



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS**  
**NATURALES**

**CARRERA DE AGROINDUSTRIA**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**“DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FUNCIONALES DE  
LA HARINA DE MASHUA (*Tropaeolum Tuberosum*) QUILLU  
ZAPALLO-AMARILLA A TRAVÉS DE DOS MÉTODOS DE  
OBTENCIÓN (PRECOCCIÓN Y DESHIDRATACIÓN)”**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de Ingenieros  
Agroindustriales

**Autores:**

Herrera Camalle Diego Armando

Lluga Muquinche Evelyn Dayana

**Tutora:**

Moreano Terán Nancy Fabiola

**LATACUNGA – ECUADOR**  
**Febrero 2025**

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Herrera Camalle Diego Armando, con cédula de ciudadanía No. 0503499550 y Llugsa Muquinche Evelyn Dayana, con cédula de ciudadanía No. 1850005891, declaramos ser autores del presente Proyecto de Investigación: **“DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FUNCIONALES DE LA HARINA DE MASHUA (*Tropaeolum Tuberosum*) QUILLU ZAPALLO-AMARILLA A TRAVÉS DE DOS MÉTODOS DE OBTENCIÓN (PRE-COCCIÓN Y DESHIDRATACIÓN)”**, siendo la Ingeniera Mg. Nancy Fabiola Moreano Terán, Tutora del presente trabajo; y, eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Latacunga, 17 de febrero del 2025

Diego Armando Herrera Camalle  
C.C: 0503499550  
**ESTUDIANTE**

Evelyn Dayana Llugsa Muquinche  
C.C: 1850005891  
**ESTUDIANTE**

## CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **HERRERA CAMALLE DIEGO ARMANDO**, identificado con cédula de ciudadanía **0503499550** de estado civil soltero, a quien en lo sucesivo se denominará **EL CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

**ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. - EL CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Agroindustria, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado **“DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FUNCIONALES DE LA HARINA DE MASHUA (*Tropaeolum Tuberosum*) QUILLU ZAPALLO-AMARILLA A TRAVÉS DE DOS MÉTODOS DE OBTENCIÓN (PRE-COCCIÓN Y DESHIDRATACIÓN)”**, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

Historial Académico

Inicio de la carrera: octubre 2020 – marzo 2021

Finalización de la carrera: octubre 2024 – marzo 2025

Aprobación en Consejo Directivo: 12 de diciembre del 2024 Tutora:

Ingeniera Nancy Fabiola Moreano Terán Mg.

Tema: **“DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FUNCIONALES DE LA HARINA DE MASHUA (*Tropaeolum Tuberosum*) QUILLU ZAPALLO-AMARILLA A TRAVÉS DE DOS MÉTODOS DE OBTENCIÓN (PRE-COCCIÓN Y DESHIDRATACIÓN)”**

**CLÁUSULA SEGUNDA. - LA CESIONARIA** es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

**CLÁUSULA TERCERA. -** Por el presente contrato, **EL CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

**CLÁUSULA CUARTA. - OBJETO DEL CONTRATO:** Por el presente contrato **EL CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- b) La publicación del trabajo de grado.



- c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- e) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

**CLÁUSULA QUINTA.** - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **EL CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

**CLÁUSULA SEXTA.** - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

**CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD.** - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **EL CEDENTE** podrá utilizarla.

**CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - LA CESIONARIA** podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **EL CEDENTE** en forma escrita.

**CLÁUSULA NOVENA.** - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

**CLÁUSULA DÉCIMA.** - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

**CLÁUSULA UNDÉCIMA.** - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 17 días del mes de febrero del 2025.

  
Diego Armando Herrera Camalle  
**EL CEDENTE**

Dra. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.  
**LA CESIONARIA**

## CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **LLUGSA MUQUINCHE EVELYN DAYANA**, identificada con cédula de ciudadanía **1850005891** de estado civil soltera, a quien en lo sucesivo se denominará **LA CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

**ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA.** - **LA CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Agroindustria, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado “**DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FUNCIONALES DE LA HARINA DE MASHUA (*Tropaeolum Tuberosum*) QUILLU ZAPALLO-AMARILLA A TRAVÉS DE DOS MÉTODOS DE OBTENCIÓN (PRE-COCCIÓN Y DESHIDRATACIÓN)**”, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

Historial Académico

Inicio de la carrera: octubre 2020 – marzo 2021

Finalización de la carrera: octubre 2024 – marzo 2025

Aprobación en Consejo Directivo: 12 de diciembre del 2024 Tutora:

Ingeniera Nancy Fabiola Moreano Terán Mg.

Tema: “**DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FUNCIONALES DE LA HARINA DE MASHUA (*Tropaeolum Tuberosum*) QUILLU ZAPALLO-AMARILLA A TRAVÉS DE DOS MÉTODOS DE OBTENCIÓN (PRE-COCCIÓN Y DESHIDRATACIÓN)**”

**CLÁUSULA SEGUNDA.** - **LA CESIONARIA** es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

**CLÁUSULA TERCERA.** - Por el presente contrato, **LA CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

**CLÁUSULA CUARTA.** - **OBJETO DEL CONTRATO:** Por el presente contrato **LA CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- b) La publicación del trabajo de grado.



- c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- e) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

**CLÁUSULA QUINTA.** - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **LA CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

**CLÁUSULA SEXTA.** - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

**CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD.** - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **LA CEDENTE** podrá utilizarla.

**CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - LA CESIONARIA** podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **LA CEDENTE** en forma escrita.

**CLÁUSULA NOVENA.** - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

**CLÁUSULA DÉCIMA.** - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

**CLÁUSULA UNDÉCIMA.** - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 17 días del mes de febrero del 2025.



Evelyn Dayana Llugsa Muquinche  
**LA CEDENTE**

Dra. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.  
**LA CESIONARIA**

## **AVAL DE LA TUTORA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

En calidad de Tutora del Proyecto de Investigación con el título:

**“DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FUNCIONALES DE LA HARINA DE MASHUA (*Tropaeolum Tuberosum*) QUILLU ZAPALLO-AMARILLA A TRAVÉS DE DOS MÉTODOS DE OBTENCIÓN (PRE-COCCIÓN Y DESHIDRATACIÓN)”**, de Herrera Camalle Diego Armando y Llugsa Muquinche Evelyn Dayana, de la carrera de Agroindustria, considero que el presente trabajo investigativo es merecedor del Aval de aprobación al cumplir las normas, técnicas y formatos previstos, así como también han incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la Pre defensa.

Latacunga, 17 de febrero del 2025



Ing. Nancy Fabiola Moreano Terán, Mg.  
C.C: 0503352112  
**DOCENTE TUTORA**

## AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprobamos el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi; y, por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; por cuanto, los postulantes: Herrera Camalle Diego Armando y Lluga Muquinche Evelyn Dayana, con el título del Proyecto de Investigación: “**DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FUNCIONALES DE LA HARINA DE MASHUA (*Tropaeolum Tuberosum*) QUILLU ZAPALLO-AMARILLA A TRAVÉS DE DOS MÉTODOS DE OBTENCIÓN (PRE-COCCIÓN Y DESHIDRATACIÓN)**”, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

Por lo antes expuesto, se autoriza grabar los archivos correspondientes en un CD, según la normativa institucional.

Latacunga, 17 de febrero del 2025



Ing. Renato Agustín Romero Corral, Mg.  
C.C: 1717122483  
**LECTOR 1 (PRESIDENTE)**



Ing. Franklin Antonio Molina Borja, Mg.  
C.C: 0501821433  
**LECTOR 2 (MIEMBRO)**



Ing. Edwin Ramiro Cevallos Cevallos, Mg.  
C.C: 0501864854  
**LECTOR 3 (MIEMBRO)**

## **AGRADECIMIENTO**

*En primera instancia quiero expresar mi más profundo agradecimiento a Dios, por ser mi guía incondicional en esta travesía académica. De igual manera extendiendo mi agradecimiento a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales por el invaluable respaldo brindado a lo largo de mi formación académica. Agradezco a los docentes de la carrera de Agroindustria, por sus enseñanzas, compromiso y dedicación han sido fundamentales para la realización de este trabajo. En especial a nuestra tutora, Ing. Nancy Moreano, por su invaluable orientación y el inquebrantable apoyo brindado durante la elaboración de la tesis, no solo enriquecieron mi experiencia académica, sino que también contribuyeron de manera significativa a mi desarrollo personal.*

**Diego Armando Herrera Camalle**

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradezco principalmente a Dios por guiarme en esta etapa académica y permitirme alcanzar una meta más. Un agradecimiento especial a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, por brindarme la oportunidad de aprender, fortalecer mis conocimientos y crecer más como persona. Agradecer a cada uno de mis docentes de la carrera de Agroindustria que han sido parte de mi formación académica, gracias por compartir sus conocimientos y el apoyo constante que nos brindaron.*

*Agradecer a nuestra tutora la Ing. Nancy Moreano, por su orientación y el apoyo brindado en la elaboración de la tesis, su compromiso intachable, por su motivación y por cada observación dada en nuestro trabajo. A mis lectores por su valiosa orientación y paciencia a lo largo de este proceso.*

*Agradezco a todas las personas que de una o de otra manera estuvieron presentes en este camino académico.*

***Evelyn Dayana Llugsa Muquinche***

## **DEDICATORIA**

*A mis queridos padres, Manuel Herrera y Blanca Camalle, cuyo amor, esfuerzo y dedicación han sido el pilar fundamental de mi vida. En especial a mi querida madre, por creer en mí, por inculcarme el valor del trabajo y brindándome su apoyo incondicional en los momentos más difíciles. Gracias a su fortaleza y entrega, hoy alcanzo esta meta, que no es solo mía, sino también suya.*

*A mis hermanos, Mayra, Sandra, Tatiana y Anthony, con sus palabras de aliento y su cariño han sido mi fuerza en los momentos difíciles y mi alegría en los momentos de éxito. En especial a mi querida hermana Sandra, tu cariño, tus palabras de aliento y tu fe en mí han sido un motor fundamental en este proceso. También dedico este logro a mis adorables sobrinos, Emilio y Camila, cuya inocencia y alegría, me han recordado la importancia de seguir adelante con ilusión y determinación. Gracias, familia, por ser parte de mi vida. Este logro también les pertenece.*

**Diego Armando Herrera Camalle**

## **DEDICATORIA**

*Dedico este trabajo con todo el amor a mis padres William Llugsá y Blanca Muquinche, quienes han sido el pilar fundamental en mi vida y en mi formación académica. Su apoyo incondicional que llegaron a creer en mí. A mis hermanos Mateo y Salome que siempre estuvieron conmigo con cada risa inocente, porque Dios me permite verlos crecer y a enseñarles a ser personas con éxito. Sus pequeñas curiosidades que han demostrado que por cada esfuerzo tiene su recompensa. Esperando que algún día lleguen a cumplir sus metas.*

*A mi abuelita Mamita Rosa cuya memoria ha sido mi inspiración su sabiduría permanece en cada paso. Gracias por cada recuerdo, que están marcados en mi corazón y fue posible este logro. A mis tíos y primos que cada palabra suya fue un aliento para superar cada desafío.*

*Evelyn Dayana Llugsá Muquinche*

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**

**TÍTULO:** “DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FUNCIONALES DE LA HARINA DE MASHUA (*Tropaeolum Tuberosum*) QUILLU ZAPALLO-AMARILLA A TRAVÉS DE DOS MÉTODOS DE OBTENCIÓN (PRECOCCIÓN Y DESHIDRATACIÓN)”.

**Autores:**  
Herrera Camalle Diego Armando

## RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar las propiedades fisicoquímicas, nutricionales y funcionales de la harina de mashua (*Tropaeolum tuberosum*) variedad Quillu Zapallo-Amarilla, obtenida mediante dos métodos de procesamiento: precocción por autoclave (110 °C por 5 min, 115 °C por 10 min y 120 °C por 15 min) y deshidratación (60 °C por 360 min, 70 °C por 420 min y 80 °C por 460 min). Se empleó un diseño experimental de superficie de respuesta con 13 corridas experimentales, evaluando el efecto de la temperatura y el tiempo sobre el contenido proteico y el índice de solubilidad. La optimización del proceso determinó que la precocción a 110 °C por 5 min preserva mejor las propiedades nutricionales, obteniendo un contenido proteico de 7,68 % y un índice de solubilidad de 1,12 %. En contraste, la deshidratación mostró una disminución progresiva de estos parámetros, alcanzando valores mínimos de 6,28 % de proteína y 0,95 % de solubilidad. El análisis reológico realizado a la harina precocida mediante Mixolab II evidenció que la harina no desarrolla una estructura cohesiva ni elasticidad suficiente, lo que limita su aplicabilidad en masas panificables. Además, el perfil nutricional reveló niveles significativos de micronutrientes, destacando un 0,29 % de fósforo y 321,6 mg/100 g de vitamina C, favoreciendo su potencial uso en formulaciones de productos funcionales. La harina obtenida por precocción en autoclave se presenta como la opción más adecuada para la industria alimentaria, debido a su mayor solubilidad y mejor conservación de nutrientes, permitiendo su aplicación en productos instantáneos como sopas o bebidas funcionales, también podría implementarse en la industria de panificación por medio de sustituciones parciales con harina de trigo, maíz u otras harinas ricas en gluten.

**Palabras clave:** Harina, deshidratación, precocción, autoclave, propiedades funcionales, solubilidad, proteína.

## UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

### FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

**THEME:** 'DETERMINATION OF THE FUNCTIONAL PROPERTIES OF MASHUA (*Tropaeolum Tuberosum*) FLOUR QUILLU ZAPALLO-AMARILLA THROUGH TWO PROCESSING METHODS (PRECOOKING AND DEHYDRATION)'.

#### **AUTHORS:**

Herrera Camalle Diego Armando

## ABSTRACT

The present study aimed to evaluate the physicochemical, nutritional and functional properties of mashua (*Tropaeolum tuberosum*) flour (Quillu Zapallo-Amarilla variety) obtained by two processing methods: pre-cooking by autoclaving (110 °C for 5 min, 115 °C for 10 min and 120 °C for 15 min) and dehydration (60 °C for 360 min, 70 °C for 420 min and 80 °C for 460 min). A response surface experimental design with 13 experimental runs was used, evaluating the effect of temperature and time on protein content and solubility index. Process optimization determined that pre-cooking at 110 °C for 5 min preserved nutritional properties better, obtaining a protein content of 7.68 % and a solubility index of 1.12 %. In contrast, dehydration showed a progressive decrease in these parameters, reaching minimum values of 6,28 % protein and 0,95 % solubility. The rheological analysis carried out on the pre-cooked flour using Mixolab II showed that the flour does not develop a cohesive structure or sufficient elasticity, which limits its applicability in bread doughs. In addition, the nutritional profile revealed significant levels of micronutrients, notably 0.29 % phosphorus and 321.6 mg/100 g of vitamin C, favoring its potential use in functional product formulations. The flour obtained by pre-cooking in autoclave is presented as the most suitable option for the food industry, due to its greater solubility and better conservation of nutrients, allowing its application in instant products such as soups or functional drinks. It could also be implemented in the baking industry by means of partial substitutions with wheat flour, corn flour or other flours rich in gluten.

**KEYWORDS:** Flour, dehydration, pre-cooking, autoclaving, functional properties, solubility, protein.

## INDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....	ii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR .....	iii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR .....	v
AVAL DE LA TUTORA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN .....	vii
AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN .....	viii
AGRADECIMIENTO .....	ix
AGRADECIMIENTO .....	x
DEDICATORIA .....	xi

DEDICATORIA .....	xii
RESUMEN .....	
ABSTRACT .....	xiv
1. INFORMACIÓN GENERAL .....	2
2. DISEÑO DEL PROYECTO .....	3
2.1. Planteamiento del problema .....	3
2.2. Formulación del problema .....	5
2.3. Objetivos .....	5
2.3.1. Objetivo general .....	5
2.3.2. Objetivos específicos .....	5
2.4. Actividades y tareas relacionadas a los objetivos planteados .....	6
2.5. Fundamentación teórica .....	8
2.5.1. Marco Teórico .....	8
2.5.2. Antecedentes .....	8
2.5.3. Origen de la mashua .....	9
2.5.4. Taxonomía .....	10
2.5.5. Variedades de la mashua .....	11
2.5.6. Composición nutricional .....	11
2.5.7. Propiedades de la Mashua .....	12
2.5.8. Uso en la alimentación .....	13
2.5.9. Uso medicinal .....	13
2.5.10. Glucosinolatos .....	14
2.5.11. Estructura química .....	15
2.5.12. Glucosinolatos en la mashua .....	15
2.5.13. Métodos de precocción para obtener harina .....	16
2.5.14. Precocción en marmita .....	16
2.5.15. Precocción por uso de vapor .....	16
2.5.16. Precocción por extrusión .....	17
2.5.17. Precocción por medio de autoclave .....	17

2.5.18.	Métodos de deshidratación para obtención de harina .....	17
2.5.19.	Deshidratación osmótica.....	17
2.5.20.	Deshidratación por atomización .....	18
2.5.21.	Deshidratación con aire caliente forzado.....	18
2.5.22.	Deshidratación solar .....	18
2.5.23.	Deshidratación de lecho fluidizado .....	18
2.6.	Metodología del proceso de investigación .....	19
2.6.1.	Tipos de Investigación .....	19
2.6.2.	Investigación aplicada .....	19
2.6.3.	Investigación bibliográfica .....	19
2.6.4.	Investigación descriptiva .....	19
2.6.5.	Investigación exploratoria .....	19
2.6.6.	Métodos de investigación .....	20
2.6.7.	Método científico .....	20
2.6.8.	Técnicas de la investigación .....	20
2.6.9.	Técnica de observación .....	20
2.7.	Materiales, reactivos, materiales y equipos. ....	20
2.7.1.	Materia Prima .....	20
2.7.2.	Reactivos .....	21
2.7.3.	Materiales .....	21
2.7.4.	Equipos .....	21
2.8.	Metodología para la caracterización de la materia prima y harina. ....	21
2.8.1.	Metodología para determinar la humedad .....	21
2.8.2.	Metodología para determinar la proteína.....	22
2.8.3.	Metodología para determinar fibra .....	22
2.8.4.	Metodología para determinar grasa .....	23
2.8.5.	Metodología para determinar cenizas .....	23
2.8.6.	Metodología de carbohidratos .....	23
2.8.7.	Metodología para los análisis nutricionales de la harina .....	24
2.8.8.	Vitamina C .....	24

2.8.9.	Fosforo .....	24
2.8.10.	Metodologías para determinar los análisis físicos de las harinas .....	24
2.8.11.	Índice de solubilidad .....	24
2.8.12.	Densidad aparente.....	25
2.8.13.	Densidad compacta .....	25
2.8.14.	Índice de hauster .....	25
2.8.15.	Angulo de reposo .....	26
2.8.16.	Metodología propiedades funcionales .....	27
2.8.17.	Mixolab .....	27
2.8.18.	Índice de absorción de agua.....	27
2.8.19.	Índice de amasado .....	28
2.8.20.	Índice de viscosidad.....	28
2.8.21.	Índice de Amilasa .....	28
2.8.22.	Índice de Retrogradación .....	28
2.8.23.	Metodología para la elaboración de harina de mashua.....	29
2.8.24.	Método de deshidratación .....	29
2.8.25.	Procedimiento .....	29
2.8.26.	Método de precocción .....	30
2.8.27.	Procedimiento .....	30
2.9.	Hipótesis .....	32
2.9.1.	Hipótesis Nula .....	32
2.9.2.	Hipótesis alternativa .....	32
2.10.	Diseño Experimental. ....	32
2.10.1.	Operacionalización de las variables .....	34
2.11.	Corridas experimentales del método de deshidratación .....	35
2.12.	Corridas experimentales del método de precocción .....	35
2.13.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	36
2.13.1.	Caracterización de la mashua (Tropaeolum Tuberosum) variedad Quillu zapalloAmarilla	36
2.13.2.	Obtención de la harina por el método de deshidratación mashua variedad quillu zapallo-amarilla .....	39
2.13.3.	Obtención de la harina por el método de precocción de mashua variedad quillu	

zapallo-amarilla. ....	41
2.13.4. Rendimiento de la harina de mashua por el método de deshidratación y método de precocción. ....	43
2.13.5. Evaluación de las propiedades físicas de la harina mashua por el método de deshidratación y precocción ....	44
2.13.6. Optimización del contenido de proteína de harina de mashua obtenida por el método de deshidratación y el método de precocción.....	50
2.13.7. Evaluación del modelo, del contenido de proteína de la harina de mashua obtenida por el método de deshidratación y método de precocción. ....	52
2.13.8. Modelo codificado para la evaluación del contenido de proteína de harina de mashua por el método de deshidratación y el método de precocción por el diseño de superficie respuesta. ....	55
2.13.9. Diseño de superficie respuesta para el contenido de proteína de la harina de mashua por el método de deshidratación y método de precocción. ....	58
2.13.10. Optimización del índice de solubilidad en la harina de mashua por el método de deshidratación y método de precocción. ....	61
2.13.11. Evaluación del modelo del índice de solubilidad de la harina de mashua obtenida por el método de deshidratación y método de precocción. ....	69
2.13.12. Modelo codificado para la evaluación del índice de solubilidad de la harina de mashua por el método de deshidratación y precocción por el diseño de superficie respuesta	71
2.13.13. Diseño de superficie respuesta para el índice de solubilidad de la harina de mashua por los métodos de deshidratación y el método de precocción. ....	73
2.14. DETERMINACIÓN DEL MEJOR MÉTODO DE OBTENCIÓN DE HARINA DE MASHUA .....	77
2.14.1. Aplicaciones industriales de la de harina de mashua en la elaboración de productos alimenticios. ....	79
2.14.2. Caracterización fisicoquímica del método óptimo de obtención de harina de mashua.	81
2.14.3. Análisis de micronutrientes presentes en la harina de mashua obtenido por el método de precocción.....	84
2.14.4. Evaluación de las propiedades funcionales .....	85
3. IMPACTOS DEL PROYECTO. ....	87

3.1.	Impactos Técnicos .....	87
3.2.	Impactos Sociales .....	87
3.3.	Impactos Económicos .....	88
3.4.	Impactos Ambientales .....	88
4.	RECURSOS Y PRESUPUESTO .....	88
5.	CONCLUSIONES .....	90
6.	RECOMENDACIONES .....	91
7.	BIBLIOGRAFÍA .....	91
8.	ANEXOS .....	103
	<b>DE TABLAS</b>	<b>INDICE</b>

<b>Tabla 1.</b>	Actividades y tareas con relación a los objetivos planteados. ....	7
<b>Tabla 2.</b>	Comparación entre la mashua amarilla y mashua negra .....	9
<b>Tabla 3.</b>	Clasificación taxonómica .....	10
<b>Tabla 4.</b>	Nombres de las diferentes variedades de mashua (Tropaeolum Tuberosum). ....	11
<b>Tabla 5.</b>	Contenido de vitaminas en 100g .....	12
<b>Tabla 6.</b>	Composición química de mashua (Tropaeolum Tuberosum) en 100 g. ....	13
<b>Tabla 7.</b>	Glucosinolatos en la mashua .....	16
<b>Tabla 8.</b>	Características de los equipos .....	21
<b>Tabla 9.</b>	Descripción del diseño experimental mashua deshidratada .....	33
<b>Tabla 10.</b>	Descripción del diseño experimental mashua precocida .....	33
<b>Tabla 11.</b>	Tipos de variables .....	34
<b>Tabla 12.</b>	Factores de estudios .....	34
<b>Tabla 13.</b>	Corridas experimentales para la deshidratación de la harina de mashua (Tropaeolum Tuberosum) variedad Quillu zapallo-Amarilla.....	35
<b>Tabla 14.</b>	Corridas experimentales para la precocción de la harina de mashua (Tropaeolum Tuberosum) variedad Quillu zapallo-Amarilla.....	36

<b>Tabla 15.</b> Caracterización química proximal de la mashua ( <i>Tropaeolum Tuberosum</i> ) variedad Quillu zapallo-Amarilla .....	37
<b>Tabla 16.</b> Rendimiento de harina de mashua por el método de deshidratación y método de precocción .....	43
<b>Tabla 17.</b> Evaluación física de la harina de mashua por el método de deshidratación.....	44
<b>Tabla 18.</b> Evaluación física de la harina de mashua por el método de precocción .....	47
<b>Tabla 19.</b> Optimización de la proteína de la harina de mashua por el método de deshidratación	50
<b>Tabla 20.</b> Optimización de la proteína de la harina de mashua por el método de precocción. ....	51
<b>Tabla 21.</b> Tabla Análisis de varianza del método de deshidratación .....	53
<b>Tabla 22.</b> Tabla Análisis de varianza del método de precocción .....	54
<b>Tabla 23.</b> Parámetros del modelo codificado para el contenido de proteína, en el método de deshidratación .....	56
<b>Tabla 24.</b> Parámetros del modelo codificado para el contenido de proteína por el método de precocción .....	57
<b>Tabla 25.</b> Parámetros de optimización para el contenido de proteína en la harina de mashua por el método de deshidratación y método de precocción. ....	60
<b>Tabla 26.</b> Optimización del índice de solubilidad de la harina de mashua por el método de deshidratación. ....	62
<b>Tabla 27.</b> Optimización del índice de solubilidad de la harina de mashua por el método de precocción .....	64
<b>Tabla 28.</b> Tabla Análisis de varianza del índice de solubilidad por el método de deshidratación	69
<b>Tabla 29.</b> Tabla análisis de varianza del índice de solubilidad por el método de precocción .....	70
<b>Tabla 30.</b> Parámetros del modelo codificado para el índice de solubilidad por el método de deshidratación .....	71
<b>Tabla 31.</b> Parámetros del modelo codificado para el índice de solubilidad por el método de precocción .....	72

<b>Tabla 32.</b> Parámetros de optimización para el índice de solubilidad en la harina de mashua .....	75
<b>Tabla 33.</b> Determinación del mejor método de obtención de harina de mashua .....	78
<b>Tabla 34.</b> Caracterización química proximal de la harina de mashua .....	82
<b>Tabla 35.</b> Evaluación nutricional del mejor tratamiento .....	84
<b>Tabla 36.</b> Tabla de costos .....	89

## INDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1.</b> Humedad .....	22
<b>Ecuación 2.</b> Proteína .....	22
<b>Ecuación 3.</b> Fibra .....	22
<b>Ecuación 4.</b> Grasa .....	23
<b>Ecuación 5.</b> Cenizas .....	23
<b>Ecuación 6.</b> Carbohidratos .....	23
<b>Ecuación 7.</b> Vitamina C .....	24
<b>Ecuación 8.</b> Cenizas .....	24
<b>Ecuación 9.</b> Fosforo .....	24
<b>Ecuación 10.</b> Solubilidad .....	24
<b>Ecuación 11.</b> Densidad Aparente .....	25
<b>Ecuación 12.</b> Densidad Bruta .....	25
<b>Ecuación 13.</b> Índice de Hauster .....	26
<b>Ecuación 14.</b> Angulo de Reposo .....	26

<b>Ecuación 15.</b> Índice de Absorción de Agua .....	27
---	----

## **INDICE DE FIGURAS**

<b>Figura 1.</b> Estructura general de glucosinolatos.....	15
<b>Figura 2.</b> Diagrama de flujo del proceso de la obtención de harina deshidratada. ....	40
<b>Figura 3.</b> Diagrama de flujo del proceso de la obtención de harina precocida de mashua .....	42
<b>Figura 4.</b> Gráfica de superficie respuesta del contenido de proteína por el método de deshidratación .....	59
<b>Figura 5.</b> Grafica de superficie respuesta del índice de solubilidad por el método de deshidratación .....	74



## INTRODUCCIÓN

La mashua (*Tropaeolum Tuberosum*), también conocida como ñu, isaño o cubio, es un tubérculo andino cultivado desde hace siglos en las regiones montañosas de Perú, Bolivia, Ecuador, Colombia y Argentina. Su origen se remonta a aproximadamente 1400 años atrás, con evidencias arqueológicas que sugieren su amplia difusión antes de las conquistas incaicas y españolas. Su nombre varía según la región: mashua en quechua, isaño en aymara y cubio entre los muisca de Colombia (Garces, 2019).

Este tubérculo es altamente resistente a condiciones climáticas adversas y se cultiva a altitudes entre 2400 y 4300 metros sobre el nivel del mar en suelos pobres sin necesidad de fertilización. Su facilidad de cultivo y su resistencia a plagas lo convierten en un alimento valioso en el altiplano andino. La cosecha ocurre entre los 6 y 8 meses después de la siembra, y los tubérculos pueden almacenarse hasta 6 meses en ambientes fríos y ventilados, incluso bajo tierra (Guevara, 2018). Desde su domesticación en los Andes, su uso se ha mantenido por generaciones debido a sus propiedades nutricionales y medicinales. Contiene isotiocianatos y glucosinolatos, compuestos que le otorgan un sabor picante y que se han estudiado por sus posibles beneficios para la salud. A principios del siglo XIX, la mashua fue introducida en Europa como planta ornamental y posteriormente llegó a América del Norte mediante rutas comerciales (Martinez, 2023).

El presente estudio tiene como objetivo determinar las propiedades funcionales de la harina de mashua variedad Quillu Zapallo-amarilla, obtenida mediante los métodos de precocción (autoclave) y deshidratación, con el fin de evaluar cómo influyen estos tratamientos en sus características fisicoquímicas. Además, se busca analizar comparativamente las diferencias en las propiedades funcionales y nutricionales de las harinas obtenidas por cada método, proporcionando información clave para su aplicación en la industria de alimentos. Esto, a su vez, contribuiría al impulso de su producción y comercialización, generando beneficios para los agricultores andinos y promoviendo el desarrollo de productos más nutritivos y sostenibles (Quispe, 2015).

## **1. INFORMACIÓN GENERAL**

**Institución:** Universidad Técnica de Cotopaxi

**Facultad que auspicia:** Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales

**Carrera que auspicia:** Carrera de Agroindustria

**Título del proyecto de investigación:** Determinación de las propiedades funcionales de la harina de mashua (*Tropaeolum Tuberosum*) Quillu zapallo-Amarilla a través de dos métodos de obtención (precocción y deshidratación).

**Equipo de Trabajo:**

**Tutora del proyecto:** Ing. Nancy Moreano Mg.

**Autor 1:** Herrera Camalle Diego Armando

**Autor 2:** Llugsa Muquinche Evelyn Dayana

**Lugar de ejecución:** Barrio: Salache Eloy Alfaro

**Cantón:** Latacunga

**Fecha de inicio:** octubre 2024

**Fecha de finalización:** marzo 2025

**Línea de investigación**

Desarrollo y seguridad alimentaria.

**Sub línea de investigación**

Optimización de procesos tecnológicos.

## 2. DISEÑO DEL PROYECTO

### 2.1. Planteamiento del problema

La desnutrición crónica infantil representa un problema crítico de salud pública que afecta a niños menores de cinco años a nivel global. Esta condición está estrechamente relacionada con la ingesta insuficiente de alimentos con alto valor nutricional, incluyendo proteínas, vitaminas y minerales esenciales para el desarrollo infantil (Alulema la at., 2023). A pesar de los esfuerzos gubernamentales y la implementación de diversos programas de intervención nutricional, las tasas de desnutrición no han experimentado una reducción significativa. Por el contrario, se observa un incremento en las consecuencias asociadas, como mayor vulnerabilidad a enfermedades, deficiencias en el desarrollo físico y cognitivo, e incluso un aumento en la mortalidad infantil por causas evitables (Chaglla & Puga, 2023).

La desnutrición infantil es un problema crítico en Latinoamérica y el Caribe. Según la Organización de las Naciones Unidas (FAO), el 12 % de los niños menores de cinco años en la región padecen desnutrición crónica y el 6 % desnutrición aguda, afectando a unos 12 millones de niños. En Ecuador, la situación es aún más grave, con un 25 % de desnutrición crónica y un 8 % de desnutrición aguda, reflejando un problema de salud pública con serias consecuencias en el desarrollo infantil (Chimborazo, 2022).

Según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) y la UNICEF, la desnutrición crónica infantil en Ecuador sigue siendo un problema crítico de salud pública, especialmente en la Sierra. En 2021-2022, Latacunga registró una tasa del 23,3 % y Ambato del 12 %, mientras que la desnutrición severa alcanzó el 48,8 % en Chimborazo, 40,8 % en Bolívar, 35,2 % en Tungurahua y 35,1 % en Cañar (Calle, 2023). Ante esta crisis, es urgente implementar estrategias que garanticen el acceso a alimentos de alto valor nutricional, ricos en proteínas, vitaminas y minerales, junto con políticas de seguridad alimentaria y programas de suplementación que contribuyan a mejorar la salud infantil en las zonas más afectadas (Parrales la at., 2023).

La mashua (*Tropaeolum tuberosum*) es un tubérculo andino cultivado tradicionalmente en la sierra ecuatoriana, con presencia en provincias como Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo, Pichincha y Azuay. A pesar de su alto valor nutricional y la presencia de compuestos bioactivos, su producción ha disminuido drásticamente en los últimos años. Según (Ortiz et al., 2018), en Ecuador se registran

apenas 36 toneladas anuales de mashua, lo que evidencia una reducción significativa y pone en riesgo su permanencia en la agricultura nacional. Este descenso en la producción se debe a diversos factores, como la falta de incentivos para los agricultores, la competencia con cultivos más rentables como la papa y la yuca, y el limitado conocimiento sobre su valor nutricional y sus posibles aplicaciones industriales (Muños, 2022). Además, uno de los principales desafíos para su consumo es su característico sabor, determinado por su alto contenido de glucosinolatos, compuestos que le otorgan notas picantes y amargas. Esta particularidad ha reducido su demanda, limitando su comercialización y contribuyendo a su progresiva desaparición. Como consecuencia, las comunidades rurales que históricamente han dependido de este cultivo enfrentan una disminución en sus ingresos y oportunidades económicas, lo que agrava su vulnerabilidad social y alimentaria (Herrera, 2022).

La falta de metodologías optimizadas para el tratamiento del sabor picante en la mashua y la ausencia de procesos eficientes de precocción y deshidratación han limitado las oportunidades económicas de los agricultores, restringiendo su acceso a mercados lucrativos (Garces, 2019). Este problema no solo afecta la comercialización de la mashua, sino que también impacta su transformación en productos derivados, como la harina, reduciendo su calidad y provocando pérdidas de nutrientes esenciales. La deficiente optimización en los métodos de procesamiento compromete la estabilidad del producto final, dificultando su aceptación por parte de los consumidores y disminuyendo su viabilidad como una alternativa nutritiva en la industria alimentaria (Medina & Uscca 2018).

Además, en los últimos años, se ha evidenciado un cambio en las tendencias de consumo, orientado hacia productos más saludables y funcionales, lo que ha impulsado la incorporación de ingredientes autóctonos en la formulación de nuevos alimentos (Buele, 2024). Sin embargo, la harina de mashua aún no ha logrado posicionarse en el mercado debido a la falta de estudios sobre el impacto de los métodos de obtención en sus propiedades funcionales. Particularmente, se requiere evaluar la influencia de la precocción por autoclave, que podría reducir su sabor picante y mejorar su digestibilidad.

Optimizar estos procesos es clave para garantizar un producto de alta calidad nutricional y funcional, evitando la pérdida de compuestos bioactivos y nutrientes esenciales durante la transformación del tubérculo en harina (Arellano, 2022). Además, una correcta metodología de

procesamiento permitiría mejorar la conservación y estabilidad del producto final, previniendo la degradación de sus propiedades y reduciendo el riesgo de contaminación. La harina de mashua tiene el potencial de convertirse en un ingrediente versátil, al tener un bajo índice de solubilidad permite incorporarse en productos instantáneos como sopas y bebidas funcionales, mejorando su perfil nutricional gracias a su contenido de proteínas, fibra y compuestos antioxidantes. Además, podría representar una excelente alternativa para productos libres de gluten, contribuyendo a la diversificación de opciones saludables en el mercado (Cairampoma, 2020).

Por lo tanto, es fundamental desarrollar investigaciones que optimicen los métodos de precocción por autoclave para la obtención de harina de mashua, asegurando la preservación de sus propiedades nutricionales y funcionales. Esto no solo contribuirá a la generación de productos con mayor valor agregado, sino que también impulsará el cultivo y comercialización de la mashua, beneficiando a los agricultores andinos y fortaleciendo su acceso a mercados más competitivos.

## **2.2. Formulación del problema**

¿Cómo influyen los métodos de deshidratación y precocción por autoclave en las propiedades funcionales, en la obtención de la harina de mashua?

## **2.3. Objetivos**

### ***2.3.1. Objetivo general***

Analizar las propiedades funcionales de la harina de mashua (*Tropaeolum Tuberosum*) Quillu zapallo-Amarilla a partir de dos métodos de obtención (precocción y deshidratación).

### ***2.3.2. Objetivos específicos***

- Caracterizar la mashua variedad Quillu zapallo-Amarilla
- Obtener harina de mashua a través de aplicación de dos métodos precocción por autoclave y deshidratación.
- Evaluar las propiedades fisicoquímicas, nutricionales y funcionales de la harina obtenida en su tratamiento óptimo.

#### **2.4. Actividades y tareas relacionadas a los objetivos planteados**

La tabla 1 muestra las actividades propuestas que se presenta a continuación tiene como finalidad ofrecer un esquema claro y conciso de las etapas y acciones necesarias para llevar a cabo esta investigación:

**Tabla 1.** *Actividades y tareas con relación a los objetivos planteados.*

<b>OBJETIVO</b>	<b>ACTIVIDAD</b>	<b>METODOLOGÍA</b>	<b>RESULTADO ESPERADO</b>
Caracterizar la mashua variedad Quillu zapallo-Amarilla.	<b>Análisis fisicoquímico del tubérculo</b>		
	Humedad Proteína Ceniza Fibra Carbohidratos Grasa	Humedad (%) -(Secado en horno)-AOAC 934.01 Proteína (%) -( Método de Kjeldahl)-AOAC 978.04 Cenizas- (Método de calcinación)-AOAC 942.05 Fibra (%) - (Método gravimétrico) -AOAC 985.29 Grasa (AOAC/Goldfish/AOAC 920.39)	Perfil físico químico de la mashua variedad Quillu zapallo-Amarilla.
Obtener harina de mashua a través de aplicación de dos métodos precocción por autoclave y deshidratación.	Identificar las variables de estudio: temperatura y tiempo sobre el contenido de proteína y solubilidad. Determinar la mejor metodología para obtener la harina.	Obtención de las harinas por dos métodos deshidratación y precocción por autoclave en diferentes tratamientos. Proteína (%) -( Método de Kjeldahl)-AOAC 978.04 Índice de solubilidad (Huamani, 2020)	En la figura 4 se muestra el diagrama de flujo del mejor proceso óptimo para la obtención de la harina de mashua deshidrata y precocida.
	<b>Evaluar las propiedades físicas</b>	Se determino en base a los siguientes autores (Huamani, 2020), (Iglesias & Pichucho, 2021), (Pérez et al., 2017). Índice solubilidad Densidad aparente Densidad compactada Angulo de reposo	En la tabla 17 y18 se muestran los resultados de las propiedades físicas de las harinas.

---

<p>Evaluar las propiedades fisicoquímicas, nutricionales y funcionales de la harina obtenida en su tratamiento óptimo.</p>	<p><b>Análisis fisicoquímico</b></p> <p>Humedad</p> <p>Cenizas</p> <p>Grasa</p> <p>Fibra</p> <p>Carbohidratos</p>	<p>Humedad (%) -(Secado en horno)-AOAC 934.01</p> <p>Cenizas- (Método de calcinación)-AOAC 942.05</p> <p>Grasa (AOAC/Goldfish/AOAC 920.39)</p> <p>Fibra (%) - (Método gravimétrico) - 985.29</p>	<p>Análisis de los resultados en función a los análisis funcionales y Mioxilab de la harina de mashua del mejor tratamiento (precocción por autoclave).</p>
	<p><b>Análisis Nutricionales</b></p> <p>Vitamina C</p> <p>Fosforo</p>		
	<p><b>Análisis funcionales</b></p> <p>Mixolab</p> <p>Índice de absorción de agua</p> <p>Índice de amasado</p> <p>Índice de viscosidad</p> <p>Índice de Amilasa</p> <p>Índice de Retrogradación</p>	<p>Equipo Mixolab II para la determinación de todos los parámetros funcionales planteados.</p>	

---

## **2.5. Fundamentación teórica**

### **2.5.1. Marco Teórico**

#### **2.5.2. Antecedentes**

(Martinez, 2023) manifiesta que en la región interandina los tubérculos como la mashua comenzó en los Andes se estima que se dio alrededor del año 1582 su cultivo se extendió por todas las regiones del altiplano como Perú, Colombia, Bolivia, Argentina y Ecuador. Estos países andinos el tubérculo es cultivado a una altitud de 2.400 y 4.300 metros sobre el nivel del mar y se adapta a suelos pobres que no necesitan fertilización, por su naturalidad que es resistente a insectos y plagas. El contenido de antioxidantes recae en su contenido de antocianinas, que tiene un mayor contenido en la especie de mashua morada, es muy buena para los que sufren problemas cardiovasculares por su contenido en vitaminas del complejo C y E, ayuda a combatir la anemia y a eliminar los cálculos renales, también es muy conocida por su capacidad anticancerígena.

(Guevara, 2018), hace referencia al estudio de la composición nutricional y componentes bioactivos de la mashua Quillu zapallo-Amarilla (*Tropaeolum Tuberosum*), la investigación permitió recopilar información de altos niveles en nutrientes como proteínas presentes en la mashua negra, carbohidratos en la mashua amarilla y fósforo en la mashua morada. Comparado con la papa, el olluco, y la oca presenta una mayor capacidad antioxidante, con alto contenido de antocianinas y carotenoides.

(Santisteban & Rojas, 2014), determina en estudios recientes encuentran evidencia de efectos negativos causados por el tubérculo debido a la presencia de tiocianatos que cuando liberan hidrocianato bloquean el transporte de oxígeno a los glóbulos rojos, finalmente también menciona que los componentes bioactivos y la composición nutricional del tubérculo son altos en relación con varios tubérculos andinos y ciertos frutos que han demostrado una importante contribución científica en medicina e industria.

(Quispe, 2015) se enfocó en las características químicas y propiedades funcionales del almidón de mashua (*Tropaeolum Tuberosum*) Quillu zapallo-Amarilla, de la variedad amarilla y negra, compara el contenido de amilosa, amilopectina, temperatura de gelatinización, índice de absorción de agua, índice de solubilidad, poder de hinchamiento y propiedades de pasta de los almidones aislados de mashua de la variedad amarilla (VA) y negra (VN).

**Tabla 2.** Comparación entre la mashua amarilla y mashua negra

	<b>Mashua Amarilla</b>	<b>Mashua Negra</b>
Amilosa	23,58 %	24,16 %
Gelatinización	63,40 ° C	59,57 ° C
Absorción de agua	27,73 g gel/g	27,73 g gel/g
Hinchamiento	30,29 %	39,51 %
Solubilidad	8,44 %	18,02 %
Viscosidad	6583,05 cP	6388,31 cP

**Fuente:** (Quispe, 2015)

Los resultados arrojaron que los almidones de mashua amarilla y negra tienen bajo contenido de amilosa, son de cocción rápida, contienen un alto poder de hinchamiento, tienen una alta solubilidad en agua y elevada viscosidad.

### 2.5.3. Origen de la mashua

La mashua es originaria de los Andes en Perú. El primer registro de este tubérculo data de hace aproximadamente 1400 años. También se la ha encontrado en varias regiones de Ecuador, Bolivia y Colombia (Ramírez, 2022). Luego se introdujo como planta ornamental en Europa alrededor de 1827 y finalmente llegó a América del Norte a través de exploradores y rutas comerciales conocida científicamente como mashua (*Tropaeolum Tuberosum*) variedad Quillu zapallo-Amarilla, es un tubérculo andino que ha sido cultivado durante siglos en las regiones montañosas de América del Sur. También se la conoce comúnmente como capuchina tuberosa, añu, cubio o papa amarga. Los tres nombres comunes de mashua en Perú, Bolivia y Colombia, respectivamente mashua, isaño y cubio, pueden indicar que el cultivo estaba muy extendido y era bien conocido antes de las conquistas tanto de los incas como de los españoles. Además, según (Aguilar, 2023), la mashua es un nombre de origen quechua e isaño de aymara, ambos pueblos de los Andes centrales. Cubio era el nombre utilizado por las comunidades de los Andes colombianos. Este tubérculo es parte de la familia de las crucíferas y se caracteriza por su resistencia a condiciones climáticas adversas, lo que lo convierte en un cultivo valioso para los agricultores de zonas altas, contiene presencia de isotiocianatos y glucosinolatos su sabor picante. (Garces, 2019)

En la región interandina la domesticación de los tubérculos como la mashua comenzó en los Andes se estima que se dio alrededor del año 1582 su cultivo se extendió por todas las regiones del altiplano como Perú, Colombia, Bolivia, Argentina y Ecuador. Estos países andinos el tubérculo es

cultivado a una altitud de 2.400 y 4.300 metros sobre el nivel del mar y se adapta a suelos pobres que no necesitan fertilización, por su naturalidad que es resistente a plagas e insectos. Es una planta de fácil cultivo que puede ser cosechada entre los 6 y 8 meses de su siembra, se desarrolla en pisos altitudinales elevados (Herrera, 2022).

Los tubérculos pueden ser almacenados hasta 6 meses en lugares fríos y ventilados, inclusive pueden ser guardados bajo el suelo. (Martinez, 2023)

#### 2.5.4. Taxonomía

**Tabla 3.** Clasificación taxonómica

División	Espermatofita
Subdivisión	Angiosperma
Clase	Dicotiledónea
Superorden	Dicifloras
Orden	Generiales
Familia	Ropaeolaaceae
Género	Tropaeolum
Especie	T. Tuberosum

**Fuente:** (Remache, 2024)

#### 1.2.1. Morfología de la mashua

Según (Ramirez & Roosevelt, 2017), la planta de mashua presenta un tallo cilíndrico y robusto que puede alcanzar una longitud considerable, lo que le permite soportar el peso de las hojas y los tubérculos. Sus hojas, finas y de un verde oscuro brillante, tienen forma redonda con bordes ondulados, lo que les otorga una amplia superficie para realizar la fotosíntesis de manera eficiente. Los tubérculos, que son cónicos y alargados con una punta afilada, son comestibles, pero poseen un sabor fuerte debido a la presencia de glucosinolatos, por lo que se recomienda cocinarlos antes de su consumo (Yepez, 2023). Las flores, atractivas y variadas en colores, facilitan la polinización de la planta. Finalmente, el sistema radicular es fuerte y extenso, lo que asegura que la planta se mantenga firme en el suelo mientras absorbe eficientemente los nutrientes necesarios para su desarrollo (Pacheco et al., 2019).

### 2.5.5. Variedades de la mashua

En Ecuador y Perú se han identificado más de 100 variedades y recursos genéticos de mashua (*Tropaeolum Tuberosum*). Esta diversidad se refleja en la amplia gama de colores de sus tubérculos, tanto en la piel como en la pulpa. La cáscara puede presentar tonalidades que van desde colores como amarillo, naranja y violeta (Aguilar, 2023).

**Tabla 4.** Nombres de las diferentes variedades de mashua (*Tropaeolum Tuberosum*).

Nombres	Color del tubérculo
Occe año	Plomizo
Yana-año	Negro
Checche-año	Gris
Quillu zapallo	Amarillo
Kello-año	Morado
Muro-año	Rojo
Mashua yana-saco	Negro

**Fuente:** (Ramírez, 2022).

### 2.5.6. Composición nutricional

La mashua (*Tropaeolum Tuberosum*) es un tubérculo de alto valor nutricional con efectos beneficiosos para la salud. Según (Arteaga al. et., 2022) en su artículo científico “Composición nutricional, características químicas, compuestos bioactivos y propiedades beneficiosas de la mashua para la salud” su composición supera la de algunos cereales y la papa, siendo un alimento clave en la dieta de poblaciones rurales de la Sierra ecuatoriana. Además, se le atribuyen propiedades medicinales, como la prevención de la anemia, la eliminación de cálculos renales y potencial actividad anticancerígena debido a su contenido de compuestos bioactivos.

En cuanto a su composición, la mashua destaca por su alto contenido de proteínas, superando a otros tubérculos tradicionales como la papa, el melloco y la oca. También es una fuente significativa de vitamina C, fibra, carbohidratos y ácidos orgánicos. Uno de sus componentes distintivos son los glucosinolatos aromáticos, que, al someterse a hidrólisis, se transforman en isotiocianatos, los cuales son responsables de su característico sabor picante.

**Tabla 5.** Contenido de vitaminas en 100g

<b>Nombre</b>	<b>Cantidad</b>
Vitamina C	77,37 mg
Vitamina A	Retinol
Vitamina Caroteno	73,56 ER

**Fuente:** (Aguilar, 2023).

### **2.5.7. Propiedades de la Mashua**

La mashua (*Tropaeolum Tuberosum*) se destaca por sus excepcionales propiedades nutraceuticas y antioxidantes, atribuidas a su alto contenido de compuestos fenolicos. Su cultivo favorece la conservación del suelo al prevenir la erosión y su capacidad de adaptación a bajas temperaturas y suelos de baja fertilidad la convierte en un cultivo estratégico en zonas de difícil producción agrícola. Adicionalmente, posee propiedades bioinsecticidas, lo que refuerza su importancia en la agricultura sostenible (Leyva, 2019).

**Tabla 6.** Composición química de mashua (*Tropaeolum Tuberosum*) en 100 g.

<b>PARAMETROS</b>	<b>VALOR</b>
Proteína%	9,17
Fibra %	5,86
Carbohidrato total %	75,40

Almidón %	46,96
Azúcares totales %	43,81
Ca %	0,06
P %	0,32
Mg %	0,11
Vitamina C (mg/gmf)	77,37

---

**Fuente:** (Remache, 2024)

### ***2.5.8. Uso en la alimentación***

La mashua (*Tropaeolum Tuberosum*) es un alimento esencial en las regiones andinas de América del Sur. Según (Guevara & Coello, 2021), en su investigación científica titulado “Análisis morfométrico de harina, almidón y proteína de *Tropaeolum Tuberosum* Ruiz & Pavón”, este tubérculo presenta un sabor picante en su estado crudo, el cual se suaviza tras la cocción, permitiendo su incorporación en una amplia variedad de preparaciones culinarias, como sopas, guisos, postres y otros platos tradicionales. Además de su tubérculo, sus flores, hojas y capullos también son comestibles y pueden consumirse frescos en ensaladas, aportando valor nutricional y diversificación gastronómica.

### ***2.5.9. Uso medicinal***

Según (Muñoz et. al., 2021), en su estudio titulado “Identificación de los principios activos de la mashua (*Tropaeolum Tuberosum*)”, este tubérculo posee propiedades terapéuticas que lo hacen eficaz en el tratamiento del dolor de garganta, el dengue, la malaria y las reacciones posparto.

Además, su uso se extiende al cuidado de la piel, siendo empleado para tratar diversas afecciones cutáneas e imperfecciones.

La mashua (*Tropaeolum Tuberosum*) ha sido asociada con la inhibición de la actividad sexual en los hombres. Un estudio realizado por (Flores et. al., 2020), en su investigación científica titulada “Conocimiento ancestral en la curación a base de mashua (*Tropaeolum Tuberosum* Ruiz y Pavón), determinó que su consumo reduce en un 45% los niveles de testosterona, hormona vinculada a

ciertas enfermedades congénitas. Además, este tubérculo posee propiedades antibióticas y antiinflamatorias, siendo eficaz contra bacterias patógenas como *E. coli*, responsable de la diarrea y *Candida albicans*, causante de infecciones genitales, especialmente en mujeres.

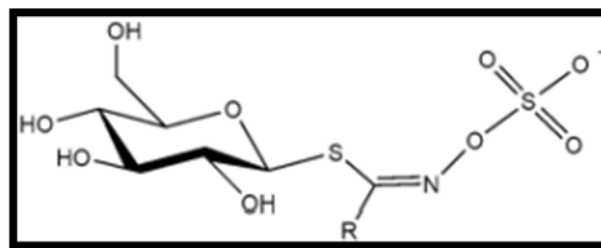
### 2.5.10. Glucosinolatos

Los glucosinolatos resultan de la reacción de azúcares reductores con átomos de azufre, formando S-glucósidos, donde el azúcar (glucosa) se une a una aglucona a través de un átomo de azufre, de estos se conocen alrededor de 70 compuestos, pero pocos de ellos tienen la función más importante en los alimentos vegetales o tubérculos, algunas de estas son responsables del sabor picante y olor de ciertos alimentos, como mostaza, rábano, berro, mashua, mientras que otras se conocen como biogénicos y actúan como promotores del bocio. Todos estos aspectos inhiben la síntesis de tiroxina y reducen la incorporación de yodo (Cairampoma, 2020).

Los glucosinolatos están considerados como uno de los grupos más investigados de los metabolitos secundarios en las plantas. Estos están considerados sumamente importantes en las interacciones insecto-planta y pueden actuar como elemento disuasorio de alimentación (Ramirez & Roosevelt, 2017).

### 2.5.11. Estructura química

**Figura 1.** Estructura general de glucosinolatos



**Fuente:** (Ramirez & Roosevelt, 2017).

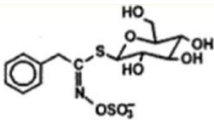
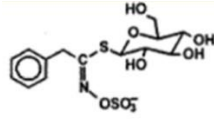
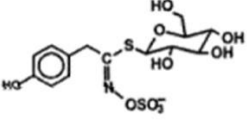
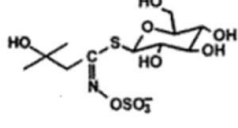
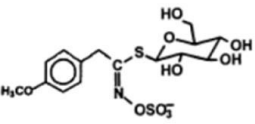
Los glucosinolatos comparten una estructura básica:  $\beta$ -D-glucosinolato, una oxima sulfonada y tiene una cadena lateral variable. Estos cambios están asociados con la modificación de las cadenas laterales por hidroxilación, desaturación y glicosilación después de la síntesis de los glucosinolatos

iniciales, que se dividen en tres categorías según sus aminoácidos precursores: alifáticos, alquilos de cadena lateral (derivados de la metionina), aromáticos, (derivado de L-fenilalanina y L-tirosina) y ácido indólico (derivado de L-triptófano) (Cairampoma, 2020).

### 2.5.12. Glucosinolatos en la mashua

Según el estudio de (Ramirez , 2022), sobre la “Identificación de Isotiocianatos y derivados de Glucosinolatos de Mashua (*Tropaeolum Tuberosum*)”, se identificaron dos subespecies de este tubérculo, donde se determinó que la especie *Tropaeolum Tuberosum* y su subespecie tuberosum contienen el glucosinolato p-metoxibencilGsl, mientras que la subespecie silvestre presenta una composición diferenciada, caracterizada por la presencia de bencilglucosinolato, 2-butilGsl y 2propilGsl.

**Tabla 7.** Glucosinolatos en la mashua

Glucosinolato	Nombre común	Tipo	Estructura
Bencil	Glucotropaeolina	G	
Etil	Glucolepidina	B	
4-hidroxibencil	Glucosinalbina	G	
2-Hidroxi- 2-metilpropil	Glucoconringiina	E	
4-Metoxibencil	Glucoaubrietina	G	

---

**Fuente:** (Ramírez, 2022)

### ***2.5.13. Métodos de precocción para obtener harina***

### ***2.5.14. Precocción en marmita***

Se considera a las marmitas como ollas a vapor que trabajan a escala industrial para la cocción o precocción de alimentos. La marmita permite realizar diversas operaciones en la industria láctea, como la pasteurización de la leche, cuajada de queso y la maduración de yogurt. Su tamaño, potencia y eficiencia depende del modelo y de la escala o cantidad que quieras utilizar. Suelen estar fabricados en acero inoxidable y la capacidad se expresa en litros. (Parra, 2016)

### ***2.5.15. Precocción por uso de vapor***

Un generador de vapor es un dispositivo o sistema que consta de una caldera y su equipo de soporte diseñado para convertir agua de líquido a gas a una temperatura y presión distintas a la atmosférica. El vapor es una fuente de energía que se utiliza en la industria alimentaria desde hace muchos años y por primera vez en los países orientales, donde se utilizó este medio para la precocción de diversos productos. El tiempo de precocción está directamente relacionado con el porcentaje de humedad y disminución de la acidez en el producto final expuesto al agua hirviendo. (Tovar, 2017)

### ***2.5.16. Precocción por extrusión***

La tecnología de extrusión en la industria alimentaria se destaca por ser un proceso eficiente para procesar granos y proteínas. Inicialmente, la tecnología estaba destinada al transporte y formación de materiales como masas y pasta. (Linares, 2015)

### ***2.5.17. Precocción por medio de autoclave***

El proceso de autoclave es sólido y fácil de entender, se beneficia de una extensa investigación y experiencia adquirida en una amplia gama de aplicaciones industriales y sigue siendo el punto de

referencia para procesos competitivos. En una autoclave es un dispositivo que se utiliza para esterilizar diversas sustancias u objetos. Además, este dispositivo también ha sido utilizado por otros investigadores como método de precocción de granos o harinas porque, a diferencia de otros métodos de precocción, este dispositivo proporciona una mayor precisión en el control del tiempo, la temperatura y la presión de precocción (Tipantuña, 2024).

#### ***2.5.18. Métodos de deshidratación para obtención de harina***

##### ***2.5.19. Deshidratación osmótica***

La deshidratación osmótica es un proceso que reduce el contenido de agua de los alimentos mediante la inmersión en una solución concentrada de azúcares o sales. Este método conserva mejor los nutrientes y propiedades funcionales en comparación con otras técnicas de deshidratación, como el secado térmico. Al aplicarlo en alimentos como tubérculos y frutas, se obtienen harinas con mejor calidad organoléptica y mayor valor nutricional, lo que las hace ideales para su uso en la industria alimentaria (Díaz, 2022).

##### ***2.5.20. Deshidratación por atomización***

El método por atomización tiene una cámara vertical o cónica en la que se pulveriza un líquido o suspensión. El aire caliente fluye a través de una cámara de evaporación de agua y el flujo de aire comprimido se controla mediante un medidor de flujo de área variable. También utiliza ciclones para eliminar sólidos, que normalmente contienen menos del 5% de humedad (Juárez, 2022).

##### ***2.5.21. Deshidratación con aire caliente forzado***

En la deshidratación por aire caliente forzado, tiene como objetivo que el aire caliente elimina el agua libre en el producto y aumento de la velocidad del aire, de esta manera la turbulencia que crea en el alimento estimula una reducción de la tensión de la capa de difusión, asegurando una deshidratación eficiente. La temperatura es un parámetro importante porque afecta al producto final obtenido (García, 2022).

### **2.5.22. Deshidratación solar**

La hidratación solar es muy común en las regiones tropicales y subtropicales. La variación más común es colocar y esparcir los alimentos sobre un piso de tierra o concreto y mantenerlos expuestos a la luz solar. Las principales desventajas de este método de deshidratación están relacionadas con la sensibilidad de los alimentos como, el polvo, el daño de los insectos, la contaminación por hongos y la humedad (Nuñez, 2021).

### **2.5.23. Deshidratación de lecho fluidizado**

La deshidratación mediante lecho fluidizado consiste en el uso de una placa perforada combinada con un flujo de aire caliente, el cual mantiene los sólidos en suspensión sobre la superficie de la placa. Este proceso de secado puede operar en modo discontinuo o continuo, dependiendo de las necesidades del sistema (Juarez, 2022).

## **2.6. Metodología del proceso de investigación**

### **2.6.1. Tipos de Investigación**

#### **2.6.2. Investigación aplicada**

La investigación aplicada es un tipo de investigación encaminada a la aplicación práctica de los conocimientos adquiridos para resolver un problema específico o mejorar un proceso existente (Moreno, 2022).

La investigación aplicada está enfocada en estudiar las propiedades funcionales de la harina de mashua (*Tropaeolum Tuberosum*) variedad Quillu zapallo-Amarilla, obtenidas por el método de precocción y método de deshidratación y evaluar la conservación de las propiedades funcionales.

### **2.6.3. Investigación bibliográfica**

Dentro del contexto de la investigación bibliográfica, permite recopilar y analizar información previa sobre los métodos de obtención de harina y su valor nutricional. A partir de la recopilación de datos de estudios previos, se busca establecer una base teórica sólida para guiar el proceso de caracterización nutricional y análisis funcional, tanto del tubérculo como de la harina de mashua (*Tropaeolum Tuberosum* variedad Quillu zapallo-Amarilla, asegurando que los métodos utilizados sean los más adecuados y se pueda ratificar con información verídica y científica.

### **2.6.4. Investigación descriptiva**

Esta investigación permite describir el proceso óptimo para la obtención de harina mashua (*Tropaeolum Tuberosum*) variedad Quillu zapallo-Amarilla, por medio de los métodos de precocción y deshidratación, permitiendo investigar de forma precisa y optima la caracterización del perfil nutricional y las propiedades funcionales de la harina, donde se tiene como objetivo identificar si existen similitudes y diferencias dentro de cada método utilizado.

### **2.6.5. Investigación exploratoria**

La investigación exploratoria permitió la determinación de las propiedades funcionales de la harina de mashua (*Tropaeolum Tuberosum*) variedad Quillu zapallo-Amarilla, a través de dos métodos de obtención (deshidratación y precocción). El objetivo de esta investigación exploratoria ayudo a recopilación de información y comprobar si influyen los métodos de obtención en la propiedades fisicoquímicas y funcionales de la harina.

### **2.6.6. Métodos de investigación**

#### **2.6.7. Método científico**

El método científico aplicado en este estudio asegura una exploración rigurosa y sistemática del problema, desde la formulación de preguntas hasta la obtención de conclusiones basadas en evidencia. Este enfoque permite no solo optimizar las propiedades funcionales de la harina de mashua por medio de dos metodologías, sino también sentar las bases para futuros estudios que busquen mejorar su procesamiento y aplicaciones industria de alimentos.

### **2.6.8. Técnicas de la investigación**

#### **2.6.9. Técnica de observación**

Es una técnica de recopilación de datos e información que implica utilizar los sentidos para verificar los hechos y la realidad (Medina, 2023)

La observación es una técnica clave para monitorear y regular el proceso de precocción y deshidratación de la harina de mashua (*Tropaeolum Tuberosum*) variedad Quillu zapallo-Amarilla, al observar cuidadosamente los cambios en el proceso de secado, es posible determinar las condiciones óptimas que mantienen un equilibrio adecuado o presenta un cambio significativo, en el color, forma y tamaño de la materia prima.

### **2.7. Materiales, reactivos, materiales y equipos.**

Entre los materiales, reactivos y gases que se utilizaron en el proyecto se encuentran los siguientes:

#### **2.7.1. Materia Prima**

- Mashua (*Tropaeolum Tuberosum*) variedad Quillu zapallo-Amarilla

#### **2.7.2. Reactivos**

- Agua

#### **2.7.3. Materiales**

- Probeta
- Vasos de precipitación
- Cucharas
- Balanza
- Crisoles
- Pinzas
- Fundas plásticas de polietileno
- Rotuladores
- Bandejas de aluminio

- Tamizador

#### 2.7.4. Equipos

**Tabla 8.** Características de los equipos

Equipo	Modelo	Capacidad
Autoclave	Tuttnauer 2540 M	-
Horno desecador	BL140-2.2 – 220 V	Temperatura máxima de 90 °C Un máximo de 12 h de trabajo
Deshidratador	VENTUS ST-32	Temperatura máxima de 80 °C Un máximo de 24 h de trabajo
Molino	Osnox 610usd A03	-

### 2.8. Metodología para la caracterización de la materia prima y harina.

#### 2.8.1. Metodología para determinar la humedad

La metodología aplicada para la determinación de la humedad es AOAC gravimétrico 925.10. Este método consiste en secar la muestra en un horno y medir la pérdida de peso, la cual se considera como el contenido de humedad de la muestra.

#### Ec 1.Humedad

$$\text{Humedad \%} = \frac{(M - m) 100}{M}$$

#### Donde:

M=Peso inicial en gramos de la muestra m=

Peso en gramos del producto seco.

#### 2.8.2. Metodología para determinar la proteína

Se pesó la muestra, se digirió con ácido sulfúrico y un catalizador para convertir el nitrógeno en amoníaco. Luego, se neutralizó la mezcla, se destiló el amoníaco, que se capturó en ácido bórico y se cuantificó por titulación con ácido clorhídrico. Finalmente, se calculó el contenido de proteína usando un factor de conversión basado en el nitrógeno obtenido (Chicaiza & Ilaquiche, 2024) **Ec**

#### 2. Proteína

$$\%P = \frac{V * N (\text{valorado}) * 0,014 * 100}{M} \times F$$

### 2.8.3. Metodología para determinar fibra

Para determinar el número total de fibras se utiliza el método gravimétrico, el AOAC es 930.15. Se realizó tratando la muestra con soluciones ácida y alcalina, seguida de calentamiento, filtrado y lavado para eliminar componentes solubles.

#### Ec 3. Fibra

$$\text{Fibra cruda \%} = \frac{W_{\text{crisol muestra digerida}} - W_{\text{crisol con ceniza}}}{W_{\text{papel con muestra}} - W_{\text{del papel solo}}} \times 100$$

$$\text{Fibra cruda \%} = \frac{100 * \%F.C}{\%M.S}$$

### 2.8.4. Metodología para determinar grasa

Para la determinación del contenido de grasa se realizó utilizando el método 920.39 de la AOAC. Se realizó utilizando el método Goldfish, trata de una extracción continua con un disolvente orgánico.

#### Ec 4. Grasa

$$\% \text{ Grasa} = \frac{P1 - P2}{P} \times 100$$

### 2.8.5. Metodología para determinar cenizas

Para la determinación de la ceniza se llevó a cabo el método gravimétrico AOAC 923.03. **Ec**

#### 5. Cenizas

$$\% \text{ de cenizas} = \frac{(Pc + C) - (Pc)}{(Pc + M) - (Pc)} \times 100$$

#### Donde:

Pc: Peso del crisol

C: Cenizas

M: Muestra

### **2.8.6. Metodología de carbohidratos**

La determinación de carbohidratos se realiza mediante un cálculo donde se toma en cuenta en la diferencia entre los porcentajes de humedad, proteína, fibra, grasa y ceniza, utilizando la ecuación propuesta por (Pila & Sigcha, 2023).

#### **Ec 6. Carbohidratos**

$$\% \text{ Carbohidratos} = 100 - (\% \text{ humedad} + \% \text{ Proteína} + \% \text{ Fibra} + \% \text{ Grasa} + \% \text{ Ceniza})$$

### **2.8.7. Metodología para los análisis nutricionales de la harina**

#### **2.8.8. Vitamina C**

Determinación de ácido ascórbico o Vitamina C por el método oficial de titulación (AOAC/ Espectrofotometría/AOAC 2000).

#### **Ec 7. Vitamina C**

$$\text{mg Ác. Ascórbico} = \frac{\text{volumen de titulación de muestra}}{\text{volumen de titulación de estandar}}$$

#### **2.8.9. Fosforo**

Determinación del contenido de fosforo se determinó por el método oficial (AOAC/ Colorimétrico/AOAC 995,11).

#### **Ec 8. Cenizas**

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{P - P}{M} \times 100$$

#### **Ec 9. Fosforo**

$$\% \text{ P} = \frac{\text{Ce} \times \text{Aforo} \times \text{FD}}{\text{Wm}} \times 100\%$$

### **2.8.10. Metodologías para determinar los análisis físicos de las harinas**

#### **2.8.11. Índice de solubilidad**

El índice de solubilidad se determinó según el método de (Huamani, 2020), con modificaciones. Las pruebas se realizaron por duplicado, y el cálculo se realizó mediante una ecuación específica.

**Ec 10.** Solubilidad

$$\text{Solubilidad} = \frac{(\text{Peso solidos} * 2)}{\text{Peso de la muestra}}$$

#### **2.8.12. Densidad aparente**

Para realizar la prueba de densidad aparente se utilizó 20 g de polvo en una probeta de 25 ml, se midió el volumen del polvo para determinar la relación entre la masa y el volumen, empleando la ecuación correspondiente (Pérez et al., 2017).

**Ec 11.**Densidad Aparente

$$D_a = \frac{m}{v}$$

**Donde:**

Da: densidad aparente m:

masa de la muestra (g)

V: volumen de la muestra (mL)

#### **2.8.13. Densidad compacta**

Este método proporciona información importante sobre cómo la harina se comprime bajo presión, lo cual es crucial para analizar sus propiedades físicas y optimizar la formulación de productos en la industria alimentaria (Iglesias & Pichucho, 2021).

**Ec 12.** Densidad Bruta

$$\text{Densidad Bruta} = \frac{\text{masa de la harina (g)}}{\text{volumen del recipiente (mL)}}$$

#### **2.8.14. Índice de hauster**

El índice de Hausner se calculó teniendo en cuenta el volumen aparente y el volumen comprimido del material. Es fundamental para evaluar las propiedades de flujo y compresibilidad de una muestra, ofreciendo un indicador clave para entender su comportamiento durante la producción y el almacenamiento. Un valor bajo en el índice de Hausner indicaba buenas propiedades de flujo y compresibilidad, aspectos cruciales para garantizar un proceso eficiente y la calidad óptima del producto final ( Iglesias & Pichucho, 2021).

**Ec 13.** Índice de Hauster

$$IH = \frac{Dc}{Da}$$

**Donde:**

IH: Índice de hausner

Dc: Densidad compacta

Da: Densidad aparente

#### **2.8.15. Angulo de reposo**

Para determinar el ángulo de reposo de la harina de mashua, se pesó 500 gramos de muestra pulverizada, se utilizó una superficie plana y con un embudo a 25 cm de altura se dejó caer la harina naturalmente finalizando el proceso se utilizó dos reglas para coger la medida exacta de la altura del cono terminado y una cinta métrica para determinar el diámetro del cono finalmente se aplica la siguiente ecuación para obtener los resultados (Villena , 2023).

**Ec 14.** Angulo de Reposo

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{h}{r} \right)$$

**Donde:**

$\Theta$ = ángulo de reposo

$\tan^{-1}$ = tangente h=

altura del cono r=

radio del cono

**2.8.16. Metodología propiedades funcionales****2.8.17. Mixolab**

Según (Bustillos, 2022), es un equipo analítico utilizado en la industria alimentaria, específicamente en la evaluación de la calidad de las harinas. Este equipo permite determinar las propiedades reológicas y térmicas de las masas, proporcionando información detallada sobre su comportamiento durante el amasado a diferentes temperaturas.

Los análisis Mixolab permiten medir la consistencia de una masa sometida a una doble presión de amasado y a un incremento de temperatura. (Nuñez, 2021) realizó sus pruebas utilizando el método Mixolab Chopin, Norma ICC-173, como el índice de absorción de agua, índice de amasado, índice viscosidad, índice de amilasa, etc.

**2.8.18. Índice de absorción de agua**

Para determinar el índice de absorción de agua, se pesa 2 gramos de muestra de harina, se mezcla con 40 ml de agua destilada y se calienta a baño María a 90 °C durante 10 min. Luego, se centrifuga a 3000 g por 10 min, se separa el sobrenadante y se seca en una estufa a 110°C durante 24 horas. Finalmente, se pesa el residuo seco y el sedimento restante en el fondo de los tubos (Fernandez, 2017).

**Ec 15. Índice de Absorción de Agua**

$$IAA = \frac{PS}{PM}$$

**Donde:**

IAA: Índice de adsorción de agua (g/g muestra)

PS: peso del sedimento

PM: peso de muestra

**2.8.19. Índice de amasado**

El índice de amasado representa una propiedad que indica la resistencia de la masa a dicha manipulación. En esta etapa, la mezcla de harina y agua se convierte en una masa suave, viscoelástica, de textura seca y sedosa que se extiende fácilmente formando una película fina y firme (Bustillos, 2022).

**2.8.20. Índice de viscosidad**

La viscosidad se refiere a la capacidad del almidón para retener agua, después de lo cual los gránulos de almidón se descomponen. Normalmente, la viscosidad máxima se produce cuando se calienta a 95 °C y se mantiene durante 8 a 13 min (Castro, 2022).

**2.8.21. Índice de Amilasa**

El índice de amilasa de establecer en un valor de 5, esto indica que la muestra no tiene alta actividad de diastasa, mientras que los valores de 3-4 y el valor más bajo de 2 indican que la muestra tiene alta actividad de hiperdiastásica (Nuñez, 2021).

**2.8.22. Índice de Retrogradación**

El índice de retrogradación mide el grado en que el almidón, después de ser gelatinizado y enfriado, experimenta la reorganización de sus moléculas en estructuras más ordenadas o cristalinas. Este proceso afecta propiedades como la textura y la solubilidad del almidón, lo que es crucial en la calidad de productos alimenticios. Un alto índice de retrogradación puede generar una textura más dura, mientras que un índice bajo puede mejorar la frescura y la calidad sensorial (Bustillos, 2022).

### ***2.8.23. Metodología para la elaboración de harina de mashua***

#### ***2.8.24. Método de deshidratación***

#### ***2.8.25. Procedimiento***

**Secado natural:** Inicialmente, los tubérculos de mashua se exponen a la radiación solar durante un periodo de siete días con el objetivo de reducir el contenido de humedad, disminuir la concentración de ácido oxálico y promover la transformación de almidones en azúcares solubles.

**Selección:** Luego del secado preliminar, se lleva a cabo una selección manual basada en criterios de calidad. Se descartan los tubérculos que presentan defectos físicos como golpes, magulladuras, presencia de hongos o manchas superficiales, ya que estos pueden comprometer la calidad del producto final. Esta selección garantiza que solo se utilicen tubérculos en óptimas condiciones sanitarias y estructurales, lo que impacta directamente en la uniformidad del proceso y en la estabilidad del producto final.

**Lavado:** La materia prima seleccionada es sometida a un proceso de limpieza mediante lavado con agua potable, eliminando residuos superficiales, tierra y otros contaminantes adheridos al tubérculo. Este proceso es fundamental para garantizar la inocuidad del producto en las siguientes etapas.

**Laminado:** Una vez lavados y escurridos, los tubérculos se someten a un proceso de corte utilizando una laminadora industrial. Se establece un grosor estándar de 2 mm para las hojuelas, ya que este parámetro influye directamente en la eficiencia del secado. Un espesor uniforme permite un deshidratado homogéneo, optimizando la transferencia de calor y reduciendo el tiempo de procesamiento. Este paso es crítico, ya que laminados irregulares pueden generar variabilidad en la textura y humedad final de la harina.

**Deshidratación:** Las láminas de mashua se disponen en bandejas y se introducen en un deshidratador controlado, donde se realizan ensayos bajo condiciones específicas de temperatura (60 °C y 80 °C) y tiempo (360 y 480 min). Estos parámetros permiten optimizar la eliminación de la humedad residual, manteniendo las propiedades nutricionales del producto.

**Enfriado:** Tras la deshidratación, las hojuelas se dejan reposar a temperatura ambiente durante 60 minutos en un ambiente seco y ventilado. Este proceso permite la estabilización térmica y la disipación del calor residual, evitando la condensación de humedad durante el almacenamiento. Un enfriado gradual también ayuda a reducir tensiones estructurales en las hojuelas, lo que mejora la eficiencia del posterior proceso de molienda.

**Molienda:** Una vez alcanzada la temperatura ambiente, las hojuelas secas se procesan mediante molienda en un molino industrial de discos, lo que facilita la conversión de las hojuelas en harina fina de alta calidad.

**Tamizado:** La harina obtenida es sometida a un proceso de tamizado mediante un tamiz de malla de 300  $\mu\text{m}$ , con el fin de separar partículas de mayor tamaño, obteniendo un producto con características granulométricas homogéneas. Este paso es esencial para garantizar la textura fina del producto, facilitando su aplicación en la industria alimentaria.

**Empacado:** La harina se dosifica y envasa en bolsas plásticas tipo zipper con una capacidad de 500 g. Este tipo de empaque garantiza la protección frente a la humedad ambiental y la oxidación, manteniendo las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de la harina.

**Almacenamiento:** Finalmente, el producto empacado se almacena en condiciones ambientales controladas, en un lugar fresco y seco, manteniendo una temperatura constante de 25 °C, para preservar las propiedades organolépticas, nutricionales y la vida útil del producto.

#### ***2.8.26. Método de precocción***

#### ***2.8.27. Procedimiento***

**Secado natural:** Inicialmente, los tubérculos de mashua se exponen a la radiación solar durante un periodo de siete días con el objetivo de reducir el contenido de humedad, disminuir la concentración de glucosinolatos y promover la transformación de almidones en azúcares solubles.

**Selección:** Luego del secado preliminar, se lleva a cabo una selección manual basada en criterios de calidad. Se descartan los tubérculos que presentan defectos físicos como golpes, magulladuras, presencia de hongos o manchas superficiales, ya que estos pueden comprometer la calidad del

producto final. Esta selección garantiza que solo se utilicen tubérculos en óptimas condiciones sanitarias y estructurales, lo que impacta directamente en la uniformidad del proceso y en la estabilidad del producto final.

**Lavado:** La materia prima seleccionada es sometida a un proceso de limpieza mediante lavado con agua potable, eliminando residuos superficiales, tierra y otros contaminantes adheridos al tubérculo. Este proceso es fundamental para garantizar la inocuidad del producto en las siguientes etapas.

**Laminado:** Una vez lavados y escurridos, los tubérculos se someten a un proceso de corte utilizando una laminadora industrial. Se establece un grosor estándar de 2 mm para las hojuelas, ya que este parámetro influye directamente en la eficiencia del secado. Un espesor uniforme permite un deshidratado homogéneo, optimizando la transferencia de calor y reduciendo el tiempo de procesamiento. Este paso es crítico, ya que laminados irregulares pueden generar variabilidad en la textura y humedad final de la harina.

**Precocción:** Las hojuelas de mashua se someten a un proceso de precocción en una autoclave, utilizando una relación de 1 kg de materia prima por 260 mL de agua destilada en envases de vidrio resistentes a altas temperaturas. Antes del tratamiento térmico, la mezcla se agita suavemente para garantizar una distribución homogénea del agua. Se evaluaron diferentes combinaciones de temperatura (110°C y 120°C) y tiempo de procesamiento (5, 10 y 15 min) con el fin de optimizar la gelatinización del almidón y mejorar la digestibilidad del producto final.

**Secado al ambiente:** Tras la precocción, las muestras se retiran de la autoclave y se disponen en bandejas forradas con papel filtro para facilitar la eliminación de humedad residual. El secado se lleva a cabo a temperatura ambiente durante un período de 48 horas. Al finalizar este proceso, las muestras se someten a un pesado de las hojuelas secas, para determinar la pérdida de peso, lo que permite evaluar la eficiencia del secado y el contenido final de humedad del producto.

**Molido:** Una vez completado el secado, las hojuelas de mashua se procesan en un molino industrial de discos, obteniendo así una harina precocida de granulometría controlada y alta calidad nutricional.

**Tamizado:** La harina obtenida es sometida a un proceso de tamizado mediante un tamiz de malla de 300  $\mu\text{m}$ , con el fin de separar partículas de mayor tamaño, obteniendo un producto con características granulométricas homogéneas. Este paso es esencial para garantizar la textura fina del producto, facilitando su aplicación en la industria alimentaria.

**Empacado:** La harina se dosifica y envasa en bolsas plásticas tipo zipper con una capacidad de 500 g. Este tipo de empaque garantiza la protección frente a la humedad ambiental y la oxidación, manteniendo las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de la harina.

**Almacenamiento:** Finalmente, el producto empacado se almacena en condiciones ambientales controladas, en un lugar fresco y seco, manteniendo una temperatura constante de 25°C, para preservar las propiedades organolépticas, nutricionales y la vida útil del producto.

## 2.9. Hipótesis

### 2.9.1. Hipótesis Nula

Ho: La temperatura y el tiempo de procesamiento no tienen un efecto significativo en las propiedades funcionales de la harina mashua (*Tropaeolum Tuberosum*) variedad Quillu zapallo Amarilla, obtenida mediante los métodos de precocción y deshidratación.

### 2.9.2. Hipótesis alternativa

H1: La temperatura y el tiempo de procesamiento tienen un efecto significativo en las propiedades funcionales de la harina de mashua (*Tropaeolum Tuberosum*) variedad Quillu zapallo-Amarilla, obtenida mediante los métodos de precocción y deshidratación.

## 2.10. Diseño Experimental.

En el presente trabajo de investigación se realizará un análisis detallado de las propiedades funcionales de la harina de mashua (*Tropaeolum Tuberosum*) variedad Quillu zapallo-Amarilla, utilizando dos metodologías de procesamiento: precocción y deshidratación. Para ello, se empleará el software Minitab versión 20.2.0.0, con el cual se implementará un diseño experimental basado en un modelo de superficie de respuesta. Este diseño contiene 13 corridas experimentales destinadas a evaluar combinaciones específicas de temperaturas de (110 °C 115 °C 120 °C) y

tiempos de (5, 10 y 15 minutos) para el método de precocción y para el método deshidratación (60 °C, 70 °C, 80 °C) y tiempos de deshidratación (360 ,420, 480 min). Las variables de respuesta a estudiar fueron el contenido proteico y la solubilidad de la harina de mashua (*Tropaeolum Tuberosum*) variedad Quillu zapallo-Amarilla, con el objetivo de determinar el efecto de las condiciones de procesamiento sobre las propiedades funcionales.

Para este tipo de análisis se tomarán en cuenta las variables de temperatura y tiempo. Después se detallará el proceso de optimización de la precocción y deshidratación de mashua (*Tropaeolum Tuberosum*) variedad Quillu zapallo-Amarilla.

**Tabla 9.** Descripción del diseño experimental mashua deshidratada

<b>Detalle</b>	<b>Unidad de mínimo</b>	<b>Tipo Valor intermedio</b>	<b>Valor medida</b>	<b>Valor máximo</b>	
Temperatura	° C	Numérica	60	70	80
Tiempo	min	Numérica	360	420	480

**Elaborado por:** (Herrera & Llugsa, 2025)

**Tabla 10.** Descripción del diseño experimental mashua precocida

<b>Detalle</b>	<b>Unidad de mínimo</b>	<b>Tipo Valor intermedio</b>	<b>Valor medida</b>	<b>Valor máximo</b>	
Temperatura	° C	Numérica	110	115	120
Tiempo	min	Numérica	5	10	15

**Elaborado por:** (Herrera & Llugsa, 2025)

### **2.10.1. Operacionalización de las variables**

**Tabla 11.** Tipos de variables

---

Variable dependiente	Variable independiente	Variable de estudio	Indicadores
Propiedades funcionales y fisicoquímicas de las harinas precocidas y deshidratación	Temperaturas y tiempos de precocción y deshidratación	Análisis fisicoquímico	Humedad Proteínas Cenizas Grasa Fibra Carbohidratos
		Análisis micronutrientes	Vitamina C Fosforo
		Análisis funcionales	Índice de absorción de agua Índice de amasado Índice de viscosidad
			Índice de amilasa Índice de retrogradación Índice de solubilidad

---

Elaborado por: (Herrera & Lluga, 2025)

**Tabla 12.** Factores de estudios

Factor A	Factor B
<b>Método de Precocción</b>	
Tiempo	Temperatura
5 min	110 °C
10 min	115 °C
15 min	120 °C
<b>Método de Deshidratación</b>	
Tiempo	Temperatura
360 min	60 °C
420 min	70 °C
480 min	80 °C

**Elaborado por:** (Herrera & Llugsa, 2025)

### 2.11. Corridas experimentales del método de deshidratación

En la tabla 13, se muestra la combinación utilizada para el diseño experimental aplicando primero el diseño factorial 3x2 y posteriormente el diseño de superficie de respuesta utilizado para la deshidratación de la mashua (*Tropaeolum Tuberosum*) variedad Quillu zapallo-Amarilla.

**Tabla 13.** Corridas experimentales para la deshidratación de la harina de *mashua* (*Tropaeolum Tuberosum*) variedad *Quillu zapallo-Amarilla*.

Corrida	Temperatura (° C)	Tiempo (min)
1	60	360
2	60	420
3	60	480
4	70	360
5	70	420
6	70	480
7	80	360
8	80	420
9	80	480
10	70	420
11	80	480
12	60	480
13	60	420

**Elaborado por:** (Herrera & Llugsa, 2025)

### 2.12. Corridas experimentales del método de precocción

En la tabla 14, se muestra la combinación utilizada para el diseño experimental aplicando primero el diseño factorial 3x2 y posteriormente el diseño de superficie de respuesta utilizado para el método de precocción.

**Tabla 14.** Corridas experimentales para la precocción de la harina de mashua (*Tropaeolum Tuberosum*) variedad Quillu zapallo-Amarilla.

Corrida	Temperatura (° C)	Tiempo (min)
1	110	5
2	110	10
3	110	15
4	115	5
5	115	10
6	115	15
7	120	5
8	120	10
9	120	15
10	120	5
11	115	5
12	110	15
13	120	10

Elaborado por: (Herrera & Lluga, 2025)

## 2.13. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS 2.13.1. Caracterización de la mashua (*Tropaeolum Tuberosum*) variedad Quillu zapallo-

### Amarilla

A continuación, se presenta la caracterización de la materia prima utilizada en la investigación; mashua (*Tropaeolum Tuberosum*) variedad Quillu zapallo-Amarilla, en este segmento se detalla los componentes nutricionales del tubérculo, los mismos que servirán de referencia para la aplicación de los métodos de obtención de la harina. Los resultados se describen en la tabla 15.

**Tabla 15.** Caracterización química proximal de la mashua (*Tropaeolum Tuberosum*) variedad Quillu zapallo-Amarilla

<b>Parámetros</b>	<b>Resultados obtenidos</b>
Humedad total (%)	79,87
Proteína (%)	8,07
Fibra (%)	6,39
Grasa (%)	0,58
Cenizas (%)	4,42
Carbohidratos (%)	0,67

**Elaborado por:** (Herrera & Llugsa, 2025)

La mashua (*Tropaeolum Tuberosum*) variedad Quillu zapallo-Amarilla se diferencia de otras variedades por sus características morfológicas; el tubérculo presenta forma gruesa, alargada y con numerosos nudos (Aguilar, 2023). Esta variedad se cultiva de manera óptima en una altitud mínima de 2,400 m. s. n. m. su producción no demanda de suelos ricos en nutrientes, se puede adaptar a suelos pobres. El cultivo no requiere del uso de fertilizantes, se desarrolla en condiciones climáticas a bajas temperaturas que oscilan entre los 6 °C y 14 °C (Garces, 2019).

En la caracterización de la materia prima el contenido de humedad es de 79,87 %, este valor obtenido se compara con el estudio de (Vayas, 2023) en su investigación “Modelado de la cinética de secado convectivo e isoterma de adsorción de agua de camote morado (*Ipomoea batatas*) y mashua (*Tropaeolum Tuberosum*), donde se realiza en primer instancia una caracterización nutricional de los tubérculos en base seca, para poder determinar si el contenido de agua influye significativamente el contenido de humedad, reflejando valores de 66,66 % y 84,41 %. Se puede observar que los resultados obtenidos en el estudio se encuentran dentro del rango establecido según (Ortiz et al., 2018) en su estudio “Tabla de composición de alimentos” establece que el rango de humedad de tubérculos se encuentra entre 71,1 % a 85,7 %. La variación de los porcentajes puede influir por varios factores como la variedad, el contenido de agua, tiempo de madures, clima, tipo de suelo, prácticas de cultivo, etc. Según (Vásquez & López, 2018), la determinación de humedad es indispensable para calcular los sólidos totales y la proporción de nutrientes (carbohidratos, proteínas, grasas). Esto es clave para evaluar el aporte nutricional del tubérculo.

EL contenido de proteína obtenido en la materia prima es de 8,07 % este resultado se puede comparar con el estudio realizado por (Pacheco, 2019) sobre “Obtención y caracterización de compuestos bioactivos procedentes de tubérculos andinos y de subproductos de la industria agroalimentaria” reporta que el contenido de proteína en los tubérculos es: mashua 11,7 %, melloco 13,4 %, zanahoria blanca 6,2 %. La característica común de las raíces tuberosas en el contenido en proteínas depende de factores como el genotipo, el manejo del cultivo y el contenido de aminoácidos como (histidina, metionina, isoleucina, fenilalanina, leucina y lisina). De la misma manera (Pacheco et al., 2019) en su investigación sobre “Propiedades morfológicas, tecnológicas y nutricionales de harinas y almidones de mashua (*Tropaeolum Tuberosum*) y melloco (*Ullucus tuberosus*) cultivados en Ecuador” establece que el contenido de proteína oscila en un rango de 7,22 % a 13,99 %, según esta revisión bibliográfica el contenido de proteína de la materia en estudio se encuentra dentro de estos rangos.

En cuanto a el resultado obtenido de fibra el valor es de 6,39 %. Estos resultados se comparan con la investigación de (Mendoza, 2013) sobre “Caracterización de almidones de dos tubérculos andinos: mashua (*Tropaeolum Tuberosum*) y oca (*oxalis tuberosa mol*)” reporta que el contenido de fibra se encuentra en rangos de 0,99% y 1,20%. Además, en la investigación realizada por (Tapia, 2017) sobre “Fenoles totales y actividad antioxidante en mashua (*Tropaeolum Tuberosum*) en estado fresco, soleado y cocido de las variedades amarillo zapallo y negra” reporta que el valor determinado de la fibra en base seca debe estar entre (7,8 % a 8,6 %), según esta revisión bibliográfica el contenido de fibra de la materia en estudio se encuentra dentro de estos rangos, cabe destacar que el contenido de fibra influye en la concentración de carbohidratos, mientras más contenido de carbohidratos la proporción de fibra tiende a bajar. En el estudio se obtiene el contenido de carbohidratos moderado por lo que el contenido de fibra es alto.

En el contenido de grasa reporta un 0.58 % este valor se comparó con la investigación de (Barreto, 2019) sobre “Obtención y aplicación de almidones modificados por esterificación (OSA) a partir de almidones nativos provenientes de tubérculos andinos” donde reporta el contenido de grasa de tres tubérculos dentro del estudio realizado, entre ellos tenemos con un valor de 0,12 % a la mashua amarilla, 0,12 % a la oca amarilla y 0,14 % al melloco amarillo. De la misma manera de acuerdo con (Remache, 2024), en su investigación sobre la “Elaboración de una bebida probiótica con suero

de leche y pulpa de mashua (*Tropaeolum Tuberosum*) en el análisis proximal de la materia prima obtiene un contenido de la grasa de 0,32 % en la mashua, sin embargo, este mismo menciona que la grasa oscila dentro de un rango de (0,1 % a 0,7 %), según esta revisión bibliográfica el contenido de grasa de la materia en estudio se encuentra dentro de estos rangos.

En la determinación de cenizas se obtuvo un valor de 4,42 %. Este resultado se compara con la investigación realizada por (Mendoza, 2013) sobre “Caracterización de almidones de dos tubérculos andinos: mashua (*Tropaeolum Tuberosum*) y oca (*oxalis tuberosa mol*)” el contenido de ceniza oscila entre 7,20 % y el 5,69 %. El porcentaje de ceniza en los tubérculos es por el contenido de minerales, en este caso la mashua cuenta con la presencia de componentes nutricionales como: K, P, Mg, Na Y Ca (macroelementos) y Zn, Fe, Cu y manganeso (microelementos) lo que hace que se diferencie de los demás tubérculos.

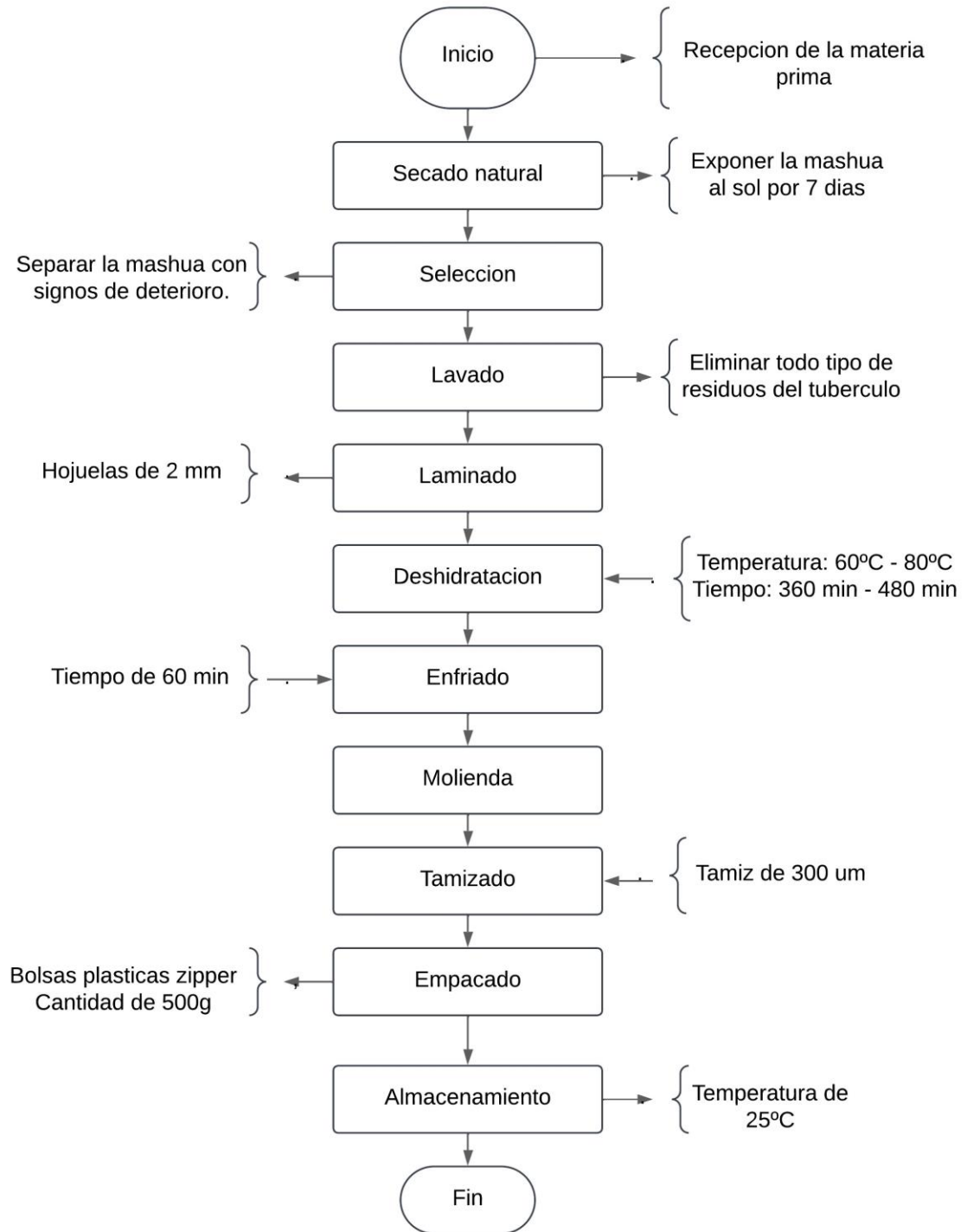
El contenido de carbohidratos obtenidos es de 0,67 %. Este resultado se procedió a comparar con el estudio realizado por (Pacheco et al., 2019) sobre “Obtención y caracterización de compuestos bioactivos procedentes de tubérculos andinos y de subproductos de la industria agroalimentaria” donde reporta que el contenido de los carbohidratos de los tubérculos investigados es: 77,9 % en la mashua, 83,2 % en el melloco y 87,0 % en la zanahoria blanca. Se puede observar que los tubérculos cuentan con una excelente fuente de carbohidratos dentro de los cuales el componente con mayor influencia es el almidón y una gran cantidad de nutrientes sólidos, esto porcentajes pueden estar ligados también a muchos factores entre ellos el tiempo óptimo de cosecha.

### ***2.13.2. Obtención de la harina por el método de deshidratación mashua variedad quillu zapallo-***

#### ***amarilla***

En la figura 2, se describe las etapas principales del proceso de obtención de harina de mashua (*Tropaeolum Tuberosum*) variedad Quillu zapallo-Amarilla mediante el método de deshidratación. Este método implica la eliminación controlada del contenido de agua, con el objetivo de conservar las propiedades nutricionales, funcionales y vida útil del producto final. A continuación, se presenta el diagrama de flujo con la estandarización del proceso de obtención de harina de mashua por el método de deshidratación

**Figura 2.** Diagrama de flujo del proceso de la obtención de harina deshidratada.

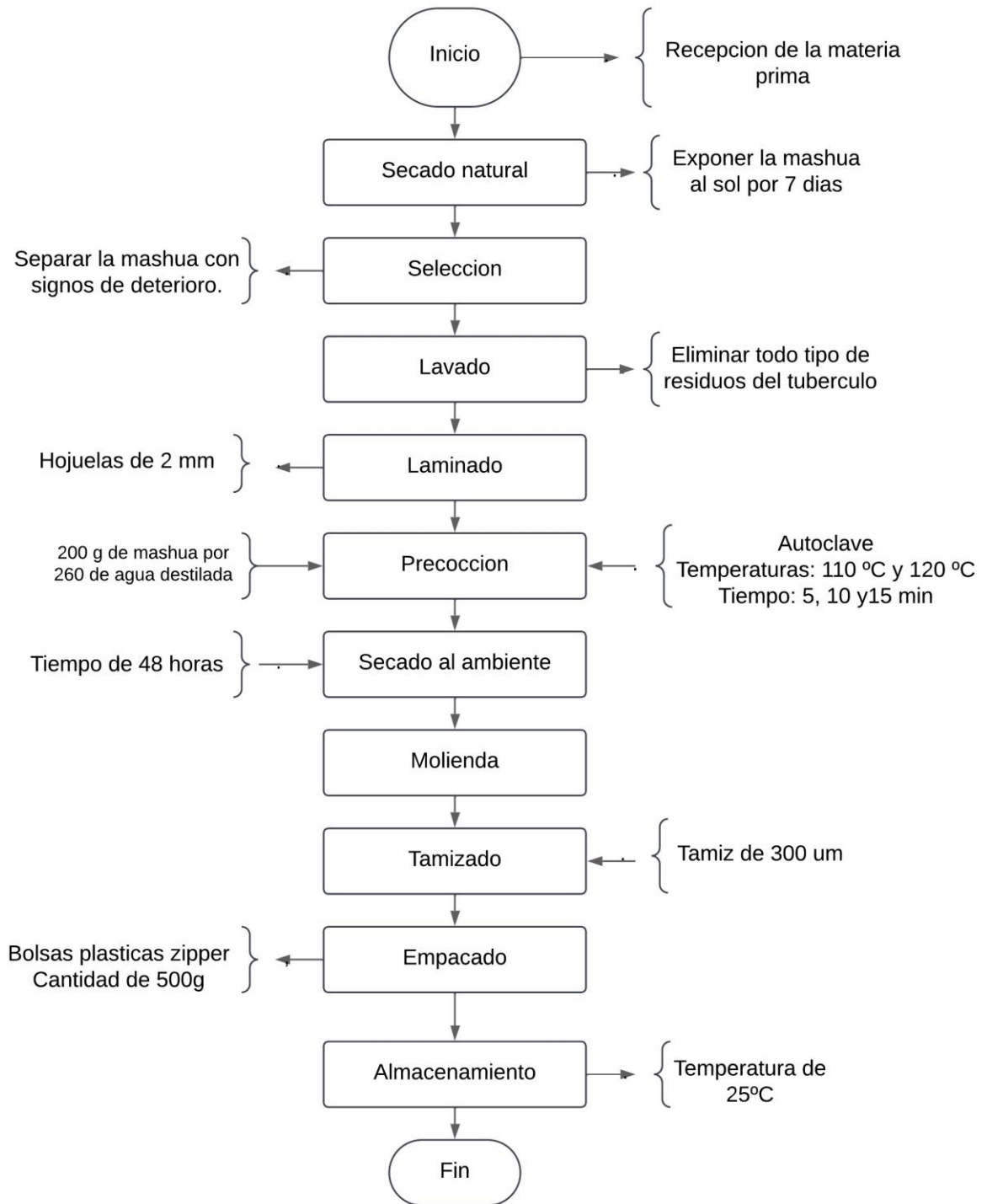


**Elaborado por:** (Herrera & Lluga, 2025)

***2.13.3. Obtención de la harina por el método de precocción de mashua variedad quillu zapallo-amarilla.***

A continuación, se presenta la obtención de la harina de mashua (*Tropaeolum Tuberosum*) variedad Quillu zapallo-Amarilla por el método de precocción en autoclave. Este método consiste en someter la materia prima a un tratamiento térmico controlado, permitiendo conservar las propiedades nutricionales, funcionales y vida útil del producto final. A continuación, en la figura 3 se presenta el diagrama de flujo con la estandarización del proceso de obtención de harina de mashua por el método de precocción por autoclave.

**Figura 3.** Diagrama de flujo del proceso de la obtención de harina precocida de mashua



**Elaborado por:** (Herrera & Llugsa, 2025)

**2.13.4. Rendimiento de la harina de mashua por el método de deshidratación y método de precocción.**

El rendimiento en la obtención de harina de mashua (*Tropaeolum Tuberosum*) es un factor clave en la eficiencia del proceso productivo. En este estudio, se comparan dos métodos de procesamiento: deshidratación (secado prolongado a temperatura moderada) y precocción (tratamiento térmico breve a alta temperatura), con el objetivo de analizar su impacto en la cantidad final de harina obtenida. Evaluar estas técnicas permitirá identificar la más eficiente en términos de recuperación de materia prima, optimización del tiempo de procesamiento y su aplicabilidad en la industria alimentaria.

**Tabla 16.** Rendimiento de harina de mashua por el método de deshidratación y método de precocción

Método	Materia prima	Pesado	T (°C) t (min)	Secado	Molienda	Tamizado	Rendimiento
Deshidratación	Mashua	10000 g	T: 60°C t: 360 min	800 g	792 g	8 g	79,20%
Precocción	Mashua	10000 g	T: 110 °C t: 5 min	918, 15 g	906, 15 g	12 g	97%

**Elaborado por:** (Herrera & Llugsa, 2025)

En la tabla 15, se puede visualizar el rendimiento del proceso de obtención de harina de mashua por medio del método de deshidratación y método de precocción, donde ingresa al proceso 10000 g de materia prima. Durante el proceso de deshidratación, realizado a 60 °C por 360 minutos, se obtuvo un peso seco 800 g, lo que indica una pérdida significativa de agua, posteriormente se procedió a la molienda permitió obtener 792 g de harina fina, finalmente se procedió al tamizado donde se retuvo 8 g de partículas de mayor tamaño, alcanzando un rendimiento total del 79,20%. Por otro lado, durante el proceso de precocción, realizado a 110 °C por 5 min, se obtuvo un peso seco 918,15g, lo que indica que no afecta significativa al contenido de agua, posteriormente se procedió a realizar la molienda donde se obtuvo 906,15 g de harina fina, tras el tamizado se retuvo 12 g de partículas de mayor tamaño. En conjunto, el proceso alcanzó un rendimiento total del 97%.

La diferencia del rendimiento entre los dos métodos se debe a que la precocción preserva mejor las propiedades nutricionales, con una pérdida mínima de peso durante el secado. Además, facilita la pre-gelatinización del almidón, lo que reduce la pérdida de materia prima en las etapas de molienda y tamizado. En contraste, el secado prolongado en el proceso de deshidratación provoca una mayor eliminación de agua y una posible degradación térmica, afectando el perfil nutricional del producto (Salazar, 2022).

### ***2.13.5. Evaluación de las propiedades físicas de la harina mashua por el método de deshidratación y precocción***

La evaluación de las propiedades fisicoquímicas de la harina resulta fundamental para asegurar la calidad y funcionalidad en procesos industriales, además estos análisis permitirán la optimización del proceso de obtención y compara los parámetros mínimos y máximos de los estándares de calidad del producto final. A continuación, en la tabla 17y 18 se presentan los resultados obtenidos.

**Tabla 17.** Evaluación física de la harina de mashua por el método de deshidratación

<b>Corrida</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Densidad aparente Hausner (g/mL)</b>	<b>Densidad compactada (g/mL)</b>	<b>Índice de (g/mL)</b>	<b>Ángulo de reposo</b>
1	60	360	0,52	0,67	1,28	11,20
2	60	420	0,57	0,76	1,33	10,55
3	60	480	0,54	0,70	1,29	10,62
4	70	360	0,54	0,69	1,27	10,60
5	70	420	0,55	0,71	1,29	10,59
6	70	480	0,51	0,66	1,29	11,21
7	80	360	0,53	0,69	1,30	11,06
8	80	420	0,57	0,72	1,31	10,86
9	80	480	0,55	0,71	1,29	10,71
10	70	420	0,51	0,66	1,29	11,32
11	80	480	0,54	0,69	1,27	11,12
12	60	480	0,54	0,72	1,33	10,63
13	60	420	0,53	0,72	1,35	10,63

**Elaborado por:** (Herrera & Lluga, 2025)

La caracterización de las propiedades físicas permite determinar la funcionalidad de una harina en la industria alimentaria, como es la evaluación de la densidad aparente, que

permite evaluar el comportamiento inicial durante la manipulación y el envasado de la harina, a diferencia de la densidad compactada que permite medir la masa por unidad de volumen del material tras ser sometido a fuerzas externas, como vibraciones o golpes, proporcionando información sobre las condiciones de almacenamiento y transporte (Kaleem, 2021). El índice de Hausner, es un indicador clave de las propiedades de flujo del material, donde valores cercanos a 1 reflejan buena fluidez y baja cohesión y valores altos evidencian mayor posesividad y dificultades en el manejo. Al mismo tiempo, el ángulo de reposo, según (Acosta, 2020), permite evaluar la inclinación que forma el material al acumularse en un montón, siendo una técnica aplicada para evaluar la cohesión y fluidez, proporcionando una caracterización integral de las propiedades físicas de harinas.

La harina deshidratada de mashua (*Tropaeolum Tuberosum*) variedad Quillu zapalloamarilla presentó una densidad aparente en el rango de 0,51 g/mL a 0,57 g/mL. En comparación con (Ramirez, 2023), en su estudio sobre la "Caracterización fisicoquímica y proximal de almidón y harina de jícama (*Pachyrhizus erosus L.*)", reportó valores de densidad aparente comprendidos entre 1,13 g/mL y 1,15 g/mL. Estas diferencias evidencian que la harina de mashua presenta una menor densidad aparente, lo que indica una menor compactación y mayor porosidad en su estructura. Además, (Acosta, 2020) reporta que un rango adecuado de la densidad aparente esta entre 0,30 a 0,60. Aunque esta propiedad puede facilitar su manipulación durante las etapas de procesamiento, también podría repercutir negativamente en las características funcionales y reológicas de los productos terminados, específicamente en la estabilidad y textura, favoreciendo el endurecimiento acelerado. Por lo tanto, en aplicaciones de panificación, es imprescindible realizar ajustes en las formulaciones y en los procesos tecnológicos para optimizar las propiedades texturales y prolongar la frescura del producto final, asegurando así su aceptación en industrial alimentaria.

La densidad compactada de la harina deshidratada se encuentra en un rango de 0,66 g/mL a 0,76 g/mL. Estos valores se comparan con los reportados por (Sierra & Robles, 2024) en el estudio "Evaluación de la composición nutricional y propiedades funcionales de harinas elaboradas a base de papa (*Solanum tuberosum*)", donde se obtuvo un rango de densidad compactada de 0,72 g/mL a 0,82 g/mL. La densidad compactada está estrechamente

vinculada al tamaño promedio de las partículas, ya que una mayor proporción de partículas finas favorece una densidad más elevada, optimizando las condiciones de almacenamiento al minimizar el espacio vacío entre partículas. En este contexto, los valores obtenidos para la harina de mashua son consistentes con las propiedades características de harinas de textura fina, lo que contribuye a su capacidad para mezclarse de manera uniforme en formulaciones alimentarias. No obstante, es importante considerar que una menor densidad podría limitar la capacidad de retención de agua, lo que podría afectar negativamente la textura y calidad de los productos finales derivados.

Los valores del índice de Hausner para la harina deshidratada de mashua se encuentran en un rango de 1,27 a 1,35. Estos resultados se comparan con (Acosta H. J., 2020), reporta que un índice de Hausner entre 1,00 y 1,11 indica una excelente fluidez, entre 1,12 y 1,18 se clasifica como buena, de 1,19 a 1,25 es considerada adecuada, entre 1,26 y 1,34 tolerable, y valores superiores a 1,35 reflejan una pobre fluidez. En comparación, (Gremasqui et al. , 2021) informan índices de Hausner de 1,14 para la harina de haba y 1,29 para la harina de quinua, destacando una mejor fluidez en estas muestras. Estos valores reflejan las diferencias en las propiedades de flujo entre diferentes tipos de harina y colocan a la harina de mashua dentro de un rango aceptable, pero debe tenerse en cuenta que este comportamiento puede tener impactos significativos en el manejo y procesamiento en aplicaciones industriales.

El ángulo de reposo de la harina deshidratada se encuentra en un rango de 10,55° a 11,32°. Estos resultados se comparan según (Acosta H. J., 2020), donde los valores de ángulo de reposo se clasifican en las siguientes categorías: excelente (<25°), bueno (25°-31°), muy bueno (31°-36°), aceptable (36°-41°), no aceptable (41°-46°) rechazado (>56°). En comparación con otros estudios, (Cerezal et al., 2011) reporta ángulos de reposo significativamente mayores en harinas de diferentes fuentes: harina de arroz (33,68°), harina de chocho (32,24°), harina de maíz (33,24) y harina de quinua (31,29°). Estas diferencias evidencian que la harina de mashua presenta propiedades excepcionales en términos de fluidez y comportamiento al flujo, lo que representa una ventaja en aplicaciones que requieren un procesamiento continuo de la materia prima. Sin embargo, la baja cohesión y alta fluidez de esta harina podrían incrementar el riesgo de segregación

de partículas durante el almacenamiento y transporte, lo que podría influir en su manejo y conservación.

**Tabla 18.** Evaluación física de la harina de mashua por el método de precocción

<b>Temperatura</b> (°C)	<b>Tiempo</b> (min)	<b>Densidad</b> <b>aparente</b> (g/mL)	<b>Densidad</b> <b>compactada</b> (g/mL)	<b>Índice de</b> <b>Hausner</b>	<b>Ángulo</b> <b>de reposo</b>
110	5	0,54	0,72	1,33	10,44
110	5	0,53	0,70	1,32	10,35
110	10	0,57	0,73	1,28	10,62
110	10	0,58	0,75	1,29	10,60
110	15	0,56	0,74	1,32	10,89
110	15	0,56	0,73	1,30	11,01
115	5	0,54	0,69	1,28	13,07
120	5	0,57	0,72	1,26	12,01
120	5	0,59	0,75	1,27	11,89
120	10	0,58	0,78	1,34	11,90
120	10	0,57	0,74	1,30	11,68
120	15	0,59	0,75	1,29	10,89
120	15	0,57	0,72	1,26	10,75

**Elaborado por:** (Herrera & Llugsa, 2025)

La harina precocida de mashua Quillu zapallo-amarilla presentó una densidad aparente en el rango de 0,50 g/mL a 0,58 g/mL. Estos resultados se comparan con (Cancho, 2017) reporta una densidad aparente para la harina de oca de 0,83 g/mL y 0,64 g/mL de densidad aparente en la harina de khaya. De igual manera según (Ocaña, 2019), en su estudio “Caracterización fisicoquímica, nutricional y reológica de cultivos andinos infrautilizados” reporta densidad aparente de varias harinas como: camote morado 0,62 g/mL, papa china 0,60 g/mL, oca 0,71 g/mL y zanahoria blanca 0,67 g/mL. Al comparar la densidad aparente del estudio realizado con las investigaciones bibliográficas, se observa que la harina de mashua es más ligera y menos compacta por el proceso de precocción. La densidad compactada se encuentra en un rango de 0,64 g/mL a 0,078

g/mL. En comparación con el estudio de (Techeira, 2014) Caracterización fisicoquímicas, funcionales y nutricionales de harinas crudas obtenidas de yuca (*Manihot esculenta Crantz*), batata (*Ipomoea batatas Lam*) y ñame (*Dioscorea alata*), reporta valores de densidad compactada de 0,48 a 0,51 g/mL para la harina de yuca, 0,73 a 0,74 g/mL para la harina de ñame y 0,67 a 0,69 g/mL para la harina de patata. La densidad compactada está directamente relacionada con el tamaño promedio de las partículas de cada una de las harinas, donde una mayor proporción de partículas finas se asocia con una densidad más alta y optimiza el almacenamiento. Los valores presentados para la harina de mashua, en comparación con las harinas de patata y ñame, son consistentes con las propiedades típicas de harinas de textura fina, lo que favorece su capacidad para mezclarse homogéneamente en formulaciones alimentarias

Los valores del índice de Hausner para la harina precocida se encuentran en un rango de 1,26 a 1,34. Estos resultados se comparan con (Kaleem, 2021), reporta un rango del índice de Hausner entre 1,00 y 1,11 indica una excelente fluidez, entre 1,12 y 1,18 se clasifica como buena, de 1,19 a 1,25 es considerada adecuada, entre 1,26 y 1,34 tolerable, y valores superiores a 1,35 reflejan una pobre fluidez. De igual manera en comparación, (Reyes et al., 2019) informan índices de Hausner de 0,88 para la harina de papa y 0,78 para la harina de malanga, destacando una mejor fluidez en estas muestras.

El ángulo de reposo de la harina precocida de mashua (*Tropaeolum Tuberosum*) variedades Quillu Zapallo-Amarilla se encuentra en un rango de 10,35° a 13,07°. Según (Pila & Sigcha, 2024), un ángulo de reposo se clasifica en las siguientes categorías: valor de 25-30° es excelente, mientras que un valor de 36-40° es regular, un valor de 46-55° es pobre y un valor >66° es extremadamente pobre. En comparación con otros estudios, (Moreno, 2016) reporta ángulos de reposo significativamente mayores en harinas de diferentes fuentes: harina de trigo (60,0°), harina de maíz (53,7°) y harina de frijol (44,0°). Asimismo (Reyes et al., 2019) documentan un ángulo de reposo de 35,0° para la harina de papa y de 48,0° para la harina de Málaga. Estas diferencias sugieren que la harina de mashua presenta características superiores en términos de manejo y fluidez, lo cual es una ventaja para aplicaciones que implican manipulación frecuente de la materia prima. No obstante, la

baja cohesión y alta fluidez de la harina de mashua también pueden aumentar el riesgo de segregación de partículas durante el almacenamiento y transporte.

En conclusión, la caracterización de las propiedades físicas de la harina de mashua, tanto precocida como deshidratada, es fundamental para predecir su comportamiento en almacenamiento, transporte y procesamiento, factores que influyen directamente en su calidad, estabilidad y viabilidad industrial (Gremasqui et al. , 2021). La comparación entre ambos métodos evidencia diferencias significativas en sus características físicas, destacando la precocción como la mejor opción debido a su impacto positivo en la estructura y funcionalidad del producto final. La harina de mashua precocida presenta una mayor densidad aparente, mayor compactación, un índice de Hausner más elevado y un ángulo de reposo optimizado, lo que favorece una mejor absorción de agua y reduce la susceptibilidad a la retrogradación del almidón, mejorando así su estabilidad y textura en aplicaciones alimentarias (Ocaña, 2019). Además, este tratamiento térmico modifica la granulometría y la densidad aparente, lo que facilita su dispersión en líquidos y su capacidad de retención de humedad. Estas características resultan esenciales para mejorar la calidad y versatilidad del producto en la industria alimentaria, permitiendo su aplicación en sopas instantáneas, bebidas funcionales y formulaciones que utilizan harina de mashua como sustituto en productos de panificación y repostería.

#### ***2.13.6. Optimización del contenido de proteína de harina de mashua obtenida por el método de deshidratación y el método de precocción.***

La optimización permite identificar las condiciones óptimas, para alcanzar el tratamiento ideal del procedimiento en estudio, mediante la maximización, minimización o ajuste de una variable respuesta estadísticamente significativa (Casa, 2016). Dentro del estudio se busca establecer una metodología estadística firme, que facilite la determinación de combinaciones óptimas de factores como la temperatura y el tiempo adecuado para determinar el mejor tratamiento en función al porcentaje de proteína. A continuación, se presenta la optimización del contenido de proteína en la harina de mashua mediante los métodos de deshidratación y precocción, utilizando un diseño de superficie respuesta. **Tabla 19.** Optimización de la proteína de la harina de mashua por el método de deshidratación

<b>Corrida</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Proteína (%)</b>
1	60	360	6,28

2	60	420	6,14
3	60	480	5,98
4	70	360	6,22
5	70	420	5,92
6	70	480	5,63
7	80	360	6,10
8	80	420	5,70
9	80	480	5,98
10	70	420	5,92
11	80	480	5,98
12	60	480	5,98
13	60	420	6,14

---

**Elaborado por:** (Herrera & Lluga, 2025)

En la tabla 19, se realizaron 13 corridas experimentales, cada una con mezclas específicas de los factores (*XTD*) y (*XtD*), evaluando el contenido de proteína como variable de respuesta. Entre estas, la corrida 1 registró el mayor contenido proteico, alcanzando 6,28 %. Este resultado sugiere que las condiciones de deshidratación influyen significativamente en la retención de proteínas, ya que temperaturas demasiado altas y tiempos prolongados pueden reducir el contenido y la funcionalidad proteica debido a la desnaturalización de nutrientes (Espinosa, 2019).

**Tabla 20.** Optimización de la proteína de la harina de mashua por el método de precocción.

<b>Corrida</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Proteína (%)</b>
1	110	5	7,68
2	110	10	7,51
3	110	15	7,38
4	115	5	7,56
5	115	10	7,27
6	115	15	6,97
7	120	5	7,50
8	120	10	7,03
9	120	15	6,60
10	120	5	7,50

11	115	5	7,56
12	110	15	7,38
13	120	10	7,03

**Elaborado por:** (Herrera & Llugsa, 2025)

En la tabla 20, se observa que se efectuaron 13 corridas, cada una con diferentes combinaciones específicas entre los factores (*XTP*) y (*XtP*), donde se evaluó el contenido de proteína como variable respuesta. La corrida 1 muestra el contenido de proteína más alto con 7,68%. Este contenido de proteína se debe a que las condiciones de precocción a temperaturas menos intensas y tiempos más cortos preservan mejor las proteínas, evitando su desnaturalización y degradación (Medina & Uscca, 2018).

El análisis comparativo demuestra que la precocción es el método más eficiente para optimizar la proteína en la harina de mashua, superando a la deshidratación en varios aspectos clave, como la temperatura y el tiempo del proceso, la desnaturalización de componentes y la mitigación del sabor y olor característico del tubérculo. Además, la precocción preserva mejor la calidad nutricional al minimizar la degradación térmica de las proteínas y reducir reacciones químicas que pueden disminuir la disponibilidad de aminoácidos esenciales (Esquivel, 2023).

Este método también mejora la digestibilidad al reducir la presencia de antinutrientes, asegurando un producto más funcional para la industria alimentaria. En términos sensoriales y de estabilidad, la precocción mantiene una mejor textura, color y frescura de la harina, evitando el oscurecimiento y la rancidez que pueden presentarse en la deshidratación prolongada. Además, al ser un proceso más corto, disminuye la pérdida de vitaminas sensibles al calor y mejora la funcionalidad proteica en la formulación de alimentos enriquecidos. Por todas estas razones, en conclusión, la precocción es el método más eficiente, rentable y beneficioso desde el punto de vista nutricional para la producción de harina de mashua con un alto contenido proteico, representando la mejor alternativa para su aplicación en la industria alimentaria (Velásquez, 2019).

**2.13.7. Evaluación del modelo, del contenido de proteína de la harina de mashua obtenida por el método de deshidratación y método de precocción.**

La tabla 21 presenta los resultados del análisis de varianza (ANOVA) realizado para evaluar el efecto de los factores temperatura y tiempo de deshidratación, así como su interacción, sobre el contenido de proteína en la harina de mashua, los cuales son fundamentales para interpretar la influencia de las variables en estudio. A continuación, se presenta el (ANOVA) del contenido de proteína.

**Tabla 21.** Tabla Análisis de varianza del método de deshidratación

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>CM Ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
Modelo	3	1,19967	0,399889	127,51	0,001
Lineal	2	0,60276	0,301382	96,1	0,001
Temperatura	1	0,09075	0,090754	28,94	0,001
Tiempo	1	0,09591	0,09591	30,58	0,001
Interacción A*B	1	0,09	0,09	28,7	0,001
Error	9	0,02823	0,003136		
Falta de ajuste	5	0,02823	0,005645	0,001	0,001
Total	12	1,22789			

**GL:** grados de libertad; **SC:** suma de cuadrados; **CM:** cuadrados medios; **F:** calculado; **Valor P:** probabilidad

**Elaborado por:** (Herrera & Llugsa, 2025)

A partir del análisis de varianza, se observa que el contenido de proteína en la harina de mashua por el método de deshidratación presenta un p-valor de 0,001, inferior al nivel de significancia establecido (0,005), lo que presenta una diferencia significativa entre los tratamientos, reflejando una significancia estadística altamente confiable. Asimismo, la interacción entre los factores (A\*B) temperatura y tiempo, evaluada en las distintas corridas experimentales, también presenta un pvalor

de 0.001, lo que indica diferencias significativas en las combinaciones de los factores. En cuanto al error y la falta de ajuste, los resultados muestran una suma de cuadrados ajustada del error de 0.02823 y una falta de ajuste mínima de 0.005645, lo que demuestra que el modelo se ajusta adecuadamente a los datos experimentales, en consecuencia, se acepta la hipótesis alternativa ( $H_1$ ) y se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ).

**Tabla 22.** Tabla Análisis de varianza del método de precocción

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajust</b>	<b>CM Ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
Modelo	3	0,949564	0,316521	103,38	0,001
Lineal	2	0,859564	0,429782	140,37	0,001
Temperatura	1	0,338621	0,338621	110,6	0,001
Tiempo	1	0,520943	0,520943	170,15	0,001
Interacción A*B	1	0,09	0,09	29,4	0,001
Error	9	0,027555	0,003062	0,001	0,001
Falta de ajustar	5	0,027555	0,005511		
Total	12	0,977119			

**GL:** grados de libertad; **SC:** suma de cuadrados; **CM:** cuadrados medios; **F:** calculado; **Valor P:** probabilidad

**Elaborado por:** (Herrera & Llugsa, 2025)

El contenido de proteína en la harina de mashua precocida presenta un p-valor de 0,001, inferior al nivel de significancia establecido (0,005), lo que evidencia una significancia estadística altamente confiable. Además, la interacción entre los factores temperatura y tiempo, evaluada en las distintas corridas experimentales, también presenta un p-valor de 0,001, lo que indica la existencia de diferencias significativas en la respuesta bajo las combinaciones de estos factores. En cuanto al error residual y la falta de ajuste, los resultados muestran una suma de cuadrados ajustada del error de 0,027555 y una falta de ajuste mínima de 0,005511, lo que demuestra que el modelo se ajusta

adecuadamente a los datos experimentales, en consecuencia, se acepta la hipótesis alternativa ( $H_1$ ) y se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ).

El análisis comparativo entre ambos métodos revela que la precocción presenta valores de F significativamente más altos, lo que indica una influencia más determinante de la temperatura y el tiempo en la respuesta del sistema. En particular, la temperatura ( $F = 110,6$ ) y el tiempo ( $F = 170,15$ ) exhiben una variabilidad considerablemente mayor en comparación con el método de deshidratación, lo que sugiere que estos factores pueden ser ajustados con mayor precisión para optimizar el proceso de obtención de la harina de mashua. Según (Ramirez, 2022), una alta sensibilidad implica que pequeñas variaciones en la temperatura y el tiempo durante la precocción pueden inducir cambios significativos en la calidad del producto final, favoreciendo una mayor eficiencia en la optimización de las condiciones de procesamiento. Asimismo, esta característica hace que la precocción sea un método más adecuado para obtener productos con propiedades específicas, como mejor textura, mayor retención de nutrientes y reducción del tiempo total de procesamiento, lo que resulta beneficioso para aplicaciones industriales y alimentarias de alto valor (Barreto & Fluker, 2019).

A partir de este análisis, se procede al diseño de la superficie de respuesta codificada, ya que los resultados indican que la interacción entre factores y tratamientos es completamente viable. Esto permite determinar las condiciones óptimas del proceso, con el objetivo de conservar un alto contenido de proteína en la harina precocida de mashua.

***2.13.8. Modelo codificado para la evaluación del contenido de proteína de harina de mashua por el método de deshidratación y el método de precocción por el diseño de superficie respuesta.***

El modelo codificado se basa en la relación entre factores, como la temperatura ( $XTD$ ) y tiempo ( $XtD$ ) de deshidratación, relacionando los efectos que estos factores tienen sobre el contenido de proteína. Los factores estimados y los indicadores estadísticos clave, como el  $R^2$  ajustado y el valor F del modelo, se incluyen para proporcionar una comprensión completa de la eficacia y significancia del modelo estadístico. A continuación, en las tablas 23 y 24 se presenta el modelo codificado para la evaluación del contenido de proteína por el diseño superficie de respuesta:

**Tabla 23.** Parámetros del modelo codificado para el contenido de proteína, en el método de deshidratación

<b>Indicadores</b>	<b>Proteína</b>
Intercepto	5,9108
XTD	-0,2633
XtD	-0,34
XTD XtD	0,15
R <sup>2</sup>	0,977
R <sup>2</sup> ajustado	0,9694
F modelo	127,51
F falta de ajuste	0,001

**XTD:** temperatura de deshidratado

**XtD:** tiempo de deshidratación

Valor significativo para  $p \leq 0,001$ .

**Elaborado por:** (Herrera & Llugsa, 2025)

La tabla 23 muestra los parámetros del modelo codificado para el contenido de proteína de la harina deshidratada de mashua. El indicador XTP presenta un valor de -0,2633, que al ser negativo indica que, al aumentar la temperatura de deshidratación, el contenido de proteína tiende a disminuir el valor es significativo ( $p \leq 0,001$ ). Además, por cada unidad de incremento en la temperatura, el contenido de proteína se reduce en 0,2633 unidades. De manera similar, el valor de XtP -0,34, es negativo y estadísticamente significativo, lo que indica una notable influencia en la

disminución del contenido de proteína, determinando que por cada unidad de incremento en el tiempo, el contenido de proteína se reduce en 0.34 unidades.

Los valores de  $R^2$  muestran que el 0,977 de la variabilidad en el contenido de proteínas puede ser explicada por el modelo, lo que indica que el ajuste es adecuado. Se observan resultados similares en el  $R^2$  ajustado 0,9694, que también indica un buen ajuste ya que está cerca de 1. Por consiguiente, el valor F falta de ajuste, indica que puede haber falta de ajuste en el modelo.

El modelo codificado indica que tanto la temperatura como el tiempo de deshidratación tienen un efecto negativo sobre el contenido de proteína de la harina de mashua. Esto hace que a medida que aumenta la temperatura y el tiempo de deshidratación, el contenido de proteínas tiende a disminuir. Por lo tanto, es importante controlar estos factores para optimizar la proteína en el producto final (Sago, 2022).

**Tabla 24.** Parámetros del modelo codificado para el contenido de proteína por el método de precocción

<b>Indicadores</b>	<b>Proteína</b>
Intercepto	7,2715
XTP	-0,2057
XtP	-0,2552
XTP XtP	-0,15
$R^2$	0,9718
$R^2$ ajustado	0,9694
F modelo	103,38
F falta de ajuste	0,001

**XTD:** temperatura de deshidratado

**XtD:** tiempo de deshidratación

Valor significativo para  $p \leq 0,001$ .

**Elaborado por:** (Herrera & Llugsa, 2025)

La tabla 24 muestra los parámetros del modelo codificado para el contenido de proteína de la harina precocida de la mashua (*Tropaeolum Tuberosum*) variedades Quillu zapallo-Amarilla. Para XTP, se presenta un valor de -0,2057, que al ser negativo indica que, al aumentar la temperatura de

precoccion, el contenido de proteína tiende a disminuir mostrando que este valor es significativo ( $p \leq 0,001$ ). Es decir, por cada unidad de incremento en la temperatura, el contenido de proteína se reduce en 0,2057 unidades. De manera similar, el valor  $XtP$  es -0,2552, siendo también negativo y significativo, lo que indica una notable influencia en la disminución del contenido de proteína, ya que, por cada unidad de incremento en el tiempo, el contenido de proteína se reduce en 0,2552 unidades.

Los valores de  $R^2$  muestran que el 0,9718 de la variabilidad en el contenido de proteínas puede ser explicada por el modelo, lo que indica que el ajuste es adecuado. Se observan resultados similares en el  $R^2$  ajustado 0,9694, que también indica un buen ajuste ya que está cerca de 1. En consecuencia, el valor  $F$  falta de ajuste, indica que puede haber falta de ajuste en el modelo.

Los valores negativos en los parámetros del modelo indican que tanto la temperatura como el tiempo de precocción ejercen un efecto adverso sobre el contenido de proteína de la harina de mashua. Esto significa que, a medida que aumentan la temperatura y el tiempo de precocción, el contenido de proteínas tiende a disminuir. Por lo tanto, resulta fundamental controlar cuidadosamente estos factores para optimizar y preservar el contenido proteico en el producto final (Taípe, 2022).

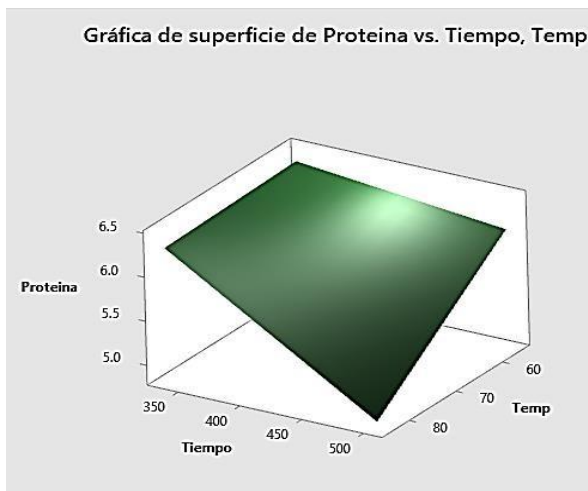
Al comparar los dos procesos del modelo de codificación, el método de precocción conserva un mayor contenido de proteína y muestra una menor influencia negativa de los factores en su variabilidad. Esto sugiere que la precocción permite una mejor estabilidad en la retención de proteínas, minimizando el impacto de la temperatura y las interacciones en comparación con la deshidratación. Al reducir la degradación proteica y mantener un contenido más alto, la precocción se posiciona como la opción más efectiva para preservar la calidad nutricional del producto, garantizando una mejor eficiencia en el proceso (Criollo & Llontop, 2024).

### ***2.13.9. Diseño de superficie respuesta para el contenido de proteína de la harina de mashua por el método de deshidratación y método de precocción.***

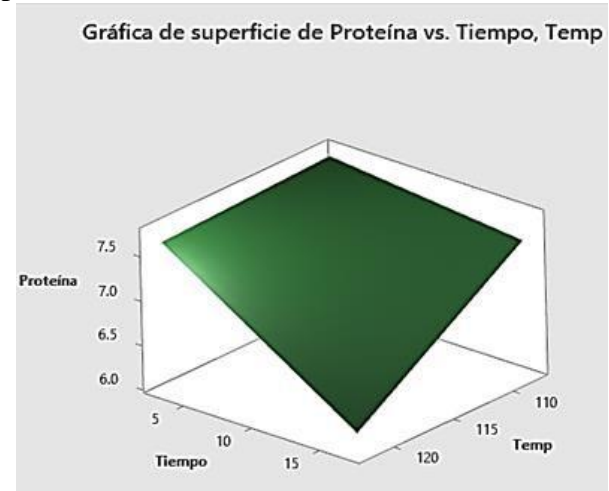
El modelo de superficie de respuesta que demuestra cómo la temperatura y tiempo de deshidratación influye el contenido de proteína en la harina de mashua variedad Quillu zapallo Amarilla. Este modelo permite visualizar la interacción entre estas dos variables

independientes y su impacto en la preservación de la proteína, proporcionando una comprensión más clara de las condiciones óptimas para maximizar el contenido de proteína.

**Figura 4.** Gráfica de superficie respuesta del contenido de proteína por el método de deshidratación



**Figura 5.** Gráfica de superficie respuesta del contenido de proteína por el método de precocción



**Elaborado por:** (Herrera & Llugsa, 2025)

En la figura 4 y 5, se muestra una representación del contenido de proteína con relación a tres variables; el eje X representa la temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), el eje Y representa el tiempo (min) y el eje Z representa la variable respuesta el contenido de proteína (%).

Al analizar la figura 4, se puede observar que a medida que se incrementa la temperatura y tiempo en la deshidratación disminuye el contenido de proteína. Esta visualización coincide con los coeficientes negativos encontrados en el modelo codificado, donde se observó que tanto un aumento en la temperatura como en el tiempo resultan una disminución del contenido de proteína. La sensibilidad de la proteína al calor causa la desnaturalización muy agresiva afectando los nutrientes y funcionalidad de productos alimentarios (Lopez, 2023).

Además, en la figura 5, se puede visualizar que a medida que se incrementa la temperatura y tiempo en precocción tiende a disminuir el contenido de proteínas, sin embargo, se puede observar que el

método de precocción ayuda a conservar el contenido de proteína en la harina de mashua. Estos factores coinciden con los coeficientes negativos encontrados en el modelo codificado, donde se observó que tanto un aumento en la temperatura como en el tiempo resultan en una disminución del contenido de proteína. Sin embargo, el método de precocción en estos parámetros no afecta significativamente en el contenido de proteína, lo cual es una ventaja importante desde el punto de vista nutricional, ya que asegura que la harina mantendrá su valor nutricional tras ser sometido a este tratamiento térmico (Barreto & Fluker, 2019).

Al comparar las dos gráficas de superficie respuesta sobre el contenido de proteína en la harina de mashua, se observa que el método de precocción por autoclave es el más adecuado para el proceso. Este método permite determinar la temperatura y el tiempo óptimos para la obtención de harina, asegurando la conservación de su valor nutricional. La aplicación de altas temperaturas (mayores a 100 °C) y presión controlada permite una desnaturalización moderada de las proteínas, lo que mejora su digestibilidad y reduce la presencia de factores antinutricionales (Sago, 2022). Sin embargo, exposiciones prolongadas (30 min) o temperaturas excesivas (120 a 130 °C) pueden ocasionar pérdidas proteicas debido a la degradación térmica o la formación de compuestos resultantes del pardeamiento enzimático, afectando su valor nutricional. En comparación con otros métodos, la precocción en autoclave minimiza la lixiviación de nutrientes, ya que no requiere un medio acuoso extenso. Además, para obtener una harina con alto contenido y calidad proteica, se recomienda un procesamiento en autoclave a temperaturas moderadas (105 a 120 °C) y tiempos controlados (5 a 20 min), lo que permite la inactivación de compuestos indeseables sin comprometer la integridad de la proteína (Magro, 2015).

Consecuentemente, una vez realizado el análisis correspondiente sobre superficie respuesta se procede a identificar las condiciones óptimas del contenido de proteína en la harina por el método de deshidratación y precocción, lo cual se detalla en la siguiente tabla.

**Tabla 25.** Parámetros de optimización para el contenido de proteína en la harina de mashua por el método de deshidratación y método de precocción.

Método	Temperatura °C	Tiempo (min)	Proteína Ajuste (%)	Deseabilidad
Deshidratación	60	360	6,35	1

Precocción	110	5	7,73	1
------------	-----	---	------	---

---

**Elaborado por:** (Herrera & Llugsa, 2025)

La tabla 25 muestra el tratamiento óptimo para la harina deshidratada y precocida de mashua variedad Quillu zapallo-Amarilla. Para la deshidratación, las condiciones ideales son 60 °C por 360 min, lo que permite preservar la estructura proteica y evitar su desnaturalización. Con este proceso, se obtiene un contenido de proteína del 6.35 %, el valor máximo alcanzable bajo estas condiciones. Además, la deseabilidad de 1 confirma que el tratamiento cumple con los criterios de calidad y rendimiento, asegurando el valor nutricional de la harina.

La figura muestra los parámetros óptimos para maximizar el contenido de proteína en la harina precocida de mashua. Según el modelo de optimización de superficie de respuesta, la combinación ideal es 110 °C por 5 min, logrando un contenido proteico del 7.73 % y una deseabilidad de 1, lo que indica una solución óptima. Estas condiciones evitan la degradación térmica de las proteínas y preservan las propiedades nutricionales y funcionales de la harina. Además, la optimización del proceso contribuye a mejorar la calidad sensorial y la aceptación del producto por parte de los consumidores (Anchundina & Hernandez, 2020).

La precocción es el método más eficiente para optimizar la harina de mashua, ya que reduce el tiempo de procesamiento, mejora la calidad nutricional y facilita la absorción de proteínas. A diferencia de la deshidratación, que es un proceso prolongado y puede afectar el contenido proteico, la precocción preserva y potencia los nutrientes, favoreciendo su digestibilidad. Además, su rapidez y menor consumo energético la hacen más viable para la producción a gran escala. En conclusión, la precocción supera a la deshidratación en eficiencia y calidad, siendo la mejor alternativa para optimizar el valor nutricional de la harina de mashua (Borja, 2018).

#### ***2.13.10. Optimización del índice de solubilidad en la harina de mashua por el método de deshidratación y método de precocción.***

La solubilidad de las harinas es un parámetro clave en su funcionalidad y aplicación en la industria alimentaria, ya que influye en su capacidad de dispersión y absorción en líquidos. En el caso de la harina de mashua, la optimización de su solubilidad mediante los métodos de deshidratación y precocción es fundamental para mejorar su desempeño en productos de rápida preparación.,

tomando en cuenta factores como la temperatura y el tiempo, que desempeñan un papel crucial en este proceso, donde a temperaturas más altas pueden gelatinizar el almidón y desnaturalizar proteínas, favoreciendo la solubilidad, mientras que tiempos excesivos pueden provocar degradación y reducción de la funcionalidad (Acosta, 2023).

**Tabla 26.** Optimización del índice de solubilidad de la harina de mashua por el método de deshidratación.

Corrida	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Solubilidad (%)
1	60	360	0,95
2	60	420	0,92
3	60	480	0,89
4	70	360	1,20
5	70	420	1,80
6	70	480	2,10
7	80	360	2,50
8	80	420	2,90
9	80	480	3,00
10	70	420	1,90
11	80	480	3,10
12	60	480	0,90
13	60	420	0,93

**Elaborado por:** (Herrera & Lluga, 2025)

La harina de mashua variedad Quillu Zapallo-Amarilla, obtenida mediante el método de deshidratación, presentó en la corrida 1 con el valor óptimo de Índice de Solubilidad en Agua (ISA), con una media del 0,95 %. Este resultado sugiere que el (ISA), con el aumento de la temperatura y el tiempo del procesamiento, podría estar asociado a la mayor descomposición de estructuras macromoleculares y la liberación de compuestos solubles. Estos valores se comparan con (Ocaña, 2019) en su investigación “Caracterización Físicoquímica, Nutricional y Reológica de Cultivos Andinos Infrutilizados” reportan una solubilidad de 0,95 % a una temperatura de 80 °C.

Además, según (Yungán, 2015) en su estudio sobre “Efecto del método de extracción de harina de mashua (*Tropaeolum tuberosum ruiz & pav.*) en las características fisicoquímicas y reológicas” reporta una solubilidad de 2,5 %, a una temperatura de 60 °C. Estas diferencias en el índice de solubilidad en la harina de mashua se atribuye al mayor contenido de amilopectina en la matriz del almidón, ya que las ramificaciones laterales de la amilopectina y el menor tamaño del gránulo facilitan la entrada de agua en los espacios intermoleculares (Díaz, 2015). La cantidad de amilopectina en la harina de mashua puede influir en el índice de solubilidad (ISA) de varias maneras tanto positivamente como o negativa.

Según (Galvez & Ortiz, 2023), la amilopectina es un polisacárido ramificado presente en la estructura del almidón, cuya conformación tridimensional influye en su solubilidad y en la dinámica de hidratación. Su menor solubilidad en comparación con la amilosa puede reducir el Índice de Solubilidad en Agua (ISA) de la harina, aunque procesos como la germinación y la hidrólisis favorecen la formación de azúcares más solubles (Yupanqui , 2023). Además, la amilopectina es clave en la gelatinización del almidón, ya que su estructura ramificada facilita la absorción de agua y el hinchamiento de los gránulos, aumentando la viscosidad y adhesividad de las dispersiones amiláceas. Sin embargo, aunque potencia la capacidad de hinchamiento, su naturaleza estructural limita la disociación de los polímeros, afectando la cohesividad y plasticidad de las pastas, especialmente bajo condiciones prolongadas de secado que fragmentan las macromoléculas y generan oligómeros con mayor retención de agua (Castro, 2022).

Adicionalmente, las variaciones en los valores de solubilidad están estrechamente relacionadas con la composición lipídica de la harina, ya que una menor concentración de lípidos favorece la dispersión de los compuestos solubles en agua. En el caso de la harina de mashua, el contenido graso es relativamente bajo. De acuerdo con los resultados del análisis proximal según (Cabrera, 2020) , la concentración promedio de lípidos es de 0,81 %  $\pm$  0,24 %, lo que sugiere una baja interferencia en la interacción agua-sólido y en la solubilización de los componentes amiláceos.

Los lípidos, al ser insolubles en agua, dificultan la interacción entre las moléculas de harina y el agua, disminuyendo la capacidad de disolución. No obstante, la temperatura juega un papel determinante en la solubilidad en harinas, si las temperaturas son muy bajas, en combinación con

un tiempo demasiado elevado en el tratamiento, dificulta la ruptura de las estructuras moleculares, disminuyendo la solubilidad (Hermosa, 2013).

El Índice de Solubilidad en Agua (ISA) óptimo de una harina varía en función de su origen y aplicación en la formulación de productos alimenticios. En términos generales, un (ISA) elevado indica una mayor disolución de sólidos en el medio acuoso, lo que puede resultar ventajoso en aplicaciones específicas que requieren una alta dispersión de sus componentes, como en la producción de formulaciones instantáneas o sistemas coloidales estables (Borja, 2018). **Tabla 27.** Optimización del índice de solubilidad de la harina de mashua por el método de precocción

Corrida	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Solubilidad (%)
1	110	5	1,12
2	110	10	1,34
3	110	15	1,52
4	115	5	1,72
5	115	10	2,26
6	115	15	2,33
7	120	5	2,30
8	120	10	2,71
9	120	15	3,10
10	120	5	2,31
11	115	5	1,72
12	110	15	1,55
13	120	10	2,71

**Elaborado por:** (Herrera & Llugsa, 2025)

Los valores de (ISA) son afectados por distintos factores como edafológicos, características de variedad, procesos de obtención como el secado y molienda. En harinas alternativas, como harina de quinua, se ha reportado un (ISA) del 11,18 %, mientras que otras harinas de tubérculos u oleaginosas pueden tener valores que oscilan entre el 4.77 % a 7.00 %. Un mayor índice de solubilidad indica una mayor cantidad de componentes solubles en agua, lo que afecta las propiedades de textura y características reológicas como: estabilidad de la masa, comportamiento del almidón especialmente en la gelatinización, retrogradación de productos alimenticios elaborados con dichas harinas (Dussan et al., 2019).

En la tabla 27 se puede observar que la corrida 1 es la óptima para determinar el contenido de solubilidad en la obtención de harina de mashua variedad Quillu zapallo-Amarilla por medio del método de precocción en autoclave, con una media de 1,12 %. Estos valores se procedieron a comparar con (Guerra, 2014) en su investigación “Estudio de la utilización de la harina de mashua (*Tropaeolum Tuberosum*) en la obtención del pan de molde”, donde reporta una solubilidad de 2,01 % a 2,15 %. Las diferencias observadas en el índice de solubilidad podrían atribuirse a la diferencia de temperatura empleada que se utilizó para cada análisis, también se puede dar por el contenido de amilosa que se encuentran dentro de la harina, siendo el principal componente que se disuelve hacia al espacio intergranular durante el proceso. Además, la solubilidad está influenciada por las fuerzas o enlaces formados entre las moléculas de amilosa y amilopectina; en ciertos casos, estos enlaces fuertes dentro de los gránulos dificultan la interacción con el agua, resultando en un menor índice de solubilidad (García et al., 2013).

La amilopectina, principal fracción del almidón presente en la harina de mashua, ejerce una influencia determinante en el índice de solubilidad durante la precocción en autoclave. Bajo condiciones controladas de temperatura y tiempo, la amilopectina experimenta un proceso de gelatinización parcial, caracterizado por la absorción de agua y la desorganización de su estructura altamente ramificada. Esta alteración estructural inicial podría favorecer un incremento en la solubilidad; sin embargo, la corta duración del tratamiento térmico limita la gelatinización completa, restringiendo la dispersión del almidón en el medio acuoso y resultando en un índice de solubilidad reducido (Lechon & Pozo , 2021). Adicionalmente, la amilopectina presenta una alta propensión a la retrogradación durante la fase de enfriamiento, fenómeno en el cual sus cadenas ramificadas tienden a reorganizarse en estructuras cristalinas más ordenadas e insolubles, lo que disminuye aún más la solubilidad. Este proceso de recristalización se ve intensificado si el enfriamiento no se realiza de forma rápida, afectando negativamente la solubilidad final del producto (Lescano , 2010)

La amilasa desempeña un papel crucial en la modificación del almidón presente en la harina de mashua, dado que esta enzima cataliza la descomposición de glucosídicos dentro del almidón, transformándolo en azúcares simples de menor peso molecular, lo que favorece un incremento en su solubilidad en medios acuosos. No obstante, durante la precocción en autoclave, sometida a una temperatura de 110 °C durante 5 min, se produce la inactivación enzimática de la amilasa debido a

su naturaleza termolábil, ya que esta pierde su actividad catalítica a temperaturas relativamente moderadas. Además, bajo estas condiciones térmicas, la amilasa podría conservar de forma transitoria una actividad enzimática residual, permitiendo una descomposición parcial del almidón; sin embargo, la rápida desnaturalización térmica de la enzima impide la continuidad de este proceso, limitando la conversión de los polímeros de almidón en azúcares más pequeños y solubles, contribuyendo a un índice de solubilidad reducido en la harina de mashua (Rentina, 2021).

La interacción entre la amilopectina y la amilosa cuenta con una gran influencia dentro del índice de solubilidad, ya que la amilopectina se gelatiniza de mejor manera, pero la retrogradación de ambas fracciones al enfriarse contribuye a la formación de una red de almidón menos soluble. Por lo tanto, aunque la gelatinización inicial aumenta la solubilidad, la retrogradación posterior puede reducirla, lo que resulta en un índice de solubilidad moderado o reducido en la harina de mashua por el método de precocción por autoclave (Vaca, 2022).

El Índice de Solubilidad en Agua (ISA) es un parámetro clave que influye en diversas aplicaciones alimentarias, afectando la funcionalidad, estabilidad y procesamiento de los productos. Un ISA elevado resulta beneficioso en productos que requieren una rápida disolución en medios acuosos, como sopas instantáneas, bebidas en polvo o fórmulas infantiles, ya que favorece la dispersión homogénea de los componentes, evita la formación de grumos y mejora la percepción sensorial del consumidor, además de optimizar la absorción de nutrientes. Sin embargo, unas harinas con un (ISA) alto tienden a generar masas más fluidas y de menor viscosidad, ideales para procesos de extrusión, salsas o batidos. Por lo tanto, ajustar el ISA según la aplicación específica permite optimizar tanto la funcionalidad del ingrediente como la calidad del producto final (Contreras, 2014).

En general el Índice de Solubilidad en Agua (ISA) en harinas de trigo generalmente varía entre el 5 % y el 14 %, aunque este rango puede depender de varios factores, como el tipo de trigo, el proceso de molienda y el contenido de almidón. Sin embargo, en harinas de trigo utilizadas para panadería, el (ISA) suele oscilar entre el 8 % y el 12 %. Este intervalo es ideal para asegurar una adecuada capacidad de absorción de agua y la correcta formación de la red de gluten, lo que influye directamente en las propiedades texturales y el volumen del pan (Bello & Garcia, 2021). En comparación con los resultados obtenidos en la precocción de la harina de mashua, los índices de

solubilidad son relativamente bajos, lo que los hace inapropiados para aplicaciones en panadería o productos de masa que requieren una alta capacidad de absorción de agua y formación de gluten. No obstante, el bajo Índice de Solubilidad en Agua (ISA) puede ser ventajoso en diversas aplicaciones alimentarias donde la solubilidad y dispersión en medios acuosos son características deseables, tales como productos instantáneos como sopas deshidratadas, purés y bebidas en polvo, donde se favorece la formación de una suspensión estable y una rehidratación controlada (Austuhuaman & Medina, 2021).

La harina de mashua presenta propiedades que la hacen especialmente adecuada para su uso en la formulación de sopas y bebidas, particularmente en productos de tipo instantáneo. El alto contenido de carbohidratos, especialmente almidón, en la harina de mashua tiene un impacto significativo en su funcionalidad para aplicaciones alimentarias como sopas y bebidas. Estos carbohidratos mejoran la capacidad de retención de agua y aumentan la viscosidad de la mezcla, lo que contribuye a una textura espesa, cremosa y homogénea, característica deseable en productos instantáneos. Además, su alto contenido de carbohidratos también permite una liberación controlada de energía, ideal para productos destinados a una digestión gradual (Hernandez et. al., 2024). Igualmente, por su alto contenido de fibra dietética, influye significativamente en su funcionalidad y valor nutricional mejora la capacidad de retención de agua, aumentando la viscosidad y estabilizando las mezclas, lo que evita la separación de fases y proporciona una textura homogénea y cremosa. Al mismo tiempo, su fibra dietética contribuye a la regulación del tránsito intestinal, promoviendo la salud digestiva y actuando como prebiótico (Vaca, 2022).

Las fuentes de proteínas vegetales aportan un contenido moderado de nutrientes, destacándose por su contribución de aminoácidos esenciales que, aunque incompleto, puede optimizarse mediante la combinación con otras fuentes proteicas, como las leguminosas, para lograr un perfil más equilibrado (Rentina, 2021). En aplicaciones alimentarias, su funcionalidad en sopas y bebidas se ve influenciada por su solubilidad limitada, lo que requiere ajustes en las formulaciones para mejorar la dispersión y la estabilidad del producto final. No obstante, desde una perspectiva sostenible, el uso de harina de mashua en la industria alimentaria no solo contribuye a la diversificación de fuentes de proteína vegetal, sino que también impulsa el aprovechamiento de cultivos andinos, promoviendo prácticas agrícolas de bajo impacto ambiental y fomentando la valorización de recursos autóctonos (Morales, 2021).

Además de su aporte proteico, la harina de mashua es una excelente fuente de vitaminas y minerales, destacándose por su alto contenido de vitamina C y fósforo, lo que la convierte en un ingrediente funcional ideal para la formulación de sopas y bebidas nutritivas. La vitamina C, un potente antioxidante, contribuye al fortalecimiento del sistema inmunológico y mejora la absorción del hierro, lo que la hace especialmente beneficiosa en productos diseñados para combatir deficiencias nutricionales. Según (Cabrera, 2020), el fósforo desempeña un papel crucial en la formación y mantenimiento de huesos y en la producción de energía celular, lo que la convierte en una opción adecuada para el desarrollo de bebidas energéticas o sopas fortificadas. La combinación de estos micronutrientes esenciales no solo incrementa el valor nutricional de los productos elaborados con harina de mashua, sino que también mejora su funcionalidad, ofreciendo una alternativa saludable para el desarrollo de alimentos enriquecidos (Hernandez et. al., 2024).

Un índice glucémico bajo es ideal para personas con diabetes o resistencia a la insulina, ya que su digestión es lenta y ayuda a mantener estables los niveles de glucosa en sangre. Sus características organolépticas, como el sabor y el aroma, lo hacen ideal para sopas y bebidas, donde actúa como espesante natural y aporta valor nutricional. Además, su versatilidad permite combinarlo con especias, endulzantes naturales o tubérculos como la oca, potenciando sus beneficios dentro de una alimentación saludable (Meneses, 2021).

Al comparar las dos metodologías, el método de precocción demuestra ser más efectivo para mejorar la solubilidad de la harina de mashua, lo que sugiere que el tratamiento térmico previo facilita la descomposición de los compuestos que limitan su disolución. Este proceso modifica la estructura del almidón y otros componentes, favoreciendo una mejor interacción con el agua. Según (Ponce, 2018) al aumentar la solubilidad, la precocción puede influir en otras propiedades funcionales de la harina, como su capacidad de absorción de agua y su comportamiento en aplicaciones alimentarias. Esto la convierte en una opción más adecuada para productos donde la disolución rápida es esencial, como bebidas y sopas instantáneas. En conclusión, la precocción no solo optimiza la solubilidad de la harina de mashua, sino que también podría ampliar sus usos en la industria alimentaria al modificar su estructura y mejorar su funcionalidad (Caiza, 2019).

**2.13.11. Evaluación del modelo del índice de solubilidad de la harina de mashua obtenida por el método de deshidratación y método de precocción.**

La tabla 28 presenta los resultados del análisis de varianza (ANOVA) realizado para evaluar el efecto de los factores temperatura y tiempo en el porcentaje de solubilidad. El índice de solubilidad (SIA), está relacionada con factores como la composición de almidones, proteínas y compuestos fenólicos, los cuales pueden influir en la biodisponibilidad de sus nutrientes y en su aplicabilidad en distintas matrices alimenticias. A continuación, se presenta el análisis de varianza de la solubilidad en la harina deshidratada y precocida.

**Tabla 28.** Tabla Análisis de varianza del índice de solubilidad por el método de deshidratación

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>CM Ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
Modelo	3	8,92566	2,97522	107,6	0,000
Lineal	2	7,65606	3,82803	138,45	0,000
Temperatura	1	7,2406	7,2406	261,87	0,000
Tiempo	1	0,35105	0,35105	12,7	0,006
Interacción A*B	1	0,12125	0,12125	4,39	0,030
Error	9	0,24885	0,02765		
Falta de ajuste	5	0,23875	0,04775	18,91	0,007
Error puro	4	0,0101	0,00252		
<b>Total</b>	<b>12</b>	<b>9,17451</b>			

**GL:** grados de libertad; **SC:** suma de cuadrados; **CM:** cuadrados medios; **F:** calculado; **Valor P:** probabilidad

**Elaborado por:** (Herrera & Llugsa, 2025)

El análisis de varianza muestra que el índice de solubilidad en la harina de mashua, evaluado mediante el método de deshidratación, presenta un p-valor de 0,000, lo que indica que existe diferencia significativa con respecto al valor F de 107,6. Esto indica unas diferencias significativas entre los tratamientos, lo que demuestra una significancia estadística confiable. Además, la interacción entre los factores temperatura y tiempo, evaluada en las distintas corridas experimentales, presenta un valor F de 4,39 y un p-valor de 0,040, lo que también indica diferencias significativas en las combinaciones de ambos factores. En cuanto al error y la falta de ajuste, los resultados muestran una suma de cuadrados ajustada del error de 0,024885 y la falta mínima de

0,04775 con un p-valor de 0,007 lo que demuestra que el modelo no es perfecto, pero se ajusta adecuadamente a los datos experimentales, en consecuencia, se acepta la hipótesis alternativa ( $H_1$ ) y se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ).

**Tabla 29.** Tabla análisis de varianza del índice de solubilidad por el método de precocción

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>MC Ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
Modelo	3	4,28346	1,42782	235,49	0,001
Lineal	2	4,20977	2,10488	347,15	0,000
Temperatura	1	3,99115	3,99115	658,25	0,000
Tiempo	1	0,78577	0,78577	129,59	0,000
Interacción de A*B	1	0,06091	0,06091	10,05	0,011
Error	9	0,05457	0,00606		
Falta de ajuste	5	0,05407	0,01081	86,51	0,001
Total	12	4,33803			

**GL:** grados de libertad, **SC:** suma de cuadrados, **MC:** cuadrados medios, **F:** calculado, **Valor P:** probabilidad

**Elaborado por:** (Herrera & Llugsa, 2025)

A partir del análisis de varianza (ANOVA), se observa que el contenido de solubilidad en la harina de mashua precocida presenta un p-valor de 0,001, inferior al nivel de significancia establecido (0,005), lo que presenta una diferencia significativa entre los tratamientos significancia estadística confiable. Asimismo, la interacción entre los factores temperatura y tiempo, evaluada en las distintas corridas experimentales, presenta un valor F de 10,05 y un p-valor de 0,011, lo que indica que no hay diferencias significativas en las combinaciones de ambos factores. En cuanto al error y la falta de ajuste, los resultados muestran una suma de cuadrados ajustada del error de 0,05457 y la falta de ajuste de 86,51 con un p-valor de 0,001 lo que demuestra que el modelo no es perfecto, pero se ajusta adecuadamente a los datos experimentales, en consecuencia, se acepta la hipótesis alternativa ( $H_1$ ) y se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ).

Al comparar los dos métodos mediante el análisis de varianza (ANOVA), se observa que la precocción es más efectiva para mejorar la solubilidad de la harina de mashua. Tanto la temperatura como el tiempo influyen significativamente en este proceso, y su interacción juega un papel crucial, ya que el efecto combinado de ambos factores impacta de manera más notable la solubilidad

(Ibarra, 2017). Además, el modelo de ajuste en la precocción muestra un mejor desempeño, lo que indica una mayor precisión en la explicación de los datos y una mayor confiabilidad en las predicciones. Por ello, cuando el objetivo es maximizar la solubilidad de la harina de mashua, la precocción se posiciona como la opción más adecuada, permitiendo un ajuste más eficiente del proceso gracias a la interacción entre la temperatura y el tiempo (Quispe, 2021).

**2.13.12. Modelo codificado para la evaluación del índice de solubilidad de la harina de mashua por el método de deshidratación y precocción por el diseño de superficie respuesta**

El modelo codificado se basa en la relación entre factores de estudio, como la temperatura (*XTD*) y tiempo (*XtD*) de deshidratación, relacionando los efectos que estos factores tienen sobre el índice de solubilidad. Los factores estimados y los indicadores estadísticos clave, como el  $R^2$  ajustado y el valor *F* del modelo, se incluyen para proporcionar una comprensión eficaz y de significancia del modelo estadístico.

**Tabla 30.** Parámetros del modelo codificado para el índice de solubilidad por el método de deshidratación

<u>Indicador</u>	<u>Solubilidad</u>
Intercepto	1,8153
XTD	0,9366
XtD	0,2137
XTD XtD	0,1478
$R^2$	0,9729
$R^2$ ajustado	0,9638
F modelo	107,6
F falta de ajusta	0,007

**XTD:** temperatura de deshidratado

**XtD:** tiempo de deshidratación

Valor significativo para  $p \leq 0,001$ .

**Elaborado por:** (Herrera & Llugsa, 2025)

La tabla 30 muestra los parámetros del modelo codificado para la solubilidad de la harina deshidratada de mashua. El indicador XTD, se presenta un valor de 0,9366, que al ser positivo indica que, al aumentar la temperatura de deshidratado, la solubilidad tiende a aumentar, el valor es

significativo ( $p \leq 0,001$ ). Por cada unidad de incremento en la temperatura, la solubilidad se aumenta en 0,9366 unidades. De manera similar, el valor  $XtD$  es 0,2137, siendo también positivo y significativo, lo que refleja un aumento significativo sobre la solubilidad.

Los valores  $R^2$  muestran que el 0,9729 de la variabilidad en la solubilidad puede ser explicada por el modelo, lo que indica que el ajuste es adecuado. Este resultado es respaldado por  $R^2$  ajustado 0,9638, que, al ser cercano a 1 reafirma el ajuste del modelo. Por otro lado, el valor  $F$  modelo 107,6 indica su significancia total. Además, el valor de  $F$  falta de ajuste 0,007 representa diferencias significativas, lo que indica que el modelo se ajusta de manera óptima a los datos experimentales.

**Tabla 31.** Parámetros del modelo codificado para el índice de solubilidad por el método de precocción

<b>Indicador</b>	<b>Solubilidad</b>
Intercepto	2,0405
XTP	0,685
XtP	0,3039
XTP XtP	0,1035
$R^2$	0,9878
$R^2$ ajustado	0,9832
F modelo	235,49
F falta de ajusta	0,001

**XTP:** temperatura de precocción

**XtP:** tiempo de precocción

Valor significativo para  $p \leq 0,001$ .

**Elaborado por:** (Herrera & Llugsa, 2025)

El modelo codificado para la solubilidad de la harina precocida de la mashua. El indicador XTP, se presenta un valor de 0,685, que al ser positivo indica que, al aumentar la temperatura de precocción, la solubilidad tiende a aumentar, el valor es significativo ( $p \leq 0,001$ ). Por cada unidad de incremento en la temperatura, la solubilidad se aumenta en 0,685 unidades. De manera similar, el valor XtP es 0,3039, refleja un aumento significativo sobre la solubilidad.

El valor  $R^2$  mostro que el 0,9878 de la variabilidad en la solubilidad puede ser explicada por el modelo, lo que indica que el ajuste es adecuado. Este resultado es respaldado por  $R^2$  ajustado 0,9832, que, al ser cercano a 1 reafirma el ajuste del modelo. Por otro lado, el valor F modelo 235,49 indica su significancia total. Además, el valor de F falta de ajuste es de 0,001 lo que refuerza la confiabilidad de modelo estadístico.

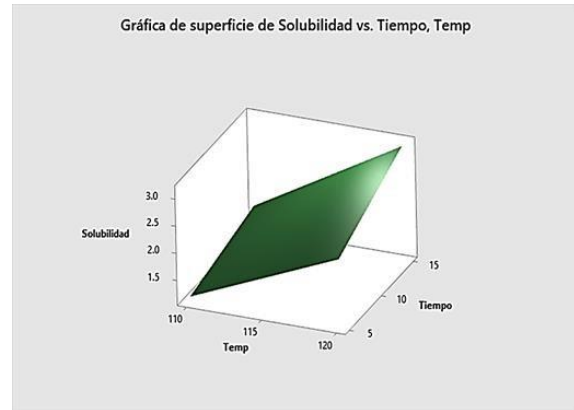
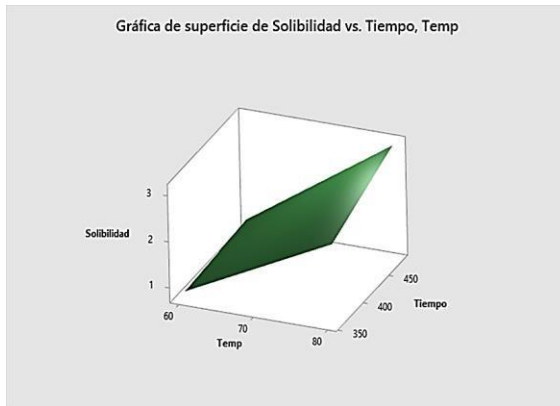
Al comparar ambas metodologías mediante el modelo codificado para determinar un buen índice de solubilidad (ISA), se evidencia que la precocción es la opción más efectiva para mejorar la solubilidad de la harina de mashua. Su modelo estadístico presenta una mayor capacidad para explicar y predecir los resultados con precisión (Risco, 2024). Además, la relación entre temperatura y tiempo en este método tiene un impacto más significativo en la solubilidad, lo que permite ajustar estos factores de manera más eficiente para optimizar el proceso. Asimismo, el modelo de precocción muestra una mejor estabilidad y un menor margen de error en comparación con el de deshidratación, lo que indica que los datos obtenidos son más consistentes y confiables. La mayor influencia de los factores principales y su interacción refuerzan la idea de que la precocción modifica la estructura de la harina de una manera más favorable para su disolución en productos instantáneos como sopas y bebidas funcionales (Criollo & Llontop, 2024).

### ***2.13.13. Diseño de superficie respuesta para el índice de solubilidad de la harina de mashua por los métodos de deshidratación y el método de precocción.***

La Figura 5 y 6 muestra la superficie de respuesta para el índice de solubilidad en la harina de mashua variedad Quillu zapallo-Amarilla. Esta gráfica tridimensional es una representación visual de los datos obtenidos en el experimento, permitiendo observar cómo varían los niveles del porcentaje de solubilidad según los diferentes parámetros. La visualización de estos datos es esencial para comprender y optimización de los procesos con el fin de obtener la índice solubilidad mientras se consideran otros factores como el contenido de proteína.

**Figura 5.** Grafica de superficie respuesta **Figura 6.** Grafica de superficie respuesta del índice de solubilidad por el método de del índice de solubilidad por el método de precocción

deshidratación



**Elaborado por:** (Herrera & Llugsa, 2025)

En las siguientes graficas se puede visualizar la relación entre el índice de solubilidad con relación a tres variables; el eje X representa la temperatura (deshidratación y precocción), el eje Y representa el tiempo (deshidratación y precocción) y el eje Z representa la variable respuesta el índice de solubilidad.

La grafica 5, muestra como la solubilidad se ve afectada por los cambios que se dan mediante la temperatura y tiempo en el proceso de deshidratación. No obstante, al optimizar las condiciones de estos dos factores permitirá maximizar la solubilidad, mediante un proceso térmico, donde si el calor aumenta favorece a la disolución de solidos simples. Sin embargo, a medida que ambos factores aumentan, se produce un incremento en la solubilidad de la harina, evidenciando la importancia de optimizar estas variables para mejorar la funcionalidad del producto final (Hermosa, 2013).

Por otro lado, en la gráfica 6, se puede observar que la solubilidad aumenta a medida que incrementa el tiempo de procesamiento, lo que sugiere que una mayor exposición favorece la disolución de sólidos debido a la descomposición de estructuras moleculares que liberan componentes solubles. Además, la interacción entre tiempo y temperatura muestra una sinergia positiva, alcanzándose los valores más altos de solubilidad en condiciones de mayor temperatura combinadas con tiempos prolongados, optimizando así los procesos fisicoquímicos involucrados (Tipantuña, 2024). Por el contrario, en condiciones de baja temperatura y tiempos cortos, la solubilidad disminuye considerablemente, lo que indica una menor alteración de la matriz estructural de la harina. En conjunto, estos resultados sugieren que para aplicaciones en productos

instantáneos es recomendable emplear temperaturas elevadas y tiempos de procesamiento adecuados para maximizar la solubilidad y mejorar la calidad del producto final (Peñañiel, 2023).

Al someter una harina a procesos térmicos como la precocción para analizar el contenido de solubilidad, se pueden presentar algunos factores sobre el calor y el agua la cual provoca la hidrólisis de ciertos componentes, como las amilopectinas y la amilosa, transformándolos en compuestos solubles simples. De igual manera indica que las proteínas pueden desnaturalizarse a altas temperaturas, fragmentarse en péptidos más pequeños y aminoácidos, provocando mayor solubilidad (Galvez & Ortiz, 2023).

Al comparar ambas gráficas, se observa que el método de precocción genera un mayor índice de solubilidad en comparación con el método de deshidratación. La superficie de respuesta en la gráfica correspondiente a la precocción muestra una tendencia más pronunciada hacia valores superiores, lo que indica una mejor disolución del material. Estos resultados sugieren que la precocción es una técnica más efectiva para aumentar la solubilidad, lo que puede ser beneficioso en la aplicación alimentaria instantáneos como en sopas, bebidas funcionales y sustituciones parciales con otras harinas dentro de la industria de panificación o confitería (Salazar, 2022).

**Tabla 32.** Parámetros de optimización para el índice de solubilidad en la harina de mashua

Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Solubilidad Ajuste (%)	Deseabilidad
60	360	0,95	1
110	5	1,12	1

**Elaborado por:** (Herrera & Llugsa, 2025)

La tabla 32 muestra los parámetros óptimos para maximizar el índice de solubilidad en la harina deshidratada de mashua. Según los datos, la combinación ideal para lograr un contenido de solubilidad ajustado del 0,95 %, se obtiene al aplicar una temperatura de 60 °C y un tiempo de deshidratación de 360 min, alcanzando una deseabilidad de 1, lo que indica que esta solución es óptima según el modelo de optimización de superficie respuesta. Estos resultados pueden explicarse por la gelatinización dentro del almidón y la desnaturalización de la proteína a la exposición de temperaturas altas, facilitando la interacción de los componentes de la harina con el

agua, mientras que el tiempo prolongado asegura la transformación de compuestos solubles en formas acuosas más manejables (Morales & Roldán, 2023). Además, la deseabilidad de 1 refleja que este tratamiento satisface completamente los criterios definidos en el modelo estadístico.

La solución óptima encontrada en el método de precocción establece que una temperatura de 110 °C y un tiempo de 5 minutos son las condiciones ideales para determinar un buen contenido de solubilidad. Estos parámetros favorecen la gelatinización del almidón y la desnaturalización de proteínas, lo que promueve la liberación de compuestos solubles sin llegar a degradarlos. Además, una temperatura más alta o un tiempo más prolongado pueden causar daños térmicos, como caramelización o descomposición de los componentes, mientras que valores inferiores habrían resultado insuficientes para maximizar la solubilidad (Muñoz, 2022).

La deseabilidad en el método de precocción compuesta de 1 indica que esta solución cumple al 100 % con los criterios establecidos en el estudio, demostrando que las condiciones seleccionadas son las mejores posibles en términos de optimización. En términos prácticos, las condiciones identificadas no solo garantizan una solubilidad estable, sino que probablemente preservan las propiedades nutricionales y funcionales del producto final (Quispe, 2021).

Un bajo Índice de Solubilidad en Agua (ISA) en la harina de mashua indica una limitada disolución de sólidos en medios acuosos, lo que puede comprometer la biodisponibilidad de nutrientes. Según (Quispe, 2018), este comportamiento afecta la liberación de macromoléculas como proteínas, almidones y compuestos bioactivos, reduciendo su absorción intestinal. Además, la baja solubilidad favorece la sedimentación de partículas en sistemas líquidos, restringiendo su aplicación en formulaciones como sopas, bebidas y emulsiones. Para mitigar estos efectos, es necesario incorporar agentes estabilizantes que optimicen la dispersión y estabilidad del producto en la industria alimentaria.

Un bajo porcentaje de solubilidad en la harina de mashua favorece la formación de matrices más compactas y viscosas en productos alimenticios, debido a la limitada disolución de almidones y proteínas. Sin embargo, en sistemas líquidos, esta característica puede comprometer la estabilidad coloidal y dificultar la formación de emulsiones homogéneas, ya que la sedimentación de partículas altera las propiedades reológicas. Según (Torres et al., 2020), para optimizar su funcionalidad y

dispersabilidad en formulaciones líquidas, pueden requerirse tratamientos fisicoquímicos como extrusión, microencapsulación o modificaciones térmicas y enzimáticas. En aplicaciones como bebidas y sopas instantáneas, la baja solubilidad restringe su uso sin estabilizantes adecuados. Además, su limitada capacidad para formar geles y redes estructurales afecta la gelificación y emulsificación, impactando la calidad sensorial y la estabilidad del producto final (Yungan, 2015).

#### **2.14. DETERMINACIÓN DEL MEJOR MÉTODO DE OBTENCIÓN DE HARINA DE MASHUA**

La mashua (*Tropaeolum Tuberosum*) es un tubérculo andino de gran valor nutricional y funcional, reconocido por su alto contenido de carbohidratos, proteínas y fibra. Su transformación en harina representa una estrategia clave para extender su vida útil y diversificar sus aplicaciones en la alimentación y la industria. Sin embargo, la calidad y funcionalidad de la harina dependen en gran medida del método utilizado para su obtención, ya que cada proceso impacta de manera diferente en sus propiedades fisicoquímicas, funcionales y nutricionales (Nuñez, 2021).

En la investigación se aplicó dos métodos de obtención de harina de mashua: deshidratación y precocción por autoclave.

Durante el análisis se determinó que la deshidratación es un proceso que consiste en la eliminación del contenido de agua del tubérculo mediante secado. Este método prolonga la vida útil del producto y facilita su molienda; sin embargo, puede afectar de forma considerable el contenido nutricional debido a la exposición prolongada al calor y al tiempo del proceso. Por el contrario, el método de precocción por autoclave para la obtención de harina de mashua contribuye a mejorar la concentración de las propiedades nutricionales. A continuación, se presenta una tabla comparativa que muestra las principales propiedades evaluadas en el estudio, como el contenido de proteína y el índice de solubilidad, en función de los métodos planteados.

**Tabla 33.** Determinación del mejor método de obtención de harina de mashua

<b>Método</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Proteína (%)</b>	<b>Solubilidad (%)</b>
---------------	-------------------------	---------------------	---------------------	------------------------

<b>Deshidratación</b>	60	360	6,35	0,95
<b>Precocción</b>	110	5	7,73	1,12

**Elaborado por:** (Herrera & Lluga, 2025)

La tabla 33 muestra la comparación entre los métodos de deshidratación y precocción en la obtención de harina de mashua revela diferencias significativas en eficiencia y calidad del producto final. La deshidratación, realizada a 60 °C durante 360 min, requiere un tiempo prolongado, lo que podría ser menos eficiente en términos energéticos y productivos. Al contrario, la precocción, a 110 °C por solo 5 min, permite una reducción drástica del tiempo de procesamiento. Además, la harina obtenida por precocción presenta un mayor contenido de proteína (7,73 %) en comparación con la deshidratada (6,35 %), lo que sugiere que el tratamiento térmico podría mejorar la disponibilidad y digestibilidad de las proteínas.

Por otro lado, la solubilidad de la harina precocida (1,12 %) es ligeramente superior a la de la deshidratada (0,95 %), lo que podría atribuirse a la desnaturalización parcial de proteínas y modificaciones en el almidón que facilitan la interacción con el agua. Desde una perspectiva tecnológica, la precocción se muestra como el método más favorable, ya que no solo optimiza el tiempo de procesamiento, sino que también mejora la calidad nutricional y funcional de la harina, favoreciendo su uso en alimentos funcionales y productos instantáneos.

Tras comparar ambas metodologías y evaluar sus ventajas y desventajas, la precocción por autoclave fue seleccionada como el método óptimo para esta investigación. Este proceso no solo preserva los beneficios nutricionales de la mashua, sino que también mejora sus propiedades funcionales y tecnológicas, lo que facilita su aplicación en el desarrollo de nuevos productos alimenticios. La mashua (*Tropaeolum Tuberosum*), un tubérculo andino con propiedades nutricionales y bioactivas sobresalientes, se presenta como un ingrediente clave para mejorar la calidad de diversos productos alimenticios. Al ser rica en carbohidratos, proteínas, fibra y compuestos antioxidantes (flavonoides y antocianinas), la harina de mashua no solo proporciona energía de liberación lenta, sino que también favorece la digestión, regula el azúcar en sangre y protege contra el estrés oxidativo. Su bajo contenido en grasas y su perfil bioactivo con propiedades antiinflamatorias y antimicrobianas la hacen ideal para el desarrollo de alimentos saludables y funcionales (Vaca, 2022).

Además, gracias a su versatilidad se convierte en un ingrediente altamente nutritivo y soluble, ideal para la elaboración de bebidas funcionales, sopas instantáneas y papillas de rápida preparación. Su composición rica en antioxidantes y compuestos bioactivos la convierte en un excelente sustrato para formulaciones de bebidas energéticas como batidos instantáneos. De igual manera, su fácil disolución permite crear sopas y cremas instantáneas, como caldos medicinales, diseñados para poblaciones con requerimientos nutricionales específicos como, mujeres en proceso de lactancia, adultos mayores o personas con necesidades dietéticas especializadas. Estos productos no solo optimizan la biodisponibilidad de nutrientes esenciales, sino que también promueven beneficios digestivos, inmunomoduladores y metabólicos, representando alternativas innovadoras y funcionales para la alimentación moderna (Arellano, 2022).

#### ***2.14.1. Aplicaciones industriales de la de harina de mashua en la elaboración de productos alimenticios.***

En la actualidad, la industria alimentaria busca alternativas innovadoras para mejorar el valor nutricional de los productos sin comprometer su calidad y aceptación sensorial. Sin embargo, la sustitución parcial o total de harinas tradicionales, como la harina de trigo, con ingredientes funcionales es una estrategia clave para el desarrollo de alimentos más saludables (Muñoz, 2022). La sustitución de la harina de trigo por harina de mashua en la elaboración de productos alimenticios ha sido objeto de diversas investigaciones, destacando su potencial para mejorar el valor nutricional y funcional de los alimentos. Además, dado a su alto contenido en fibra y antioxidantes, la harina de mashua es una excelente alternativa para la reformulación de productos sin comprometer su calidad nutricional (Garces, 2019).

A continuación, se presentan algunos estudios relacionados con la sustitución de harina de trigo por harina de mashua.

(Salazar, 2014), presentó un estudio titulado “Procesamiento de harina de mashua (*Tropaeolum Tuberosum*) para la aplicación en productos de panadería”, en el cual se elaboraron dos tipos de pan: uno salado común y otro dulce básico, ambos con un peso de 60g. Para su formulación, se emplearon mezclas de harina de trigo y harina de mashua en proporciones de 75 % - 25 % y 80 % - 20 %, respectivamente. Los resultados indicaron que la incorporación de harina de mashua no

afectó la aceptabilidad sensorial del producto, permitiendo la obtención de un pan artesanal con un perfil nutricional mejorado, adecuado para el consumo diario. Además, el estudio concluyó que la inclusión de hasta un 25 % de harina de mashua en la formulación es viable y recomendable para la elaboración de pan nutritivo, contribuyendo así a una alimentación equilibrada y funcional.

(Caiza, 2016), en su investigación titulada “Utilización de harina de mashua (*Tropaeolum Tuberosum*) y su aplicación en productos de panificación”, evaluó la elaboración de dos tipos de pan dulce: pan de leche y pan de chocolate, ambos con un peso de 70 g. El estudio analizó diversas proporciones de sustitución entre harina de mashua y harina de trigo, empleando formulaciones del 50 %, 30 %, 70 %, así como combinaciones adicionales del 50 %, 40 % y 30%. Mediante análisis sensoriales, se determinó que la mezcla con un 70 % de harina de mashua y un 30 % de harina de trigo obtuvo la mayor aceptación por parte de los degustadores. Esta combinación no solo presentó características organolépticas similares a las de un pan convencional, sino que también mejoró su valor nutricional, ofreciendo un producto de alta calidad para los consumidores.

(Gunsha, 2020), en su estudio titulado “Utilización de cuatro niveles de harina de mashua en la elaboración de galletas”, evaluó el efecto de la sustitución parcial de harina de trigo por harina de mashua en formulaciones del 10 %, 20 %, 30 % y 40 %. A través de un análisis sensorial, se determinó que la mezcla con 10 % de harina de mashua y 90 % de harina de trigo obtuvo la mayor aceptación por parte de los consumidores. El estudio concluye que la harina de mashua posee un alto potencial nutricional y recomienda su aplicación en otros productos de pastelería, con el objetivo de promover su consumo y aprovechar sus beneficios para la salud, dado que actualmente su uso es limitado.

Sin embargo, la sustitución de la harina de mashua no se limita únicamente a la industria de panificación y productos de repostería, sino que también puede aplicarse en otros sectores alimentarios, como la elaboración de productos de confitería. A continuación, se presentan investigaciones relevantes en ambos ámbitos.

(Muñoz, 2022), presentó un estudio titulado "Elaboración de una goma comestible mediante sustitución parcial de harina de trigo (*Triticum aestivum*) por harina de mashua (*Tropaeolum Tuberosum*)", en el cual se evaluó la sustitución parcial de harina de trigo por harina de mashua en

proporciones del 0 %, 25 %, 50 % y 75 %. Los resultados indicaron que el uso del 75 % de harina de mashua en la elaboración de gomitas comestibles es la opción más recomendable, ya que garantiza una adecuada gelatinización, además de aportar fibra y mantener las características sensoriales adecuadas en cuanto a textura, color y sabor. Además, el estudio busca promover el consumo de productos elaborados con harina de mashua, destacando su alto valor nutricional y su potencial para el desarrollo de nuevos productos alimenticios.

En conclusión, el uso de harina de mashua como sustituto de la harina de trigo en la elaboración de productos alimenticios presenta un potencial significativo para mejorar las características nutricionales de los alimentos. La mashua, rica en nutrientes esenciales como proteínas, minerales y antioxidantes, puede contribuir a una dieta más saludable y balanceada, especialmente en contextos donde el acceso a productos con alto contenido nutricional es limitado. Además, su incorporación en la industria alimentaria ofrece una alternativa sostenible y saludable, al mismo tiempo que promueve el aprovechamiento de cultivos autóctonos. Sin embargo, es fundamental realizar estudios adicionales sobre la funcionalidad de la harina de mashua en diversas aplicaciones y su impacto en las propiedades sensoriales de los productos finales, para garantizar su aceptación por parte de los consumidores y su viabilidad comercial a gran escala.

#### ***2.14.2. Caracterización fisicoquímica del método óptimo de obtención de harina de mashua.***

A continuación, se presenta la caracterización de la harina de mashua obtenida del mejor tratamiento, por medio de los métodos de deshidratación y producción por medio de la materia prima utilizada en la investigación; mashua (*Tropaeolum Tuberosum*) variedad Quillu zapallo Amarilla, en este segmento se detalla los componentes nutricionales de la harina, los resultados se describen en la tabla 34.

**Tabla 34.** Caracterización química proximal de la harina de mashua

<b>Parámetros</b>	<b>Deshidratación</b>	<b>Precocción</b>
Humedad total (%)	10,95	9,44
Fibra (%)	5,77	5,81
Grasa (%)	4,21	4,27
Ceniza (%)	7,6	6,52

Carbohidratos (%)	61,72	62,18
-------------------	-------	-------

---

**Elaborado por:** (Herrera & Llugsa, 2025)

En este estudio, se evaluó la harina de mashua en el más óptimo tratamiento determinando su contenido de humedad, fibra, grasa, ceniza y carbohidratos. Estos parámetros son clave para entender su aporte energético y su potencial en la alimentación saludable.

En la caracterización de la harina de mashua obtenida mediante el mejor método de precocción, se determinó un contenido de humedad del 9,44 %. Este valor se compara con el estudio de (Guerra, 2014), titulado “Estudio de la utilización de la harina de mashua (*Tropaeolum Tuberosum*) en la obtención del pan de molde”, donde para realizar la sustitución de harina de mashu por harina de trigo reporta un contenido de humedad, de 13,80 % y 13,34 %. Según la Normativa Ecuatoriana INEN 616:2006, que regula la calidad de la harina de trigo, el contenido de humedad permitido oscila entre 14,5 % y 15 %, lo que indica que los valores obtenidos en este estudio se encuentran por debajo del rango establecido. Sin embargo (Lalaleo, 2017), menciona que el bajo contenido de humedad posee una estrecha relación con la calidad, ya que harinas con valores inferiores a 14 % de humedad pueden ser almacenadas a temperatura ambiente sin ser propensas a infecciones de hongos y microorganismos.

El contenido de fibra reporta un valor de 5,81 %. Este resultado se compara con la investigación de (Ocaña, 2019), titulada “Caracterización Físicoquímica, Nutricional y Reológica de Cultivos Andinos Infrautilizados”, donde se analizan diferentes tipos de harinas de tubérculos, como mashua, oca, papa china y zanahoria blanca, reportando valores de fibra de 9,63 %, 5,35 %, 14,86 % y 9,15 %, respectivamente. Se puede observar que el resultado obtenido en este estudio se encuentra dentro del rango establecido por la (FAO, 2011), que indica que el contenido de fibra en tubérculos oscila entre el 2 % y el 6 %. Las variaciones en los porcentajes de fibra pueden deberse a factores como la cantidad de celulosa y lignina presentes en cada variedad de tubérculo, así como al tiempo de maduración. Además, el grado de molienda influye significativamente, ya que mientras más fina sea la harina, la fibra será más homogénea y optimizada en su distribución.

El contenido de grasa determinado en la harina de mashua fue del 4,27 %. Este valor se comparó con la investigación de (Procel, 2023), titulada “Diseño de un proceso industrial para la obtención de harina a partir de mashua (*Tropaeolum Tuberosum*)”, donde se reporta un contenido de grasa de 1,04 %. Se observa que el resultado obtenido en este estudio supera el rango establecido por (Hernandez et. al., 2024), indican que el contenido de grasa en tubérculos generalmente oscila entre 0,5 % y 1,5 %. La notable diferencia en los porcentajes podría deberse a un mayor contenido de lípidos presentes en la materia prima, lo cual contribuye al incremento del contenido de grasa. Además, según la (FAO, 2011), un contenido elevado de grasa puede ser aceptable en productos como suplementos energéticos o alimentos instantáneos, debido a su aporte calórico. Sin embargo, no es recomendable para productos de panificación, ya que podría favorecer la aparición de rancidez, afectando la calidad y la vida útil del producto final.

En la determinación de cenizas se obtuvo un valor de 6,52 %. Este resultado se compara con el estudio realizado por (Guerra, 2014), titulado “Estudio de la utilización de la harina de mashua (*Tropaeolum Tuberosum*) en la obtención del pan de molde”, donde para realizar la sustitución de harina de mashua por harina de trigo reporta un contenido de ceniza, de 5,68% y 0,64%. Según la normativa ecuatoriana INEN 616:2006, que establece los parámetros para la harina de trigo, el contenido de cenizas debe encontrarse en un rango de 0,75 % a 3,5 %. Por lo tanto, los valores obtenidos en esta investigación superan los límites establecidos. Esta diferencia podría atribuirse a la presencia de sales minerales, como calcio, potasio, hierro y fósforo, características de las harinas derivadas de cultivos andinos, lo que altera el contenido de cenizas en comparación con las harinas de granos y cereales tradicionales.

El contenido de carbohidratos obtenido fue del 62,18 %. Este resultado se comparó con el estudio de (Guerra, 2014), reporta un contenido de carbohidratos del 62,18 % en la harina de mashua. Los resultados en comparación son similares en las harinas, esto se puede dar por la metodología que se utilizó para el análisis. Cabe destacar que esta harina contribuye a mejorar la textura, la densidad energética, la estabilidad y la funcionalidad de los productos alimenticios. Además, ofrece beneficios nutricionales relacionados con la salud digestiva, lo que la hace versátil para su uso en una amplia variedad de productos instantáneos como bebidas funcionales y sopas instantáneas.

### 2.14.3. Análisis de micronutrientes presentes en la harina de mashua obtenido por el método de precocción

En este estudio, se analizó la composición de un tratamiento específico, identificando los niveles de fósforo y vitamina C en una muestra de Harina de Mashua. Precocida a continuación en la tabla 35 se presenta los análisis de micro nutrientes presentes en la harina de mashua.

**Tabla 35.** Evaluación nutricional del mejor tratamiento

<b>Micronutrientes</b>	<b>Valor</b>
Fósforo, (%)	0,29
Vitamina C, (mg)	321,6

**Elaborado por:** (Herrera & Llugsa, 2025)

Según (Yapias et al., 2022) en su investigación sobre la “Características fisicoquímicas, composición nutricional y compuestos bioactivos en tres variedades de Mashua (*Tropaeolum Tuberosum* Ruiz y Pavón)”, se determinó un contenido de fósforo que oscila entre el 0,28 % y el 0,42 %. En comparación con los resultados obtenidos en el presente estudio, se registra un contenido de fósforo del 0,29 % en la harina precocida de mashua. Esta ligera discrepancia puede atribuirse tanto a la variedad de la materia prima como al proceso de transformación utilizado para la obtención de la harina. Por ende, estos resultados indican que el contenido de fósforo se encuentra dentro de los parámetros establecidos, lo que garantiza el cumplimiento de estándares de seguridad alimentaria y nutricional. Al mismo tiempo, el fósforo es un mineral esencial para la salud ósea, la producción de energía y el metabolismo celular. Además, el proceso de precocción reduce la presencia de antinutrientes, como los fitatos, mejorando la biodisponibilidad de este mineral y facilitando su absorción en el organismo (Tipán, 2023). Gracias a este efecto, se favorecen procesos vitales como la formación de huesos, el desarrollo muscular y la reparación de tejidos. En general, la precocción potencia el valor nutricional de la mashua, lo que la convierte en un alimento funcional más efectivo para la dieta humana (Espinales, 2020).

La harina de mashua es reconocida por su alto contenido de vitamina C, un nutriente esencial para el sistema inmunológico y la salud en general. Según (Espión et al., 2014), el contenido de vitamina C en la harina de mashua puede variar, alcanzando valores de hasta 476 mg. En la presente investigación, se obtuvo un resultado de 345,77 mg, lo que refleja un contenido significativo de

este nutriente. Estos resultados confirman el potencial de la mashua como una fuente importante de vitamina C, lo que contribuye a su valor nutricional y refuerza su utilidad como alimento funcional en la dieta diaria. Además, la harina de mashua precocida conserva una cantidad significativa de vitamina C, lo que potencia sus beneficios para la salud (León, 2018). Esta vitamina es un poderoso antioxidante que protege las células del daño oxidativo, fortalece el sistema inmunológico y es esencial para la síntesis de colágeno, contribuyendo a la salud de la piel, los cartílagos y los vasos sanguíneos. Además, mejora la absorción del hierro, ayudando a prevenir la anemia, y favorece la salud cardiovascular al mantener la elasticidad de los vasos sanguíneos (Caicedo, 2021). Gracias a la precocción, se minimiza la pérdida de esta vitamina, asegurando un mayor valor nutricional en la harina de mashua precocida.

#### ***2.14.4. Evaluación de las propiedades funcionales***

Los análisis funcionales realizados a la harina de mashua variedad Quillu Zapallo-Amarilla, utilizando el equipo Mixolab II y evaluados en el laboratorio SETLAB, evidenciaron que los resultados no cumplieron con los parámetros requeridos para continuar con las investigaciones. Esta limitación se debe a que las muestras, al provenir de un tubérculo, presentan una incapacidad para desarrollar una estructura cohesiva, lo que da como resultado masas con propiedades reológicas deficientes, caracterizadas por la falta de elasticidad y plasticidad necesarias para un adecuado comportamiento en procesos de amasado y formación.

En consecuencia, no fue posible continuar con el estudio de las propiedades funcionales de las harinas obtenidas mediante el método de precocción por autoclave. Además, se concluyó que esta harina no es apta para aplicaciones en la industria de la panificación, ya que no cumplen con las propiedades reológicas esenciales, como una adecuada capacidad de absorción de agua, desarrollo de estructuras proteicas tipo gluten, viscosidad óptima, actividad amilásica funcional y resistencia a la retrogradación, características fundamentales para garantizar la calidad y estabilidad de los productos panificados.

El rápido endurecimiento de la masa debido a la absorción de agua limita el uso de estas harinas en productos de panificación. No obstante, su comportamiento funcional puede ser aprovechado en aplicaciones específicas de la industria alimentaria, especialmente como ingrediente en la

elaboración de productos instantáneos, tales como bebidas probióticas y sopas deshidratadas, donde sus propiedades reológicas resultan favorables (Criollo & Llontop, 2024). Además (Garrachamba, 2024), hace menciona que el equipo Mixolab II permite realizar un análisis exhaustivo del comportamiento de la masa cuando está sometida a un estrés dual, generado por la mezcla y los cambios de temperatura en diferentes fases del proceso. Esto incluye la evaluación del amasado, la calidad de las proteínas, la retención de agua, la gelatinización del almidón, la actividad amilásica y la retrogradación del almidón.

La harina de mashua precocida presenta características que afectan la validez de diversos índices reológicos y funcionales utilizados en harinas convencionales. Debido al proceso de precocción provoca la gelatinización del almidón, alterando su estructura granular y además la ruptura de la matriz celular modificando la distribución del agua en la harina de mashua, haciendo que el índice de absorción de agua no refleje con precisión la funcionalidad real en aplicaciones industriales. Asimismo, la mashua al ser un tubérculo que no contiene gluten, el tratamiento térmico afecta la viscosidad del almidón y la desnaturalización de proteínas en la estructura del almidón generando una masa con poca cohesión y sin las propiedades elásticas necesarias para medir de manera exacta la estabilidad del amasado (Bustillos, 2022).

La mashua al carecer de gluten de forma natural, dificulta determinar el índice de gluten, ya que el proceso de precocción elimina cualquier posible interacción proteica que pudiera simular un comportamiento similar al gluten, haciendo imposible establecer comparaciones con harinas convencionales. Además, la gelatinización del almidón durante la precocción provoca que el almidón alcance su máxima viscosidad antes de cualquier análisis. Esto significa que la harina de mashua no experimentará el mismo cambio en la viscosidad al ser calentada nuevamente, ya que su capacidad de hinchamiento y gelatinización será limitada (Contreras et al., 2017).

Durante la precocción por autoclave, las temperaturas son las que provocan la inactivación de las amilasas dentro de la harina de mashua, lo que reduce drásticamente su actividad, provocando la gelatinización previa del almidón disminuye la accesibilidad de las amilasas residuales a los sustratos, dificultando realizar el índice de amilasa. Además, los cambios irreversibles en su estructura y fragmentación de las cadenas de amilosa durante la precocción limitan la capacidad

del almidón de la harina de mashua, reorganizarse y formar cristales estables, lo que dificulta la medición de índice de retrogradación (Correa et al., 2019).

### **3. IMPACTOS DEL PROYECTO.**

#### **3.1. Impactos Técnicos**

La determinación de las propiedades funcionales de la harina de mashua (*Tropaeolum Tuberosum*) variedad Quillu Zapallo-Amarilla, a través de los métodos de precocción, tiene un impacto técnico significativo en la optimización de procesos agroindustriales. La caracterización de estas propiedades permite seleccionar el método de obtención más adecuado para mejorar el índice de solubilidad y el contenido de proteína, características funcionales clave en aplicaciones alimentarias. Esto contribuye al desarrollo de nuevos productos derivados de la mashua con mejores propiedades tecnológicas, facilitando su integración en formulaciones de alimentos, ampliando su aprovechamiento industrial y promoviendo su revalorización como un insumo nutritivo y funcional en la industria alimentaria.

#### **3.2. Impactos Sociales**

La optimización del procesamiento de la mashua en harina mediante el método de precocción no solo mejora la seguridad alimentaria y el perfil nutricional del producto, al conservar y potenciar su contenido de compuestos bioactivos, sino que también dinamiza el desarrollo socioeconómico de comunidades rurales al fomentar su cultivo y comercialización. Asimismo, su integración en la industria alimentaria impulsa la innovación en el desarrollo de productos funcionales con mayor valor agregado y sostenibilidad. Este estudio aporta a la revalorización de los cultivos andinos, promoviendo la preservación del patrimonio agroalimentario y el conocimiento ancestral, lo que fortalece la economía local y el bienestar social.

#### **3.3. Impactos Económicos**

El uso de harina de mashua (*Tropaeolum Tuberosum*) en la industria alimentaria no solo tiene implicaciones nutricionales, sino que también puede impulsar el desarrollo económico en las comunidades productoras. Al fomentar el cultivo y procesamiento local de mashua, se generan

oportunidades laborales y se promueve el comercio justo, contribuyendo así a la sostenibilidad económica.

Dado que la mashua es un tubérculo andino de elevado valor nutricional, caracterizado por su contenido de proteínas, carbohidratos, fibra, vitaminas y minerales, la promoción de su consumo a través de la harina podría mejorar significativamente la calidad de la dieta y la salud de la población, particularmente en comunidades donde se cultiva.

### 3.4. Impactos Ambientales

La transformación de la mashua en harina mediante precocción constituye una estrategia sostenible con un impacto ambiental positivo, ya que optimiza el aprovechamiento de este cultivo andino y reduce la presión sobre los ecosistemas agrícolas. Su alta adaptabilidad a suelos de baja fertilidad y climas extremos disminuye la dependencia de insumos agroquímicos como fertilizantes y pesticidas sintéticos, contribuyendo a la mitigación de la contaminación del suelo y la conservación de la calidad del agua. Desde una perspectiva tecnológica, estos métodos de transformación extienden la vida útil del producto, reduciendo las pérdidas postcosecha y el desperdicio de alimentos, factores clave en la sostenibilidad alimentaria. Además, la implementación de procesos de producción eficientes y el uso de fuentes de energía renovable disminuyen significativamente la huella ambiental, al minimizar el consumo de combustibles fósiles y las emisiones de carbono asociadas al procesamiento y distribución.

## 4. RECURSOS Y PRESUPUESTO

La tabla 36 de costos que se presenta los recursos financieros necesarios para llevar a cabo las actividades propuestas en este proyecto:

**Tabla 36.** Tabla de costos

RECURSOS	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO (\$)	VALOR TOTAL (\$)
Mashua amarilla	1	qq	15,00	15,00
Análisis fisicoquímico del tubérculo	1	u	50,00	50,00

Análisis fisicoquímico de las harinas	20	u	50,00	1000,00
Análisis nutricionales de las harinas	2	u	80,00	160,00
Análisis proximales de las harinas	2	u	160,00	280,00
Materiales				
Fundas Ziploc	50	u	0,20	10,00
Papel aluminio	3	u	1,80	5,40
Bandejas de aluminio	2	u	1,50	3,00
Papel de cocina	3	u	1,75	5,25
Reactivos				
Agua destilada	2	u	7,00	14,00
Movilización				
Transporte	2	Personas	28,30	56,60
Alimentación	2	Personas	20,00	40,00
Otros Gastos				
Impresiones	1120	Hojas	0,10	112,00
Anillados	8	u	1,50	12,00
Total				1763,25

**Elaborado por:** (Herrera & Llugsa, 2025)

## 5. CONCLUSIONES

- Al caracterizar la materia prima mediante análisis fisicoquímicos, determinando que la mashua tiene un alto contenido de carbohidratos (61,72 % - 62,18 %), fibra (5,77 % - 5,81 %) y proteínas (6,28 % - 7,68 %). Estas características son importantes para establecer las condiciones óptimas de procesamiento en tiempo y temperatura para la elaboración de productos alimenticios.

- La harina de mashua se obtuvo mediante dos métodos: precocción en autoclave (110 °C por 5 min, 115 °C por 10 min, 120 C por 15 min) y deshidratación (60 °C por 360 min, 70°C por 420 min, 80°C por 460 min). Se evidenció que la harina obtenida por precocción presentó un mayor rendimiento (97%) en comparación con la deshidratada, con un menor rendimiento (79,20%), lo que sugiere una mejor eficiencia en la pérdida de la materia prima. Además, la precocción permitió conservar mejor las propiedades nutricionales, especialmente el contenido proteico, lo que la hace viable para aplicaciones en la industria alimentaria.
- La harina de mashua variedad Quillu Zapallo-Amarilla obtenida mediante precocción (110°C por 5 min) conservó mejor sus propiedades funcionales y nutricionales que la deshidratada (60°C por 360 min), presentando mayor contenido de proteína 7,68 % y mejor solubilidad 1,12 %. Estos resultados destacan la importancia de la precocción como el método más eficiente para conservar la calidad funcional y nutricional de la harina de mashua.
- La evaluación funcional de la harina de mashua precocida reveló una mayor solubilidad y una mínima alteración de sus propiedades estructurales, lo que la hace más adecuada para su aplicación en la industria alimentaria. No obstante, el análisis mediante Mixolab II no pudo completarse debido a la falta de formación de una estructura cohesiva y a su baja elasticidad, lo que impidió el desarrollo adecuado de la masa durante las pruebas reológicas. La harina precocida mostró una excelente solubilidad, lo que favorece su rápida dispersión en medios líquidos, haciéndola ideal para la formulación de productos instantáneos, como sopas o bebidas funcionales y en la industria de panificación mediante sustituciones parciales de harina de trigo u otras harinas con alto contenido de gluten.

## **6. RECOMENDACIONES**

- La aplicación de un tratamiento térmico a 110°C durante 5 min mediante el método de precocción por autoclave, es el más adecuado para la obtención de la harina de mashua, este procedimiento permite preservar las propiedades funcionales y nutricionales del producto final.
- Realizar evaluaciones de palatabilidad para determinar la aceptación de la harina de mashua entre los consumidores. Estas pruebas deberán incluir análisis sensoriales y descriptivos de

sus características organolépticas, como olor, sabor, color y textura, en diversos productos alimenticios.

- Evaluar la aplicabilidad de la harina de mashua obtenida por el mejor método (precocción en autoclave) en la industria alimentaria, considerando su potencial índice de solubilidad (1,12 %) y contenido de proteína (7,68 %) en productos procesados. Este estudio puede servir de base para futuras investigaciones que mejoren su uso y amplíen su incorporación en el mercado.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Acosta Guizado, N. (2023). Efecto de la modificación física por recocido del almidón nativo de mashua (*Tropaeolum tuberosum*) variedad amarilla, en sus propiedades fisicoquímicas y funcionales. <https://repositorio.unajma.edu.pe/handle/20.500.14168/795>
- Acosta Hernández, J. C. (2020). Estudio de las propiedades de flujo de sólidos pulverulentos y granulados empleados en la elaboración de formas farmacéuticas sólidas de administración oral. <https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/19338>
- Alulema Moncayo, AF, Vacas Paredes, KP, Rivadeneira, MF y Moncayo, AL (2023). Incidencia de desnutrición crónica y factores asociados en una cohorte de niños menores de 5 años. *Rev.ecuat. pediatra*, 79-89. <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/biblio-1434591>
- Anchundia, M. Á., Cedillo, C. J. J., & Hernández, L. C. (2020). Efecto del tratamiento de cocción sobre las propiedades funcionales y morfometría granular de harina de camote (ipomoea batatas). *Tierra Infinita*, 6(1), 5-19. <https://doi.org/10.32645/26028131.1027>
- Arellano Arellano, J. C. (2022). Evaluación de la aceptabilidad de un yogur batido saborizado con mermelada de Mashua (*Tropaeolum Tuberosum*) ecotipos amarilla y morada (Master's thesis, Quito: Universidad de las Américas, 2022). <https://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/14368>
- Areche, F. O., Huayhua, L. L. A., & Huaman, J. T. (2020). Efecto del tiempo y temperatura en la deshidratación de oca (*Oxalis Tuberosa* Mol.) Mediante lecho fluidizado para la obtención de harina. *Revista Alfa*, 4(12), 200-210. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v4i12.84>

- Astuhuaman Cajahuanca, K. M., & Medina Paita, H. E. (2019). Formulación de una galleta dulce con sustitución parcial de harina de trigo (*Triticum spp*) con harina de mashua (*Tropaeolum tuberosum*). <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/6452>
- Barreto, V., & Fluker, F. (2019). Obtención y aplicación de almidones modificados por esterificación (OSA) a partir de almidones nativos provenientes de tubérculos andinos. <http://45.231.83.156/handle/20.500.12996/4250>
- Barreto, V., & Fluker, F. (2019). Obtención y aplicación de almidones modificados por esterificación (OSA) a partir de almidones nativos provenientes de tubérculos andinos. <http://45.231.83.156/handle/20.500.12996/4250>
- Bernabé Meza, Y. M., & Cancho Mallma, F. L. (2017). Caracterización fisicoquímica, fitoquímica y funcional de la harina de Khaya y Oca (*Oxalis tuberosa*) para uso industrial. <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/1221>
- Borja Monar, E. G. (2018). Evaluación de la calidad nutricional de diferentes formulaciones a base de las harinas de trigo (*triticum aestivum*), quinua (*chenopodium quínoa*) y oca (*oxalis tuberosa*) y su utilización en la elaboración de panecillos. <https://dspace.ueb.edu.ec/server/api/core/bitstreams/b675cd5c-7d8a-4d76-acef283e3b5a6266/content>
- Buele, O. D. L. Á. F., Robalino, J. P. C., Tenorio, M. G. V., & Sánchez, M. R. (2024). Mashua *Tropaeolum tuberosum*, su percepción por el mercado y su utilización en la elaboración de helados para su preservación cultural. *Pro Sciences: Revista de Producción, Ciencias e Investigación*, 8(53), 1-8. <https://journalprosciences.com/index.php/ps/article/view/719>
- Bustillos Banda, K. A. (2022). Caracterización fisicoquímica y reológica de la harina de trigo (*Triticum aestivum*) obtenida de los pasajes del proceso de molienda en Molinos e Industrias Quito Cía. Ltda (Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología. Carrera de Alimentos).
- Cabrera, M. V. G., Andrade, G. I. M., & Sampedro, S. E. L. (2020). Caracterización nutricional y funcional de la harina de mashua. *ConcienciaDigital*, 3(3), 199-214.

<https://www.cienciadigital.org/revistacienciadigital2/index.php/ConcienciaDigital/article/view/1299>

- Cairampoma Amaro, J. B. (2020). Efecto del tiempo y tipo de cocción en la concentración de glucosinolatos de tres accesiones de mashua (*Tropaeolum tuberosum*). <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/7194>
- Caiza Llanga, D. J. (2016). Utilización de harina de mashua (*tropaeolum tuberosum*) y su aplicación en productos de panificación, 2015 (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo). <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/11143>
- Cairampoma Amaro, J. B. (2020). Efecto del tiempo y tipo de cocción en la concentración de glucosinolatos de tres accesiones de mashua (*Tropaeolum tuberosum*). <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/7194>
- Calle García, A. N. (2023). Factores que influyen en la desnutrición crónica en niños menores de 5 años en Ecuador. <https://dspace.ucacue.edu.ec/server/api/core/bitstreams/b9313f0c-5ad24032-8ab7-f61169eaca30/content>
- Chaglla, D. L. B., & Puga, V. R. N. (2023). Desnutrición en la primera infancia en el Ecuador. *Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria PENTACIENCIAS*, 5(4), 551-562. <https://doi.org/10.59169/pentaciencias.v5i4.692>
- Chicaiza Paredes, W. A., & Ilaquiche Toaquiza, F. R. (2024). Desarrollo de una bebida a base de Mashua amarilla (*Tropaeolum tuberosum*) saborizada con maracuyá (*Passiflora edulis Sims*) (Doctoral dissertation, Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC)). <https://repositorio.utc.edu.ec/>
- Chimborazo Bermeo, M. A. (2022). Factores asociados a la desnutrición crónica infantil en menores de 5 años en el Ecuador: Una revisión sistemática. <https://dspace.ucacue.edu.ec/server/api/core/bitstreams/a354fce4-4c68-43e6-8d0f2b796fa0a547/content>

- Contreras Huaman, J. C. (2024). Efecto de la sustitución parcial de la harina de trigo por harina de pan de árbol (*Artocarpus altilis* F.),  $\alpha$  amilasa y lactosuero, en las características tecnológicas y sensoriales de pan de molde.  
<https://repositorio.unsch.edu.pe/items/0162d212-a88c-42ab-a3ce-3d52979facf0>
- Contreras Lujan, E. K. (2019). " OPTIMIZACIÓN DE LA BEBIDA FUNCIONAL A PARTIR DE AGUAYMANTO (*Physalis peruviana*) y MASHUA AMARILLA (*Tropaeolum tuberosum*) UTILIZANDO EL METODO DE SUPERFICIE DE RESPUESTA.
- Contreras, O., Quezada, L., Cuenca, F., Martínez, D., Ruilova, M., & Martínez, E. (2017). Comportamiento reológico de mezclas: Harina de trigo-almidón nativo de banano cavendish destinadas para panificación. *Revista de investigación Talentos*, 4(2), 50-54.  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8551185>
- Correa, L. M. Q., Dioses, O. D. C., Mora, E. O. M., Delgado, F. M. M., & Valarezo, H. M. G. (2019). Efecto de la sustitución de harina de trigo por harina de papa china (*Colocasia esculenta*) sobre las propiedades reológicas de la masa y sensoriales de galletas dulces. *Alimentos Hoy*, 27(47), 49-63.
- Criollo Chinchay, C. A., & Llontop Huamán, L. S. (2024). Efecto de las proporciones de kiwicha (*Amaranthus caudatus*), arroz ñelen (*Oryza sativa* L), soja (*Glycine max*) y mashua (*Tropaeolum tuberosum*) en la calidad proteica, propiedades funcionales y aceptabilidad de una mezcla alimenticia extruida. <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/13563>
- Davalos Chipa, D. (2019). Determinación de parámetros óptimos de extracción de antocianinas en Mashua negra (*Tropaeolum tuberosum*) y evaluación de la actividad antioxidante y polifenoles totales. <https://repositorio.unamba.edu.pe/handle/UNAMBA/829>
- Dussán-Sarria, S., Hurtado-Hurtado, D. L., & Camacho-Tamayo, J. H. (2019). Granulometría, propiedades funcionales y propiedades de color de las harinas de quinua y chontaduro. *Información tecnológica*, 30(5), 3-10.
- Echeverría, P. C., Bosada, Y. Y. P., & Bravo, M. A. Z. (2023). Aplicación de la harina de lenteja

- (Lens culinaris) como sustituto de la harina de trigo en masas de pastelería. *Ingeniería Química y Desarrollo*, 5(01), 01-10. [file:///C:/Users/usuario/Downloads/2023-05-01-01es%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/usuario/Downloads/2023-05-01-01es%20(2).pdf)
- Espinosa Pillajo, J. C. (2019). Evaluación de la influencia del periodo de almacenamiento de papa (*Solanum Tuberosum*) variedad superchola, en las propiedades de gelificación y retención de agua de su harina precocida (Bachelor's thesis, Quito: Universidad de las Américas, 2019). <https://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/10703>
- Espinosa Zambrano, E. R. (2020). Caracterización físico-química y tecnofuncional de pasta tipo spaghetti elaborado a partir de harinas de cultivos andinos infrautilizados y residuos agroindustriales (Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología. Carrera de Ingeniería en Alimentos). <https://repositorio.uta.edu.ec/items/1f574940-0697-4c10-87ed-d4a7b99f05e6>
- Feliciano-Muñoz, O., Robles-Calderón, R., Chirre-Flores, J. H., Santisteban-Rojas, Ó., Feliciano-Nishikawa, J. C., & de León, W. D. F. P. (2021). Identificación de los principios activos de la mashua negra (*Tropaeolum tuberosum*) y el efecto del proceso de elaboración de una bebida mix de mashua con piña. *Ingeniería Industrial*, (40), 171-190. [file:///C:/Users/usuario/Downloads/5150-Texto%20del%20art%C3%ADculo-19087-1-10-20210604%20\(6\).pdf](file:///C:/Users/usuario/Downloads/5150-Texto%20del%20art%C3%ADculo-19087-1-10-20210604%20(6).pdf)
- Fernández Salvador, N. (2017). Propiedades funcionales y químicas de harinas de distintas variedades de trigo sarraceno y tef. <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/29440>
- Gálvez Rodas, J. B., & Ortiz Dávila, R. (2023). Evaluación del perfil sensorial y nutricional de un pan elaborado con sustitución parcial de harina de trigo (*Triticum aestivum*) por almidón de yuca (*Manihot esculenta*). <https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/11572>
- Garcés Hernández, B. F. (2019). Obtención de harina de mashua (*Tropaeolum Tuberosum*) y oca (*Oxalis Tuberosa*) mediante deshidratación para la elaboración de pastas artesanales (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo). <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/11786>

- Garcés Hernández, B. F. (2024). Aplicación de fibras y proteínas Vegetales para elaboración de Productos tipo galleta a base de harina De mashua (*tropaeolum tuberosum*) y Oca (*oxalis tuberosa*) (Doctoral dissertation, QUITO/UIDE/2024).
- Garrochamba Peñafiel, NM (2024). Estudio del efecto de la enzima Alfa-amilasa maltogénica sobre el envejecimiento del pan tipo bollo. <https://repositorio.uta.edu.ec/items/d5dd728e12d5-49cb-a994-ed3b88f95f96>
- Grau, A. (2003). Mashua, *Tropaeolum Tubrosum* Ruíz & Pav (Vol. 25). International Potato Center. [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=IX38rY6s6PYC&oi=fnd&pg=PA32&dq=Grau,+A.+\(2003\).+Mashua,+Tropaeolum+Tubrosum+Ru%C3%ADz+%26+Pav+\(Vol.+25\).+International+Potato+Center.&ots=LpGNjb3bYL&sig=YL3C-WLap1SmmXmX3DSk9QvUIcc#v=onepage&q=Grau%2C%20A.%20\(2003\).%20Mashua%2C%20Tropaeolum%20Tubrosum%20Ru%C3%ADz%20%26%20Pav%20\(Vol.%2025\).%20International%20Potato%20Center.&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=IX38rY6s6PYC&oi=fnd&pg=PA32&dq=Grau,+A.+(2003).+Mashua,+Tropaeolum+Tubrosum+Ru%C3%ADz+%26+Pav+(Vol.+25).+International+Potato+Center.&ots=LpGNjb3bYL&sig=YL3C-WLap1SmmXmX3DSk9QvUIcc#v=onepage&q=Grau%2C%20A.%20(2003).%20Mashua%2C%20Tropaeolum%20Tubrosum%20Ru%C3%ADz%20%26%20Pav%20(Vol.%2025).%20International%20Potato%20Center.&f=false)
- Gunsha Maji, L. M. (2020). Utilización de cuatro niveles de harina de mashua en la elaboración de galletas. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/15505>
- Hermosa Mendoza, G. D. C. (2013). Caracterización de almidones de dos tubérculos andinos: isaño (*tropaeolum tuberosum* R&P) y oca (*oxalis tuberosa* mol).
- Herrera Quiñones, X. D. L. Á., & Rodríguez Castillo, K. S. (2016). Evaluación del extracto de flavonoles y antocianinas contenidos en el agraz (*Vaccinium meridionale swartz*) obtenidos a nivel laboratorio por medio de los métodos de extracción por solventes y extracción asistida por microondas.
- Huayhua, L. L. A., Areche, F. O., & Huaman, J. T. EVALUACIÓN DE FACTORES DETERMINANTES EN EL RENDIMIENTO Y ANTIOXIDACIÓN DE ANTOCIANINAS EXTRAÍDAS EN MASHUA NEGRA (*TROPAEOLUM TUBEROSUM*) POR FLUIDOS SUPERCRÍTICOS (FSC).

- Huamani, A. L., Ponce-Ramírez, J. C., & Málaga-Juárez, J. (2020). Optimización del proceso de cocción de quinua utilizando el diseño 3k y la función de deseabilidad: Grado de gelatinización, índice de absorción de agua, índice de solubilidad y desprendimiento de cotiledones. *Scientia Agropecuaria*, 11(3), 381-390.
- Huapaya Fernández, G. K. (2018). Influencia de los parámetros de extracción de antocianinas a partir de cáscara de uva (*Vitis vinífera*) utilizando el método de Taguchi.
- Iglesias Chérrez, D. L., & Pichucho Molina, P. E. (2021). Desarrollo de un microencapsulado de cedrón (*Aloysia Citrodora*), mediante secado por aspersion (Bachelor's thesis, Ecuador, Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC)).
- Lara Atiaja, J. E. (2023). Evaluación del proceso de clarificación de vino de uva negra (*Vitis Riparia*), usando el mucílago de melloco (*Ullucus Tuberosus*) y gelatina (Master's thesis, Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC)).
- Layme Layme, M., & Apaza Condori, L. (2024). Aplicación del ultrasonido en la inactivación microbiológica, aceptabilidad y características fisicoquímicas de la bebida de mashua negra (*Tropaeolum tuberosum*) y piña (*Ananas comosus L.*). <https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/9754>
- Lechón Quilumbaquin, B. A., & Pozo Chamorro, F. A. (2021). Aprovechamiento integral de la papa súper chola para la obtención de almidón, pulpa, fibra y su utilización en la elaboración de alimentos. UPEC.
- León Romaní, C. Z. (2018). Determinación de compuestos bioactivos en la mashua (*Tropaeolum tuberosum*).
- Magro Porras, M. A. (2015). Caracterización fisicoquímica, químico proximal y sensorial de harina pre-cocida a partir de semilla germinada de linaza (*Linum usitatissimum*) mediante autoclavado y tostado.

- Matos Carhuacho, Y. Desarrollo de biocomercio de tubérculos andinos en la región de Huancavelica desde un enfoque agroecológico, dirigido al mercado local y liderado por los productores. <https://tesis.pucp.edu.pe/items/e268a889-5d77-43ae-a353-b65eafe11e42>
- Medina, M., Rojas, R., & Bustamante, W. (2023). Metodología de la investigación: Técnicas e instrumentos de investigación. Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú.
- Medina Condo, E. B., & Uscca Thaquima, Y. K. (2018). Elaboración de cupcakes a partir de harina de mashua (*Tropaeolum tuberosum*), utilizando como agentes Fermentadores Leudantes Químicos. <https://repositorio.unsa.edu.pe/items/d9730cdb-b278-4067-b07dba4ce82fae28>
- Meneses Mariño, W. J. (2021). Uso potencial de harina de raíces y tubérculos andinos en la industria alimentaria.
- Moposita Tenelema, J. D. (2023). Estudio de la modificación química y física de almidón obtenido de zanahoria blanca (*arracacia xanthorrhiza*) y camote (*ipomoea batatas*) (Master's thesis, Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC).).
- Morales Cruz, L. V. (2021). Estudio fisicoquímico y sensorial de una bebida instantánea elaborada a base de harina precocida de zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft). UPEC.
- Moreno, A. (2016). Evaluación de propiedades físicas y de flujo en harina de maíz, trigo y frijol de forma individual y en mezcla.
- Núñez Villacís, G. E. (2021). Desarrollo de harinas precocidas a partir de pseudocereales andinos de alta digestibilidad proteica (Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología. Carrera de Ingeniería en Alimentos).
- Muñoz Chafla, D. G. (2022). Elaboración de una goma comestible mediante sustitución parcial de harina de trigo (*Triticum Aestivum*) por harina de mashua (*Tropaeolum Tuberosum*).

- Navarrete-Tumbaco, C. J., Mezones-Santana, J. A., Ponce, W., Brito, B., Viera, W., Mosquera, A. C., & Riera, M. A. (2023). Obtención y caracterización de bioplásticos a partir de almidón acetilado de semillas de aguacate. *Avances en Química*, 18(1).
- Núñez Villacís, G. E. (2021). Desarrollo de harinas precocidas a partir de pseudocereales andinos de alta digestibilidad proteica (Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología. Carrera de Ingeniería en Alimentos).
- Pacheco Tigselema, M. T. (2019). Obtención y caracterización de compuestos bioactivos procedentes de tubérculos andinos y de subproductos de la industria agroalimentaria.
- Parrales, D. H. R., Balladares, L. E., Rubén, J. D., & Solórzano, M. L. (2023). Incidencia de desnutrición en niños del Ecuador. *Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional*, 8(3), 2243-2255. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9252148>
- Parisaca Lopez, K. A. (2023). Obtención de harina de mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón) para consumo humano en San Jerónimo, K'ayra–Cusco.
- Peñañiel Quilumba, V. L. (2023). Evaluación de las características fisicoquímicas y funcionales del almidón de miso (*Mirabilis expansa*) (Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología. Carrera de Alimentos).
- Pérez Ramos, K., Elías Peñañiel, C., & Delgado Soriano, V. (2017). Bocado con alto contenido proteico: un extruido a partir de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) y camote (*Ipomoea batatas* L.). *Scientia Agropecuaria*, 8(4), 377-388.
- Pila Faz, RE y Sigcha López, JD (2024). Estudio de las propiedades funcionales de harinas precocidas de dos variedades de cebada (*Hordeum vulgare* L.) RITA E INIAP-CAÑICAPA 2003 (Tesis doctoral, Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC)).
- Pumisacho Ocaña, V. S. (2021). Evaluación del contenido nutricional y microbiológico de una barra alimenticia elaborada a base de quinua tostada, amaranto pop y mashua en polvo (Master's thesis, Quito: Univerisad de las Ámericas, 2021).

- Quipe Ruiz, Y. (2018). Características químicas y propiedades funcionales del almidón de mashua (*tropaeolum tuberosum*) de las variedades amarilla y negra.
- Ramírez-Balboa, G., Balois-Morales, R., León-Fernández, A. E., Bautista-Rosales, P. U., Jiménez-Zurita, J. O., & Montalvo-González, E. (2023). Caracterización fisicoquímica y proximal de almidón y harina de jícama (*Pachyrhizus erosus* L.). *Revista Bio Ciencias*, 10.
- Rentería, A., Sampedro, S. E. L., Peralta, A. V. P., & Ayala, D. J. B. (2021). Obtención de fécula de papa china (*colocasia esculenta*) mediante tres métodos de extracción. *Polo del conocimiento*, 6(8), 702-715.
- Sandoval, G., Álvarez, M., Paredes, M., & Lascano, A. (2012). Estudio reológico de las mezclas de harinas: trigo (*Triticum vulgare*), cebada (*Hordeum vulgare*) y papas (*Solanum tuberosum*) para la utilización en la elaboración de pan. *Scientia Agropecuaria*, 3(2), 123131.
- Taípe Quispe, L. (2017). Fenoles totales y actividad antioxidante en mashua (*tropaeolum tuberosum*) en estado fresco, soleado y cocido de las variedades amarillo zapallo y negra.
- Tipán Toapanta, E. J. (2023). Efecto del uso de harina de zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza*) y mashua (*Tropaeolum tuberosum*) en la producción de yogur descremado (Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología. Carrera de Alimentos).  
<https://repositorio.uta.edu.ec/items/cf895726-6b9e-42c1-bf59-42d2db90ca85>
- Tapía, L. I. B., Abarca, L. V. R., Ayala, L. R. A., & Arias, I. B. (2023). Apuntes al método científico en el siglo XXI desde una perspectiva jurídica. *Bibliotecas. Anales de Investigación*, 19(2), 2.
- Urresta Vizcaino, B. O. (2010). Evaluación del valor nutrición de la harina de mashua (*Tropaeolum tuberosum*) en dietas para pollos de engorde (Bachelor's thesis, QUITO/EPN/2010).
- Universidad Nacional de Colombia. Facultad Nacional de Agronomía. (1950). *Revista, Facultad Nacional de Agronomía (Vol. 11). La Facultad.*

- Vaca Revelo, RJ (2022). Aplicación de técnicas de cocina de autor para el desarrollo de recetas de sal y dulce con base en productos agrícolas andinos cultivados en la provincia de Cañar: arracacha (*arracacia xanthorrhiza*) cubio o mashua (*tropaeolum tuberosum*) y jícama (*pachyrhizus erosus*).
- Vargas, J. A. G., & Mejía, A. L. C. (2014). Diseño de un esterilizador industrial por concentración de energía solar, para alimentos enlatados. *Revista de Investigación*, 7(1), 67-77.
- Vayas Velastegui, M. F. (2023). Modelado de la cinética de secado convectivo e isothermas de adsorción de agua de camote morado (*Ipomoea batatas*) y mashua (*Tropaeolum tuberosum*), provenientes de la provincia de Tungurahua (Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología. Carrera de Alimentos).
- Villena Carrión, J. (2023). Perfil nutricional de la vaina del haba (*vicia faba*) y propiedades tecnofuncionales de su harina.
- Yungán Pinda, Á. I. (2015). Efecto del método de extracción del almidon de mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pav.) en las características fisico-químicas y reológicas (Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos. Carrera de Ingeniería en Alimentos).
- Yupanqui Calle, Y. J. (2023). Predicción de vida útil de harina de kiwicha (*Amaranthus caudatus*) a partir de isoterma de adsorción de agua para diferentes modelos matemáticos