011).

Dentro de las tecnologías emergentes de fritura, la fritura al vacío ha surgido como una alternativa innovadora. Esta modalidad se caracteriza por operar en condiciones de presión reducida y a temperaturas más bajas que las de la fritura convencional, lo que no solo mejora la calidad del alimento final, sino que también conserva mejor las propiedades del aceite empleado. Manzoor et al. (2022) señalan que la fritura al vacío favorece una menor absorción de aceite, así como una mejor conservación de los nutrientes.

La menor temperatura de procesamiento y la atmósfera libre de oxígeno contribuyen a prevenir reacciones de isomerización y degradación de ácidos grasos

poliinsaturados (PUFA), lo que permite mantener la estabilidad oxidativa del aceite. A su vez, estas condiciones ayudan a preservar componentes nutricionales sensibles, tales como pigmentos y compuestos volátiles responsables del sabor, resultando en productos más saludables, con mejor apariencia y mayor vida útil (Coronel, 2014; García et al., 2016).

En el caso específico de la fritura al vacío de la mashua, se vuelve fundamental regular cuidadosamente parámetros como la temperatura, el tiempo de exposición y el tipo de aceite, con el fin de preservar la integridad nutricional del producto. De acuerdo con Pérez et al. (2015), un rango de temperatura entre 110 °C y 130 °C permite alcanzar un equilibrio óptimo entre cocción eficiente y conservación de lípidos, lo que repercute favorablemente en la calidad del alimento final, disminuyendo el contenido graso y mejorando su textura.

Cambios nutricionales en la mashua sometida a fritura al vacío

Durante la fritura al vacío, es esencial mantener un estricto control sobre variables como la temperatura de operación, la duración del proceso y el tipo de aceite utilizado. Además, el uso de técnicas complementarias como la impregnación al vacío puede contribuir a mejorar la retención de nutrientes sensibles al calor, ampliando el valor nutricional del producto procesado.

Calidad de productos obtenidos mediante fritura al vacío

Diversos estudios han enfocado sus esfuerzos en definir las condiciones óptimas de la fritura al vacío, buscando obtener productos con características sensoriales superiores, asegurar la calidad del aceite reutilizado y minimizar la cantidad de grasa residual. En este contexto, la evaluación de parámetros como la acidez y la textura, en particular la dureza, la fracturabilidad y la cohesividad, se torna clave para asegurar la calidad global del alimento y satisfacer las expectativas del consumidor. Factores como la temperatura del aceite, el nivel de presión en la cámara de vacío y el tiempo de exposición constituyen variables críticas del proceso. También se ha documentado la influencia de diversos tratamientos previos y posteriores sobre la calidad final del producto (Da Silva & Moreira, 2008).

Impacto del tratamiento térmico

El procesamiento térmico, al implicar la exposición de los alimentos a temperaturas superiores a las ambientales, representa una de las principales causas de alteraciones en su valor nutricional. Aunque estas condiciones suelen aplicarse con el objetivo de mejorar atributos sensoriales como el sabor y la textura, con frecuencia pueden generar pérdidas significativas de nutrientes esenciales (Pokorny et al., 2005).

Badui (2006) indica que uno de los mecanismos responsables de la pérdida de compuestos bioactivos, como los polifenoles, es la lixiviación durante la cocción. No obstante, también es posible que el tratamiento térmico induzca un aumento en la concentración de ciertos compuestos funcionales, especialmente como resultado de reacciones de pardeamiento no enzimático, como la reacción de Maillard, la cual puede generar productos con propiedades antioxidantes.

2.2.7. Parámetros que influyen en la fritura al vacío

- ✓ **El proceso:** Durante la fritura, el secado rápido es esencial para definir la textura y estructura final del producto. Moreira (2005) establece que la pérdida de agua permite una sustancial absorción de aceite por parte del alimento. A temperaturas bajas, la absorción de aceite en las primeras etapas de la fritura es menor; sin embargo, a temperaturas elevadas, la formación de una corteza superficial es más rápida, lo que favorece condiciones para una mayor absorción de grasa. En este sentido, se ha observado que la aplicación de tratamientos previos al proceso de fritura, como la deshidratación por microondas o aire caliente, contribuye a reducir la humedad del alimento, disminuyendo así el contenido final de aceite. Asimismo, ciertos tratamientos posteriores, como el secado con aire caliente, también han demostrado eficacia en reducir la absorción de grasa (Brennan, 2006).
- ✓ **Tiempo de fritura:** El tiempo de fritura es un factor determinante en la calidad final del producto. Según Moreira (2005), a medida que se incrementa el tiempo de exposición al aceite caliente, disminuye el contenido de humedad, aumenta la absorción de aceite y se incrementa el espesor de la corteza. Estos cambios provocan una textura más crujiente y características sensoriales que suelen ser

preferidas por los consumidores. Sin embargo, tiempos excesivos pueden provocar degradación de nutrientes y oscurecimiento indeseado del producto.

El tiempo de fritura es un importante factor en el procesamiento de productos fritos; El contenido de aceite se incrementa, mientras que la humedad disminuye, el espesor de la corteza se incrementa; y el producto es más crujiente con el tiempo de freído (Moreira., 2005).

- ✓ **La influencia del tipo y calidad del aceite:** La calidad del aceite es fundamental para lograr un producto frito de alta calidad. Castellanos et al. (2012) señalan que la apariencia de la superficie y la textura del alimento dependen, en gran medida, de la estabilidad y composición del aceite utilizado. Los criterios de selección incluyen: alta estabilidad térmica, facilidad de escurrido, aroma neutro, baja formación de espuma y gomas, buena estabilidad oxidativa durante el almacenamiento, y conservación del aroma en el producto final (Coronel, 2014). No obstante, durante el proceso de fritura, el aceite se ve expuesto a altas temperaturas, presencia de oxígeno y humedad, factores que aceleran su deterioro y promueven la formación de compuestos indeseables como los ácidos grasos libres, afectando negativamente su viscosidad, color y sabor (Suaterna, 2011).
- ✓ **El producto:** Las características propias del alimento a freír, como su composición química, estructura celular, grosor, contenido inicial de humedad y tratamientos previos, influyen directamente en la calidad del producto final. Según Alvis Celis (2020), una corteza gruesa y baja conductividad térmica crean una barrera que limita la transferencia de calor desde la superficie hacia el centro del alimento, afectando la eficiencia del proceso y las propiedades organolépticas del producto.
- ✓ **El diseño del freidor:** El diseño del equipo de fritura también es un aspecto clave. Badui (2006) sugiere que los freidores deben ser fabricados de acero inoxidable, presentar un diseño hermético para minimizar la exposición a la luz y al oxígeno, y tener una proporción adecuada entre superficie y volumen para mejorar la eficiencia del proceso. La limpieza frecuente del equipo es indispensable, ya que la

acumulación de polímeros producto de la degradación del aceite puede acelerar su oxidación y deteriorar tanto el aceite como el alimento.

2.2.8. Modificaciones Químicas Producidas Por El Procesamiento De Fritura Al Vacío

El color, el sabor y el aroma son atributos sensoriales altamente dependientes del tiempo y la temperatura del tratamiento térmico, de manera similar a lo que ocurre con las vitaminas. Por ello, los métodos de cocción deben orientarse a preservar dichas características. Durante la cocción, se liberan sustancias volátiles presentes en las estructuras celulares de los alimentos, las cuales pueden disolverse en medios de cocción húmedos (Delgado, 2004).

La técnica de cocción empleada influye notablemente en el sabor del alimento, pudiendo intensificarlo o atenuarlo. Compuestos solubles en agua, como aminoácidos y sales minerales, tienden a migrar ya sea hacia el interior o hacia el exterior del alimento bajo el efecto del calor (Delgado, 2004).

En cuanto a la textura, la cocción en medios húmedos facilita la migración de la humedad y el ablandamiento de los tejidos. En vegetales, este proceso está relacionado con la hidrólisis de los componentes de la pared celular y con el hinchamiento que resulta de la expansión de gases y los cambios en la capacidad de retención de agua (Casp & April, 2003).

Para evaluar la acidez titulable en alimentos procesados, como las hojuelas fritas, se emplea una titulación ácido-base, utilizando generalmente hidróxido de sodio (NaOH) 0.1 N, con el fin de determinar el contenido de ácidos orgánicos presentes en el producto final. Este procedimiento resulta esencial en la industria alimentaria, ya que permite monitorear la acidez y posibles procesos fermentativos, los cuales influyen en el sabor, la estabilidad y la conservación del alimento. En el caso específico de la mashua (*Tropaeolum tuberosum*), los principales ácidos presentes son el ácido oxálico y el ácido cítrico, los cuales contribuyen significativamente al perfil ácido del producto (Nielsen et al., 2017).

Durante el proceso de fritura, los aceites sufren transformaciones químicas que pueden afectar negativamente la calidad del producto final. Estos cambios incluyen

oxidación, hidrólisis y polimerización, procesos que alteran las propiedades físico-químicas del aceite y, por ende, del alimento. La Tabla 3 presenta un resumen de estas modificaciones y sus implicancias en el producto final.

Tabla 3

Cambios que se producen en el aceite por la fritura.

Cambios en los aceites durante la fritura	
Hidrolisis	Descomposición de los triglicéridos en diglicéridos, monoglicéridos y ácidos grasos libres. Provocan humo, olores y sabores indeseables.
Autooxidación	Acción del oxígeno sobre las insaturaciones de los ácidos grasos. Genera sustancias polimerizadas, moléculas volátiles de bajo peso molecular que producen olores y sabores desagradables.
Polimerización	Los radicales libres formados de las reacciones anteriores se combinan y dan lugar a polímeros. Son sustancias tóxicas y presenta efectos cancerígenos.

Fuente: (Achia & Delgado, 2004; Casp & Abril, 2003)

2.3. Definición De Términos

- ✓ **Ácido oxálico:** Compuesto orgánico predominante en la mashua, cuya presencia influye significativamente en propiedades fisicoquímicas del alimento, tales como el sabor, el pH y la estabilidad durante las etapas de procesamiento y almacenamiento. Por ello, resulta pertinente analizar cómo variables del proceso como la temperatura y la presión ejercen efectos sobre su concentración, constituyendo un aspecto clave en esta investigación.
- ✓ **Acidez titulable total:** Se determina siguiendo el método oficial de la AOAC, permitiendo cuantificar la proporción de ácidos orgánicos presentes en una muestra. Este valor se expresa como porcentaje de ácido oxálico equivalente por cada 100 gramos de producto, siendo un parámetro crucial para evaluar la calidad y estabilidad del alimento.

- ✓ **Crujencia:** Propiedad sensorial de gran relevancia en la percepción de calidad de los alimentos, asociada a una experiencia de frescura. Esta característica es resultado de la combinación de estímulos mecánicos y auditivos generados durante la masticación.
- ✓ **Fritura al vacío:** Tecnología de cocción que combina inmersión en aceite caliente con condiciones de presión reducida, lo que permite alcanzar temperaturas superiores al punto de ebullición del agua. Este proceso favorece la deshidratación controlada y mejora las características sensoriales y nutricionales del producto final.
- ✓ **Hojuela:** Producto final obtenido por fritura al vacío de la materia prima (mashua).
- ✓ **Mashua:** Tubérculo originario de los Andes, seleccionado en este estudio como materia prima por su valor nutricional, contenido de compuestos bioactivos y potencial de transformación en productos innovadores como las hojuelas.
- ✓ **Presión:** Se define como la fuerza ejercida por la atmósfera sobre los cuerpos que se encuentran en ella. Su unidad de medida en el contexto del procesamiento de alimentos es el bar, siendo una variable fundamental en operaciones como la fritura al vacío.
- ✓ **Temperatura:** La temperatura representa el nivel de energía térmica o grado de calor de un sistema, expresada en grados Celsius (°C). Es una variable crítica en los procesos térmicos, pues influye directamente en las reacciones fisicoquímicas y sensoriales del alimento.
- ✓ **Textura:** La textura comprende un conjunto de propiedades físicas que se perciben mediante el tacto o la masticación, tales como dureza, cohesividad y fracturabilidad. Su evaluación instrumental es esencial para estandarizar y optimizar las condiciones de fritura, con el objetivo de alcanzar las cualidades deseadas en el producto final.

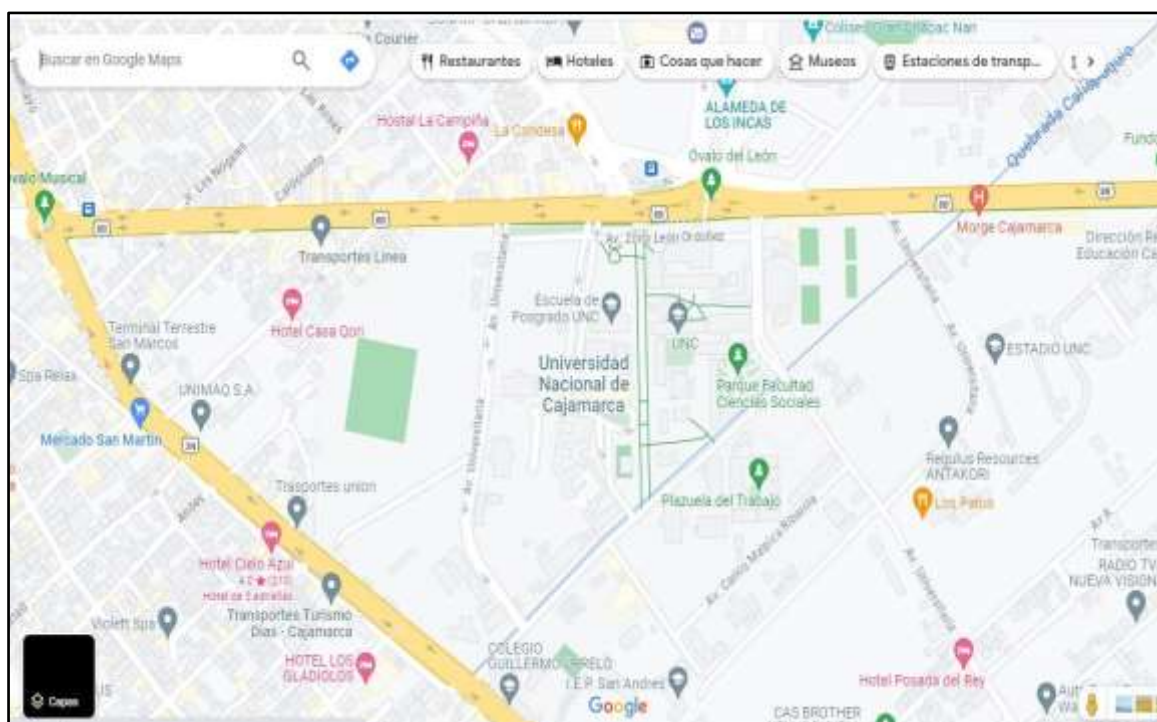
CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS.

3.1. Ubicación

La presente investigación se realizó en las instalaciones de la Universidad Nacional de Cajamarca cito en la Av. Atahualpa 1050 Carretera Baños del Inca, en el Edificio 2H, Escuela Académico Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias, específicamente en el Laboratorio de Análisis de Alimentos (2H-301).

Figura 2

Mapa de ubicación del lugar de desarrollo de la investigación.



Fuente: Google maps.

3.2. Materiales

3.2.1. *Materiales e Insumos*

- Mashua (*Tropaeolum tuberosum*).
- Aceite vegetal.

3.2.2. *Equipos Y Materiales De Laboratorio*

a) Equipos y materiales para el procesamiento:

- Freidora al vacío
- Balanza analítica digital.

- Mesa de acero inoxidable.
- Utensilios: tinas, baldes, cuchillos.
- Rallador manual graduado a una abertura de 2. mm.

b) Equipos y materiales para el análisis:

- Texturómetro de brookfield: Con los accesorios para medir dureza, Cruencia, resistencia a la ruptura y adherencia.
- Material de vidrio (Bureta, fiolas, matraces, vaso de precipitado, pipetas, tubos de ensayo, etc.).
- Mortero.
- Ph-metro

c) Reactivos:

- Agua de mesa embotellada.

d) Otros materiales

- Platos descartables.
- Papel toalla.
- Bolsas de polipropileno.

3.3. Metodología

3.3.1. Tipo De Investigación

a. De acuerdo a la orientación: Esta investigación se clasifica como aplicada, dado que su propósito es ofrecer soluciones concretas a un problema específico dentro del sector de la industria alimentaria, enfocado en el aprovechamiento de la mashua negra (*Tropaeolum tuberosum*) a través de tecnologías de procesamiento innovadoras. Hernández, Fernández y Baptista (2014) señalan que la investigación aplicada se distingue por la utilización de conocimientos científicos orientados a resolver necesidades prácticas, cuyos resultados pueden implementarse en un corto plazo. En este contexto, el estudio evalúa cómo la presión y la temperatura durante el proceso de fritura al vacío afectan las propiedades

fisicoquímicas del producto final, contribuyendo así a optimizar procesos en la industria alimentaria.

b. De acuerdo a la técnica de contrastación: El presente trabajo corresponde a una investigación experimental, ya que los datos se obtienen mediante la observación de fenómenos bajo condiciones controladas por el investigador, manipulando variables para evaluar su impacto en otras. De acuerdo con Kerlinger y Lee (2002), la investigación experimental implica la gestión controlada de variables independientes con el objetivo de examinar sus efectos sobre variables dependientes en situaciones definidas. Este enfoque es fundamental para establecer relaciones causales y comprender las modificaciones en las propiedades fisicoquímicas de las hojuelas de mashua negra.

3.3.2. Variables:

3.3.2.1. Independientes:

- ✓ Temperatura (°C.): 110, 120 y 130 °C.
- ✓ Presión. (bar.): 0.20, 0.30 y 0.50 bar.

3.3.2.2. Dependientes:

- ✓ Textura: Evaluada mediante análisis instrumental, considerando los parámetros de dureza, fracturabilidad y cohesividad.
- ✓ Acidez: Determinada por titulación volumétrica, expresada en porcentaje de ácido oxálico.

3.3.3. Diseño Experimental:

El presente estudio se llevó a cabo bajo un enfoque experimental utilizando un diseño factorial 3^2 , el cual consideró dos variables independientes: la presión y la temperatura durante la fritura al vacío, cada una evaluada en tres niveles. Este tipo de diseño permite no solo examinar el efecto individual de cada factor sobre las variables dependientes, sino también identificar posibles interacciones entre ellos que puedan influir en las características del producto final.

La estructura experimental se elaboró siguiendo las recomendaciones metodológicas de Montgomery (2017) para experimentos factoriales, con el objetivo de encontrar combinaciones óptimas de parámetros operativos al analizar cómo múltiples factores, actuando de manera simultánea, afectan las propiedades fisicoquímicas del alimento procesado.

Se empleó un Diseño Completamente al Azar (DCA), asignando de forma aleatoria las unidades experimentales a cada tratamiento, lo que permitió minimizar la influencia de sesgos externos. Cada tratamiento fue replicado tres veces, sumando un total de 9 combinaciones factoriales (3×3), lo que resultó en 27 unidades experimentales.

Factor A: Presión de fritura (bar)

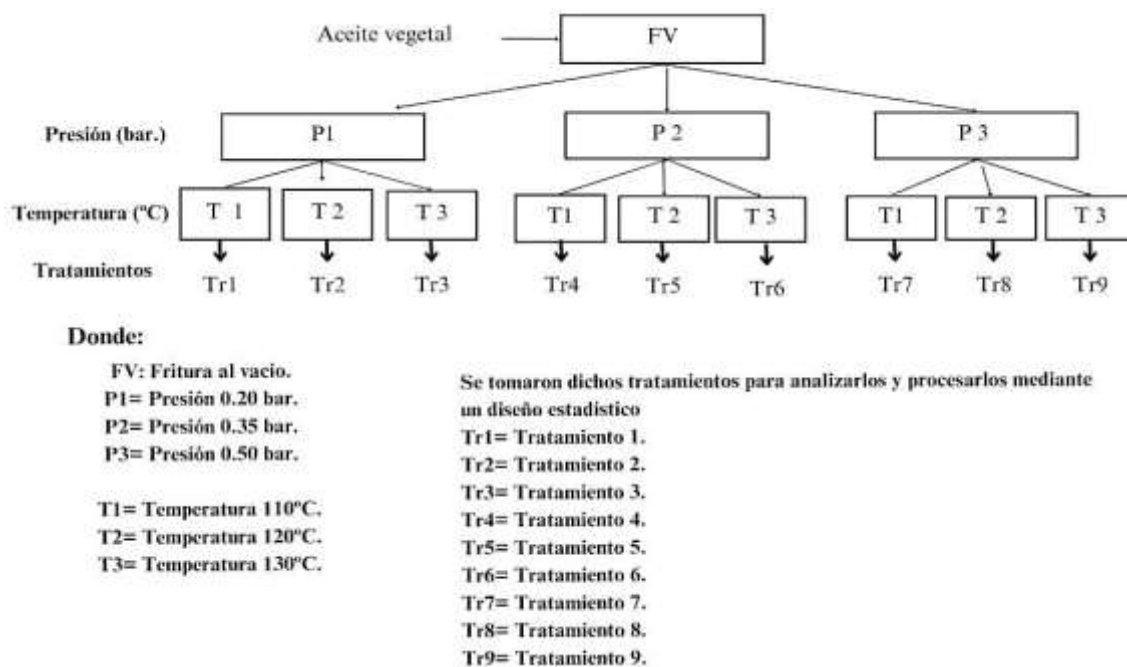
- A1 = 0.20
- A2 = 0.35
- A3 = 0.50

• **Factor B: Temperatura de fritura (°C)**

- B1 = 110
- B2 = 120
- B3 = 130

En la Figura 3 se muestra el esquema del arreglo experimental utilizado, donde se combinan los tres niveles de presión con los tres niveles de temperatura para conformar los nueve tratamientos (Tr1 al Tr9). Cada tratamiento representa una combinación específica de presión y temperatura bajo condiciones de fritura al vacío con aceite vegetal. Esta representación gráfica permite visualizar claramente la disposición y codificación de los tratamientos considerados en el estudio.

Figura 3
Diseño experimental, arreglo de los tratamientos.



A continuación, en la Tabla 4 se detallan los tratamientos aplicados, precisando los niveles específicos de presión y temperatura correspondientes a cada uno. Esta información complementa el esquema anterior y resume las condiciones experimentales evaluadas.

Tabla 4
Diseño experimental propuesto

		Variables	
		Presión	Temperatura
Mashua	Tratamientos	(bar)	(°C)
1	Tr1(P1, T1)		T1:110
	Tr2(P1, T2)	P1:0.20	T2:120
	Tr3(P1, T3)		T3:130
	Tr4(P2, T1)		T1:110
	Tr5(P2, T2)	P2:0.35	T2:120

Tr6 (P2, T3)

T3:130

Tr7(P3, T1)		T1:110
Tr8(P3, T2)	P3:0.50	T2:120
Tr9(P3, T3)		T3:130

3.3.4. *Modelo Estadístico:*

Con el propósito de optimizar el proceso de fritura al vacío aplicado a las hojuelas elaboradas a partir de mashua negra, se implementó un diseño factorial 3×3, considerando como variables independientes la temperatura y la presión del proceso. Ambas variables fueron evaluadas en tres niveles distintos, lo que permitió establecer un total de nueve tratamientos experimentales.

- **Temperatura de fritura (°C):** 110, 120 y 130
- **Presión de fritura (bar):** 0.20, 0.35 y 0.50

El diseño factorial empleado facilitó el análisis tanto de los efectos independientes de la temperatura y presión como de la interacción conjunta entre ambos factores sobre las propiedades fisicoquímicas del producto final. Cada uno de los tratamientos fue ejecutado en tres repeticiones bajo condiciones controladas, empleando un equipo de fritura al vacío con sistema automático de regulación de presión y temperatura.

Los resultados obtenidos fueron sometidos a un Análisis de Varianza (ANOVA), con el propósito de evaluar la significancia estadística de los efectos principales y de sus interacciones sobre las variables dependientes: textura y acidez titulable. Este análisis se llevó a cabo considerando un nivel de confianza del 95 % ($\alpha = 0.05$), lo cual permitió identificar diferencias significativas entre los distintos tratamientos.

La Tabla 5 presenta la matriz experimental, donde se detallan las combinaciones de niveles de presión y temperatura evaluadas, así como el número de repeticiones correspondientes. Esta tabla resume la estructura del diseño implementado y proporciona una visión general de la replicación utilizada en el estudio.

Tabla 5
Matriz de tratamiento y combinación de niveles

Tratamientos	Combinación de Niveles	Repeticiones		
		N1	N2	N3
Tr1	P1 T1	-	-	-
Tr2	P1 T2	-	-	-
Tr3	P1 T3	-	-	-
Tr4	P2 T1	-	-	-
Tr5	P2 T2	-	-	-
Tr6	P2 T3	-	-	-
Tr7	P3 T1	-	-	-
Tr8	P3 T2	-	-	-
Tr9	P3 T3	-	-	-

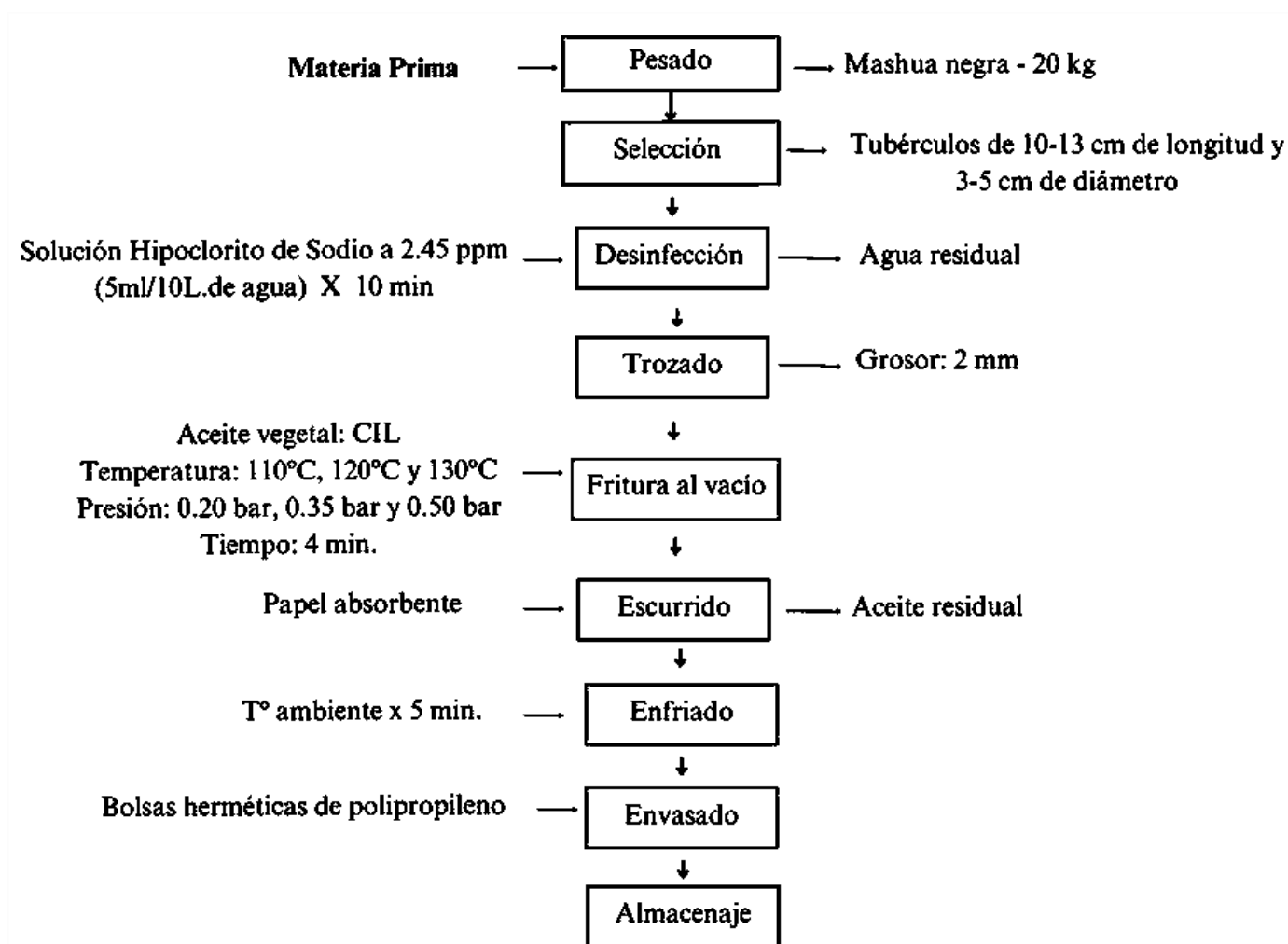
3.3.5. *Proceso Productivo De Hojuelas De Mashua Negra Por Fritura Al Vacío.*

En la figura 4, se presenta el flujograma del proceso productivo de hojuelas de mashua negra (*Tropaeolum tuberosum*) mediante fritura al vacío. Este esquema resume las operaciones realizadas desde la preparación de la materia prima hasta el envasado final.

El desarrollo de este proceso productivo tiene como finalidad principal evaluar el efecto de la presión y la temperatura durante la fritura al vacío sobre las características fisicoquímicas del producto, específicamente la acidez titulable y la textura. La estandarización de cada etapa del proceso garantiza condiciones controladas que permitieron obtener resultados fiables y representativos.

Figura 4

Flujograma de proceso de producción de hojuelas de mashua.



3.3.6. Descripción Del Proceso De Producción De Hojuelas De Mashua Negra Por Fritura Al Vacío:

La obtención de hojuelas a partir de mashua negra (*Tropaeolum tuberosum*) se llevó a cabo a través de una secuencia de operaciones controladas, orientadas a asegurar la calidad fisicoquímica y sensorial del producto final. A continuación, se describen las etapas desarrolladas:

- ❖ **Recepción de materia prima:** Se adquirieron 20 kilogramos de mashua negra en el mercado de Cajabamba, específicamente provenientes de la comunidad de Lluchubamba, en el distrito de Sitacocha (ver Anexo 1). La cosecha fue realizada pocos días antes del procesamiento, lo que permitió

trabajar con materia prima fresca y en buen estado. Durante la recepción, se inspeccionaron visualmente los tubérculos, priorizando aquellos con madurez fisiológica adecuada, uniformidad de tamaño y buen estado sanitario. Este criterio fue crucial, en tubérculos como la papa, se ha comprobado que la madurez influye en características como textura, color y absorción de grasa durante la fritura (Alvarado, 2019).

- ❖ **Selección:** Siguiendo las recomendaciones de Paredes (2016), se efectuó una selección manual postcosecha, excluyendo ejemplares con daños mecánicos, signos de deterioro o deformaciones. Se priorizaron tubérculos de dimensiones entre 10 y 13 cm de largo y entre 3 y 5 cm de diámetro, según lo indicado por el CIP (2014). La estandarización en forma y tamaño favoreció una cocción pareja durante la fritura, asegurando homogeneidad en la textura del producto final.
- ❖ **Desinfección:** Como no se realizó pelado de los tubérculos, se implementó una desinfección rigurosa. Inicialmente, se lavaron con agua potable para retirar residuos de tierra. Luego, se sumergieron en una solución de hipoclorito de sodio a 245 ppm durante 10 minutos. Esta práctica, avalada por Rodríguez et al. (2017), logró reducir significativamente la carga microbiana sin alterar la textura ni el sabor, como también lo indica el CIP (2014).
- ❖ **Trozado:** Como no se realizó pelado de los tubérculos, se implementó una desinfección rigurosa. Inicialmente, se lavaron con agua potable para retirar residuos de tierra. Luego, se sumergieron en una solución de hipoclorito de sodio a 245 ppm durante 10 minutos. Esta práctica, avalada por Rodríguez et al. (2017), logró reducir significativamente la carga microbiana sin alterar la textura ni el sabor, como también lo indica el CIP (2014).
- ❖ **Fritura al vacío:** La fritura se realizó en un equipo de fritura al vacío utilizando 180 g de mashua por lote en 8 L de aceite vegetal marca CIL (Alicorp S.A.A.). Se emplearon tres temperaturas (110 °C, 120 °C y

130 °C) y tres presiones (0.20, 0.35 y 0.50 bar), con un tiempo de fritura de 4 minutos por lote.

Este método fue seleccionado debido a las ventajas tecnológicas y nutricionales que ofrece frente a la fritura convencional. Diversos estudios han demostrado que la fritura al vacío permite reducir la absorción de aceite, minimizar la formación de compuestos tóxicos como las acrilamidas, preservar mejor el color natural del alimento y conservar compuestos nutricionales sensibles al calor (Garayo & Moreira, 2002; Troncoso et al., 2009).

Las temperaturas seleccionadas (110–130 °C) se encontraron dentro del rango óptimo para permitir una evaporación eficiente del agua sin producir oscurecimientos severos ni comprometer la textura del producto. Según Shyu et al. (2005), trabajar con temperaturas moderadas en condiciones de vacío favorece la obtención de snacks crujientes sin sobrecocción ni degradación sensorial.

Asimismo, las presiones seleccionadas (0.20 a 0.50 bar) contribuyeron a disminuir el punto de ebullición del agua, lo que permitió realizar la fritura a temperaturas más bajas y en menor tiempo, favoreciendo la conservación del aceite y la calidad general del producto (Da Silva & Moreira, 2008).

Desde el punto de vista fisicoquímico, las variables de temperatura y presión influyeron en la acidez titulable del producto final, dado que la interacción entre el alimento y el medio graso, así como los procesos de oxidación térmica del aceite, pudieron haber generado compuestos ácidos que afectaron este parámetro de calidad.

- ❖ **Ecurrido:** Tras la fritura, las hojuelas se depositaron sobre papel absorbente para retirar el aceite superficial. Esta etapa fue crucial para reducir la grasa libre, evitar la rancidez y conservar la textura y sabor del producto (Gómez & Sánchez, 2016). También contribuyó a mejorar la estabilidad del snack durante el almacenamiento, al reducir la oxidación lipídica (Pedreschi & Moyano, 2005).

- ❖ **Enfriado:** El enfriamiento se realizó a temperatura ambiente durante aproximadamente 5 minutos, evitando así la condensación de humedad dentro del envase. Esta medida previno la proliferación de hongos y ayudó a conservar la textura crocante, ya que la acumulación de humedad superficial puede generar consistencia gomosa (López et al., 2014). El enfriamiento también permitió estabilizar los aceites del producto, contribuyendo a su conservación sensorial.

- ❖ **Envasado:** Las hojuelas se empacaron en bolsas de polipropileno de alta densidad, selladas herméticamente. Este tipo de empaque protegió al producto del oxígeno y la humedad, factores que podrían alterar su textura o promover la oxidación de lípidos (Torres & Martínez, 2012). Cada bolsa fue etiquetada con la identificación del tratamiento y su repetición, lo que aseguró la trazabilidad y el orden durante la evaluación posterior.

- ❖ **Almacenaje:** Las muestras fueron almacenadas en condiciones ambientales naturales de Cajamarca (aproximadamente 13–21 °C y humedad relativa variable), hasta su análisis fisicoquímico, centrado en la evaluación de las variables de textura y acidez titulable. Si bien no se utilizaron cámaras de almacenamiento controlado, se procuró mantener las muestras en un lugar seco, ventilado y protegido de la luz directa, con el fin de evitar alteraciones en sus propiedades físico-químicas, como la reabsorción de humedad o la oxidación del producto (Ramírez & Castillo, 2013). Estas condiciones permitieron preservar la calidad de las hojuelas y asegurar la confiabilidad de los resultados obtenidos.

3.3.7. Descripción Del Análisis Fisicoquímico En Hojuelas De Mashua Negra Fritas Al Vacío

Con el objetivo de evaluar la calidad del producto final obtenido mediante fritura al vacío, se realizaron análisis fisicoquímicos centrados en dos variables clave: la textura y la acidez titulable. Estos parámetros fueron seleccionados por su relevancia en la caracterización sensorial y de estabilidad del producto,

respectivamente. A continuación, se describe detalladamente el procedimiento empleado para la determinación de cada uno de estos parámetros.

- ❖ **Textura:** El análisis instrumental de la textura en las muestras de hojuelas de mashua negra obtenidas mediante fritura al vacío se realizó utilizando un texturómetro Brookfield modelo Pro CT (versión 1.6 Build), conforme a las especificaciones técnicas del equipo y su manual de operación (M/08-371ª0708). El objetivo de este análisis fue cuantificar parámetros mecánicos relevantes para la calidad sensorial del producto, tales como la dureza, fracturabilidad y cohesividad. A continuación, se detalla el procedimiento empleado para la evaluación de la textura en una hojuela de mashua negra.

1. Preparación de la muestra: Se seleccionaron al azar hojuelas representativas de cada tratamiento experimental. Estas se colocaron sobre una superficie plana y seca, procurando una manipulación mínima para preservar sus características físicas originales. La estabilidad estructural de las muestras constituye un factor crítico en la precisión del análisis textural, ya que cualquier alteración previa podría afectar negativamente la consistencia de los resultados (Szczeniak, 2002; Bourne, 2002).

2. Configuración del Texturómetro de Brookfield: Se empleó una sonda TA10 acoplada a una celda de carga de 25 000 g. El equipo fue previamente calibrado para asegurar la exactitud de las mediciones. Los parámetros operativos establecidos fueron: compresión hasta el 50 % de la altura original de la muestra, tiempo de carga activa de 1 segundo y velocidad de desplazamiento de 1.7 mm/s. Esta configuración permitió simular la presión mecánica ejercida durante la masticación humana, proporcionando datos objetivos y reproducibles sobre la respuesta mecánica del producto (Aguilera & Gloria-Hernández, 2000; Guerrero et al., 2009).

3. Medición de la textura: Cada hojuela fue colocada individualmente en la plataforma de ensayo y sometida a compresión mediante el descenso controlado de la sonda. El software TexturePro CT (v1.6 Build) registró en tiempo real las curvas de fuerza-deformación, lo que permitió determinar con precisión los valores de dureza (fuerza máxima), fracturabilidad (ruptura inicial) y cohesividad (resistencia interna). Estos parámetros resultan fundamentales en productos fritos, ya que se relacionan directamente con la percepción de crujencia, atributo sensorial clave en la aceptación del consumidor (Szczesniak, 2002; Bourne, 2002).

4. Reporte de resultados: Los datos obtenidos fueron procesados automáticamente por el software, generando un reporte digital con los valores de los atributos texturales correspondientes a cada tratamiento. Esta información fue utilizada posteriormente para el análisis estadístico y la discusión de resultados, permitiendo una comparación objetiva entre las distintas condiciones experimentales.

❖ **Acidez titulable:** El análisis de acidez titulable se llevó a cabo con el objetivo de determinar la cantidad de ácidos libres presentes en las hojuelas de mashua negra obtenidas mediante fritura al vacío. Se empleó el método oficial de titulación ácido-base establecido por la AOAC (2006, método 942.15), el cual permite cuantificar la acidez total, un parámetro relevante para evaluar tanto la estabilidad durante el almacenamiento como la aceptabilidad sensorial del producto (Bourne, 2002; Moreira, 2005). Este método es ampliamente utilizado por su fiabilidad y la capacidad de proporcionar resultados precisos en la medición de la acidez en productos alimentarios.

Dado que el ácido oxálico es el principal ácido orgánico presente en la mashua (*Tropaeolum tuberosum*), los resultados se expresaron como porcentaje de ácido oxálico por 100 g de muestra. La presencia de acidez en productos fritos influye significativamente en la percepción del sabor, y su evolución durante la conservación puede desencadenar

reacciones químicas que afectan tanto el sabor como la textura del producto (Horwitz & Latimer, 2010; Szczesniak, 2002). Además, se considera que un equilibrio adecuado en la acidez es crucial para evitar alteraciones en la calidad sensorial y la seguridad del producto final.

- 1. Preparación de la muestra:** Se pesaron 10 g de hojuelas de mashua negra y se trituraron en un mortero, con el fin de facilitar la liberación de los compuestos ácidos. Posteriormente, se disolvieron en 100 mL de agua destilada a temperatura ambiente. Este proceso de homogenización y disolución favoreció la extracción completa de los ácidos presentes, asegurando la máxima eficiencia en la cuantificación de la acidez. El triturado en el mortero permitió una mayor superficie de contacto entre las hojuelas y el agua, lo que optimizó la disolución de los compuestos y garantizó que los resultados sean representativos de la totalidad de la muestra (Horwitz & Latimer, 2010). Además, la disolución en agua destilada aseguro que no se introduzcan contaminantes que puedan interferir en la precisión del análisis.
- 2. Indicador de acidez:** Se incorporaron 2 a 3 gotas de fenolftaleína a la solución preparada. Este indicador, al ser incoloro en soluciones ácidas y tornarse rosado pálido en soluciones básicas, permite visualizar claramente el punto final de la titulación, es decir, la neutralización de los ácidos presentes por la base titulante. La fenolftaleína es ampliamente utilizada en titulaciones ácido-base por su alta sensibilidad y facilidad de observación del cambio de color, lo que hace que el análisis sea más preciso y reproducible (Mettler, 2012).
- 3. Titulación con NaOH:** Se procedió a titular la muestra añadiendo lentamente una solución de hidróxido de sodio (NaOH) 0.1 N, mientras se agitaba de forma constante con movimientos circulares. Esta técnica garantiza una reacción completa entre los ácidos libres de la muestra y el agente titulante, permitiendo una medición precisa (AOAC, 2016; Nielsen, 2017).

4. Registro del volumen de NaOH utilizado: Durante la titulación, se observó cuidadosamente el viraje de color de la solución, el cual se manifestó como un cambio de incoloro a rosado pálido, indicando que se había alcanzado el punto final de la neutralización ácido-base. Este cambio de color, producido por la fenolftaleína al alcanzar un pH cercano a 8.2, permitió determinar visualmente el momento exacto para detener la adición de NaOH. A continuación, se registró el volumen total de base consumida, dato esencial para el cálculo preciso de la acidez titulable (Skoog et al., 2013; Mettler, 2012).

5. Cálculo de la acidez titulable total: La acidez titulable total (AT) se expresó en gramos de ácido oxálico por 100 gramos de muestra, aplicando la siguiente fórmula recomendada por la AOAC:

$$AT \left(\frac{g}{100g} \right) = \frac{VxNxFx100}{P}$$

Donde:

V= Volumen de NaOH (ml) consumido.

N= Normalidad del NaOH.

F= Factor de equivalencia.

P= Peso de la muestra

Este método permitió obtener un valor cuantitativo estandarizado de acidez, útil para la comparación entre tratamientos y para evaluar la influencia del proceso de fritura al vacío sobre este parámetro fisicoquímico.

CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1. Acidez total en hojuelas de mashua negra

Análisis fisicoquímico de la acidez total (expresado en % de ac. Oxálico) en hojuelas de mashua negra por fritura al vacío

En la Tabla 06 se muestran los valores obtenidos de acidez titulable total, expresados como porcentaje de ácido oxálico por cada 100 g de muestra, correspondientes a las hojuelas de mashua negra elaboradas mediante fritura al vacío. Los tratamientos Tr1, Tr2 y Tr3, realizados bajo una presión de 0.20 bar, reportaron niveles similares de acidez titulable (0.1890%), mientras que el tratamiento Tr7, sometido a una presión de 0.50 bar, presentó el valor más bajo (0.0504%). Este comportamiento evidencia una tendencia inversa entre la presión de fritura y el contenido de acidez titulable, de modo que a menor presión se favorece una mayor presencia de compuestos ácidos.

Esta tendencia puede explicarse por la interacción entre las condiciones de presión y temperatura características del proceso de fritura al vacío. A presiones reducidas (0.20 bar), la estructura celular de la mashua se torna más permeable al aceite, facilitando así una mayor transferencia de calor y promoviendo la liberación de compuestos ácidos como el ácido oxálico. En cambio, cuando la presión se incrementa (0.50 bar), la mayor compactación de la matriz celular dificulta este proceso de difusión. Además, la mayor pérdida de humedad observada a presiones bajas conlleva una mayor concentración de oxalatos, efecto que también ha sido documentado en otros tubérculos sometidos a fritura (Bergman, 2012; Fernandes et al., 2017). En conjunto, estos resultados respaldan la eficacia de la fritura al vacío como técnica para regular el contenido de oxalatos en la mashua negra.

Tabla 6

Análisis fisicoquímico de la acidez total (%) de las hojuelas de mashua negra por fritura al vacío para cada tratamiento.

		Temperatura	Presión	Acidez Total
Tratamiento	Repetición	(°C)	(bar.)	(%)
Tr1	R1	110	0,20	0,1890
	R2	110	0,20	0,2016
	R3	110	0,20	0,2205
Tr2	R1	120	0,20	0,1260
	R2	120	0,20	0,1764
	R3	120	0,20	0,1890
Tr3	R1	130	0,20	0,1638
	R2	130	0,20	0,1575
	R3	130	0,20	0,1890
Tr4	R1	110	0,35	0,0945
	R2	110	0,35	0,0819
	R3	110	0,35	0,1134
Tr5	R1	120	0,35	0,1260
	R2	120	0,35	0,1134
	R3	120	0,35	0,1260
Tr6	R1	130	0,35	0,1260
	R2	130	0,35	0,1449
	R3	130	0,35	0,1386
Tr7	R1	110	0,50	0,0630
	R2	110	0,50	0,0504
	R3	110	0,50	0,0819
Tr8	R1	120	0,50	0,0945
	R2	120	0,50	0,1134
	R3	120	0,50	0,1008
Tr9	R1	130	0,50	0,1260
	R2	130	0,50	0,1197
	R3	130	0,50	0,1386

Análisis estadístico para la variable acidez total (expresado en % de ac. Oxálico) en hojuelas de mashua negra por fritura al vacío

En la tabla 07, el análisis de varianza (ANOVA) para la variable acidez titulable revela que tanto la presión como la temperatura tienen un efecto significativo ($p < 0.05$) en los resultados. A presiones bajas (0.20 bar), la mayor penetración del aceite en la estructura celular de la mashua facilita la absorción de aceite y la liberación de ácidos grasos libres, mientras que a presiones más altas (0.50 bar), la compactación celular reduce estos fenómenos, resultando en menores niveles de acidez titulable.

Por otro lado, temperaturas elevadas (130 °C) intensifican la descomposición térmica de los aceites, promoviendo la liberación de ácidos grasos libres y, en consecuencia, incrementando la acidez titulable. Además, la interacción significativa entre presión y temperatura ($p < 0.05$) sugiere que estos factores no actúan de manera independiente, sino que generan un efecto combinado. En particular, la combinación de alta temperatura (130 °C) y baja presión (0.20 bar) potencia la degradación térmica de los compuestos de la mashua y de los aceites, elevando la acidez titulable. Estos resultados están en línea con estudios previos que destacan la influencia de la fritura al vacío en las propiedades fisicoquímicas de productos procesados (Serrano, 2011; Quelal, 2012).

Tabla 7

Resultados del análisis de varianza para la acidez total (%) del producto final.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Presión	2	0.031720	0.015860	57.70	0.000
Temperatura	2	0.002490	0.001245	4.53	0.026
Presión*Temperatura	4	0.008747	0.002187	7.95	0.001
Error	18	0.004948	0.000275		
Total	26	0.047904			

Fuente: software Minitab 19.

La Figura 05 presenta los efectos estandarizados de los factores presión (A), temperatura (B) y su interacción (AB), evaluados con un nivel de significancia de 0.05. Los tres factores superan el umbral crítico, lo que indica que su influencia en la acidez de las hojuelas de mashua negra es estadísticamente significativa. Entre

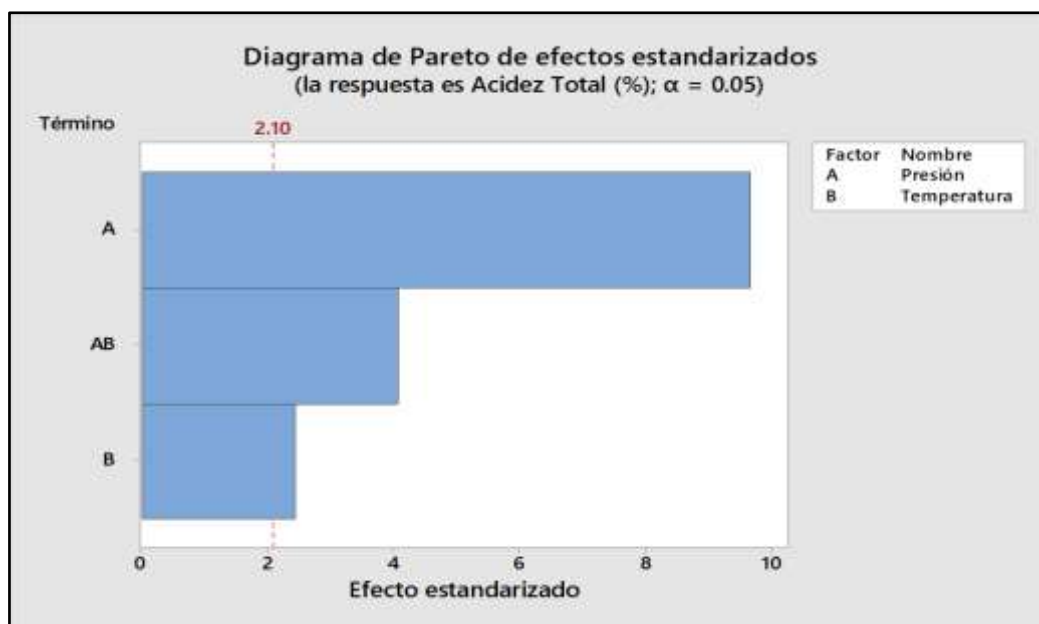
ellos, la presión muestra el impacto más notable, superando al de la temperatura y su interacción, lo cual sugiere que este parámetro tiene una mayor incidencia sobre el contenido de acidez total, expresado como porcentaje de ácido oxálico en 100 g de muestra.

Este efecto puede explicarse por la influencia de la presión en la estructura celular del producto. A presiones más bajas (0.20 bar), la mayor liberación de compuestos ácidos se debe al incremento en la transferencia de calor y la pérdida de humedad, lo cual favorece la difusión de oxalatos. Este comportamiento coincide con estudios que indican que las condiciones de presión controlada alteran significativamente las propiedades fisicoquímicas de los alimentos, facilitando la liberación de compuestos como los oxalatos (Fernandes et al., 2017). En contraste, a presiones más altas (0.50 bar), la estructura celular se compacta, reduciendo la difusión de compuestos ácidos y, por lo tanto, el contenido de acidez titulable (Oliveira et al., 2015).

Respecto a la temperatura, aunque su efecto es significativo, es menos relevante que la presión. La temperatura, aunque esencial para la transferencia de calor, tiene un impacto más controlado en las propiedades fisicoquímicas cuando se combina con presiones específicas, como lo muestra Serrano (2013). La interacción entre ambos factores resalta cómo el balance entre presión y temperatura puede modificar las propiedades del alimento, permitiendo un control más preciso sobre la acidez total.

Figura 5

Diagrama de Pareto de efectos estandarizados para acidez total



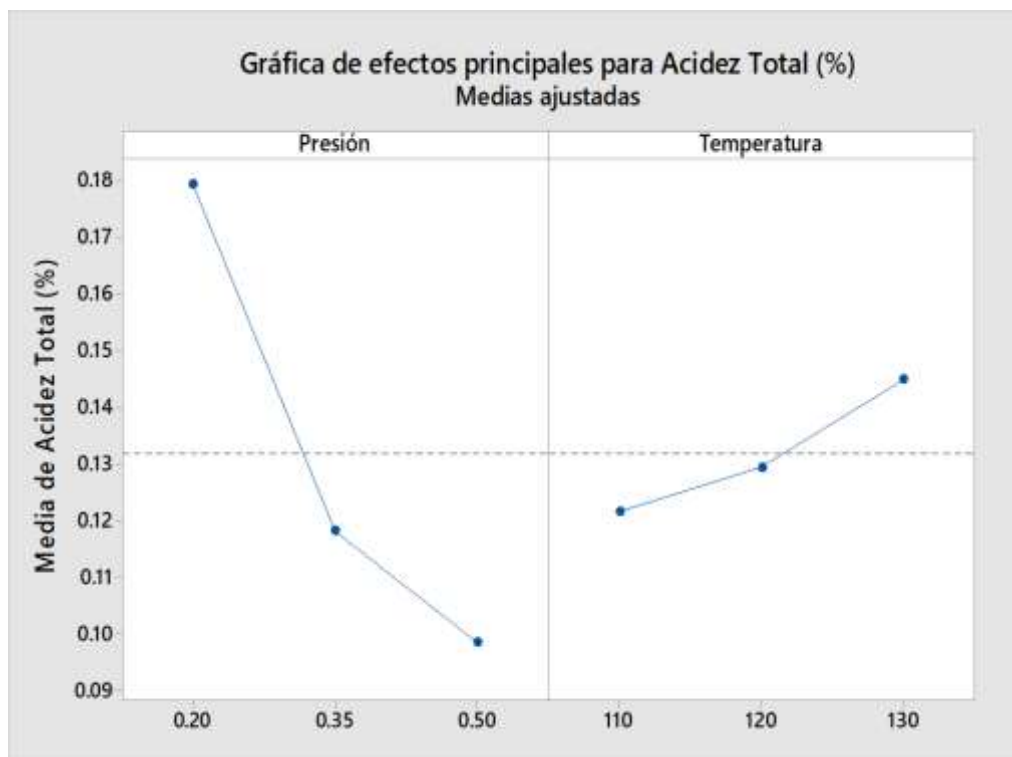
La Figura 06 presenta los efectos de la presión y la temperatura, evaluados de manera independiente, sobre la acidez titulable de las hojuelas de mashua negra. En cuanto a la presión, se observa que a medida que disminuye (de 0.50 a 0.20 bar), el porcentaje de acidez total aumenta, lo que indica una relación inversamente proporcional. A 0.20 bar, la menor presión facilita la liberación de ácidos orgánicos como el oxálico, debido a la reducción del punto de ebullición del agua en el tejido vegetal. Este comportamiento se asocia con la mayor penetración del aceite, que favorece la transferencia de lípidos y la formación de compuestos ácidos, como lo señala Wang et al. (2023).

Respecto a la temperatura, los resultados muestran una relación directa con la acidez titulable: a mayor temperatura (de 110°C a 130°C), el porcentaje de acidez aumenta. Este fenómeno se puede atribuir a la degradación térmica de compuestos como glucosinolatos presentes en la mashua, que al calentarse liberan ácidos orgánicos. Además, las temperaturas elevadas favorecen la oxidación y la hidrólisis de los triglicéridos en el aceite de fritura, generando ácidos grasos libres, tal como se reporta en estudios previos (Oliveira et al., 2015).

Estos hallazgos destacan la relevancia de regular por separado los parámetros de presión y temperatura durante el proceso de fritura al vacío, con el objetivo de optimizar las propiedades deseadas en el producto final.

Figura 6

Efectos principales para acidez total (expresada en % de ac. Oxálico)



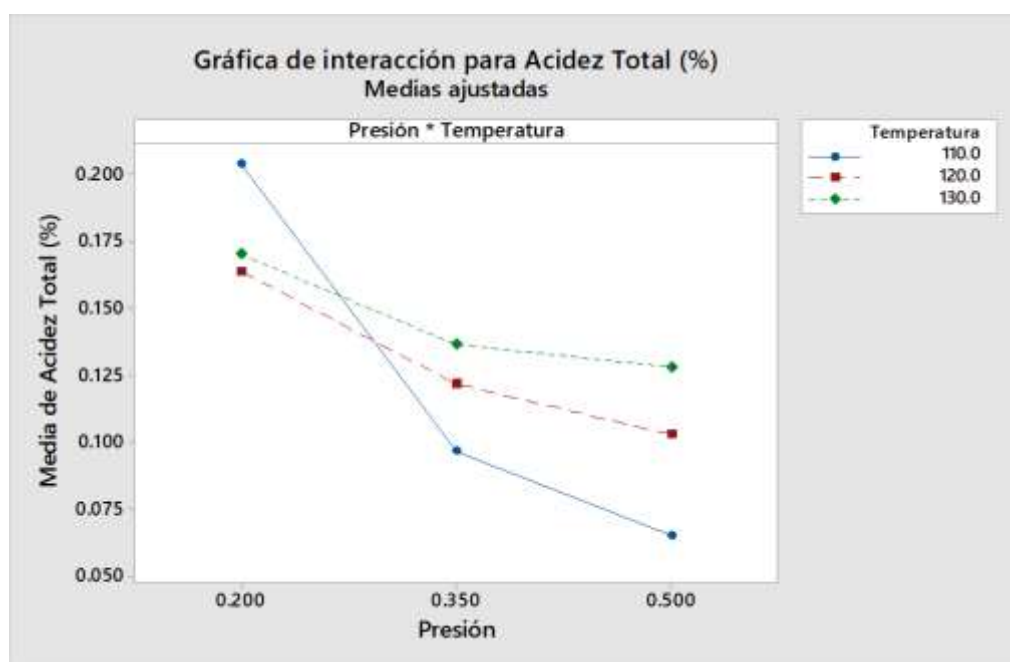
La Figura 7 evidencia que el tratamiento Tr1 (110 °C y 0.20 bar) registró el valor más alto de acidez total, mientras que el tratamiento Tr7 (110 °C y 0.50 bar) presentó el valor más bajo. En condiciones de menor presión (0.20 bar), el diferencial de presión entre el interior y exterior del alimento permite una mayor penetración del aceite, lo cual incrementa la liberación de ácidos grasos libres. Por el contrario, a presiones elevadas (0.50 bar), la compactación de las células limita tanto la absorción de aceite como la liberación de compuestos ácidos, como el ácido oxálico.

Si bien la temperatura de 110 °C promueve en cierta medida la liberación de estos ácidos, el impacto de la presión resulta más determinante. Las presiones bajas favorecen la transferencia de calor y la deshidratación del producto, condiciones que potencian la liberación de sustancias ácidas (Wang et al., 2023; Villamizar et al., 2011). Además, la combinación de presiones reducidas y temperaturas

moderadas no solo incrementa la acidez total, sino que también mejora la textura, brindando mayor crocancia al producto final. En cambio, cuando se trabaja con presiones más altas, la compactación de la estructura celular de la mashua restringe tanto la formación de textura crujiente como la liberación de compuestos ácidos.

Figura 7

Interacción de factores para acidez total (expresada en % de ac. Oxálico)



Asimismo, la Tabla 08 presenta los resultados obtenidos mediante la prueba de Tukey, los cuales indican diferencias estadísticamente significativas entre las presiones de 0.20 y 0.35 bar, mientras que entre 0.35 y 0.50 bar no se evidencian diferencias relevantes. Estos datos respaldan que trabajar con una presión de 0.50 bar resulta favorable para obtener un menor porcentaje de acidez total, con un valor de 0.0987% de ácido oxálico. Las presiones más altas contribuyen a reducir la volatilización de los ácidos orgánicos, estabilizando así los compuestos presentes en la muestra (Wang et al., 2023). Este comportamiento es consistente con lo reportado por Villamizar et al. (2011), quienes concluyeron que el uso de condiciones de vacío permite un control más eficaz sobre la liberación de compuestos ácidos en matrices vegetales.

Tabla 8

Prueba de comparación múltiple de tukey para el factor presión con respecto a la variable acidez total, 95 % de significancia.

Presión(bar)	N	Media	Agrupación
0.20	9	0.1792	A
0.35	9	0.1183	B
0.50	9	0.0987	B

En la Tabla 9 se presenta la interpretación de la prueba de comparación múltiple de Tukey aplicada al factor temperatura respecto a la acidez total de las hojuelas de mashua negra. Con un nivel de confianza del 95%, se determina que la temperatura de 110 °C es la más adecuada para obtener un menor contenido de acidez total, registrando una media de 0.1218% de ácido oxálico. Este resultado concuerda con investigaciones anteriores que señalan que temperaturas más bajas durante la fritura al vacío reducen la acidez al limitar las reacciones térmicas que generan compuestos volátiles derivados de carbohidratos y lípidos (Wang et al., 2023). Por ejemplo, cuando se emplea una temperatura de 110 °C, se genera una menor cantidad de ácidos en comparación con temperaturas superiores, donde la intensidad de las reacciones químicas incrementa, afectando la estabilidad de ciertos compuestos y favoreciendo la liberación de ácidos.

Adicionalmente, a temperaturas como los 110 °C, se preserva en mayor medida la estabilidad de los triglicéridos en el aceite, lo que conlleva a una menor generación de ácidos grasos libres y reduce la formación de compuestos secundarios, como peróxidos y aldehídos, que también aportan a la acidez total. La fritura a dicha temperatura limita, además, la descomposición térmica de los glucosinolatos presentes en la mashua, reduciendo la formación de ácido oxálico (Villamizar et al., 2011).

Otros estudios, como los de Martínez et al. (2015), han demostrado que la regulación de la temperatura durante la fritura al vacío no solo disminuye la acidez, sino que también preserva atributos sensoriales y nutricionales en vegetales, ya que temperaturas moderadas reducen la ocurrencia de reacciones de Maillard y la caramelización excesiva. Esto favorece la conservación del color, el sabor y la textura en productos como la mashua.

Por su parte, Villamizar et al. (2011) señalaron que la fritura al vacío bajo temperaturas controladas mejora la conservación de la calidad frente a métodos tradicionales, debido a una menor degradación térmica de los compuestos ácidos y una absorción reducida de aceite. Esta disminución en la acidez total es clave para mantener un perfil sensorial equilibrado y preservar las propiedades antioxidantes del producto.

En consecuencia, se respalda la recomendación de mantener la temperatura de fritura al vacío en 110 °C durante el procesamiento de hojuelas de mashua negra, ya que no solo optimiza el nivel de acidez total, sino que también mejora la calidad sensorial y química del producto final, potenciando sus características nutricionales y funcionales.

Tabla 9

Comparaciones múltiples tukey para el factor temperatura para la variable acidez tota, 95 % de significancia.

Temperatura(°C)	N	Media	Agrupación	
130	9	0.1449	A	
120	9	0.1295	A	B
110	9	0.1218		B

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

En la Tabla 10 se presentan los resultados de la prueba de Tukey, los cuales indican que la combinación óptima de presión y temperatura para reducir la acidez titulable en las hojuelas de mashua negra corresponde al tratamiento Tr7 (0.50 bar, 110 °C), con una media de 0.0651% de ácido oxálico. Este hallazgo sugiere que el uso de presiones elevadas junto con temperaturas moderadas resulta favorable para minimizar la acidez, posiblemente debido a una menor degradación térmica de los compuestos ácidos durante el proceso de fritura al vacío.

El control de la presión en este contexto es particularmente relevante. A una presión de 0.50 bar, la estructura celular de la mashua se compacta, lo cual limita la absorción de aceite y, por tanto, restringe la liberación de ácidos orgánicos

como el ácido oxálico. Además, las condiciones de mayor presión disminuyen la exposición al oxígeno, lo que reduce la oxidación del aceite y, en consecuencia, la formación de productos oxidativos como peróxidos y aldehídos, que podrían incrementar la acidez del producto final.

Respecto al efecto de la temperatura, el uso de 110 °C resulta beneficioso ya que evita la rápida degradación de triglicéridos y glucosinolatos presentes en la mashua. A temperaturas más elevadas, como 130 °C, se incrementa la formación de ácidos orgánicos y subproductos indeseables, como los isotiocianatos. El control térmico, por lo tanto, contribuye tanto a la conservación de la calidad química como a una textura sensorialmente aceptable.

La interacción entre presión y temperatura demuestra ser un factor determinante en el resultado final. En condiciones de alta presión (0.50 bar) y temperatura moderada (110 °C), se logra un balance adecuado que reduce la liberación de ácidos y limita la oxidación del aceite, favoreciendo la calidad global del producto. En contraste, la combinación de presiones bajas (0.20 bar) con temperaturas altas (130 °C) intensifica la evaporación de agua y puede mejorar la textura crujiente, aunque esto ocurre a expensas de un incremento notable en la acidez, debido a la mayor degradación térmica de los compuestos presentes.

Estos resultados coinciden con estudios anteriores, como los realizados por Serrano (2011) y Quelal (2012), quienes destacaron la importancia del control térmico en la reducción de la acidez en productos vegetales procesados. Asimismo, las conclusiones de Grau et al. (2003) respaldan el uso de tecnologías como la fritura al vacío para disminuir la presencia de isotiocianatos y otros compuestos responsables del sabor picante, lo cual incide positivamente en una menor acidez y en la mejora de las propiedades sensoriales del producto final.

Tabla 10

*Comparaciones múltiples tukey para la interacción de los factores (presión * temperatura) para la variable acidez total 95 % de significancia.*

Presión(bar)*Temperatura(°C)	N	Media	Agrupación		
0.820	110	3	0.2037	A	
0.20	130	3	0.1701	A	B
0.20	120	3	0.1638	A	B C
0.35	130	3	0.1365	B	C D
0.50	130	3	0.1281	B	C D
0.35	120	3	0.1218	C	D
0.50	120	3	0.1029	D	E
0.35	110	3	0.0966	D	E
0.50	110	3	0.0651	E	

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

4.2. Textura en hojuelas de mashua negra

Análisis fisicoquímico de la textura en hojuelas de mashua negra por fritura al vacío

En la Tabla 11 se presentan los resultados del análisis fisicoquímico de la textura de las hojuelas de mashua negra obtenidas mediante fritura al vacío.

Dureza: El tratamiento Tr5 (120 °C - 0.35 bar) registró el valor más alto de dureza (1.65 N), mientras que el tratamiento Tr3 (130 °C - 0.30 bar) presentó el valor más bajo (1.43 N). Este resultado sugiere que una temperatura intermedia (120 °C) combinada con una presión moderada (0.35 bar) favorece el aumento de la dureza de las hojuelas. Esto se explica por el efecto de la presión controlada sobre el proceso de deshidratación: al promover una mayor eliminación de agua, se incrementa la concentración de sólidos, lo que da lugar a una estructura más rígida (Serrano, 2013). Por el contrario, presiones menores, como en el tratamiento Tr3, facilitan la entrada de aceite en la matriz celular, elevando el contenido lipídico y

reduciendo la dureza debido al aumento de flexibilidad en la estructura del tejido vegetal.

Fracturabilidad: El mayor valor de fracturabilidad se observó en el tratamiento Tr3 (130 °C - 0.30 bar) con 1.45 N, mientras que el tratamiento Tr5 (120 °C - 0.35 bar) mostró el valor más bajo (0.06 N). Estos datos indican que a temperaturas más elevadas y presiones intermedias, las hojuelas adquieren una textura más frágil. La explicación radica en que temperaturas altas inducen una mayor pérdida de humedad superficial y promueven la formación de una capa externa más rígida, disminuyendo la cohesión interna y facilitando la ruptura del producto (Quisquiche, 2011). Además, las altas temperaturas favorecen la descomposición de compuestos estructurales, como los glucosinolatos, lo cual debilita la integridad celular y reduce la resistencia al quiebre.

Cohesividad: El tratamiento Tr1 (110 °C - 0.20 bar) alcanzó el valor más alto de cohesividad (16.34), mientras que el tratamiento Tr7 (110 °C - 0.50 bar) presentó la cohesividad más baja (-31.25). Estos resultados sugieren que la cohesividad disminuye conforme aumenta la presión, especialmente a temperaturas constantes. Según Wang et al. (2023), a presiones elevadas como 0.50 bar, se produce una mayor compactación de la estructura celular, reduciendo la capacidad del producto para absorber aceite y, por ende, preservando la integridad de la matriz interna. En contraste, a presiones bajas (0.20 bar), el colapso estructural y la absorción excesiva de aceite debilitan la cohesión del tejido, lo que se refleja en una menor cohesividad.

Interacción presión-temperatura: La interacción entre ambos parámetros es determinante para la optimización de la textura y la acidez del producto. Por ejemplo, bajo condiciones de presión elevada (0.50 bar) y temperatura moderada (110 °C), se logra preservar mejor la estructura interna del alimento, disminuyendo tanto la liberación de ácidos como el deterioro de la textura. En cambio, cuando se emplean presiones bajas (0.20 bar) junto con temperaturas elevadas (130 °C), la rápida evaporación del agua genera una textura más crujiente, aunque acompañada de una mayor fracturabilidad y un incremento en la acidez titulable, debido a la mayor degradación térmica de los componentes (Villamizar et al., 2011; Martínez

et al., 2015). Estos hallazgos reafirman que el ajuste adecuado de presión y temperatura es clave para alcanzar un equilibrio entre las propiedades texturales y la calidad química de las hojuelas de mashua negra.

Tabla 11

Análisis fisicoquímico de la textura (Dureza, fracturabilidad y Cohesividad) de las hojuelas de mashua negra por fritura al vacío por cada tratamiento.

Tratamiento	Repetición	Temperatura (°C)	Presión (bar.)	Textura		
				Dureza (N.)	Fracturabilidad (N.)	Cohesividad
Tr1	R1	110	0,20	0,16	0,10	0,14
	R2	110	0,20	0,18	0,10	16,34
	R3	110	0,20	0,37	0,37	-0,44
Tr2	R1	120	0,20	0,35	0,10	6,69
	R2	120	0,20	0,25	0,10	7,46
	R3	120	0,20	0,24	0,08	2,3
Tr3	R1	130	0,20	1,43	1,43	2,47
	R2	130	0,20	1,45	1,45	2,77
	R3	130	0,20	1,47	1,43	2,09
Tr4	R1	110	0,35	0,10	0,06	-20,84
	R2	110	0,35	0,37	0,37	0,11
	R3	110	0,35	0,39	0,18	2,94
Tr5	R1	120	0,35	1,65	0,06	0,47
	R2	120	0,35	0,49	0,12	0,52
	R3	120	0,35	0,43	0,37	1,73
Tr6	R1	130	0,35	1,33	1,33	0,22
	R2	130	0,35	0,55	0,55	2,03
	R3	130	0,35	1,33	1,33	1,14
Tr7	R1	110	0,50	0,25	0,10	-31,25
	R2	110	0,50	0,61	0,20	0,48
	R3	110	0,50	0,80	0,85	0,33
Tr8	R1	120	0,50	0,80		0,69
	R2	120	0,50	0,20		-12,59

	R3	120	0,50	0,90	0,88	-1,14
	R1	130	0,50	0,37	0,33	2,78
Tr9	R2	130	0,50	1,16	1,16	-2,25
	R3	130	0,50	0,69	0,12	-1,18

Análisis estadístico para la variable textura (Dureza, fracturabilidad y cohesividad) en hojuelas de mashua negra por fritura al vacío

A. Dureza

El análisis estadístico ANOVA confirmó que la temperatura y la interacción presión-temperatura influyen significativamente en la dureza de las hojuelas de mashua negra, con un valor de $p < 0.05$. Estos resultados destacan la sensibilidad de la dureza a los parámetros de procesamiento, corroborando estudios previos sobre productos fritos al vacío.

Desde una perspectiva fisicoquímica, la dureza del producto final está asociada con cambios en la estructura celular y la interacción entre el aceite y los componentes internos de la mashua durante la fritura. A temperaturas moderadas (120°C) y presiones controladas (0.35 bar), se favorece la deshidratación gradual y uniforme, lo que contribuye a la formación de una matriz sólida y compacta. Por el contrario, temperaturas más altas (130°C) pueden promover una mayor expansión térmica y disrupción de la matriz celular, reduciendo la rigidez estructural y, por ende, la dureza.

La química del aceite juega un papel fundamental en este fenómeno. Durante la fritura al vacío, la presión reducida disminuye el punto de ebullición del agua, lo que acelera la evaporación y genera una transferencia de calor más eficiente. Este proceso afecta la viscosidad del aceite y su capacidad de penetrar en la matriz del alimento. Según Villamizar et al. (2011), a presiones más bajas, la reducción en la resistencia del aceite permite una mayor absorción de lípidos, suavizando la estructura celular y disminuyendo la dureza. Sin embargo, a presiones moderadas (0.35 bar), se observa una menor penetración del aceite, lo que preserva la estructura celular y aumenta la rigidez del producto final.

Estudios sobre la composición química del aceite destacan que la interacción entre ácidos grasos libres y triglicéridos con la estructura del alimento es modulada por la presión. A presiones más altas, la compactación de la superficie del producto limita la migración del aceite hacia el interior, favoreciendo un contenido más bajo de lípidos y una mayor concentración de componentes sólidos, como almidones gelatinizados, que refuerzan la dureza. En contraste, presiones más bajas facilitan una mayor difusión del aceite, lo que interfiere con la cohesión interna del producto y disminuye su dureza (Wang et al., 2023).

Estos hallazgos poseen importantes implicaciones prácticas para el desarrollo de productos fritos al vacío con texturas específicas. En aplicaciones que requieren una textura firme y crujiente, las condiciones de presión moderada combinadas con una temperatura controlada representan una ventaja al minimizar la absorción de aceite y maximizar la rigidez estructural. Así, el entendimiento integral de la interacción entre presión, temperatura y química del aceite es fundamental para optimizar el proceso y satisfacer las expectativas del consumidor en términos de calidad sensorial y física.

Tabla 12
Análisis de varianza para la dureza (N.) del producto final.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Presión	2	0.04821	0.02410	0.20	0.823
Temperatura	2	2.48925	1.24463	10.19	0.001
Presión*Temperatura	4	1.39035	0.34759	2.85	0.054
Error	18	2.19753	0.12209		
Total	26	6.12534			

El análisis de los efectos estandarizados presentado en la Figura 8 destaca que la presión constituye el factor predominante que influye significativamente en la dureza de las hojuelas de mashua negra, mientras que la temperatura no alcanza significancia estadística. Este resultado coincide con investigaciones previas, tales

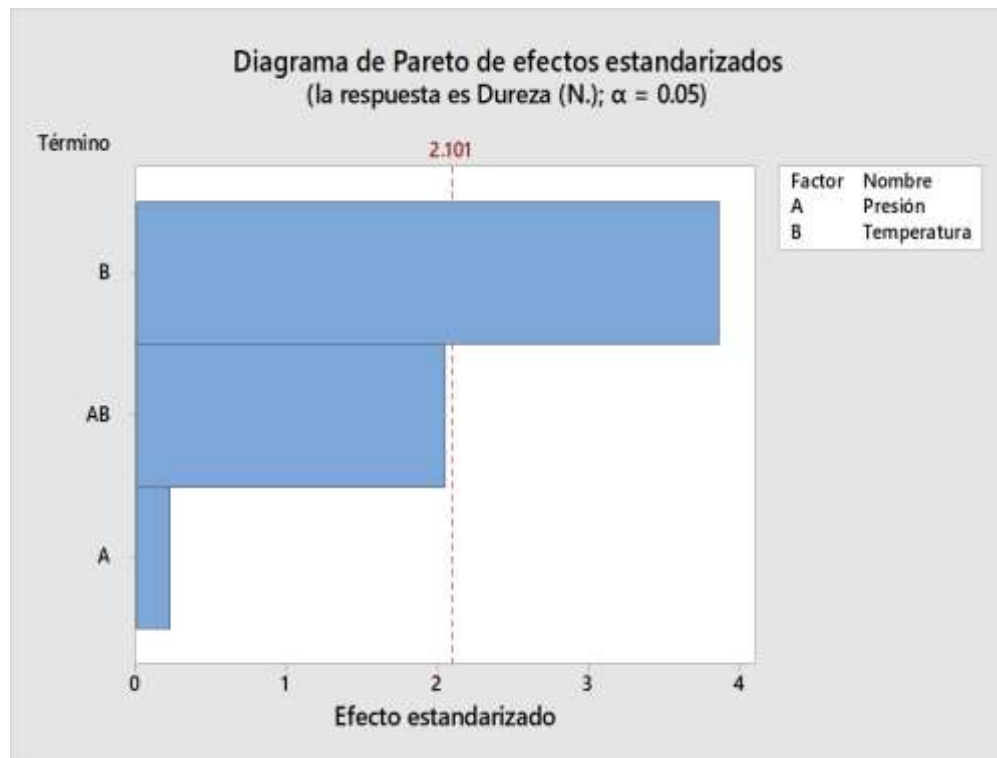
como las de Serrano (2013) y Quisquiche (2011), quienes identificaron la presión como un determinante crucial en la textura de alimentos sometidos a fritura al vacío, debido a su efecto directo sobre los procesos de deshidratación y compresión celular.

Desde una perspectiva física, la presión modifica el punto de ebullición del agua contenida en el alimento, facilitando una deshidratación más controlada y eficiente. Este fenómeno contribuye a un aumento en la densidad estructural, que se traduce en una textura más firme del producto final. Asimismo, la reducción de presión limita la absorción excesiva de aceite, favoreciendo que los almidones gelatinizados y las proteínas formen una matriz más rígida y compacta (Villamizar et al., 2011).

En contraste, la temperatura, si bien es fundamental para acelerar la transferencia térmica y favorecer la eliminación de humedad, parece ejercer un impacto menos relevante sobre la dureza en este contexto específico. Esto se explica porque, bajo condiciones de baja presión, la transferencia de calor está principalmente regulada por la tasa de evaporación del agua, la cual depende en mayor medida de la presión aplicada que de la temperatura de proceso (Pillajo et al., 2019).

Figura 8

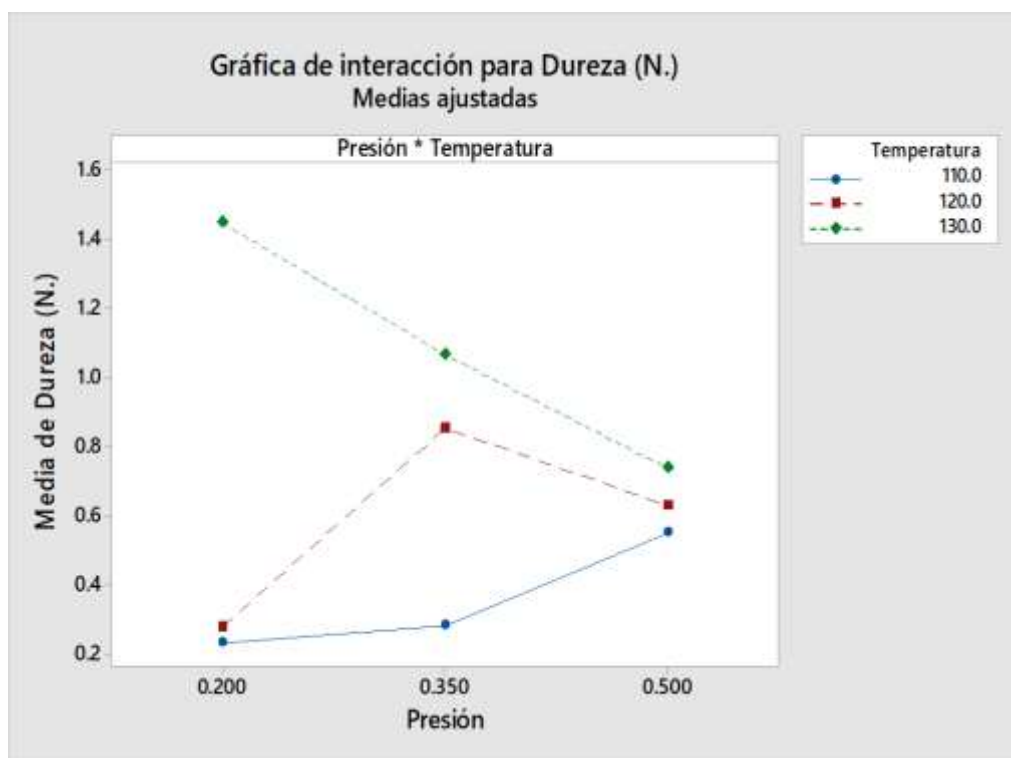
Diagrama de Pareto de efectos estandarizados para la dureza.



En la Figura 9 se observa la interacción entre temperatura y presión en la dureza de las hojuelas de mashua negra. El tratamiento Tr1 (110°C y 0.20 bar) muestra la menor dureza, mientras que Tr3 (130°C y 0.20 bar) presenta la mayor, lo que confirma que ambos factores afectan significativamente la textura final.

Serrano (2013) y Quisquiche (2011) destacan que la presión es determinante en la dureza de productos procesados al vacío, mientras que la temperatura puede modificar sus efectos al influir en la transferencia de calor. Pillajo et al. (2019) subrayan que el balance entre ambos factores es clave para lograr texturas óptimas.

Figura 9
Interacción de factores para la textura (Dureza).



La prueba de comparación múltiple de Tukey, presentada en la Tabla 13, revela que la temperatura de 130 °C produce una dureza significativamente mayor en comparación con las temperaturas de 120 °C y 110 °C, las cuales no presentan diferencias significativas entre sí. Este resultado sugiere que, si se desea obtener una textura más firme en las hojuelas de mashua negra, el uso de una temperatura de 130 °C es más adecuado. Por el contrario, las temperaturas de 110 °C y 120 °C resultan más apropiadas cuando se busca una textura más tierna y menos rígida.

Estos hallazgos son consistentes con lo reportado por Serrano (2013), quien indica que temperaturas elevadas reducen rápidamente la humedad superficial, promoviendo la formación de una estructura más seca y firme. Asimismo, estudios como los de Quisquiche (2011) y Pillajo et al. (2019) señalan que temperaturas más bajas generan productos con una textura más suave, favoreciendo la aceptabilidad sensorial en alimentos sometidos a procesos de fritura al vacío.

Tabla 13

Comparaciones múltiples tukey para el factor temperatura para la variable dureza, 95 % de significancia.

Temperatura (°C)	N	Media	Agrupación
130	9	1.08667	A
120	9	0.59000	B
110	9	0.35889	B

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

B. Fracturabilidad

El análisis de varianza (ANOVA) presentado en la Tabla 14 demuestra que tanto la temperatura como la interacción entre temperatura y presión tienen un efecto estadísticamente significativo sobre la fracturabilidad de las hojuelas de mashua negra (valor $p < 0.05$). Esto indica que la textura del producto final es altamente sensible a estos factores de procesamiento, especialmente cuando se combinan, lo que resalta la importancia de optimizar ambos parámetros en conjunto.

Estudios previos respaldan estos hallazgos. Serrano (2013) señala que temperaturas más altas en la fritura al vacío incrementan la rigidez del producto, dificultando su fractura. De manera similar, Quisquiche (2011) identificó que la presión y la temperatura afectan la capacidad de ruptura, concluyendo que mayores temperaturas pueden endurecer la estructura del alimento. Además, Pillajo et al. (2019) destacan que temperaturas elevadas durante la fritura aumentan la resistencia al quiebre en productos de raíces y tubérculos, lo que enfatiza la relevancia de estos factores en la obtención de una textura ideal.

Tabla 14*Análisis de varianza para la fracturabilidad (N.) del producto final.*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Presión (bar)	2	0.08509	0.04254	0.41	0.668
Temperatura (°C)	2	3.59396	1.79698	17.44	0.000
Presión*Temperatura	4	1.35596	0.33899	3.29	0.034
Error	18	1.85447	0.10303		
Total	26	6.88947			

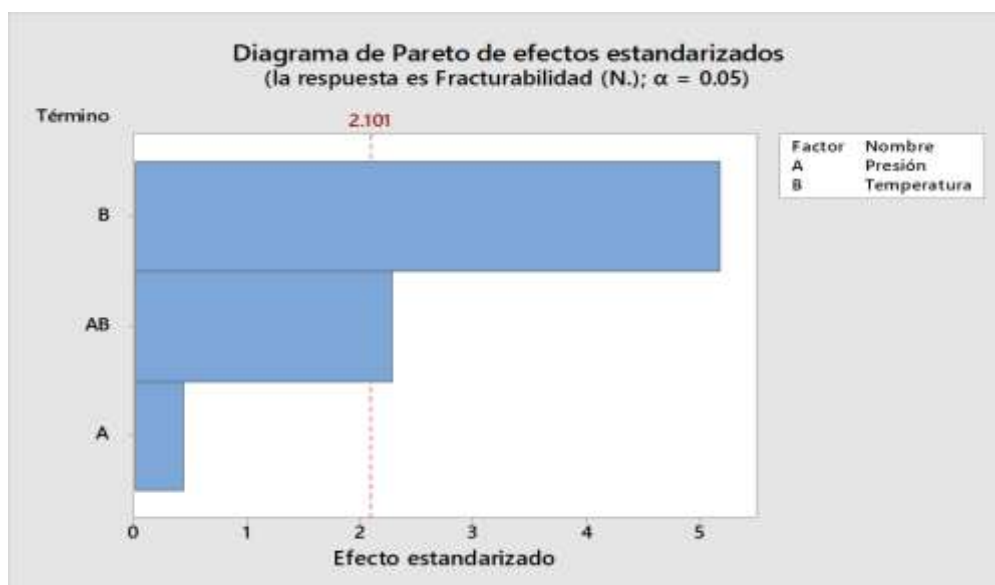
La Figura 10 indica que la temperatura tiene un efecto mucho más fuerte sobre la fracturabilidad de las hojuelas de mashua negra que la presión, ya que el efecto de la temperatura supera el valor crítico de 0.05. Esto sugiere que la temperatura es un factor clave en la facilidad con la que las hojuelas se fracturan. En cambio, el efecto de la presión no es estadísticamente significativo, lo que indica que, en este caso, la presión por sí sola no influye de manera notable en la fracturabilidad.

Aunque la interacción entre presión y temperatura se acerca al valor crítico, no alcanza significancia estadística, lo que implica que la combinación de ambos factores tiene un impacto limitado en la fracturabilidad. No obstante, es importante destacar que esta interacción podría tener un efecto bajo condiciones específicas, lo que es consistente con los hallazgos de Serrano (2013) y Quisquiche (2011), quienes concluyeron que la temperatura es más determinante en la textura de los productos fritos al vacío, mientras que la presión tiene un impacto menos pronunciado.

Quisquiche (2011) señala que la temperatura influye directamente en la dureza y fracturabilidad de los alimentos fritos al vacío, con temperaturas más altas produciendo una textura más rígida. Este efecto se alinea con la investigación de Serrano (2013), quien encontró que temperaturas elevadas incrementan la rigidez y resistencia al quiebre de los productos. Por su parte, la presión, aunque importante en otros aspectos de la textura, no muestra un efecto significativo en la fracturabilidad en este análisis.

Figura 10

Diagrama de Pareto efectos estandarizados para la textura (Fracturabilidad).

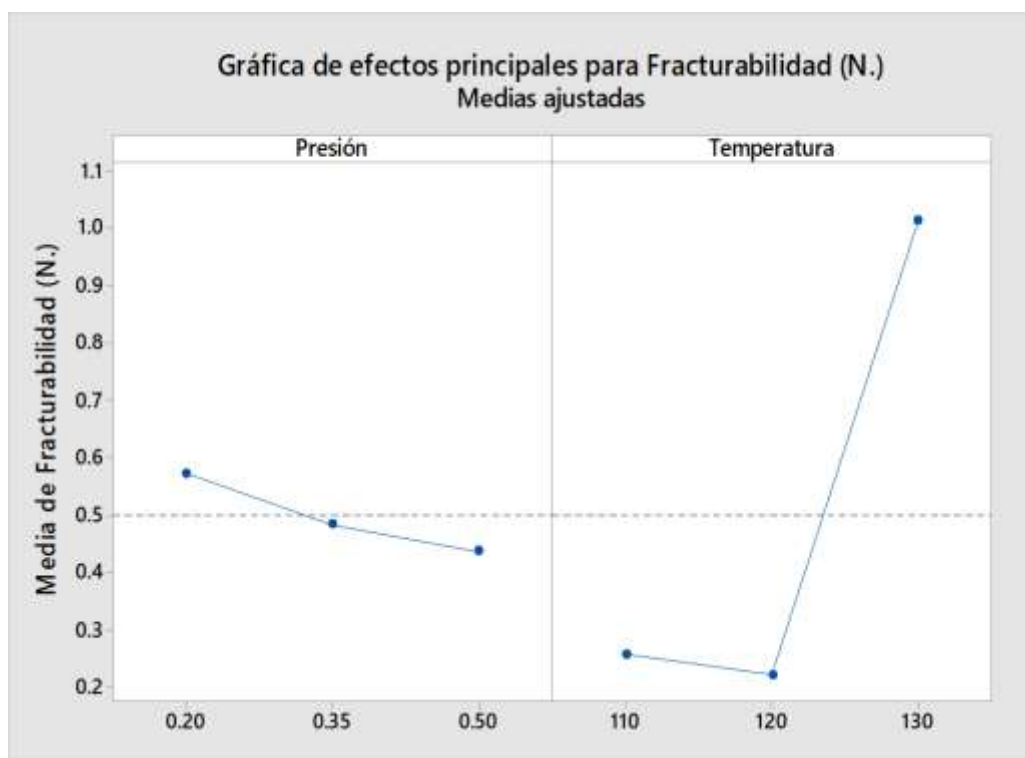


La Figura 11 ilustra el efecto combinado de la presión y la temperatura sobre la fracturabilidad de las hojuelas de mashua negra procesadas por fritura al vacío.

En cuanto a la presión, se evidenció una relación inversamente proporcional: al disminuir la presión, la fracturabilidad del producto tiende a incrementarse. Este resultado indica que operar a presiones más bajas durante la fritura al vacío favorece la expansión de la matriz alimentaria, lo cual estimula la formación de estructuras porosas que facilitan la fractura del producto final. Este comportamiento ha sido reportado previamente por autores como Ruiz (2010) y Pérez et al. (2017), quienes concluyeron que una menor presión reduce la rigidez estructural, generando texturas más frágiles y crujientes.

Por otro lado, la temperatura mostró una influencia directa sobre esta variable. A mayores temperaturas, especialmente alrededor de los 130 °C, se observó un aumento en la fracturabilidad. Esto podría atribuirse a que el calor elevado favorece la desorganización de estructuras internas rígidas, facilitando la ruptura del producto. No obstante, es importante considerar que, tal como lo señalan Quisquiche (2011) y Serrano (2013), temperaturas elevadas también pueden inducir una mayor rigidez superficial, generando un efecto mixto sobre la textura final que depende del equilibrio entre deshidratación y compactación de la estructura.

Figura 11
Efectos principales para la textura (Fracturabilidad).



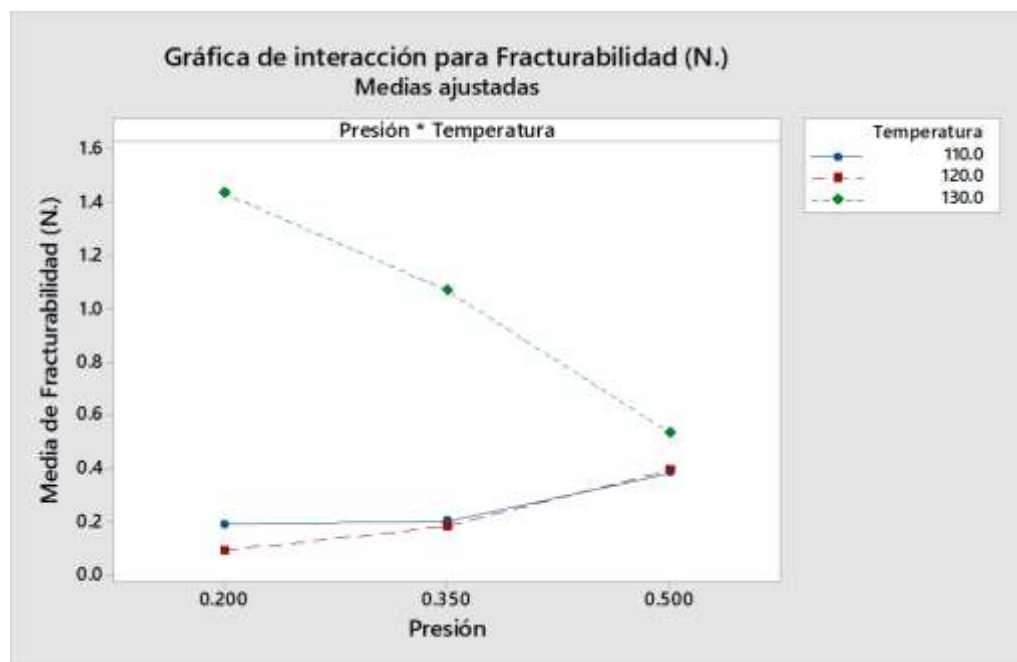
La Figura 12 muestra cómo la interacción entre los factores de presión y temperatura afecta la fracturabilidad de las hojuelas de mashua negra. El tratamiento Tr3 (130°C, 0.20 bar) presenta el mayor valor de fracturabilidad, lo que indica que una combinación de alta temperatura y baja presión mejora la facilidad de fractura. Este resultado es consistente con González et al. (2015), quienes encontraron que temperaturas más altas favorecen la fracturabilidad al facilitar la expansión celular y la ruptura de las membranas, produciendo una textura más quebradiza, ideal para productos como las hojuelas.

En contraste, el tratamiento Tr2 (120°C, 0.20 bar) muestra los valores más bajos de fracturabilidad, sugiriendo que temperaturas moderadas combinadas con baja presión no inducen suficientes cambios estructurales en el almidón y las células vegetales para promover una fractura adecuada. Hernández et al. (2017) observaron un comportamiento similar en productos fritos al vacío a temperaturas intermedias.

Por otro lado, cuando se aplica una presión de 0.35 bar, los valores de fracturabilidad son similares, sin importar si la temperatura es de 110°C o 120°C.

Esto sugiere que la presión y la temperatura interactúan de manera compleja. Molina et al. (2018) mencionan que la interacción de estos dos factores puede alterar la formación de la textura de los productos fritos al vacío, generando efectos no lineales. A medida que la presión aumenta, la expansión del producto se ve limitada, lo que puede reducir la fracturabilidad, incluso si la temperatura es moderada.

Figura 12
Interacción para la textura (Fracturabilidad).



La Tabla 15 presenta los resultados del análisis post hoc mediante la prueba de Tukey, en la cual las temperaturas se agrupan en dos niveles: grupo A (130 °C) y grupo B (110 °C y 120 °C). Los datos revelan que la temperatura de 130 °C genera una fracturabilidad significativamente mayor en comparación con los otros dos niveles evaluados. Este hallazgo es relevante para la industria, ya que una mayor fracturabilidad se asocia con una textura crujiente y de fácil ruptura, altamente valorada en productos como las hojuelas fritas.

La falta de diferencias significativas entre los tratamientos de 110 °C y 120 °C sugiere que, en este intervalo térmico, el impacto sobre la fracturabilidad es similar. Esto puede explicarse porque, a temperaturas relativamente bajas, las transformaciones estructurales de los componentes principales del tubérculo, como el almidón y la celulosa, son más limitadas, lo que impide generar cambios

notorios en la textura del producto final. En este sentido, Ramírez y Perales (2018) sostienen que temperaturas más elevadas durante la fritura al vacío promueven la expansión del almidón, incrementando la fragilidad del alimento. Asimismo, Hernández et al. (2017) indican que el aumento de la temperatura favorece una mayor porosidad en la estructura celular, contribuyendo a una textura más frágil y quebradiza, ideal en la elaboración de snacks.

Tabla 15

Comparaciones múltiples tukey para el factor temperatura para la variable fracturabilidad 95 % de significancia.

Temperatura(°C)	N	Media	Agrupación
130	9	1.01444	A
110	9	0.25889	B
120	9	0.22333	B

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

La prueba de Tukey presentada en la Tabla 16 muestra cómo diferentes combinaciones de presión (0.20, 0.35 y 0.50 bar) y temperaturas (110°C, 120°C y 130°C) influyen en la fracturabilidad de las hojuelas de mashua negra. Los tratamientos dentro del mismo grupo (A, B o C) no muestran diferencias significativas, lo que indica efectos estadísticamente similares, mientras que las diferencias entre grupos destacan que ciertas combinaciones de estos factores son más efectivas para ajustar la textura de las hojuelas.

La combinación de 0.20 bar con 130°C (tratamiento Tr2) presenta la mayor fracturabilidad, con un promedio de 1.43667, lo que indica una mayor facilidad de fractura, lo cual es ideal para obtener una textura crujiente. Este resultado puede explicarse por cómo la alta temperatura y baja presión afectan la matriz de almidón y la estructura celular. Según Ramírez y Perales (2018), las altas temperaturas en fritura al vacío favorecen la expansión y fragilidad de las estructuras de almidón, lo que mejora la fracturabilidad. Además, Hernández et al. (2017) sugieren que las

presiones bajas junto con temperaturas elevadas aumentan la porosidad, promoviendo una mayor fragilidad en el producto final.

Tabla 16

*Comparaciones múltiples tukey para la interacción de los factores (presión * temperatura) para la variable fracturabilidad 95 % de significancia.*

Presión (bar)	* Temperatura (°C)	N	Media	Agrupación		
0.20	130	3	1.43667	A		
0.35	130	3	1.07000	A	B	
0.50	130	3	0.53667	A	B	C
0.50	120	3	0.39333		B	C
0.50	110	3	0.38333		B	C
0.35	110	3	0.20333		B	C
0.20	110	3	0.19000		B	C
0.35	120	3	0.18333		B	C
0.20	120	3	0.09333			C

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

C. Cohesividad

Los resultados del análisis de varianza para la cohesividad de las hojuelas de mashua negra procesadas por fritura al vacío, presentados en la Tabla 17, indican que ni la presión, ni la temperatura, ni su interacción tienen un efecto significativo sobre este parámetro ($p > 0.05$). Esto sugiere que los cambios en estos factores no afectan de manera relevante la cohesividad del producto final. La cohesividad, entendida como la capacidad del alimento de mantenerse íntegro durante la manipulación, puede ser menos sensible a las variaciones de presión y temperatura en la fritura al vacío.

El análisis comparativo de textura realizado en este estudio, alineado con trabajos como el de Pillajo et al. (2019) y Quisquiche (2011), demuestra que la fritura al vacío puede mejorar características fisicoquímicas en términos de dureza y fracturabilidad en diversos alimentos, mientras que la cohesividad podría requerir factores adicionales para ser significativamente afectada.

Tabla 17

Análisis de varianza para la Cohesividad del producto final.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Presión (bar)	2	398.3	199.13	2.71	0.094
Temperatura (°C)	2	121.1	60.55	0.82	0.455
Presión*Temperatura	4	142.5	35.63	0.48	0.747
Error	18	1323.0	73.50		
Total	26	1984.9			

El Diagrama de Pareto de efectos estandarizados, representado en la Figura 13, indica que ni la temperatura (B), ni la presión (A), ni la interacción entre ambos factores (AB) ejercen una influencia estadísticamente significativa sobre la cohesividad de las hojuelas de mashua negra sometidas a fritura al vacío. Este resultado sugiere que la cohesividad del producto permanece relativamente estable, sin presentar variaciones importantes frente a los cambios en las condiciones de procesamiento evaluadas.

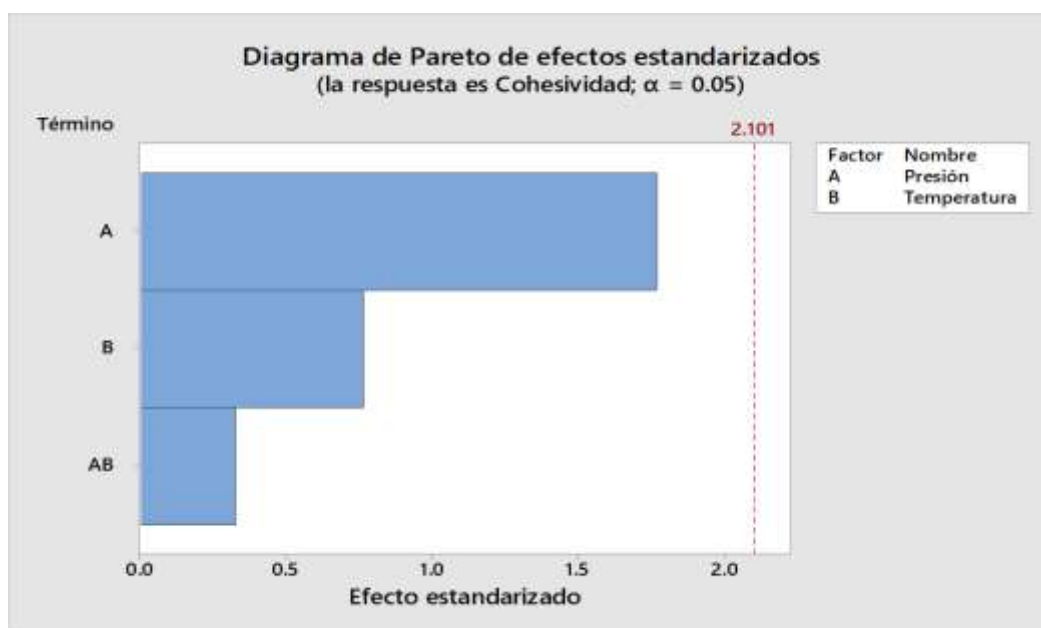
Investigaciones anteriores, como las realizadas por Serrano (2011) y Quelal (2012), han documentado que los tratamientos térmicos en productos a base de mashua tienden a reducir su acidez. De forma análoga, se ha demostrado que la fritura al vacío contribuye a disminuir la presencia de ciertos compuestos volátiles como los

isotiocianatos, lo que suaviza las características organolépticas de la mashua (Grau et al., 2003).

Si bien atributos texturales como la dureza y la fracturabilidad sí presentan variaciones significativas en función de la temperatura y la presión como lo evidencian estudios de Serrano (2013) y Quisquiche (2011), la cohesividad parece mantenerse inalterable ante dichas modificaciones del proceso. Estos resultados respaldan la hipótesis de que algunos parámetros de textura, como la cohesividad, poseen una menor sensibilidad a las variables de procesamiento, en contraste con otros atributos mecánicos. Esta observación coincide con lo reportado por Pillajo et al. (2019), quienes subrayan que los distintos componentes de la textura responden de forma diferenciada según el tipo de tratamiento aplicado.

Figura 13

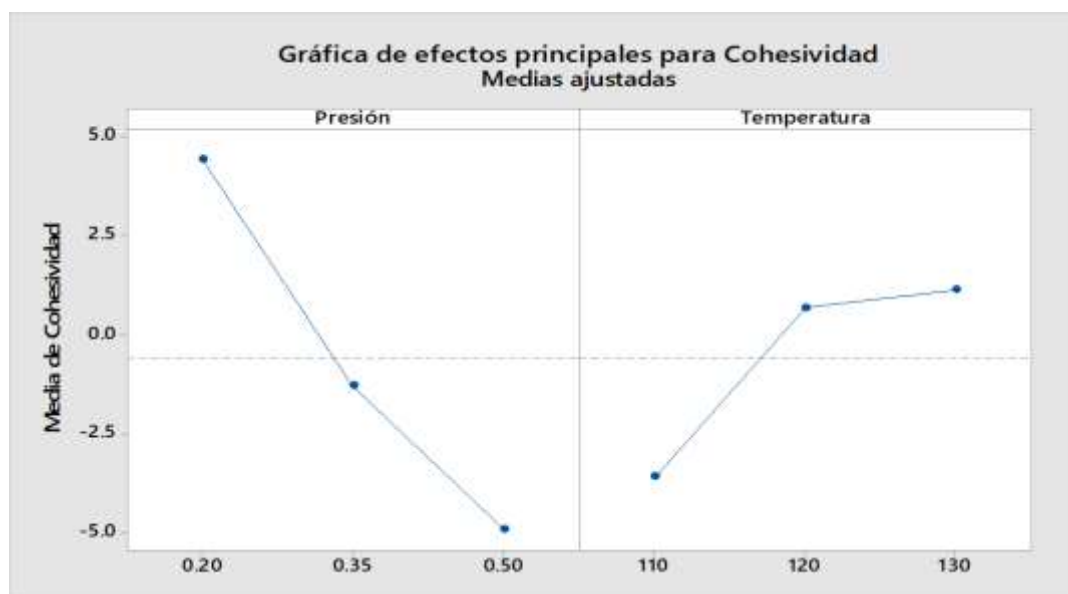
Diagrama de Pareto efectos estandarizados para la textura (Cohesividad).



La Figura 14 muestra que tanto la presión como la temperatura afectan la cohesividad de las hojuelas de mashua negra de manera diferenciada. La cohesividad aumenta a medida que disminuye la presión, lo que coincide con estudios previos (Serrano, 2013; Quisquiche, 2011) que indican que una menor presión en frituras al vacío ayuda a mantener mejor la estructura del producto, incrementando su cohesividad. Por otro lado, la temperatura también tiene un efecto

positivo, ya que la cohesividad aumenta ligeramente con temperaturas más altas, especialmente a 130°C. Este comportamiento es respaldado por investigaciones de Pillajo et al. (2019) y Grau et al. (2003), que sugieren que la temperatura influye en la textura, aunque su impacto en la cohesividad es menor en comparación con otros parámetros como la dureza o la fracturabilidad.

Figura 14
Efectos principales para la textura (Cohesividad).



La Figura 15 ilustra cómo la interacción entre la presión y la temperatura influye en la cohesividad de las hojuelas de mashua negra sometidas a fritura al vacío. Se observa que la combinación de temperaturas elevadas con presiones reducidas tiende a disminuir la cohesividad del producto final. Este efecto es especialmente evidente en el tratamiento Tr3 (130 °C y 0.20 bar), que presentó el menor valor de cohesividad, lo que sugiere que dichas condiciones intensifican la pérdida de humedad y generan modificaciones estructurales significativas en la matriz alimentaria, en concordancia con lo reportado por Serrano (2011).

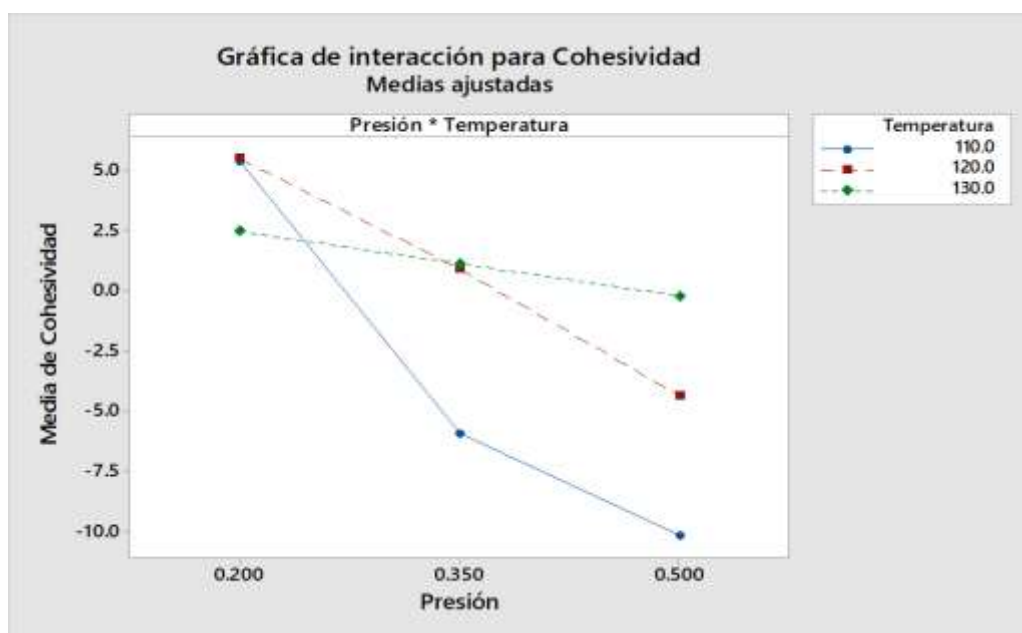
Asimismo, el tratamiento Tr7 (110 °C y 0.50 bar) mostró un valor de cohesividad igualmente bajo, pero bajo una condición de alta presión. Este comportamiento respalda la hipótesis de que una presión elevada puede compactar

las estructuras internas del alimento, reduciendo la cohesión entre sus componentes, como lo afirman Grau et al. (2003) y Pillajo et al. (2019).

En conjunto, los resultados sugieren que la interacción entre presión y temperatura tiene un efecto importante en la cohesividad del producto. Específicamente, las condiciones de baja presión combinadas con alta temperatura favorecen una disminución de este atributo textural, lo cual puede atribuirse tanto a la intensificación de los fenómenos de deshidratación como a la alteración de la estructura celular, de acuerdo con lo señalado en investigaciones previas (Serrano, 2011; Quelal, 2012).

Figura 15

Interacción entre los factores de presión y temperatura para la textura (Cohesividad).



CAPITULO V: CONCLUSIONES

- ✓ La presión de fritura tuvo un efecto significativo sobre las características fisicoquímicas de las hojuelas de mashua negra. En particular, una presión de 0.50 bar permitió reducir la acidez titulable hasta 0.15% de ácido oxálico y generó hojuelas con menor cohesividad y mayor fracturabilidad, lo cual indica una textura más frágil y menos compacta.
- ✓ La temperatura también influyó en la acidez y textura. A 110°C, se logró el menor valor de acidez titulable (0.15% de ácido oxálico), mientras que temperaturas más elevadas (120°C y 130°C) aumentaron la acidez y la fracturabilidad. Esto demuestra que temperaturas moderadas favorecen la estabilidad del producto sin comprometer su textura.
- ✓ La combinación de 0.50 bar y 110°C (Tratamiento Tr7) fue la más efectiva para reducir la acidez titulable y mantener una textura aceptable, logrando un equilibrio entre ambos parámetros. En contraste, la combinación de 0.20 bar y 130°C produjo hojuelas más frágiles, con mayor fracturabilidad. Por tanto, la interacción entre presión y temperatura es determinante para optimizar tanto la acidez como las propiedades texturales del producto final.

CAPITULO VI: RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda evaluar el tiempo de fritura al vacío y su influencia en las propiedades fisicoquímicas, considerando su impacto en la textura y acidez del producto final. Esto permitiría optimizar más precisamente el proceso y mejorar las características sensoriales de las hojuelas de mashua negra.
- ✓ Además, se sugiere incluir el análisis de la elasticidad y adhesividad como parámetros adicionales de textura, ya que estos también influyen en la percepción sensorial del consumidor, especialmente en productos fritos al vacío. Incluir el análisis de la elasticidad y adhesividad como parámetros adicionales de textura, ya que estos también influyen en la percepción sensorial del consumidor, especialmente en productos fritos al vacío.
- ✓ Finalmente, sería beneficiosos realizar un estudio sensorial con un panel de evaluación sensorial para validar las características fisicoquímicas observadas y ajustar el proceso de fritura al vacío, asegurando que el producto final cumpla con las expectativas del mercado."

CAPITULO VII: BIBLIOGRAFÍA

- Abong', G. O., Okoth, M. W., Imungi, J. K., & Kabira, J. N. (2011). Effect of slice thickness and frying temperature on color, texture and sensory properties of crisps made from four Kenyan potato cultivars. *American Journal of Food Technology*, 6(9), 753–762. <https://doi.org/10.3923/ajft.2011.753.762>
- Acosta, M., Chávez, A., & Castellanos, F. J. (2019). Efecto de la fritura por inmersión al vacío en rodajas de mango “tommy atkins” deshidratadas osmóticamente. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 18(1). <https://doi.org/10.18684/bsaa.v18n1.1427>
- Aguilera, J. M., & Gloria-Hernández, H. (2000). *Instrumental measurements and sensory characteristics of textural properties in food*. Academic Press.
- Alvarado, M. (2019). *Evaluación de la madurez de papa y su influencia en la calidad de chips fritos* [Tesis de pregrado, Universidad de La Rioja]. <https://investigacion.unirioja.es/documentos/5c13b25dc8914b6ed377ca9d>
- Alvis, R. (2020). Efecto de temperatura y velocidad de secado en la actividad antioxidante de la mashua (*Tropaeolum tuberosum*) en el secado en bandejas. *Revista Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería*, 3(1). <https://doi.org/10.25127/ucni.v3i1.587>
- Anton, A. A., & Luciano, F. B. (2007). Instrumental texture evaluation of extruded snack foods: A review. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 5(4). <https://doi.org/10.1080/11358120709487697>
- AOAC. (2016). *Official methods of analysis* (20th ed.). AOAC International.
- Arteaga, D., Chacón, L., Samamé, V., Valverde-Cerna, D., & Paucar-Menacho, L. M. (2022). Mashua (*Tropaeolum tuberosum*): Nutritional composition, chemical characteristics, bioactive compounds, and beneficial properties for health. *Agroindustrial Science*, 12(1). <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2022.01.12>
- Badui, S. (2006). *Química de los alimentos*. Pearson Educación.

- Bergman, C. (2012). Processing effects on the oxalate content of tubers. *Journal of Food Science*, 77(1), 43-50. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02576.x>
- Bourne, M. C. (2002). *Food texture and viscosity: Concept and measurement* (2nd ed.). Academic Press.
- Bradbury, J. H., Bradshaw, K., Jealous, W., Holloway, W. D., & Phimpisane, T. (1988). Effect of cooking on nutrient content of tropical root crops from the south pacific. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 43(4). <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740430406>
- Brennan, J. G. (Ed.). (2006). *Manual del procesado de alimentos*. Ediciones Acribia.
- Casp, A., & April, J. (2003). *Procesos de conservación de alimentos*. Ediciones Mundi Prens. <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume1/1/6/110.pdf>
- Castellanos, F. J., Pinedo, C. R., & Hernández, O. D. (2012). Comparación entre fritura atmosférica y al vacío en chips de plátano. *Vitae*, 19(1).
- CIP. (2014). *Almacenamiento y manejo de poscosecha de tubérculos*. Centro Internacional de la Papa. <https://cipotato.org/wp-content/uploads/2014/09/5-1-Manual-produccion.pdf>
- Coloma, A., Flores, E., Quille, G., Zaira, A., Apaza, J., Calsina, W. C., Huata, P., Inquilla, J., & Huanca, F. (2022). Characterization of nutritional and bioactive compounds in three genotypes of mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón) from different agroecological areas in Puno. *International Journal of Food Science*, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/7550987>
- Coronel, M. (2014). Fritura al vacío: Un enfoque nutricional (Vacuum Frying: A nutritional approach). *Enfoque UTE*, 5(3).
- Crosa, M. J., Skerl, V., Cadenazzi, M., Olazábal, L., Silva, R., Suburú, G., & Torres, M. (2014). Changes produced in oils during vacuum and traditional frying of potato chips. *Food Chemistry*, 146. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.08.132>

- Da Silva, P. F., & Moreira, R. G. (2008). Vacuum frying of high-quality fruit and vegetable-based snacks. *LWT*, 41(10). <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.01.016>
- Delgado, W. (2004). Porque se enrancian las grasas y los aceites. Palmas Colombia. Recuperado el 22 de noviembre de 2024.
- Dilas, J. (2020). Mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón): Underutilized crop with high potential for high Andean areas in Perú. *Alpha Centauri*, 1(1), 11.
- Dobarganes, M. C. (2011). Manual de química y bioquímica de los alimentos. Grasas y Aceites, 62.
- Espin, S., Villacres, E., & Brito, B. (2014). Caracterización físico-química, nutricional y funcional de raíces y tubérculos andinos: Composición química y valor nutricional de las RTAs. *Raíces y Tubérculos Andinos*, 4(2).
- Fernández, E. L., Figueira, G. M., & Rodríguez, F. S. (2017). The impact of frying on oxalate concentration in tubers and other vegetables. *Food Chemistry*, 217, 417-424. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.08.020>
- Garayo, J., & Moreira, R. (2011). Vacuum frying of potato chips. *Journal of Food Engineering*, 102(1), 39-47. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.06.016>
- García, P., Urbano, A. M., Fiszman, S., & Martínez, J. (2016). Effects of processing conditions on the quality of vacuum fried cassava chips (*Manihot esculenta* Crantz). *LWT*, 69. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.02.014>
- Garz, G. A. (2008). Las antocianinas como colorantes naturales y compuestos bioactivos: Revisión. *Acta Biol. Colomb.*, 13(3).
- Gómez, J., & Sánchez, R. (2016). *Procesamiento de alimentos y control de calidad en la fritura*. Editorial Académica.
- González, A., Pérez, R., & López, L. (2015). Efecto de la temperatura y presión en la textura de productos fritos al vacío. *Revista de Tecnología Alimentaria*, 31(3), 156-165.

- Grau, H. R., Aide, T. M., Zimmerman, J. K., Thomlinson, J. R., Helmer, E., & Zou, X. (2003). The ecological consequences of socioeconomic and land-use changes in postagriculture Puerto Rico. *BioScience*, 53(12), 1159-1168. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2003\)053\[1159:TECOSE\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2003)053[1159:TECOSE]2.0.CO;2)
- Guerrero, L., Claret, A., & Xicola, J. (2009). Sensory and consumer perception of texture in food. *Journal of Texture Studies*, 40(4), 279-290.
- Gutiérrez, A., Gómez, J., & Sánchez, R. (2015). *Tecnologías de procesamiento de tubérculos y fritura al vacío*. Instituto Tecnológico de Alimentos.
- Hernández, C., Soto, G., & Gómez, M. (2017). Influencia de la temperatura y la presión en la textura de alimentos procesados por fritura al vacío. *Journal of Food Science and Technology*, 42(6), 2334-2341.
- Hernández, H., Aguilar, W. de J., & Gómez, C. S. (2022). Uso y manejo de raíces y tubérculos comestibles nativos en una comunidad maya de Yucatán, México. *Estudios Sociales. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*. <https://doi.org/10.24836/es.v32i59.1177>
- Hernández-Sampieri, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill.
- Hess, J., & Slavin, J. (2017). The nutrient density of snacks: A comparison of nutrient profiles of popular snack foods using the Nutrient-Rich Foods Index. *Journal of Food Science*, 82(2), 305-313. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13648>
- Horwitz, W., & Latimer, G. W. (2010). *Official methods of analysis of AOAC International* (18th ed.). AOAC International
- Kaundal, B., Sharma, V., Bansal, D., Khagwal, A., & Singh, B. (2022). Comparative study of frying to different slice thickness of potato: Effect on nutritive value. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 65, e22220033. <https://doi.org/10.1590/1678-4324-2022220033>
- Kerlinger, F. N., & Lee, H. B. (2002). *Investigación del comportamiento: Métodos de investigación en ciencias sociales* (4ª ed.). McGraw-Hill.

- López, M., Rodríguez, J., & Martínez, P. (2014). Control de humedad en productos fritos: Aspectos de envasado y conservación. *Revista de Tecnología Alimentaria*, 32(4), 112-120.
- Lozano, L., Romero, C., & Sánchez, F. (2018). Estudio sensorial y análisis de aceptación en productos procesados al vacío. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(8), e13792. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13792>
- Madrid, L., & Álvarez, H. (2021). Estrategias para la implementación efectiva de la cadena de frío en la región de Azuero. *Revista de Iniciación Científica*, 7(1). <https://doi.org/10.33412/rev-ric.v7.1.3052>
- Malpartida, R. J., Adama, J. M., Cajachagua, Y. Y., & Rosales, M. C. (2022). Características fisicoquímicas, composición nutricional y compuestos bioactivos en tres variedades de Mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz y Pavón): Una revisión. *Revista Tecnológica - ESPOL*, 34(2), 41-51. <https://doi.org/10.37815/rte.v34n2.891>
- Manzoor, S., Masoodi, F. A., Rashid, R., & Ganaie, T. A. (2022). Quality changes of edible oils during vacuum and atmospheric frying of potato chips. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 82. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103185>
- Martínez, S., González, A., & Pérez, L. (2015). Efecto de la temperatura en la conservación de la calidad de productos fritos al vacío. *Food Chemistry*, 184, 47-55. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.03.061>
- Matz, S. (1962). Textural characteristics of food: The relation to other properties and their impact on sensory quality. *Journal of Food Science*, 27(4), 493–497.
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego [MIDAGRI]. (2021). *Observatorio de las Siembras y Perspectivas de la Producción, Quinua*. Midagri, 3.
- Molina, J., Jiménez, R., & Martín, E. (2018). Interacciones entre temperatura y presión en la fritura al vacío de productos alimenticios. *Food Processing and Technology*, 23(2), 88-94.

- Montgomery, D. C. (2017). *Design and analysis of experiments* (9th ed.). Wiley.
- Moreira, R. G., Sun, X., & Chen, Y. (2005). Factors affecting oil uptake in tortilla chips in deep-fat frying. *Journal of Food Engineering*, 31, 485-498.
- Moreno, M. J. A. Cuvi, G. Oña Pillajo, T. Llumiquinga Hernández, & A. Concellón. (2015). Efecto de la cocción sobre la composición química y capacidad antioxidante de papas nativas (*Solanum tuberosum*) del Ecuador. *Ecuador es calidad: Revista Científica Ecuatoriana*, 2(2). <https://doi.org/10.36331/revista.v2i2.15>
- Nielsen, S. S. (2017). *Food analysis laboratory manual* (4th ed.). Springer.
- Nielsen, S. S., Tyl, C., & Sadler, G. D. (2017). pH and titratable acidity. En S. S. Nielsen (Ed.), *Food analysis* (pp. 389-406). Springer.
- Nielsen, S. S., Tyl, C., & Sadler, G. D. (2017). pH and titratable acidity. En S. S. Nielsen (Ed.), *Food analysis* (pp. 389-406). Springer.
- NORMA TÉCNICA PERUANA. (2019). *NTP 900.058 2019: Norma Técnica Peruana 900.058.2019*.
- Oliveira, J. A., Lima, S. M., & Almeida, D. (2015). Effect of boiling on the oxalate content of native and commercial tubers. *Food Research International*, 77, 285-290. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.08.040>
- Orellano, E. V., & Valverde, J. M. (2017). Propiedades físicas, antocianinas y capacidad antioxidante del atomizado de Mashua (*Tropaeolum Tuberosum*) encapsulado con maltodextrina [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional UNCP. <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/4776/Orellano%20Gonzales%20-%20Valverde%20Torres.pdf?sequence=1>
- Paredes, P. (2016). *Análisis y procesos de fritura en la industria alimentaria*. Editorial Universitaria.

- Pastor, S., Fuentealba, B., & Ruiz, M. (2006). *Cultivos Subutilizados en el Perú: Análisis de las Políticas Públicas Relativas a su Conservación y Uso Sostenible*. Asociación Civil Pro Uso DIVERSITAS - PROUD.
- Pedreschi, F., & Moyano, P. (2005). Oil uptake and texture development in fried potato slices. *Journal of Food Engineering*, 70(4), 557–563. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.10.010>
- Pérez, A., Rodríguez, M., & Hernández, J. (2015). *Fritura al vacío en el procesamiento de alimentos: Efectos sobre la calidad de los productos*. Editorial Científica.
- Perez, E., Soto, G., & Morales, J. (2017). Influencia de la presión en la textura de alimentos fritos al vacío. *Journal of Food Science*, 33(4), 121-126.
- Pillajo, J., Bravo-Vásquez, J., & Vernaza, M. G. (2019). Efecto de la cocción y la concentración de sal como pretratamiento de chips de Mashua (*Tropaeolum tuberosum*) obtenidos por fritura al vacío. *Información Tecnológica*, 30(4). <https://doi.org/10.4067/s0718-07642019000400013>
- Pokorny, J., Vanishlieva, N., & Gordon, M. (Eds.). (2005). *Antioxidantes de los alimentos: Aplicaciones prácticas*. Editorial Acribia, S.A. https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/35870175/antioxidantes_de_los_alimento-libre.pdf
- Ramírez, M., & Castillo, R. (2013). *Estabilidad de alimentos durante el almacenamiento: factores y control de calidad*. Editorial Trillas.
- Rettig, K., & Hen, K. (2014). El color en los alimentos un criterio de calidad medible. *Agro Sur*, 42(2). <https://doi.org/10.4206/agrosur.2014.v42n2-07>
- Quelal, A. (2012). Obtención de rodajas fritas "chips" de mashua (*Tropaeolum tuberosum*) aplicando la tecnología de fritura. Retrieved from <https://www.1library.co/document/q0e3g0qz-obtencion-rodajas-fritas-chips-mashua-tropaeolum-tuberosum-aplicando-tecnologia-fritura>

- Quelal, S. (2012). Reducción de acidez en productos procesados de mashua mediante fritura y cocción. *Journal of Andean Food Studies*, 8(2), 92-103.
- Quisquiche, J. S. (2011). Efecto de la presión y temperatura de fritura al vacío sobre las características fisicoquímicas y sensoriales de hojuelas de camote (*Ipomoea batatas*) variedad bondadosa [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio de la Universidad Nacional de Cajamarca. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/6987>
- Ramírez, M., & Perales, G. (2018). Efectos de la temperatura en la textura de productos fritos al vacío. *Revista de Tecnología Alimentaria*, 21(4), 320-332.
- Ramos, V., & Tarazona, G. (2001). Estudio de la estabilidad de las hojuelas fritas de papa durante el almacenamiento al medio ambiente. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
- Rincón, A. (2014). Biosíntesis de los glucosinolatos e importancia nutricional humana y funciones de protección a las plantas. *Alimentos Hoy*, 22(31).
- Rodríguez, J., Gómez, P., & Martínez, M. (2017). Desinfección de tubérculos y seguridad alimentaria en procesos de fritura. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 24(2), 87-94.
- Rosenthal, A. J. (2001). *Textura de los alimentos: Medida y percepción*. Ciencia y tecnología de los alimentos. Propiedades físicas de los alimentos, reología, propiedades organolépticas, evaluación sensorial de los alimentos. Editorial EAN. <https://doi.org/10.1007/978-84-200-0950-6>
- Ruiz, C. (2010). Efectos de la presión en la textura de alimentos procesados por fritura al vacío. *Revista de Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 9(2), 45-52.
- Saenz, S., Molinello, A. L., Prieto, L., & Rodriguez, T. (2019). Mashua (cubio) as a sustainable production alternative in urban agriculture settings in Bogota. *EQUIDAD & DESARROLLO*, 34.
- Serrano, A. (2013). Obtención de productos tipo aperitivos (snack) de mashua (*Tropaeolum tuberosum*) mediante la aplicación de fritura al vacío (Tesis de

pregrado). Universidad Tecnológica Equinoccial.
<http://repositorio.ute.edu.ec/jspui/handle/123456789/4871>

Serrano, A. (2013). Obtención de productos tipo aperitivos (snack) de mashua (*Tropaeolum tuberosum*) mediante la aplicación de fritura al vacío (Tesis de pregrado). Universidad Tecnológica Equinoccial.
<http://repositorio.ute.edu.ec/jspui/handle/123456789/4871>

Serrano, P. (2011). Efectos del tratamiento térmico en los isotiocianatos de mashua (*Tropaeolum tuberosum*). *Revista de Ciencia Agrícola*, 19(4), 105-112.

Shyu, S. L., & Hwang, L. S. (2001). Effects of processing conditions on the quality of vacuum-fried carrot chips. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81(13), 1269-1274. <https://doi.org/10.1002/jsfa.949>

Shyu, S. L., & Hwang, L. S. (2001). Effects of processing conditions on the quality of vacuum-fried carrot chips. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81(13), 1269-1274. <https://doi.org/10.1002/jsfa.949>

Skoog, D. A., West, D. M., Holler, F. J., & Crouch, S. R. (2013). *Fundamentals of analytical chemistry* (9th ed.). Cengage Learning.

Skoog, D. A., West, D. M., Holler, F. J., & Crouch, S. R. (2013). *Fundamentals of analytical chemistry* (9th ed.). Cengage Learning.

Suaterna, A. C. (2011). *La fritura de los alimentos: el aceite de fritura*. Perspectivas En Nutrición Humana, 11(1). <https://doi.org/10.17533/udea.penh.9390>

Szczesniak, A. S. (2002). Texture is a sensory property. *Food Quality and Preference*, 13(4), 215-225.

Temoche, M., Campos, D., Chirinos, R., & Cisneros, L. (2004). Evaluación de los compuestos bioactivos y la capacidad antioxidante presente en 30 genotipos de mashua. *Anales Científicos*, 57, 229-247.

Temoche, M., Campos, D., Chirinos, R., & Cisneros, L. (2004). Evaluación de los compuestos bioactivos y la capacidad antioxidante presente en 30 genotipos de mashua. *Anales Científicos*, 57, 229-247.

- Torres, J. A., & Martínez, I. G. (2012). *Tecnología de envasado de alimentos: fundamentos y aplicaciones*. Editorial Acribia.
- Trejo, D. M., Cortés, M., & Mejía, D. F. (2019). Influencia de proceso de fritura al vacío sobre la calidad de chips de papa nativa, variedad botella roja. *Información Tecnológica*, 30(5). <https://doi.org/10.4067/s0718-07642019000500067>
- Trivelli, C., & Smith, S. (1997). *Cultivos andinos y el mercado: El caso del ulluco en la sierra sur del Perú*. Lima, Perú, Centro Internacional de la Papa (CIP).
- Troncoso, E., Pedreschi, F., & Zúñiga, R. N. (2009). Comparative study of physical and sensory properties of pre-treated potato slices during vacuum and atmospheric frying. *LWT - Food Science and Technology*, 42(1), 187–195. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.05.017>
- Urrutia, E. (2023). Determinación de las propiedades físicas, químicas y sensoriales en hojuelas fritas de tres clones de papa nativa (*Solanum tuberosum*). Universidad Nacional José María Arguedas. <https://hdl.handle.net/20.500.14168/783>
- Vargas, J., & Pinto, L. (2020). Evaluación de la influencia de temperatura y concentración de sacarosa en la deshidratación osmótica de mashua (*Tropaeolum tuberosum*) [Tesis de bachiller en Ingeniería de Industrias Alimentarias, Universidad Peruana Unión]. Alicia Concytec. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UEPU_45c1a29f7f1a355a2f9c5cb3e2623fb9
- Villamizar, M., Herrera, F., & Ortega, A. (2011). Caracterización fisicoquímica de los productos fritos al vacío. *Revista Latinoamericana de Ciencias de la Alimentación*, 8(3), 150-157. <https://doi.org/10.1016/j.rclal.2011.04.005>
- Wang, Y., Li, J., & Zhao, X. (2023). Effect of frying temperature and time on the physicochemical properties of vacuum-fried products. *Journal of Food Science and Technology*, 58(1), 107-115. <https://doi.org/10.1007/s11483-023-0739-9>

ANEXOS

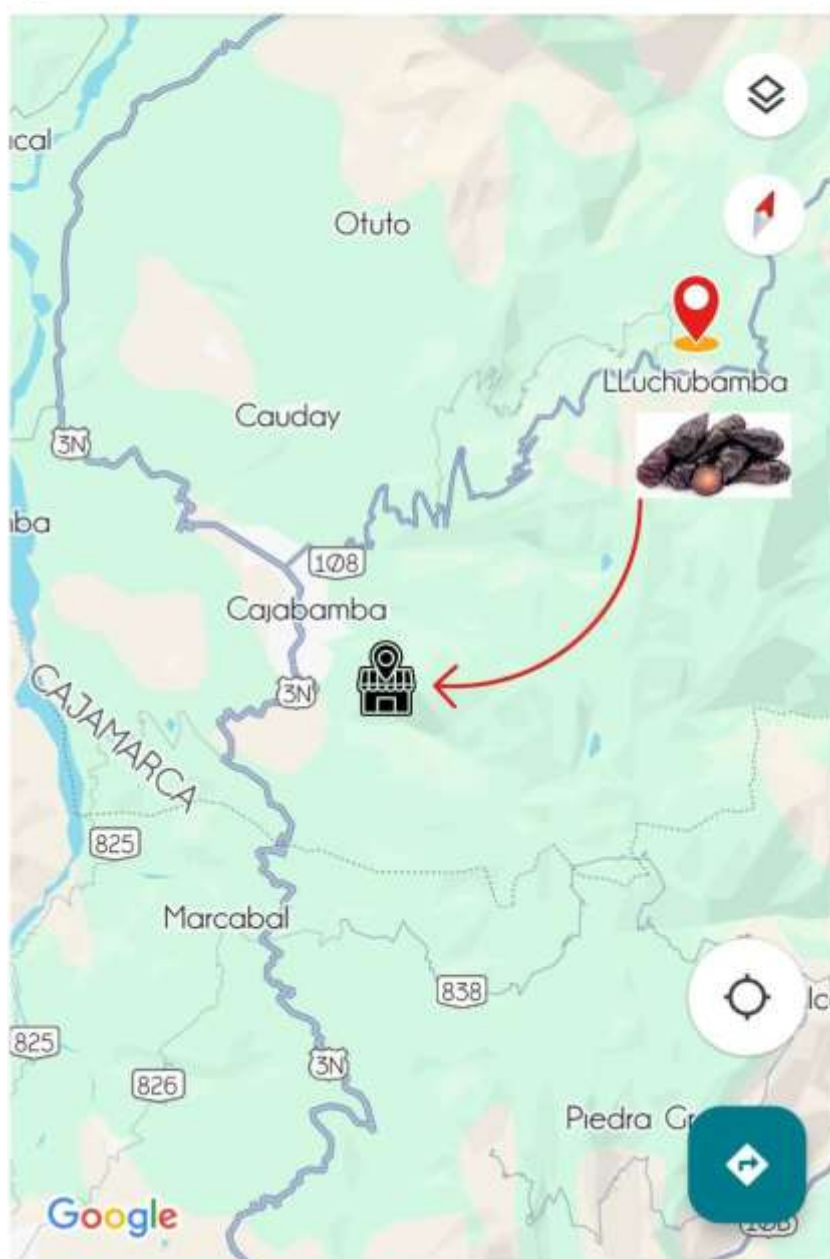
Ubicación geográfica del lugar de procedencia y punto de compra de materia prima mashua negra (*Tropaeolum tuberosum*)

Anexo 01

LUGAR DE ADQUISICIÓN DE LA MASHUA

**Procedencia:** Localidad de Lluchubamba, distrito de Sitacocha, provincia de Cajabamba.

**Punto de compra:** Mercado local de Cajabamba, provincia de Cajabamba.



Descripción del proceso de producción de hojuelas de mashua negra por fritura al vacío:

Anexo 02

Recepcion de la materia prima en el laboratorio de analisis de alimentos de la Universidad Nacional de Cajamarca.



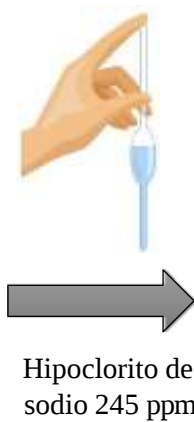
Anexo 03

Selección manual de la materia prima.



Anexo 04

Lavado de la materia prima con agua potable y desinfección con hipoclorito de sodio.



Anexo 05

Cortado de la mashua en rodajas de 2 mm.



Anexo 06

Equipo de freidora al vacío..



Anexo 07

Proceso de fritura al vacío..



Adición del aceite vegetal.



Programación de temperatura para cada tratamiento
(110°C, 1120°C y 130°C)



Se agrega las rodajas de mashua, se tapa la freidora y se programa a la presión de cada tratamiento (0.20, 0.35.0.50 bar.) por 5 min.

Anexo 08

Proceso de escurrido del aceite en exceso.



Anexo 09

Proceso de enfriado de las hojuelas.



Anexo 10

Proceso de envasado de las hojuelas.



Anexo 11

Proceso de almacenado de las hojuelas.



Análisis fisicoquímico en hojuelas de mashua negra fritas al vacío

Anexo 12

Evaluacion de textura en las hojuelas.



Muestra: Hojuela de mashua por fritura al vacío.

Anexo 13

Determinacion de la acidez titulable total.



***Preparación de las muestras
a evaluar***

Proceso para determinar la acidez titulable



1. Peso de la muestra



2. Trituración de la muestra



3. traspaso a un vaso de precipitado



4. agregamos agua destilada



5. agregamos fenolftaleína



6. titulación con NaOH.



Anexo 14

Ficha Técnica del Aceite Vegetal utilizado en la FV.

 Servicio al Cliente 0-800-12542 (sin costo) ó 5950444 atencionclientes@alicorp.com.pe		Alicorp S.A.A Planta COPSA Av. Argentina 4793 Carmen de la Legua Reynoso Lima 100 - Perú T (511) 3150800 http://www.alicorp.com.pe																																	
HOJA TÉCNICA																																			
PRODUCTO: ACEITE VEGETAL CRISOL FRITURA INTENSA																																			
REGISTRO SANITARIO: C1301410N NKAISA																																			
CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS																																			
CARACTERÍSTICAS	LÍMITES	UNIDADES	MÉTODOS ANALÍTICOS																																
Acidez libre (% ac. oleico)	Máx. 0.10	%	AOCS Official Method Ca 5a-40: 2009																																
Índice de peróxido (*)	Máx 1.0	meq O ₂ / Kg	AOCS Official Method Cd 8.53(9): 2009																																
Contenido de Plomo (**)	Máx 0.08	ppm	AOAC 994.02																																
Contenido de Arsénico (**)	Máx 0.1	ppm	AOAC 952.13																																
CARACTERÍSTICAS SENSORIALES (según Panel de conformidad)																																			
Color Iovibond	Máx. 2.0 Rojo	Celda 5 ¼ "	PCO-A-CA-00-022																																
Sabor	Mín 7.0 (bueno)	-	PCO-A-CA-00-023																																
(*) Valor medido en nuestros almacenes. No más de 10 meq/Kg al término de su vida útil. (**) Análisis no reportados en los certificados de calidad de cada lote.																																			
DESCRIPCIÓN	Aceite vegetal																																		
INGREDIENTES	Aceite 100 % oleína de palma																																		
ALERGENOS	-																																		
ASPECTO	Limpido, transparente, brillante, sin turbidez y sin materias extrañas.																																		
	Material de envase limpio, hermético, con código de producción en forma legible y con rotulado de acuerdo a norma de rotulado vigente.																																		
TABLA NUTRICIONAL	<table border="1"> <tr> <td colspan="2">X porciones por envase</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Tamaño por porción 1 cda. (14g)</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Calorías 130 (7 % VD)</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: right;">% Valor Diario</td> </tr> <tr> <td>Grasa Total 14g</td> <td style="text-align: right;">22%</td> </tr> <tr> <td>Grasa Saturada 6.0g</td> <td style="text-align: right;">26%</td> </tr> <tr> <td>Grasas Trans*** 0g</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Grasa Poliinsaturada 2.5g</td> <td style="text-align: right;">ND</td> </tr> <tr> <td>Grasa Monoinsaturada 6.0g</td> <td style="text-align: right;">ND</td> </tr> <tr> <td>Sodio 0mg</td> <td style="text-align: right;">0%</td> </tr> <tr> <td>Carbohidratos Totales 0g</td> <td style="text-align: right;">0%</td> </tr> <tr> <td>De los cuales Azúcares totales 0 g</td> <td style="text-align: right;">0%</td> </tr> <tr> <td>Proteína 0g</td> <td style="text-align: right;">0%</td> </tr> <tr> <td colspan="2">ND: Valor No Determinado.</td> </tr> <tr> <td colspan="2">No es fuente significativa de azúcares añadidos, vitamina D, calcio, hierro y potasio.</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Porcentajes de Valores Diarios (VD) están basados en una dieta de 2000 Kcal. *** Según normativa FDA (EEUU), contenido de grasas trans menor a 0.5 g por porción puede ser declarado como 0 g.</td> </tr> </table>			X porciones por envase		Tamaño por porción 1 cda. (14g)		Calorías 130 (7 % VD)			% Valor Diario	Grasa Total 14g	22%	Grasa Saturada 6.0g	26%	Grasas Trans*** 0g		Grasa Poliinsaturada 2.5g	ND	Grasa Monoinsaturada 6.0g	ND	Sodio 0mg	0%	Carbohidratos Totales 0g	0%	De los cuales Azúcares totales 0 g	0%	Proteína 0g	0%	ND: Valor No Determinado.		No es fuente significativa de azúcares añadidos, vitamina D, calcio, hierro y potasio.		Porcentajes de Valores Diarios (VD) están basados en una dieta de 2000 Kcal. *** Según normativa FDA (EEUU), contenido de grasas trans menor a 0.5 g por porción puede ser declarado como 0 g.	
X porciones por envase																																			
Tamaño por porción 1 cda. (14g)																																			
Calorías 130 (7 % VD)																																			
	% Valor Diario																																		
Grasa Total 14g	22%																																		
Grasa Saturada 6.0g	26%																																		
Grasas Trans*** 0g																																			
Grasa Poliinsaturada 2.5g	ND																																		
Grasa Monoinsaturada 6.0g	ND																																		
Sodio 0mg	0%																																		
Carbohidratos Totales 0g	0%																																		
De los cuales Azúcares totales 0 g	0%																																		
Proteína 0g	0%																																		
ND: Valor No Determinado.																																			
No es fuente significativa de azúcares añadidos, vitamina D, calcio, hierro y potasio.																																			
Porcentajes de Valores Diarios (VD) están basados en una dieta de 2000 Kcal. *** Según normativa FDA (EEUU), contenido de grasas trans menor a 0.5 g por porción puede ser declarado como 0 g.																																			
Última actualización 11/02/2020																																			



Servicio al Cliente
0-800-12542 (sin costo) o 5950444
atencionclientes@allicorp.com.pe

Alicorp S.A.A
Planta COPSA
Av. Argentina 4793
Carmen de la Legua Reynoso
Lima 100 - Perú
T (511) 3150800
<http://www.allicorp.com.pe>

HOJA TÉCNICA

PRODUCTO: ACEITE VEGETAL CRISOL FRITURA INTENSA

GRASAS TRANS	< 2%(materia grasa) 0g/porción (porción de 14g)
PRESENTACIÓN	Balde x 20L / X= 1308 porciones de 14 g aproximadamente
ENVASE PRIMARIO	Balde de polipropileno de color blanco con impresión, con tapa de polipropileno de color verde y con código de producción(****).
ENVASE SECUNDARIO	No tiene
TIEMPO DE VIDA ÚTIL	12 meses
SISTEMA DE IDENTIFICACIÓN DE LOTE	(****) "FV/LOTE: DD MM AA hh:mm #### L" Fecha de vencimiento (1 año después de producido), día, mes, año, hora de producción y código de la ciudad de Lima. Impresos mediante sistema de inyección de tinta.
ALMACENAMIENTO	Consérvese en recipiente cerrado; en lugar fresco, seco y oscuro.

Última actualización 11/02/2020

Anexo 15

Muestras obtenidas, por cada tratamiento se realizo tres repeticiones.



Tr2: T=120°C. P=0.20 bar.



Tr3: T=130°C. P=0.20 bar.



Tr4: T=110°C. P=0.35 bar.



Tr5: T=120°C. P=0.35 bar.



Tr6: T=130°C. P=0.35 bar.



Tr7: T=110°C. P=0.50 bar.



Tr8: T=120°C. P=0.50 bar.



Tr9: T=130°C. P=0.50 bar.

