

Producción y caracterización fisicoquímica de una harina vegetal a base de papa

Laura Nathalia Sánchez Rivera y Brayan Camilo Arenas Pinto

Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Químico

Modalidad investigación

Directora

Viviana Sánchez Torres

Ph.D. Ingeniera Química

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas

Escuela de Ingeniería Química

Bucaramanga

2023

Dedicatorias

Dedico este trabajo de grado y mi título de ingeniero químico a mis padres, Martha Pinto Martínez y Domingo Arenas López, por su apoyo incondicional en esta etapa universitaria, su comprensión y amor me impulsan a cumplir mis objetivos.

A mi compañera de trabajo de grado Laura Sánchez por su entrega y dedicación en cada fase de la investigación y desarrollo del libro, su esfuerzo fue fundamental para conseguir este gran logro en equipo.

A mi compañera de ingeniería química Alejandra Cárdenas por su apoyo a lo largo de toda la carrera, por su voz de aliento y motivación en los momentos difíciles.

A mis compañeros y amigos que hicieron parte de esta maravillosa experiencia y contribuyeron a mi crecimiento personal dentro de la universidad.

Brayan Camilo Arenas Pinto.

A mis padres, Livaniel Sánchez e Imelda Rivera, a mi hermana Yulieth Carolina Carrillo y a mi cuñado Juan Sebastián Villalba por brindarme siempre motivación, consejo y por ser parte fundamental de mi desarrollo profesional y personal.

A mi sobrino, Josiah Villalba, por llegar a completar nuestra familia y alegrarnos tanto.

A Juan Diego Nocua por acompañarme, apoyarme e impulsarme a ser perseverante.

Laura Nathalia Sanchez Rivera

Agradecimientos

A nuestras familias por su apoyo incondicional y constante motivación para la culminación de este proyecto de grado.

A nuestra directora de trabajo de grado la Ingeniera Química PhD. Viviana Sánchez Torres por su apoyo, guía y motivación en cada fase del proyecto, sus aportes y sugerencias fueron fundamentales para lograr con éxito la culminación de esta tesis de investigación.

A nuestra tutora la Ingeniera Química Oliva Yineth Páez por su acompañamiento y asesoría en la fase de experimentación, su experiencia y dedicación fueron un pilar importante en este trabajo de grado.

A la Escuela de Ingeniería Química por brindarnos la oportunidad de realizarnos académicamente y acogernos como nuestro segundo hogar, a cada profesor de la carrera y a los demás trabajadores que de una u otra manera nos guiaron y apoyaron en esta importante etapa de nuestras vidas.

Al Grupo de Investigación en Ciencia y Tecnología de Alimentos CICTA por la gestión y el apoyo brindado en el desarrollo de este trabajo de grado.

Tabla de contenido

	Pág.
Introducción	12
1. Objetivos.....	14
1.1 Objetivo general.....	14
1.2 Objetivos específicos	14
2. Marco conceptual.....	15
2.1 Pardeamiento enzimático.....	15
2.2 Control del pardeamiento enzimático	16
2.2.1 Tratamientos químicos	16
2.2.2 Tratamiento térmico: escaldado	17
2.3 Colorímetro.....	17
2.4 Índice de pardeamiento (IP) y cambio de color (ΔE)	19
2.5 ImageJ.....	19
2.6 Análisis bromatológico.....	19
2.7 Caracterización funcional	21

3. Estado del arte.....	22
4. Metodología.....	26
4.1 Etapa I.....	26
4.1.1 Búsqueda y revisión de la literatura	26
4.2 Etapa II.....	27
4.2.1 Acondicionamiento de materia prima	27
4.2.2 Tratamientos de control del pardeamiento enzimático.....	27
4.3 Etapa III	28
4.3.1 Análisis bromatológico.....	29
4.4 Etapa IV	30
4.4.1 Pruebas funcionales	30
4.5 Análisis estadístico	31
5. Resultados.....	31
5.1 Elección del esquema de producción de la harina	31
5.2 Inhibición del pardeamiento enzimático.....	33
5.2.1 Diseño factorial 2 ² de ácido ascórbico y cítrico	33
5.2.2 Evaluación del escaldado	35
5.3 Selección de la temperatura de secado.....	37
5.4 Caracterización de la harina de papa	43

6. Conclusiones.....	45
7. Recomendaciones	46
Referencias bibliográficas.....	47
Apéndices.....	56

Lista de figuras

Figura 1. <i>Reacciones de pardeamiento enzimático</i>	16
Figura 2. <i>Coordenadas de color en CIE $L^*a^*b^*$</i>	18
Figura 3. <i>Etapas metodológicas del proyecto</i>	26
Figura 4. <i>Diagrama de producción para harina de papa</i>	32
Figura 5. <i>Coordenadas de color L^*, a^*, b^*, parámetros IP y ΔE en función del tiempo de almacenamiento</i>	33
Figura 6. <i>Intensidad de brillo y área de las muestras para cada tratamiento</i>	36
Figura 7. <i>Rodajas de papa analizadas con el software ImageJ</i>	37
Figura 8. <i>Diagrama de barras del contenido de micronutrientes en harina de papa secada a 50,65 y 80 °C.</i>	42

Lista de tablas

Tabla 1. <i>Macronutrientes del análisis bromatológico</i>	20
Tabla 2. <i>Referencias de tratamientos de control del pardeamiento enzimático</i>	23
Tabla 3. <i>Referencias de análisis bromatológico y temperatura de secado</i>	24
Tabla 4. <i>Referencias propiedades funcionales</i>	24
Tabla 5. <i>Concentraciones de los tratamientos</i>	28
Tabla 6. <i>Métodos de análisis aplicados</i>	29
Tabla 7. <i>Análisis bromatológico y micronutrientes de papa cruda variedad parda pastusa</i>	38
Tabla 8. <i>Contenido de macronutrientes (g/100g %) en base húmeda de la harina de papa secada a 50, 65 y 80 °C</i>	39
Tabla 9. <i>Contenido de macronutrientes presentes en la harina de papa, promedio más desviación estándar</i>	41
Tabla 10. <i>Propiedades funcionales</i>	43
Tabla 11. <i>Capacidad de retención de agua</i>	45

Lista de apéndices

Apéndices A. Cálculos para soluciones de ácido cítrico y ascórbico 56

Apéndices B. Pruebas de Tukey con intervalos de confianza del 95% 57

Apéndices C. Protocolo del software ImageJ 60

Resumen

Título: Producción y caracterización fisicoquímica de una harina vegetal a base de papa*

Autores: Laura Nathalia Sánchez Rivera, Brayan Camilo Arenas Pinto**

Palabras Clave: papa, pardeamiento enzimático, secado, harinas.

Descripción: La papa es uno de los mayores cultivos en Colombia, por ende, es necesario presentar alternativas para su aprovechamiento. En este sentido, se plantea un esquema de producción de harina de papa, en donde se evalúa la inhibición del pardeamiento enzimático mediante pretratamientos químicos: ácido ascórbico (AA) y ácido cítrico (AC) al 1%, 0,75% y 1%, 0,5% y pretratamiento térmico (escaldado) a través de un colorímetro triestímulo, las coordenadas CIE L*a*b* y el sistema RGB. Por otro lado, se determinó el efecto de tres temperaturas de secado con aire caliente (50, 65 y 80 °C) sobre el contenido nutricional (proteína, grasas, fibra, cenizas, carbohidratos y minerales como calcio, hierro y vitamina C) y humedad de la harina de papa. Por último, para la caracterización se especificaron las propiedades funcionales de la harina de papa: poder de hinchamiento, solubilidad, concentración mínima de gelificación, capacidad de retención de agua y capacidad de absorción de agua y aceite. El uso de agentes químicos reduce significativamente el pardeamiento enzimático y disminuye el cambio de color en rodajas de papa almacenadas hasta por tres días a 4,5 °C. Sin embargo, es necesario la implementación de un tratamiento térmico de apoyo (escaldado) para prolongar la inhibición después del secado. El uso del escaldado además de inhibir el pardeamiento enzimático disminuye la contracción del área y mejora el color de las rodajas secas. Finalmente, se indica que las temperaturas evaluadas solo afectan significativamente el contenido de humedad de la harina de papa y por lo tanto se selecciona la temperatura con menor gasto energético (50 °C)

*Trabajo de grado

**Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Directora: Viviana Sánchez Torres. PhD. Ingeniera Química. Tutora: Oliva Yineth Páez. Ingeniera química.

Abstract

Title: Production and physicochemical characterization of a vegetable flour based on potato*

Authors: Laura Nathalia Sánchez Rivera, Brayan Camilo Arenas Pinto**

Key Words: potato, enzymatic browning, drying, flours.

Description: Potato is one of the major crops in Colombia; therefore, it is necessary to present alternatives for its utilization. In this sense, a potato flour production scheme is proposed, where the inhibition of enzymatic browning is evaluated by means of chemical pretreatments: ascorbic acid (AA) and citric acid (AC) at 1%, 0.75% and 1%, 0.5% and thermal pretreatment (blanching) through a tristimulus colorimeter, the CIE L*a*b* coordinates and the RGB system. On the other hand, the effect of three hot air-drying temperatures (50, 65 and 80 °C) on the nutritional content (protein, fat, fiber, ash, carbohydrates, and minerals such as calcium, iron and vitamin C) and moisture of potato flour was determined. Finally, for characterization, the functional properties of potato flour were specified: swelling power, solubility, minimum gelling concentration, water holding capacity, and water and oil absorption capacity. The use of chemical agents significantly reduces enzymatic browning and decreases color change in potato slices stored for up to three days at 4.5 °C. However, the implementation of a supportive heat treatment (blanching) is necessary to prolong inhibition after drying. The use of blanching in addition to inhibiting enzymatic browning decreases area shrinkage and improves the color of dried slices. Finally, it is indicated that the temperatures evaluated only significantly affect the moisture content of the potato flour and therefore the temperature with the lowest energy expenditure (50 °C) is selected.

*Graduate Thesis

** Faculty of Physiochemistry. School of Chemical Engineering. Director Viviana Sánchez Torres. PhD. Chemical Engineer. Tutor Oliva Yineth Páez. Chemical Engineer.

Introducción

La papa (*Solanum tuberosum*) es una herbácea originaria de los Andes suramericanos que a nivel mundial ocupa el sexto lugar como alimento más producido después del maíz, arroz y el trigo. Como muestra de ello, para el 2021 la producción mundial de papa fue de 376 millones de toneladas (Food and Agriculture Organization of the United Nations FAO, 2023). En Colombia, para el 2022 se obtuvo una producción de 2,52 millones de toneladas (Federación Colombiana de Productores de Papa FEDEPAPA y Fondo Nacional de Fomento de Papa FNFP, 2023), donde el 94% es destinado para el mercado fresco, autoconsumo y semillas y solo el 6% de la producción es consumida por la industria nacional, debido a que las industrias procesadoras utilizan papas con requerimientos fisicoquímicos, de tamaño y de forma, que la producción nacional no puede suplir debido a la falta de homogeneidad en sus cultivos (Alianza CIAT-Bioversity, 2020). Así pues, es necesario estudiar el proceso de producción de harina de papa ya que representa una alternativa que permite utilizar la papa sembrada en Colombia.

Uno de los problemas del procesamiento de papas es la formación de pigmentos oscuros, que afectan la apariencia y sus propiedades organolépticas, por lo tanto, controlar dicho fenómeno es indispensable para obtener un producto con los estándares de calidad (Delgado y Hurtado, 2019). Por otro lado, la operación unitaria del secado aumenta la vida útil de un alimento; sin embargo, la variación de la temperatura durante el secado trae consigo afectaciones en las propiedades fisicoquímicas y funcionales del producto final (Bao et al., 2021; Cerrón & Junchaya, 2019). Por ende, es importante determinar la temperatura que genere un producto con las mejores características. Actualmente no hay suficientes estudios que indiquen en qué nivel las condiciones de secado afectan las propiedades de la harina de papa nacional. En tal sentido, este trabajo se enfoca en diseñar una metodología de producción a escala laboratorio de harina de papa. Tomando

en consideración que no está establecida una norma colombiana para harina de papa, se evalúan tratamientos y condiciones de operación que generen un producto de calidad, de acuerdo con los estándares fisicoquímicos y de tamaño de partícula indicados en la Norma técnica colombiana NTC 267 (Harina de trigo, 2017) el Codex Alimentarius para harina de trigo (Standard For Wheat Flour, 2021) y la Norma técnica peruana para harina de papa NTP 011.810 (Harina de papa, 2021).

Con los resultados obtenidos se busca responder: ¿Qué condiciones son las adecuadas para producir una harina de papa regida por la NTC 267, el Codex Alimentarius para harina de trigo y la NTP 011.810?

1. Objetivos

1.1 Objetivo general

Establecer una metodología de producción a escala laboratorio de una harina vegetal a base de papa, que cumpla con la normativa de calidad y que sea apta para el consumo.

1.2 Objetivos específicos

- Proponer un esquema de producción a escala laboratorio de harina a base de papa.
- Determinar la efectividad del tratamiento químico y térmico en el control del pardeamiento enzimático.
- Implementar un diseño experimental para seleccionar la temperatura de secado que conserve las propiedades bromatológicas de la papa.
- Señalar las propiedades funcionales y el cumplimiento de estándares de calidad mediante la caracterización fisicoquímica de la harina.

2. Marco conceptual

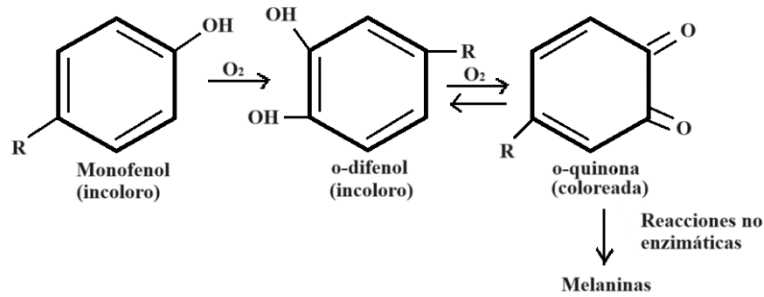
2.1 Pardeamiento enzimático

El pardeamiento enzimático es un fenómeno que ocurre en la superficie de las frutas y verduras como resultado de la maduración, golpes y cortes asociados a los procesos de cosecha y postcosecha del alimento (Burga, 2021). Se produce por reacciones de oxidación que generan alteraciones organolépticas (sabor, textura y color) en el alimento, principalmente presencia de colores indeseables en el producto. Dichas reacciones solo se desarrollan en alimentos vegetales o frutas con alto contenido de compuestos fenólicos (Delgado y Hurtado, 2019).

La polifenol oxidasa pertenece a las oxidoreductasas y es principalmente la enzima responsable del pardeamiento enzimático, ya que genera reacciones de oxidación sobre sustratos fenólicos, produciendo melaninas que le confieren los pigmentos indeseables al alimento. En la Figura 1 se observan los dos tipos de reacciones de oxidación que la enzima cataliza, la primera que consiste en la hidroxilación en la posición orto de los monofenoles (ejemplo el p-cresol) produciendo o-difenoles y la segunda que es la oxidación de o-difenoles (ejemplo el catecol), generando o-quinonas, las cuales pueden reaccionar con grupos de proteínas y azúcares (reacción no enzimática), produciendo polímeros marrones, rojos y negros conocidos como melanina. En papas ocurren ambas reacciones, sin embargo, predomina la oxidación de o-difenoles (Bobo-García et al., 2020; Denoya et al., 2012).

Figura 1

Reacciones de pardeamiento enzimático



Nota. Adaptado de “Antibrowning Compounds for Minimally Processed Potatoes: A Review” (p. 530), por Bobo-García, G., Arroqui, C., Merino, G., & Vírveda, P. (2020), *Food Reviews International* 36(5).

2.2 Control del pardeamiento enzimático

2.2.1 Tratamientos químicos

En términos de inhibidores químicos se clasifican en: sulfitos, agentes antioxidantes o reductores, acidulantes y compuestos quelantes. Los sulfitos fueron utilizados ampliamente en la industria y se presentaban como los compuestos más efectivos para reducir el pardeamiento, sin embargo, pueden generar enfermedades como asma y producir sabores no favorables (García y Capezio, 2019). Por otro lado, los agentes antioxidantes y complejantes forman complejos con los sustratos del proceso o reaccionan con los productos del pardeamiento formando otros compuestos (reducción a compuestos precursores) (Silveria, 2017).

En el caso de los acidulantes, se destaca el ácido ascórbico como alternativa de los sulfitos, el cual logra reducir las quinonas formadas (o-quinonas a o-difenoles) antes de que polimericen y se conviertan en pigmentos oscuros (Delgado y Hurtado, 2019). Sin embargo, este compuesto

produce un control temporal del pardeamiento debido a que es consumido durante la oxidación, por lo tanto, se suelen utilizar mezclas de acidulantes como la combinación ácido ascórbico y cítrico, de los cuales se reporta un efecto sinérgico entre compuestos (Silveria, 2017). El ácido cítrico es otro de los acidulantes (disminución del pH) utilizados ya que transforma las o-quinonas a o-difenoles los cuales se caracterizan por ser compuestos incoloros (Burga, 2021). Así mismo, puede quelar el cobre del sitio activo de la enzima Polifenol oxidasa lo cual proporciona mayor control del pardeamiento si se emplea en combinación con otros acidulantes como el ácido ascórbico (Denoya et al., 2012).

2.2.2 Tratamiento térmico: escaldado

El escaldado es un tratamiento térmico que consiste en someter a los alimentos a vapor, agua o aire caliente por un periodo de tiempo de 1 a 3 minutos, lo que permite inhibir reacciones enzimáticas (principalmente las oxidativas), reducir la carga microbiana, eliminar aromas, expulsar gases característicos, ablandar y mantener el color característico del alimento. Sin embargo, este proceso puede producir cambios en cuanto al contenido de micro y macronutrientes del producto, alterar la textura, el color y el contenido de sólidos solubles del alimento (Delgado & Hurtado, 2019).

El escaldado generalmente se realiza con temperaturas entre 80 °C - 100 °C. Sin embargo, la disminución de la actividad enzimática inicia a temperaturas superiores a 50 °C, ya que comienza la desnaturalización de la estructura proteica del alimento (Mendoza y Herrera, 2012).

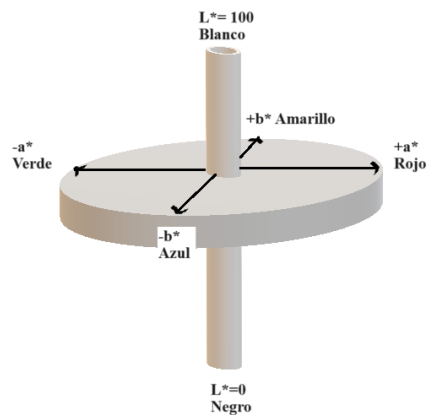
2.3 Colorímetro

Los colorímetros son dispositivos triestimulares, ya que emplean tres filtros: rojo, verde y azul, para imitar la respuesta del ojo humano al color y la luz; representan una alternativa económica para algunas aplicaciones como control de calidad en alimentos o textiles a

comparación de otros sistemas de medición como los espectrofotómetros. Estos dispositivos emplean el sistema de color CIE, por sus siglas en francés, *Commission Internationale de l'Eclairage* (Comisión Internacional de la Iluminación), institución encargada de las recomendaciones internacionales para la colorimetría. Los sistemas CIE, utilizan coordenadas para ubicar un color en el espacio, una de ellas es $L^*a^*b^*$ de 1976. Cuando se utiliza la notación de color, la L^* se refiere a la claridad o luminosidad, a^* al valor rojo/verde y b^* al valor amarillo/azul. En el diagrama de color, el eje a^* se extiende de izquierda a derecha. En la Figura 2 se encuentra ilustrado el espacio de color con las coordenadas descritas en donde una medición de color en la dirección $+a^*$, representará un desplazamiento hacia el rojo. Por otro lado, en el eje b^* un movimiento hacia $+b^*$ indica un cambio hacia el amarillo. El eje L^* muestra $L=0$ (negro) en la parte inferior, mientras que, en la parte superior se encuentra $L=100$ (blanco) (Ruiz, 2020).

Figura 2

Coordenadas de color en CIE $L^*a^*b^*$



Nota. Adaptado de *Implementación del colorímetro como estándar de calidad para la tela teñida en Tincol S.A.S., por J. Ruiz, 2020.* Tesis de pregrado. Universidad de Antioquia, Colombia.

2.4 Índice de pardeamiento (IP) y cambio de color (ΔE)

El IP es un parámetro para evaluar la presencia de pigmentación en la superficie de productos mínimamente procesados y el cambio de color (ΔE) cuantifica la diferencia de la percepción del color presente en las muestras (Chaman, 2022; Garcia y Capezio, 2019)

Dichos parámetros se calculan a partir de las coordenadas de CIELAB descritas anteriormente.

$$IP = \frac{100(X-0,31)}{0,17} \quad (1)$$

Donde,

$$X = \frac{a^* + 1,75L^*}{5,645L^* + a^* - 3,012b^*}$$

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}} \quad (2)$$

2.5 ImageJ

El programa ImageJ es una plataforma de acceso libre para el procesamiento de imágenes, que permite realizar operaciones sencillas como ajustar el contraste o transformar una imagen a blanco y negro, así como opciones más complejas como resaltar detalles o descomponer un video en imágenes. Una de las principales funciones, es analizar los canales RGB (red, green, blue) del área de una imagen y cuantificar los píxeles para cada color. El programa grafica el número de píxeles en función de cada color presente en la imagen y los ubica en un histograma con una escala de 0 a 255. De este modo, las zonas oscuras se representan con valores cercanos a 0 mientras las zonas claras cercanas a 255 para el criterio de intensidad de brillo (Apéndice C) (Caraballo, 2018).

2.6 Análisis bromatológico

La bromatología de los alimentos se puede definir como la ciencia que se basa en el estudio de los alimentos. Además, conocer la composición de los alimentos es un factor fundamental para

la formulación de productos que cumplan con los requerimientos nutricionales y organolépticos en la industria alimentaria (Bello, 2000). En la Tabla 1 se encuentra la definición y función de cada uno de los macronutrientes y micronutrientes importantes.

Tabla 1

Macronutrientes del análisis bromatológico

Macronutrientes	Definición y composición	Función
Proteína	Son moléculas de gran tamaño formadas por largas cadenas de aminoácidos constituidos por grupos amino (NH ₃) y un grupo carboxilo (COOH) ¹ .	Parte fundamental de la estructura de los tejidos, como los músculos, piel y órganos. Además, participan en los procesos de crecimiento, absorción de nutrientes, el transporte de oxígeno y grasas en el torrente sanguíneo, la eliminación de sustancias tóxicas, actúan como enzimas, hormonas y anticuerpos ¹ .
Grasas	La grasa o lípidos está constituida por ácidos grasos (triglicéridos) y se define como compuestos que son insolubles en agua, pero solubles en solventes como el éter, cloroformo, benceno o etanol. Los lípidos pueden clasificarse desde diferentes puntos de vista, desde su composición química (triglicéridos, fosfolípidos y colesterol), por sus propiedades físicas (grasas neutras y grasas anfífilicas) y según su función (almacenamiento y estructurales) ² .	Las grasas tienen un papel importante en la alimentación, siendo el principal nutriente energético para el metabolismo, además de suministrar ácidos grasos esenciales y facilitar el transporte de vitaminas liposolubles (vitaminas A, D y E) ² .
Fibra	La fibra alimentaria o dietética son polisacáridos provenientes de fuentes vegetales que no se digieren por las enzimas digestivas de los mamíferos ³ . Se divide en dos grupos solubles e insolubles. Del primer grupo forman parte las gomas, el mucilago, las pectinas, hemicelulosas, inulina, almidón resistente, fructooligosacáridos y los galactooligosacáridos y el segundo está constituido principalmente por celulosa, algunas hemicelulosas y lignina ⁴ .	La fibra soluble tiene efecto sobre las hormonas que regulan la saciedad y por ende es importante su consumo para el control del sobrepeso. Por otro lado, la fibra insoluble está relacionada con la disminución del tiempo de tránsito intestinal y, por lo tanto, el control del estreñimiento ³ .

Carbohidratos	Los carbohidratos son moléculas orgánicas compuestas por carbono, hidrógeno y oxígeno. Su estructura está compuesta por monómeros que se unen mediante enlaces covalentes para formar diferentes tipos de carbohidratos, como los monosacáridos, oligosacáridos y polisacáridos ⁵ .	Cumplen diversas funciones en los organismos vivos, siendo la principal el almacenamiento, transporte de energía y la provisión de material para las estructuras celulares ⁵ .
Cenizas	Las cenizas de los alimentos son el residuo inorgánico en forma de óxidos, sulfatos, fosfatos y cloruros, que se obtiene al quemar la materia orgánica. Sin embargo, no presenta la misma composición mineral del alimento original, debido a que se pueden producir pérdidas por volatilización o por reacciones entre sus compuestos ⁶ .	El valor obtenido de las cenizas puede ser considerado como una medida general de calidad del alimento y puede facilitar la identificación de adulteraciones o contaminaciones en los alimentos como presencia de metales en productos enlatados ⁶ .

Nota. ¹González et al., (2007). ²Ros et al., (2015). ³Vilcanqui y Vílchez, (2017). ⁴Quiroz Delgado, (2019). ⁵McKee & McKee, (2016). ⁶Márquez, (2014).

2.7 Caracterización funcional

La caracterización funcional se refiere a propiedades que permiten establecer qué tipo de productos se pueden realizar con la harina (Rodríguez, 2019). Así mismo, proporciona información acerca del comportamiento de un ingrediente específico sobre la matriz alimentaria de la misma (Guiñazú et al., 2020). Entre las propiedades se encuentran: la capacidad de gelificación, el poder de hinchamiento, la capacidad de absorción de agua/aceite y la retención de agua.

La concentración mínima de gelificación (LGC) es la concentración en la que se produce un gel que permanece en un tubo invertido sin derramarse, entre más baja sea la LGC mayor capacidad gelificante tiene el alimento, dicho valor depende del contenido de macronutrientes de la harina. La formación del gel es ocasionada por la hidratación de los gránulos de almidón, lo cual ocurre por la ruptura de la red estructural en presencia de altas temperaturas. (Dereje et al., 2020; Guiñazú et al., 2020).

La capacidad de absorción de aceite (OAC) es una propiedad en la cual el aceite es retenido mediante atracción capilar, lo que está relacionado con el carácter hidrofóbico de las

proteínas constituyentes. Esta característica es relevante en la elaboración y almacenamiento de frituras, productos cárnicos y de panadería (Aguilera, 2009). Dicha capacidad es debida a la presencia de cadenas no polares y varían dependiendo del tipo de proteínas presentes en la harina (Guiñazú et al., 2020)

El poder de hinchamiento (SP) es una de las características que describe el volumen que puede ganar un alimento en presencia de agua. Esta propiedad se desarrolla mediante la relación proteína-agua. Los alimentos con alto poder de hinchamiento son ideales para preparaciones de productos horneados (Lozano et al, 2021).

En cuando a las propiedades de hidratación, **la capacidad de retención de agua (WHC)** cuantifica la cantidad de agua que puede ser retenida por la harina sin someterla a ningún tipo de fuerza externa (Espinosa et al., 2021). Los resultados de WHC altos indican fuertes enlaces de hidrógeno de las proteínas hidrofílicas (Fernández, 2016). Por otra parte, **la capacidad de absorción de agua (WAC)** está definida como la habilidad de absorber y retener agua a una temperatura definida después de someter la muestra a una fuerza centrífuga, la cual es expresada como el agua absorbida por peso de harina seca (Espinosa et al., 2021). El aumento de la WAC está relacionado con la pérdida de la estructura cristalina del almidón, la solubilidad de la amilosa y el aumento de la lixiviación (Chandra et al., 2015).

3. Estado del arte

El proceso para producir harina de papa se presenta con las siguientes etapas metodológicas básicas: la primera permite realizar la recepción, selección y el lavado de la materia prima, para su posterior pesado, pelado y corte. Seguido de esto, la aplicación de un método de inhibición de pardeamiento enzimático y el enfriamiento para finalmente secar, triturar y tamizar el producto resultante (Alonso et al., 2014; Cerón et al., 2014).

En la Tabla 2, 3 y 4 se presentan algunos resultados de la literatura acerca de tratamientos de control, efecto de las temperaturas de secado sobre el contenido de nutrientes presentes y propiedades funcionales de harinas.

Tabla 2

Referencias de tratamientos de control del pardeamiento enzimático

Referencia	Condiciones experimentales	Resultados
García y Capezio, (2019)	Evaluación del tratamiento con ácido cítrico y ascórbico al 1% v/v para la reducción del índice de pardeamiento enzimático y el cambio de color en tres variedades de papa <i>Solanum tuberosum</i> almacenadas durante 15 días a 4 °C.	Hay diferencias significativas en el índice de pardeamiento y el cambio de color, debido a las variaciones en el contenido de fenoles totales característico de cada variedad.
Tsouvaltzis & Brecht, (2017)	Evaluaron la utilización de ácido cítrico, sulfúrico e hidróxido de sodio como tratamientos en la inhibición del pardeamiento enzimático de papa recién cortada almacenada durante 6 días a 5 °C.	Las soluciones de ácido cítrico con concentraciones $\geq 1\%$ generan la mejor inhibición ya que producen los parámetros ΔL^* , Δa^* y ΔE más bajos sin afectar el contenido de antioxidantes y la actividad de la enzima en las muestras. Además, indican que no existe diferencia significativa entre concentraciones de ácido cítrico al 1 y 2%. La inmersión en hidróxido de sodio y ácido sulfúrico no es tan eficaz como el ácido cítrico al 1 o 2%.
Arrazola-Paternina et al., (2016)	Evaluaron la actividad de la polifenol oxidasa de muestras sometidas a escaldado a 75, 80 y 85 °C con inmersión en 0,5% de ácido cítrico y 1% en ácido ascórbico durante 30, 60, 90, 120, 150 y 180 segundos, en batatas <i>Ipomoea batata</i> .	La inhibición máxima de la enzima se obtiene a condiciones de escaldado a 85 °C por 180 segundos, indicando que a medida que aumenta la temperatura de escaldado, se reduce el pardeamiento enzimático.

Tabla 3*Referencias de análisis bromatológico y temperatura de secado*

Referencia	Condiciones experimentales	Resultados
Ahmed et al., (2010)	Efecto del secado a 55, 60 y 65 °C sobre las propiedades fisicoquímicas y nutricionales de la harina de batata (tamizada a través de una malla # 80).	El contenido de grasa disminuye a medida que aumenta la temperatura de secado, lo que puede ser el resultado de la oxidación de estos. Para todas las temperaturas de secado no se obtiene diferencia significativa del contenido de humedad, ceniza, proteína, carbohidratos, fibra y almidón.
Cruz, (2018)	Efecto de la temperatura (50, 60 y 70 °C) y el espesor de las rodajas (5, 10 y 15 mm) sobre el contenido nutricional de harina de ñame (tamizada a través de una malla # 50)	Las mejores temperaturas son 50 y 70 °C. Con menores porcentajes de ceniza en 70 °C y mayor contenido de grasa y proteínas a 50 °C.

Tabla 4*Referencias propiedades funcionales*

Referencia	Condiciones experimentales	Resultados
Kusumayanti et al., (2015)	Determinación del poder de hinchamiento y la solubilidad de harina de yuca y batata blanca, morada y amarilla. Las harinas fueron producidas secando a 45 °C durante 12h, molidas y tamizadas por una malla # 80.	El poder de hinchamiento y la solubilidad registran valores de 3,40 g/g y 9,37 % para harina de batata blanca. Un menor poder de hinchamiento está relacionado con fuertes enlaces intermoleculares y un alto contenido de amilosa.
Ocaña, (2019)	Caracterización de harinas de papa de las variedades Oca, Mashua, Papa china, Achira, Z blanca, Chocho y Camote M (secadas a 60 °C por 24h). La capacidad de retención de agua se aplicó a diferentes temperaturas (50, 60, 70 y 80 °C)	La capacidad de retención de agua reportó resultados en un rango de 3,40 y 14,10%. Estas variaciones se deben al contenido de carbohidratos, fibra dietética, la interacción entre las proteínas y el agua de las muestras de harina.

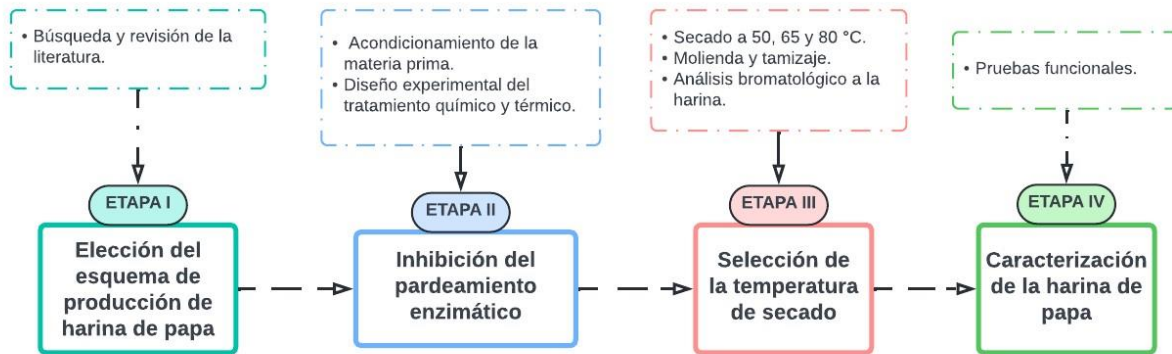
Ngoma et al., (2019)	Efecto del pretratamiento con ácido cítrico y metabisulfito de sodio en concentraciones de 5,10 y 15 %p/v durante 2 min sobre las propiedades funcionales de harina de batata <i>Ndou</i> (Secada a 70°C durante 10h y tamizada por una malla # 80)	Los tratamientos aplicados durante la producción de la harina generan cambios en propiedades funcionales como: la capacidad de absorción de agua (WAC), el poder de hinchamiento (SP), el índice de solubilidad y propiedades térmicas. La capacidad de absorción de agua se encuentra en un rango de 1,63-2,03 ml/g, la concentración mínima de gelificación en 10%(p/v), el poder de hinchamiento y la solubilidad en rangos de 6,30-8,47 y 7,20-9,6 g/ml respectivamente.
Akhila et al., (2022)	Caracterización fisicoquímica y funcional (la solubilidad y el poder de hinchamiento se evalúan en un rango de 50 a 90 °C) de la harina de papa variedad <i>Hausa</i> (secada a 40 °C por 12h y tamizada a través de una malla # 100)	Se indica una WAC y una capacidad de absorción de aceite (OAC) de 2,42 y 1,15 g/g. Además, enfatizan que estos resultados se ven influenciados de manera directa con el contenido de macronutrientes como la proteína, la fibra y la grasa. En cuanto al poder de hinchamiento y solubilidad se obtienen resultados que oscilan entre 1,93 y 5,15 g/g y entre 2 y 10,5% respectivamente
Cazzaniga et al., (2019)	Caracterización de pure de mandioca deshidratado, utilizando harina de trigo como control	Se obtuvo un OAC del 0,45 g/g y una concentración mínima de gelificación de 14%.
Chandra, (2013)	Estudio de propiedades funcionales de harina de papa	La concentración mínima de gelificación se reporta en 6%, lo cual es inferior a otras harinas como la harina de trigo (8%) y la harina de frijol mungo (18%).

4. Metodología

En la Figura 3 se observan las etapas principales y las actividades que se llevaron a cabo en la metodología.

Figura 3

Etapas metodológicas del proyecto



4.1 Etapa I

4.1.1 Búsqueda y revisión de la literatura

Se llevó a cabo una revisión bibliográfica en la base de datos disponible de la Universidad Industrial de Santander, empleando los buscadores: ScienceDirect, Web of Science, Springer, Scopus y el buscador Google Scholar. En donde, se utilizaron palabras clave como: harina de papa, pardeamiento enzimático, secado aire caliente y propiedades funcionales. La selección de información se centró en las condiciones y variables relevantes para establecer y construir el esquema de producción de la harina de papa. El rendimiento de la producción de harina se realizó en base seca y húmeda. Para el cálculo en base húmeda se dividió el peso de la harina producida entre el peso de las rodajas frescas y en base seca se dividió el peso de la harina en el peso de las rodajas secas (Alonso et al., 2014).

4.2 Etapa II

4.2.1 Acondicionamiento de materia prima

La papa utilizada pertenece a la variedad Parda Pastusa, y se obtuvo en la Central de Abastos de la ciudad de Bucaramanga, bodega número 6. Previo a su procesamiento se realizó una preselección para evitar incluir papa en mal estado. Posteriormente se lavó con abundante agua de grifo con el fin de retirar la tierra. Seguidamente, las papas se desinfectaron con una solución de ácido acético al 4% v/v durante 3 minutos (Nascimento et al., 2003). Finalmente, se retiró la cáscara con un pelador manual (*Ilko*) y se laminaron en rodajas de 2 mm de espesor con una mandolina (*Metaltex*).

4.2.2 Tratamientos de control del pardeamiento enzimático

Se evaluaron tres tratamientos para inhibir el pardeamiento enzimático en las rodajas de papa, tratamiento químico (I); tratamiento térmico (II) y tratamiento térmico-químico (III).

Para el tratamiento químico (I), se realizó un diseño factorial 2^2 con tres réplicas con el objetivo seleccionar las concentraciones del ácido cítrico y ácido ascórbico. Se prepararon soluciones patrón al 10 %p/v para cada ácido (Apéndice A), luego se mezclaron y diluyeron hasta la concentración de cada tratamiento (Tabla 5). Para cada experimento se seleccionaron 50 g de rodajas, estas se sumergieron en las soluciones durante 15 minutos con agitación manual, con una relación gramos/solución de 1:5 (Cheng et al., 2020). Finalmente, se escurrieron y se almacenaron en bolsas de polietileno durante 3 días a $4,53 \pm 0,88$ °C.

Tabla 5*Concentraciones de los tratamientos*

Tratamientos	A.A %p/v	A.C %p/v
1	0,75	0,5
2	1	1
3	1	0,5
4	0,75	1

Se empleó un colorímetro triestímulo (*Konica Minolta modelo CR-20*), para evaluar el IP y ΔE en las rodajas de manera aleatoria y se comparó con muestras de control en agua para seleccionar la concentración del tratamiento (I).

Para el tratamiento térmico (II), se seleccionaron 100 gr de rodajas de papa y se sumergieron durante 6,6 min (Malaver y Rodríguez, 2017) en 500 mL de agua destilada previamente calentada a 96 °C en un baño maría (*MEMMERT modelo WNB 14*). Luego se hizo un choque térmico a $4,64 \pm 0,74$ °C durante 30 min.

Para el tratamiento térmico- químico (III), se empleó la metodología descrita en el tratamiento (II) incorporando una solución de AA y AC a la concentración escogida en el tratamiento (I), previamente calentada a 96 °C y luego un choque térmico por 30 min.

Las rodajas tratadas se secaron en un horno de aire caliente a 65 °C durante tres horas. La variable de respuesta fue la escala de intensidad de brillo de 0 a 255 del software ImageJ.

4.3 Etapa III

Se evaluaron tres temperaturas de secado: 50, 65 y 80 °C durante 3 horas en un horno convectivo. Las láminas secas de papa se molieron en un molino de cuchillas (*COCOATOWN modelo SURYA 2J*) y se pasaron manualmente por un tamiz standard (*A.S.T.M.E-11 N° 80*), con un tamaño de abertura de 180 μm . La harina se empacó al vacío en bolsas de polietileno con una

empaquetadora (*Zhejiang Dongfeng modelo DZ-280*). La variable de respuesta fue el análisis bromatológico de la harina, el cual se solicitó como servicio al Laboratorio de Alimentos CICTA.

4.3.1 Análisis bromatológico

En la Tabla 6 se presentan los métodos de análisis y normativas de cada uno de los macro y micronutrientes correspondientes.

Tabla 6

Métodos de análisis aplicados

Parámetro	Método de análisis/Normatividad
Humedad (H)	Gravimétrico/GOMESL.01 V06 2018-07-30
Ceniza (C)	Gravimétrico/GOMECH.01 V09 2019-04-01
Grasas (G)	Gravimétrico-Soxhlet/GOMEGC.01 V06 2019-04-01
Proteína (P)	Volumétrico Kjeldahl/ GOMEPL.01 V08 2019-04-01
Fibra cruda (F)	Hidrólisis ácida y básica/GOMEFC.01 V01 2019-07-23
Carbohidratos (CT)	$CT = 100 - (\%H + \%C + \%G + \%P)$ /Numeral 11.3 Resolución 810 de 2021
Sodio	Espectroscopía de absorción atómica asistida por digestión por microondas/UNE-UN 15505:2008
Calcio	
Hierro	Espectroscopía de absorción atómica asistida por digestión por microondas/NTC-EN 14084:2021
Vitamina C	Cromatografía líquida-UVD/AOAC 2012.21

4.4 Etapa IV

4.4.1 Pruebas funcionales

4.4.1.1 Capacidad de absorción de agua (WAC) o aceite (OAC). En un tubo de centrífuga previamente pesado (m_t), se agregó un gramo de harina (m_i) y 10 mL de agua destilada (o aceite). Luego se mezcló en vortex (*BOECO VI-plus*) durante 2 minutos y se centrifugó a 4000 r min⁻¹ por 20 minutos en una centrífuga (*Thermo Scientific SL 8R*). Finalmente, se decantó el sobrenadante y se pesó nuevamente el tubo (m_s). Basándose en el aumento de peso de la muestra, se calculó la masa de agua ligada (Qiu et al., 2019).

$$WAC \text{ ó } OAC = \left[\left(\frac{m_s - m_t}{m_i} \right) - 1 \right] * 100 \quad (3)$$

4.4.1.2 Capacidad de retención de agua (WHC). Se agregaron 20/40 ml de agua destilada a probetas taradas de 25/50 ml respectivamente y se vertieron cuidadosamente 2 gramos de harina (m_i). Posteriormente, se esperó a que toda la muestra cayera al fondo sin agitarse. Transcurrido este tiempo, las muestras fueron dejadas en reposo durante 24 horas. Finalmente, se desechó cuidadosamente el sobrenadante y se pesó la harina hidratada sedimentada (m_s). (Fernández, 2016).

$$WHC = \frac{m_s}{m_i} \quad (4)$$

4.4.1.3 Solubilidad (S) y poder de hinchamiento (SP). Se pesaron 0,5 gramos de harina de papa (m_i) y se agregaron a un tubo de centrífuga previamente pesado de 15 ml. Seguidamente, se añadieron 10 ml de agua destilada a la mezcla y se procedió a agitarla usando el vortex durante 20 segundos. Posteriormente, la suspensión se sometió a un baño maría a 65 °C por un período de 30 minutos, realizando agitación cada 10 minutos. Una vez finalizado el baño de agua, se centrifugó la mezcla a 3000 rpm durante 30 minutos. Luego, se decantó el sobrenadante y se pesó

la muestra sedimentada (m_s). El sobrenadante obtenido se secó en una placa Petri previamente pesada a 90 °C hasta obtener un peso constante de sólidos disueltos (m_{sd}) (Rossel, 2019).

$$\%S = \left[\frac{m_{sd}}{m_i} \right] \quad (5)$$

$$SP = \left[\frac{m_s}{m_i - m_{sd}} \right] \quad (6)$$

4.4.1.4 Concentración mínima de gelificación (LGC). Se empleó el procedimiento descrito por Qiu et al., (2019) con algunas modificaciones. Se prepararon 5 suspensiones de harina a concentraciones de 6 a 8 %p/v (variando 0,5%) en tubos falcón con 5 ml de agua destilada. Dichas muestras, se mezclaron con un vortex por 20 segundos asegurándose que la harina se disolviera totalmente. Posteriormente, se calentaron en un baño de agua hirviendo durante 1 hora, y se enfriaron con agua de grifo para finalmente almacenarlas durante 2 horas a 4 °C. La concentración mínima de gelificación fue en la que no se deslizó la suspensión de harina con los tubos puestos de manera invertida.

4.5 Análisis estadístico

Mediante el software estadístico MINITAB, se realizó el análisis de varianza ANOVA para identificar las diferencias significativas entre medias. Así mismo, se utilizó el método de comparaciones TUKEY con un valor de significancia de $P < 0,05$.

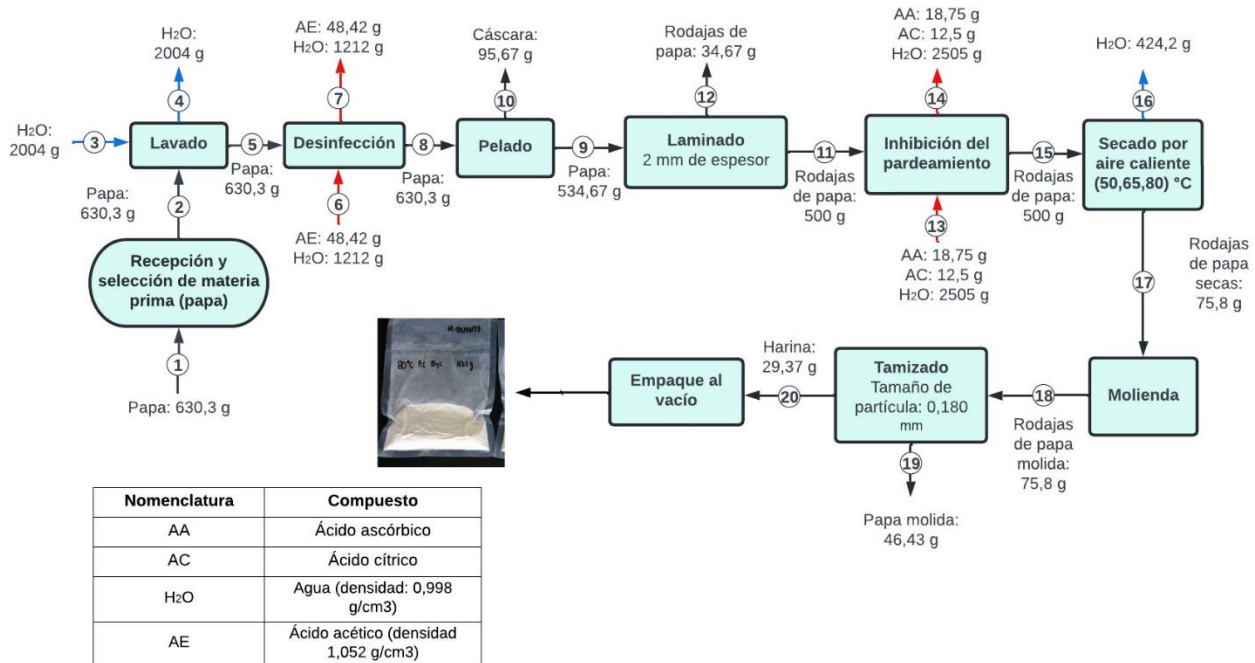
5. Resultados

5.1 Elección del esquema de producción de la harina

Se implementó un diagrama de proceso con las siguientes operaciones básicas: recepción y selección de la materia prima, lavado, desinfección, pelado, laminado, aplicación de tratamientos de inhibición del pardeamiento enzimático, secado, molienda, tamizado y empaçado (Figura 4).

Figura 4

Diagrama de producción para harina de papa



Nota. El esquema se realizó con base en la producción de harina seca a 50 °C.

Se desarrolló un balance de todas las corrientes del proceso, para procesar 500 gramos de rodajas de papa (corriente 15). Para ello, se realizó un promedio de tres lotes de producción de harina a 50 °C con el fin de establecer las cantidades empleadas de papa, de reactivos y de agua (Figura 4)

El rendimiento del proceso a 50 °C obtenido en base húmeda fue de $6 \pm 1\%$ y el rendimiento en base seca fue de $41 \pm 6\%$. Para harina de papa con variedades granola y provento originarias de Nicaragua se obtuvieron rendimientos en base seca de 58,5% y 56,5% (Alonso et al., 2014). Esta diferencia puede deberse a pérdidas durante el procesamiento, el contenido de materia seca y humedad característico de la variedad de papa y el proceso de cultivo.

Existen variables que afectan el rendimiento tales como: el secado no uniforme de las rodajas en el horno, ya que genera partes humedecidas que no se molerán de forma correcta y uniforme. El proceso de molienda es una etapa que influye en el rendimiento, ya que el tamaño de las cuchillas del molino no permite moler la totalidad de las muestras secas, generando pérdidas significativas (lo cual se evidencia en la corriente 19 del diagrama de proceso, donde el 38,7% de la papa molida pasa por el tamiz con tamaño de apertura de 180 micras y lo demás se descarta).

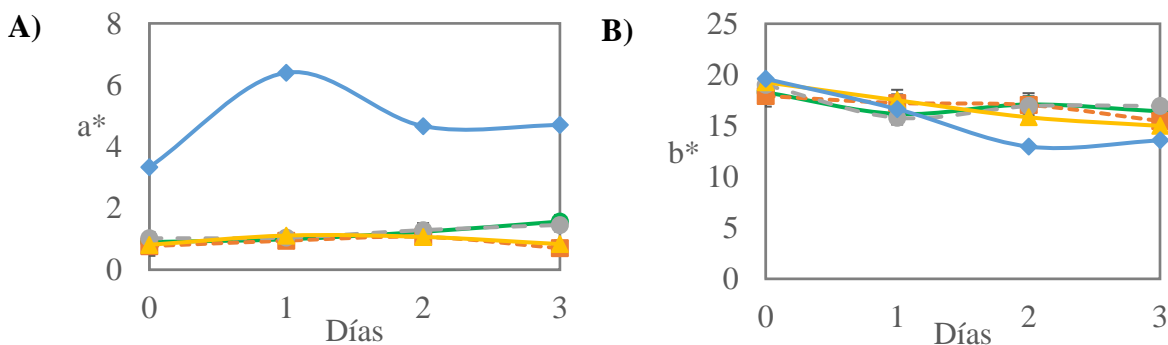
5.2 Inhibición del pardeamiento enzimático

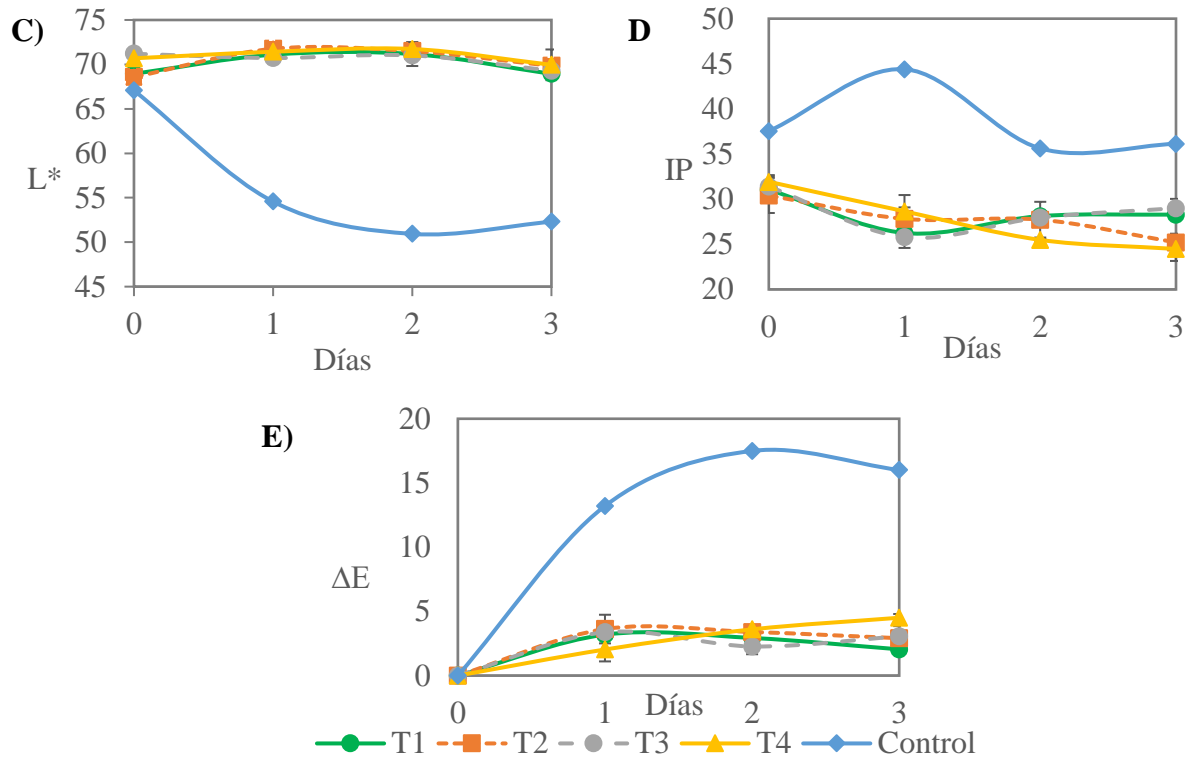
5.2.1 Diseño factorial 2² de ácido ascórbico y cítrico

En la Figura 5 se evidencia que la utilización de tratamientos tiene influencia en la luminosidad de la superficie, ya que en contraste con el control (agua), las muestras tratadas presentan valores más altos y mantienen la luminosidad inicial durante todo el almacenamiento. Por otro lado, se puede observar que el parámetro a* registra valores inferiores en todos los tratamientos en comparación con el control. Un aumento en a* (verde-rojo) y una disminución en L* se relaciona con el incremento del pardeamiento enzimático (Denoya et al., 2012). Por consiguiente, el IP obtenido por las muestras tratadas es más bajo que el control.

Figura 5

Coordenadas de color L, a*, b*, parámetros IP y ΔE en función del tiempo de almacenamiento*





Nota. El gráfico representa el comportamiento de las rodajas de papa durante 3 días de almacenamiento. T1: 0,75% AA y 0,5% AC p/v; T2: 1% AA y 1% AC p/v; T3: 1% AA y 0,5% AC p/v; T4: 0,75% AA y 1% AC p/v.

En el tercer día de almacenamiento el T4 y T2 generaron los IP y a^* más bajos, lo cual puede ser el efecto de la mayor concentración de AC (1%) que se encuentra presente en ambos tratamientos. El IP de las variedades de papa Spunta y Newen originarias de Argentina, tratadas con ácido cítrico y ascórbico (1%p/v), oscila entre 30 y 38 durante 5 días de almacenamiento (García y Capezio, 2019). En el presente estudio se obtiene IP en rangos más bajos (24,5 a 31) en todos los tratamientos, dicha diferencia puede ser el resultado de la variedad y el contenido de polifenoles característico de la misma.

Con respecto al parámetro b^* , no se evidencia diferencia entre el control y los tratamientos. Por lo tanto, es posible concluir que no tiene un efecto importante sobre el IP.

El cambio de color se considera perceptible en rangos de 3 a 6 y fuertemente perceptible de 6 a 12 (Vallverdú, 2018). Por lo tanto, las muestras de control presentan cambios de color fuertemente apreciables durante el periodo de almacenamiento.

El análisis de Tukey (IC del 95%) muestra que al comparar los tratamientos no hay diferencia significativa entre ellos hasta el segundo día de almacenamiento (Apéndice B).

Durante el tercer día de almacenamiento, se determinó que el T4 y T2 generaron las menores medias del IP (24,5 y 25,2 respectivamente) y T4 presenta diferencia significativa con los tratamientos T1 y T3 ($p < 0,05$). Sin embargo, teniendo en consideración que las muestras durante el procesamiento podrían requerir almacenamiento en un plazo no mayor a dos días y en este intervalo de tiempo no hubo diferencias significativas entre tratamientos, se seleccionó el tratamiento T1 ya que tiene la menor concentración de reactivos y por ende un menor costo.

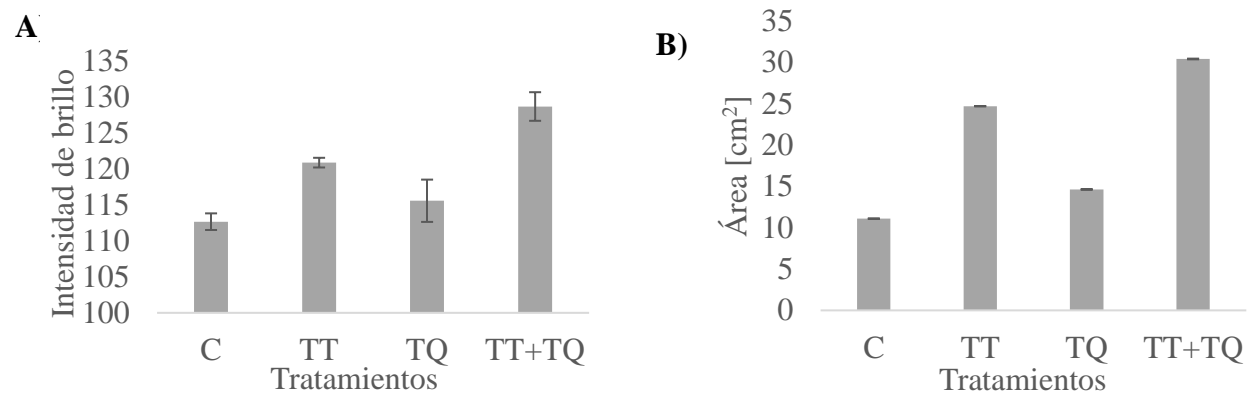
5.2.2 Evaluación del escaldado

Mediante el software ImageJ se generaron histogramas de intensidad de brillo y contraste (blanco y negro) de las rodajas de papa sometidas a tres tratamientos y control, en donde se destaca el tratamiento térmico-químico (III) con la intensidad de brillo más alta (es decir más cercano al blanco) (Figura 6.A). A través del análisis estadístico de comparación de medias (Tukey) se obtuvo que el tratamiento (III) presenta diferencias significativas con los demás (Apéndice B). Por lo tanto, dicho tratamiento es seleccionado ya que permite producir una harina más clara. En otro estudio, se evaluó el efecto del escaldado con AA y AC al 1 y 0,5% respectivamente, encontrando que a una temperatura de escaldado de 85 °C por 3 minutos se alcanza una inactivación del 86,8%, mientras que a 75 °C se alcanza una reducción del 82,2% en la actividad de la enzima polifenol oxidasa en batata (Arrazola-Paternina et al., 2016). Lo anterior evidencia que se puede obtener una inactivación alta de la enzima con la implementación de tratamientos térmico-químicos.

Por otro lado, con el objetivo de establecer diferencias acerca del efecto de los tratamientos, se determinó el área de las muestras (Figura 6.B).

Figura 6

Intensidad de brillo y área de las muestras para cada tratamiento



Nota. C: control, TT: Tratamiento térmico, TQ: Tratamiento químico, TT+TQ: Tratamiento térmico-químico.

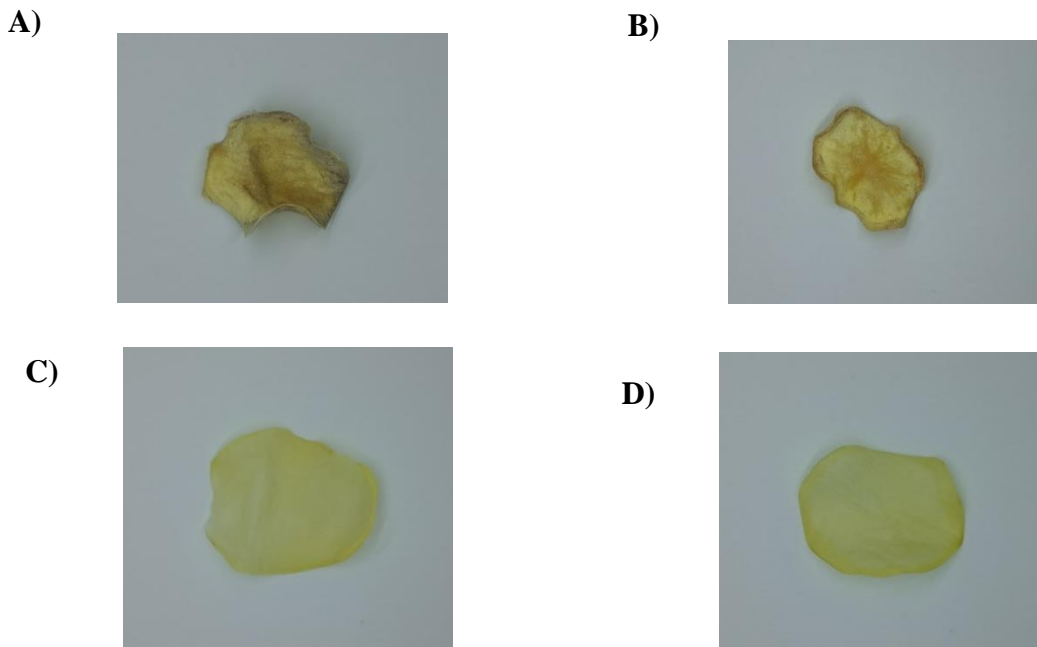
Incluir el proceso de escaldado además de reducir el pardeamiento de las rodajas de papa secas en un horno de aire caliente, permite mejorar las condiciones físicas y colorimétricas de las muestras (Figura 6). Someter las muestras a escaldado de 96 °C genera que el almidón se gelatinice (ya que es una temperatura mayor a 65 °C), y se degrade la pared celular del mismo lo que produce mayor absorción de agua e hinchamiento (Flores & Ruiz, 2012). Además, en la Figura 7 se puede observar que las muestras escaldadas, presentan un color uniforme, lo cual es debido a que la temperatura puede romper la pared celular e intensificar la presencia de carotenoides, los cuales son los compuestos responsables de la tonalidad amarilla de las rodajas (Sahoo et al., 2022).

Por otro lado, se evidencia que las muestras sin escaldar presentan mayor reducción del área de estas (Figura 7.B), lo cual puede ser debido a que el tratamiento térmico afecta la tasa de eliminación de humedad durante el secado en las rodajas (Pimpaporn et al., 2007). La gelatinización del almidón generada por efecto del escaldado conduce a una mayor resistencia a la

transferencia de masa y calor de las muestras durante el secado, lo cual afecta la migración de la humedad ya que se produce disminución de la porosidad y la contracción paulatina de las rodajas (Sahoo et al., 2022). Estudios evalúan el efecto de pretratamientos como escaldado e inmersión en metabisulfito de sodio al 0,5% sobre el secado al aire caliente de rodajas de ñame, los resultados señalaron que las muestras escaldadas mostraron menores velocidades de secado y difusividad de la humedad que el control y las tratadas con metabisulfito de sodio (Falade et al., 2007). Por lo tanto, escaldar las muestras implica una menor contracción del área de estas por la disminución gradual y lenta de la humedad.

Figura 7

Rodajas de papa analizadas con el software ImageJ



Nota. A) Muestra de control. B) Tratamiento químico (I). C) Tratamiento térmico químico (III). D) Tratamiento térmico (II).

5.3 Selección de la temperatura de secado

En la Tabla 7 se presentan los resultados de caracterización de macronutrientes y micronutrientes presentes en la papa variedad parda pastusa con cáscara utilizada en el proyecto.

Tabla 7

Análisis bromatológico y micronutrientes de papa cruda variedad parda pastusa.

Variable	Papa cruda	Unidad
Humedad	81,39	g/100g muestra
Proteína	2,65	g/100g muestra
Ceniza	0,84	g/100g muestra
Grasa	N.D*	g/100g muestra
Fibra cruda	0,34	g/100g muestra
Carbohidratos totales	15,12	g/100g muestra
Calcio	2,60	mg/100g muestra
Hierro	0,79	mg/100g muestra
Vitamina C	N.D	mg/100g muestra

Nota. N.D, no detectado.

Para papa pastusa con cáscara, en la literatura se registra 2,1% de proteína, 77,7% de humedad, 17,1% de carbohidratos totales, 1,1% de ceniza, 1,8% de fibra, 0,8 mg de hierro, 12 mg de calcio y 20 mg de vitamina C, por 100 g de muestra (ICBF, 2018). Algunos resultados presentan diferencias con los reportados en la literatura, lo cual puede ser el resultado de diferentes prácticas de cultivo, clima variante e incluso la ubicación de la parcela (Alonso et al., 2014).

En la Tabla 8, se presenta el análisis bromatológico de la harina de papa con el valor promedio y su desviación estándar para cada temperatura. El contenido de humedad disminuye a medida que la temperatura de secado aumenta, con un 9,65%, 5,80% y 4,22% para 50, 65 y 80 °C respectivamente. Estos valores de humedad se encuentran por debajo del máximo establecido en el Codex alimentarius (15,5% p/p) para harina de trigo, la NTC 267 (14,5% p/p) y la NTP 011.810 (12% p/p) (Standard For Wheat Flour, 2021; Harina de trigo, 2017; Harina de papa, 2021).

Tabla 8

Contenido de macronutrientes (g/100g %) en base húmeda de la harina de papa secada a 50, 65 y 80 °C.

T [°C]	Humedad	Ceniza	Grasa	Proteína	Carbohidratos	Fibra cruda
50	9,63 ± 1,06	0,51 ± 0,08	0,43 ± 0,11	4,40 ± 0,44	85,04 ± 1,69	N.D
65	5,80 ± 0,60	0,59 ± 0,02	0,51 ± 0,14	4,70 ± 0,10	88,42 ± 0,62	N.D
80	4,22 ± 0,60	0,51 ± 0,03	0,48 ± 0,14	4,80 ± 0,49	90,01 ± 1,25	N.D

Nota. N.D, no detectado.

Para las harinas de papa originarias de Nicaragua variedades provento y granola se reporta un porcentaje de grasa de 0,53% y 0,6% respectivamente, que es similar al obtenido en este estudio (0,43 a 0,51%). Obtener valores bajos de grasa son favorables e inciden en la no rancidez de la harina (Alonso et al., 2014).

En estudios previos sobre harina de papa Parda Pastusa se reporta un porcentaje de proteína del 7,4% (Cerón et al., 2014), el cual es superior al alcanzado en este estudio. Sin embargo, en harina de papa Hausa se indican un valor de 4,8%, similar al rango alcanzado en este estudio (4,4-4,8%) (Akhila et al., 2022). Estas diferencias pueden ser el resultado de las condiciones a las que estuvo sujeto el cultivo de la papa utilizada como materia prima. Un factor como la disponibilidad de agua en los cultivos influye en el contenido de proteínas totales (Quintana Rodríguez, 2018).

Las cenizas cuantifican el contenido de minerales y material inorgánico resultante de la oxidación completa de los alimentos, en este sentido, también son un indicador de la funcionalidad del alimento. Es conveniente tener contenidos bajos de ceniza ya que son compuestos que no tienen aporte energético en el organismo (Márquez, 2014). Los resultados obtenidos de cenizas en las

muestras (0,51-0,59% g/100 g) se encuentran por debajo de los límites establecidos en la NTC 267 para harina de trigo (1%) y de la NTP para harina de papa (3%) (Harina de trigo, 2017; Harina de papa, 2021).

Los carbohidratos totales para harina de papa común son de 83,6% y el contenido de hierro que se reporta es de 1,4 (mg/100 g de harina) (ICBF, 2018). Lo anterior, es similar al contenido de carbohidratos y hierro reportado en este trabajo. La fibra cruda corresponde en su mayor parte al contenido de celulosa y lignina, las otras sustancias presentes como gomas, mucilagos, hemicelulosa se eliminan en el proceso de cuantificación de fibra cruda o bruta ya que este método se realiza en presencia de bases y ácidos fuertes. También se producen pérdidas de alrededor del 30 al 50% de celulosa y 70 a 80% de hemicelulosa. Por lo tanto, la fibra dietética (fibra insoluble y soluble) es hasta 6 veces mayor que la fibra cruda (Balladares Moyano, 2018). Teniendo en cuenta lo anterior, es posible concluir que la harina de papa procesada no tiene contenido de fibra insoluble, dado que no se detectó fibra cruda en ninguna de las muestras analizadas secadas a diferentes temperaturas, lo cual cumple con la NTP 011.810 para harina de papa (máximo 2% fibra bruta) (Harina de papa, 2021).

Para harina de papa común el contenido de calcio es de 65 (mg/100 g muestra) (ICBF, 2018), este es superior al valor promedio de calcio en las muestras analizadas que fue de 23,6 (mg/100 g muestra), lo que podría deberse al proceso de escaldado, ya que se produce una disminución del contenido de minerales por solubilización en el agua, con pérdidas de hierro, potasio, calcio y zinc debido a la ruptura del almidón (Landeta et al., 2017).

Las harinas analizadas presentan un alto contenido de Vitamina C, sin embargo, este valor puede estar afectado por el uso de ácido ascórbico en la fase del tratamiento químico, ya que es

probable que queden residuos en la superficie de las muestras, lo cual aumenta el contenido de vitamina C en la harina resultante.

En cuanto al contenido de hierro se obtuvieron valores entre 1,03% y 1,13% mg/100 g, los cuales son inferiores a los hallados en otro estudio de harina de papa china con valores entre 1,36% y 20,98% mg/100 g. El hierro presente en las muestras de harina está sujeto a las condiciones climáticas del lugar donde es cultivada la papa (Castro Hinajosa, 2022).

Con el objetivo de determinar diferencias en los resultados entre las temperaturas, se llevó a cabo un análisis estadístico de macronutrientes en base seca y húmeda de los tratamientos evaluados, obteniendo que no hay diferencia en el contenido de macronutrientes en base seca y húmeda ($p > 0,05$) para las harinas secadas a las temperaturas evaluadas. Por lo tanto, se reportan medias generales del contenido de macronutrientes de la harina de papa (Tabla 9). Para harinas de camote secadas a temperaturas similares a las evaluadas en este estudio (55 y 65 °C) también se reporta que no hay diferencia significativa del contenido de proteína, grasa, carbohidratos y ceniza (Ahmed et al., 2010).

Por otro lado, se realizó un análisis de varianza con respecto al contenido de humedad de las muestras y se obtuvo diferencia significativa entre 80 y 50 °C.

Tabla 9

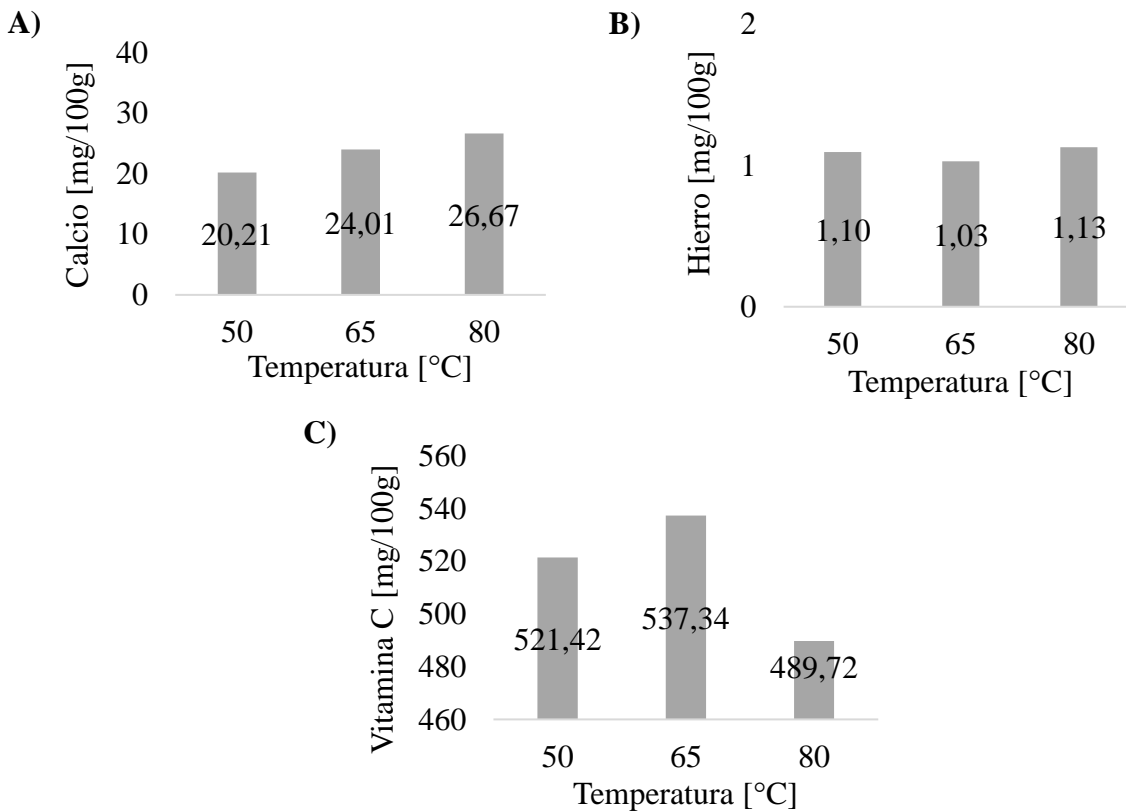
Contenido de macronutrientes presentes en la harina de papa, promedio más desviación estándar.

Macronutrientes	Promedio + desviación
Ceniza	0,54 ± 0,06
Grasa	0,47 ± 0,13
Proteína	4,63 ± 0,42
Carbohidratos	87,82 ± 2,43

De manera análoga al contenido de macronutrientes, en la Figura 8 se observa que no hay diferencia significativa en el contenido de micronutrientes de la harina para las temperaturas de secado evaluadas.

Figura 8

Diagrama de barras del contenido de micronutrientes en harina de papa secada a 50,65 y 80 °C.



Por lo tanto, pese a que se identifica variación significativa en el contenido de humedad de las muestras secadas a 80 y 50 °C, se establece que todas cumplen el criterio de humedad indicado en el Codex alimentarius para harina de trigo (inferior a 15,5% p/p), la NTC 267 (inferior al 14,5% p/p) y la NTP 011.810 (12% p/p) (Standard For Wheat Flour, 2021; Harina de trigo, 2017; Harina de papa, 2021), por ende, se selecciona 50 °C ya que es la que requiere menor costo energético .

5.4 Caracterización de la harina de papa

En la Tabla 10 se encuentran los resultados de las propiedades funcionales evaluadas, junto con sus medias, desviaciones estándar y coeficientes de variación.

Tabla 10

Propiedades funcionales

		CV [%]
% Absorción de agua (WAC) [g/g]	632,1 ± 13	2,1
% Absorción de aceite (OAC) [g/g]	102 ± 4	3,5
% Solubilidad (S) [g/g]	15,5 ± 2	11,9
Poder de hinchamiento (SP) [g/g]	13,2 ± 1	5,4
% Concentración mínima de gelificación (LGC) [g/ml]	7	-

Nota. La WAC, OAC, S y SP se presentan con sus medias y desviaciones estándar.

El porcentaje de solubilidad (S) obtenido es similar en harina de papa amarilla Tumbay secada a 50 °C, donde se alcanza un valor de $15,8 \pm 0,5\%$ (Rossel, 2019). En cuanto al poder de hinchamiento (SP), se reporta para harina de yuca un SP de 13,8 g/g, semejante al obtenido en este estudio para harina de papa ($13,2 \pm 1$). Así mismo, indican el SP en harina de batata morada, amarilla y blanca en 3,7, 3,6 y 3,4 respectivamente (Kusumayanti et al., 2015). Dicha diferencia en las variedades de tubérculos, puede ser el resultado de diferentes fuerzas de unión de los gránulos de almidón, específicamente una mayor fuerza de unión produce mayor resistencia de interacción con el agua, es decir un menor SP (Rossel, 2019). La solubilidad y el poder de hinchamiento se relacionan con la interacción entre las cadenas de almidón, específicamente de las secciones amorfas y cristalinas, las cuales son afectadas por la relación amilosa/amilopectina; un mayor %S y SP puede ser el efecto de un alto contenido de grupos fosfato de amilopectina lo que genera mayor hidratación por debilitamiento de los enlaces del almidón (Sandoval et al., 2012).

Para harina del tubérculo Malanga se reportó una capacidad de absorción de agua de 178%, lo cual es inferior al alcanzado en este estudio ($632,1 \pm 13\%$) (Miranda R et al., 2011). Por otro lado, se encontró un WAC para harina de papa de 752%, el cual es similar al determinado en este estudio (Chandra, 2013). Dicha diferencia en estos resultados radica en el contenido de carbohidratos y proteínas presentes de las harinas, específicamente la mayor proporción de amilopectina, el incremento de la solubilidad y la lixiviación de amilosa se relaciona con mayor capacidad de absorción e hinchamiento de los gránulos de almidón. Una alta WAC sugiere su aplicación en la formulación de productos como embutidos, quesos, y de panadería. Además, son adecuadas para el mejoramiento del rendimiento, la consistencia y permiten darle cuerpo al alimento (Dereje et al., 2020; Miranda R et al., 2011; Ngoma et al., 2019).

Para muestras de harina de batata de pulpa naranja pretratada con escaldado, se reporta una capacidad de absorción de aceite (OAC) de 106,7%, lo cual es similar a lo obtenido en el presente estudio (Akinjide Olubunmi et al., 2017). Sin embargo, para harinas de variedades rojas y blancas de batata se reportan OAC en un rango de 9-12% (Osundahunsi et al., 2003). Una alta OAC corresponde a la hidrofobicidad característica de las proteínas, y el alto contenido de algunos macronutrientes (fibra, grasa, y proteínas) (Akhila et al., 2022). De acuerdo con lo anterior, debido a su alto OAC (Tabla 10) la harina de papa parda pastusa obtenida puede ser útil para la formulación de salsas y productos de panadería (Dereje et al., 2020).

La LGC obtenida (7%) es cercana al 6% reportado para harina de papa y plátano (Chandra, 2013; Akubor et al., 2004). En contraste con lo anterior, para otros tipos de harina como la de trigo se señalan una LGC de 16% (Cazzaniga et al., 2019). Los diferentes resultados de LGC se deben a la variación de la concentración de proteína, específicamente de la fracción de globulina presente y la interacción entre macronutrientes (proteínas, carbohidratos y lípidos) (Ngoma et al., 2019).

Una menor LGC está relacionada con una mejor capacidad de gelificación, además, valores bajos muestran que el almidón constituyente tiene mayor porosidad y por lo tanto permite mayor absorción de agua (Villar L et al., 2021). En este sentido, la harina de papa parda pastusa producida genera LGC bajos, lo que permite concluir que puede ser usada como agente espesante en la elaboración de salsas y pudines (Akubor et al., 2004).

En la Tabla 11 se puede evidenciar que altas concentraciones de harina producen mayores WHC. Para muestras de harina de trigo sarraceno polaco se reporta una capacidad de retención de agua de 2,82, la cual es similar a la obtenida en este estudio. Así mismo, este resultado está ligado al contenido de proteína, específicamente de la naturaleza hidrofílica y del tamaño de partícula presente en las harinas (Fernández, 2016).

Tabla 11

Capacidad de retención de agua

Propiedad	Concentración [p/v]	Media y desviación estándar	CV [%]
Capacidad de retención de agua (WHC) [g/g]	10%	10,9 ± 0,2	2,1
	5%	2,9 ± 0,3	10,5

6. Conclusiones

Se estableció un esquema de producción de harina de papa a escala laboratorio con rendimientos coherentes de acuerdo con las restricciones de equipos y el contenido de materia seca de la papa parda pastusa.

En cuanto a la inhibición del pardeamiento enzimático, se determinó que la combinación de escaldado en una solución de ácido cítrico (AC) y ascórbico (AA) (0,75% y 0,5% de AA y AC respectivamente) permite generar rodajas de papa parda pastusa deshidratadas con la menor

formación de pigmentos oscuros sobre la superficie de estas. Además, se encontró que el escaldado como tratamiento previo al secado genera menor contracción del área de las muestras.

No se presentaron diferencias significativas en el contenido de macro y micronutrientes de la harina para el secado a 50, 65 y 80 °C.

El contenido de humedad, cenizas, el tamaño de partícula y las prácticas de manufactura aplicadas cumplen con los estándares de calidad establecidos por el Codex alimentarius, la Norma técnica colombiana 267 para harina de trigo, y la Norma técnica peruana 011.810 para harina de papa. Sin embargo, la proteína presente es inferior a la reportada por la normativa del Codex alimentarius (esto teniendo en consideración que es otro tipo de alimento).

La harina de papa parda pastusa elaborada podría ser útil en la formulación de embutidos, salsas y productos de panadería.

7. Recomendaciones

Para garantizar que la harina esté libre de contaminantes y que los microorganismos presentes estén en el nivel permitido, se recomienda implementar un análisis microbiológico.

Por otra parte, el tamiz empleado en este trabajo (180 micras) tiene una abertura inferior a la recomendada por la norma NTC 267 (212 micras) y la NTP 011.810 (harina fina 600 micras), por lo cual se reduce el rendimiento en la producción de harina por pérdidas de material, se recomienda emplear el tamiz adecuado.

Referencias bibliográficas

- Aguilera, Y. (2009). *Harinas de leguminosas deshidratadas: Caracterización Nutricional y Valoración de sus Propiedades Tecno-Funcionales*. Universidad Autónoma de Madrid .
- Ahmed, M., Akter, M. S., & Eun, J. B. (2010). Peeling, drying temperatures, and sulphite-treatment affect physicochemical properties and nutritional quality of sweet potato flour. *Food Chemistry*, *121*(1), 112–118. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.12.015>
- Akhila, P. P., Sunooj, K. V., Aaliya, B., Navaf, M., Sudheesh, C., Yadav, D. N., Khan, M. A., Mir, S. A., & George, J. (2022). Morphological, physicochemical, functional, pasting, thermal properties and digestibility of hausa potato (*Plectranthus rotundifolius*) flour and starch. *Applied Food Research*, *2*(2). <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100193>
- Akinjide Olubunmi, A., Oyeyemi Abraham, I., Abigail Mojirade, L., Basirat Afolake, O., & Emmanuel Kehinde, O. (2017). Development, Evaluation and Sensory Quality of Orange Fleshed Sweet Potato (*Ipomoea batatas* Lam) Extruded Pasta Products. *Croatian Journal of Food Technology, Biotechnology*, *12*(1–2), 83–89.
- Akubor, P. I., Adamolekun, O., Oba, C. A., Obari, H., & Abudu, I. O. (2004). Chemical Composition and Functional Properties of Cowpea and Plantain Flour Blends for Cookie Production. *Plant Foods for Human Nutrition*, *58*, 1–9.
- Alianza CIAT-Bioversity. (2020). *Cadenas sostenibles ante un clima cambiante La papa en Colombia*.
- Alonso, J., García-Jarquín, K. Z., González-Lindo, K., & Benavente, M. (2014). Producción de harina de papa para puré instantáneo. *Nexo Revista Científica*, *27*(2), 99–114. <https://doi.org/10.5377/nexo.v27i2.1946>

- Arrazola-Paternina, G., Alvis-Bermúdez, A., & García-Mogollon, C. (2016). Efecto del tratamiento de escaldado sobre la actividad enzimática de la polifenoloxidasas en dos variedades de batata (*Ipomoea batatas* Lam.). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, *10*(1). <https://doi.org/10.17584/rcch.2016v10i1.5125>
- Balladares Moyano, V. P. (2018). *Evaluación del contenido de antocianinas y micronutrientes (hierro, magnesio y calcio) en papas nativas (Solanum andigena) enteras y peladas de las variedades Puca Shungo, Yana Shungo y Yema de huevo*. Universidad Técnica de Ambato.
- Bao, H., Zhou, J., Yu, J., & Wang, S. (2021). Effect of drying methods on properties of potato flour and noodles made with potato flour. *Foods*, *10*(5). <https://doi.org/10.3390/foods10051115>
- Bello, J. (2000). *Ciencia bromatológica, principios generales de los alimentos*.
- Bobo-García, G., Arroqui, C., Merino, G., & Vírseda, P. (2020). Antibrowning Compounds for Minimally Processed Potatoes: A Review. En *Food Reviews International* (Vol. 36, Número 5, pp. 529–546). Taylor and Francis Inc. <https://doi.org/10.1080/87559129.2019.1650761>
- Burga, K. M. (2021). *Estudio Comparativo de dos métodos de inactivación de Polifenol oxidasa en rodajas de Yacón (Smallanthus Sonchifolius)*'' [Tesis para optar por el título profesional de Ingeniera Agroindustrial]. Universidad Nacional Autónoma de Chota.
- Caraballo, R. (2018). *Introducción al programa ImageJ*.
- Castro Hinajosa, G. A. (2022). *Caracterización de la harina de papa china (Colocasia esculenta) para su utilización en la industria de panificación*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Cazzaniga, A., Hase, S., Brousse, M., & Linares R, A. (2019, noviembre 22). *Caracterización Fisicoquímica y funcional de puré deshidratado de Mandioca (Manihot Esculenta)*.

- Cerón, A. F., Bucheli, M. A., & Osorio, O. (2014). Elaboración de galletas a base de harina de papa de la variedad Parda Pastusa (*Solanum tuberosum* L.). *Acta agronómica*, 63(2), 101–109.
- Cerrón, S. A., & Junchaya, J. A. (2019). *Influencia de la temperatura del aire en la velocidad de secado de quinua germinada en un secador de bandejas* [Universidad Nacional del Centro del Perú]. <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/5682>
- Chaman, Y. (2022). *Propiedades funcionales y compuestos bioactivos de la harina de papa nativa(Solanum tuberosum)*. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.
- Chandra, S. (2013). Assessment of functional properties of different flours. *African Journal of Agricultural Research*, 8(38), 4849–4852. <https://doi.org/10.5897/AJAR2013.6905>
- Chandra, S., Singh, S., & Kumari, D. (2015). Evaluation of functional properties of composite flours and sensorial attributes of composite flour biscuits. *Journal of Food Science and Technology*, 52(6), 3681–3688. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1427-2>
- Cheng, D., Wang, G., Tang, J., Yao, C., Li, P., Song, Q., & Wang, C. (2020). Inhibitory effect of chlorogenic acid on polyphenol oxidase and browning of fresh-cut potatoes. *Postharvest Biology and Technology*, 168. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111282>
- Cruz, F. (2018). *Temperatura y espesor de rodajas, para secar ñame blanco (Dioscorea trifida) y producir harina*. Universidad Nacional de Jaén.
- Delgado, R., & Hurtado, G. (2019). *Efecto del ácido cítrico y ascórbico para reducir la actividad de la polifenoloxidasas en pulpa de níspero (Eriobotrya japonica)*. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- Denoya, G. I., Ardanaz, M., Sancho, A. M., Benítez, C. E., González, C., & Guidi, S. (2012). Efecto de la aplicación de tratamientos combinados de aditivos sobre la inhibición del

- pardeamiento enzimático en manzanas cv. Granny Smith mínimamente procesadas. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 38(3), 263–267.
- Dereje, B., Girma, A., Mamo, D., & Chalchisa, T. (2020). Functional properties of sweet potato flour and its role in product development: a review. En *International Journal of Food Properties* (Vol. 23, Número 1, pp. 1639–1662). Bellwether Publishing, Ltd. <https://doi.org/10.1080/10942912.2020.1818776>
- Dirección de Cadenas Agrícolas y Forestales. (2021). *Cadena de la papa*.
- Dongyu, Q. (2022). Duplicar la producción mundial de papa en 10 años es posible. *XI Congreso Mundial de la Papa*. <https://www.fao.org/newsroom/detail/doubling-global-potato-production-in-10-years-is-possible/es>
- Espinosa, J., Rodríguez, A., De la Rosa, J., Heredia, E., Pérez, E., & Serna, S. O. (2021). Shear-induced enhancement of technofunctional properties of whole grain flours through extrusion. *Food Hydrocolloids*, 111. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106400>
- Falade, K. O., Olurin, T. O., Ike, E. A., & Aworh, O. C. (2007). Effect of pretreatment and temperature on air-drying of *Dioscorea alata* and *Dioscorea rotundata* slices. *Journal of Food Engineering*, 80(4), 1002–1010. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.06.034>
- Federación Colombiana de Productores de Papa FEDEPAPA, & Fondo Nacional de Fomento de Papa FNFP. (2023). *Boletín Quincenal #161 Volumen 8*.
- Fernández, N. (2016). *Propiedades funcionales y químicas de harinas de distintas variedades de trigo sarraceno y tef*. Universidad de Valladolid.
- Flores, A., & Ruiz, N. (2012). *Efecto del escaldado sobre indicadores de calidad de papa criolla (Solanum phureja) liofilizada*. Universidad del Valle.

- Food and Agriculture Organization of the United Nations FAO. (2023). *FAOSTAT: Crops and livestock products*. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL/visualize>
- Standard For Wheat Flour, Codex Alimentarius (2021).
- García, L., & Capezio, S. (2019). Utilización de antioxidantes en papa (*Solanum tuberosum* L) mínimamente procesada. *Revista Latinoamericana de la Papa*, 23(2), 23–38. <http://ojs.papaslatinas.org/index.php/rev-alap/index>
- González, L., Téllez, A., Sampedro, J., & Nájera, H. (2007). *Las proteínas en la nutrición*.
- González Salcedo, L. O. (2021). *Alternativas de aprovechamiento de los residuos en la agroindustria* (T. S. Yumbra Ruiz, Ed.; Primera edición). Editorial Universidad Nacional de Colombia.
- Guiñazú, C., Sorolla, A. M. A., & Martín, M. E. (2020). *Harinas sin gluten de origen vegetal para el desarrollo de productos alimentarios. Aplicaciones, propiedades nutricionales y características*. Universitat Politècnica de València .
- ICBF. (2018). *Tabla de composición de alimentos Colombianos*.
- Kusumayanti, H., Handayani, N. A., & Santosa, H. (2015). Swelling Power and Water Solubility of Cassava and Sweet Potatoes Flour. *Procedia Environmental Sciences*, 23, 164–167. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.01.025>
- Landeta, M. C., Pighín, A. F., & Gómez, G. A. (2017). Contenido de minerales en papas crudas, procesadas industrialmente y cocidas por diferentes métodos. *DIAETA (B.Aires)*, 17–24.
- Malaver, J. F., & Rodríguez, S. J. (2017). *Optimización de las condiciones de extracción de Polifenoles a partir de la Batata (*Ipomoea batatas* Lam) y ajuste de los parámetros cinéticos*. [Universidad Industrial de Santander].

http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/pags/cat/popup/pa_detalle_matbib.jsp?parametros=179829|%20|1|1

Márquez, B. (2014). “Cenizas y grasas” “Teoría del muestreo” “Refrigeración y congelación de alimentos: Terminología, definiciones y explicaciones”. Universidad Nacional de San Agustín.

McKee, T., & McKee, J. R. (2016). *Bioquímica. Las bases moleculares de la vida, 5e* (J. Fraga, N. García, & J. Gonzáles, Eds.; McGraw-Hill).

Mendoza, R., & Herrera, A. O. (2012). Cinética de Inactivación de la Enzima Peroxidasa, Color y Textura en Papa Criolla (*Solanum tuberosum* Grupo phureja) sometida a tres Condiciones de Escaldado. *Informacion Tecnologica*, 23(4), 73–82. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642012000400009>

Miranda R, J., Rivadeneyra R, J. M., Ramirez R, J., Juárez B, J. M., Herrera T, E., Navarro C, R. O., & Hernández S, B. (2011). Caracterización fisicoquímica, funcional y contenido fenólico de harina de malanga (*Colocasia esculenta*) cultivada en la región de Tuxtepec, Oaxaca, México. *Ciencia y Mar*, 43, 37–47.

Nascimento, M. S., Silva, N., Catanozi, M. P. L. M., & Silva, K. C. (2003). Effects of Different Disinfection Treatments on the Natural Microbiota of Lettuce. En *Journal of Food Protection* (Vol. 66, Número 9). http://meridian.allenpress.com/jfp/article-pdf/66/9/1697/1676642/0362-028x-66_9_1697.pdf

Ngoma, K., Mashau, M. E., & Silungwe, H. (2019). Physicochemical and Functional Properties of Chemically Pretreated Ndou Sweet Potato Flour. *International Journal of Food Science*, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/4158213>

- Harina de trigo, Pub. L. No. NTC 267, Novena actualización (2017). <https://ecollection-icontec-org.bibliotecavirtual.uis.edu.co/normavw.aspx?ID=1885>
- Harina de papa, Pub. L. No. 011.810, Primera edición (2021).
- Ocaña, I. A. (2019). *Caracterización Físicoquímica, Nutricional y Reológica De Cultivos Andinos Infrautilizados*. Universidad Técnica de Ambato.
- Osundahunsi, O. F., Fagbemi, T. N., Kesselman, E., & Shimoni, E. (2003). Comparison of the physicochemical properties and pasting characteristics of flour and starch from red and white sweet potato cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(8), 2232–2236. <https://doi.org/10.1021/jf0260139>
- Pimpaporn, P., Devahastin, S., & Chiewchan, N. (2007). Effects of combined pretreatments on drying kinetics and quality of potato chips undergoing low-pressure superheated steam drying. *Journal of Food Engineering*, 81(2), 318–329. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.11.009>
- Qiu, G., Jiang, Y. li, & Deng, Y. (2019). Drying characteristics, functional properties and in vitro digestion of purple potato slices dried by different methods. *Journal of Integrative Agriculture*, 18(9), 2162–2172. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(19\)62654-7](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(19)62654-7)
- Quintana Rodríguez, L. F. (2018). *Efecto de la disponibilidad hídrica y aumento de temperatura en la calidad nutricional de tubérculos de papa (Solanum tuberosum L.)*. Universidad Austral de Chile.
- Quiroz Delgado, J. S. (2019). *Efecto del tipo de fibra y concentración de bacterias probióticas sobre las características físicoquímicas, microbiológicas y aceptabilidad general en helado tipo crema*. Universidad Privada Antenor Orrego.

- Rodriguez, J. R. E. (2019). *Efecto de la incorporación de harinas de origen vegetal sobre las propiedades tecnofuncionales y actividad biológica en un modelo cárnico*. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Ros, E., López José, Picó, C., Rubio, M., Babio, N., Sala, A., Pérez, F., Escrich, E., Bulló, M., Solanas, M., Hernández, A., & Salas, J. (2015). Consenso sobre las grasas y aceites en la alimentación de la población española adulta; postura de la Federación Española de Sociedades de Alimentación, Nutrición y Dietética (FESNAD). *Nutricion Hospitalaria*, 32(2), 435–477. <https://doi.org/10.3305/nh.2015.32.2.9202>
- Rossel, T. (2019). *Efecto de la temperatura y velocidad de aire secado por convección en las propiedades funcionales y el color de la harina de papa amarilla Tumbay (Solanum goniocalyx)*. Universidad Nacional José María Arguedas .
- Ruiz, J. (2020). *Implementación del colorímetro como estándar de calidad para la tela teñida en TINCOL S.A.S*. Universidad de Antioquia.
- Sahoo, M., Titikshya, S., Aradwad, P., Kumar, V., & Naik, S. N. (2022). Study of the drying behaviour and color kinetics of convective drying of yam (*Dioscorea hispida*) slices. *Industrial Crops and Products*, 176. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.114258>
- Sandoval, E. R., Lascano, A., & Sandoval, G. (2012). Vista de Influencia de la sustitución parcial de la harina de trigo por harina de quinoa y papa en las propiedades termomecánicas y de panificación de masas. *U.D.C.A Act & Div. Cient*, 15(1), 199–207.
- Silveria, A. C. (2017). Uso de aditivos y métodos físicos para mantener la calidad de los productos de IV gama o mínimamente procesados. *Agrociencia Uruguay*, 21(1), 1–6.

- Tsouvaltzi, P., & Brecht, J. K. (2017). Inhibition of Enzymatic Browning of Fresh-Cut Potato by Immersion in Citric Acid is Not Solely Due to pH Reduction of the Solution. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(2). <https://doi.org/10.1111/jfpp.12829>
- Vallverdú, B. B. (2018). Inhibición del pardeamiento enzimático en patata utilizando extractos de perejil. En *Universidad Pública de Navarra*. Universidad Pública de Navarra.
- Vilcanqui, F., & Vílchez, C. (2017). Fibra dietaria: nuevas definiciones, propiedades funcionales y beneficios para la salud. Revisión. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 67(2), 146–156. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222017000200010&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Villar L, N., Esparza, M. E., & Sorolla, A. M. (2021). *Propiedades físicas, funcionales y químicas de harina obtenida a partir de semillas de quinua*.

Apéndices

Apéndices A. Cálculos para soluciones de ácido cítrico y ascórbico

Tabla A1.

Soluciones patrón para los tratamientos químicos

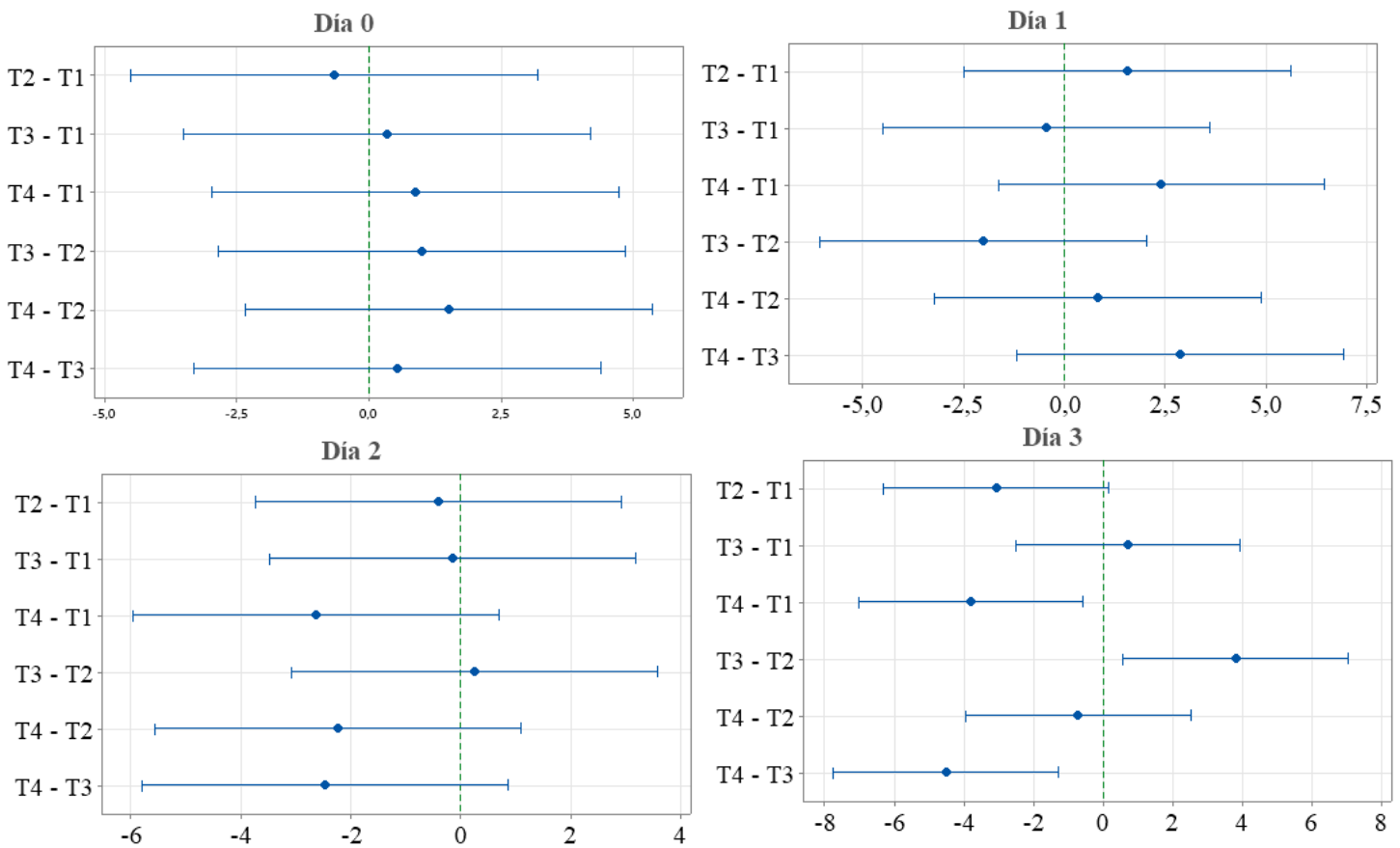
Pruebas	Prueba 1		Prueba 2		Prueba 3		Prueba 4	
	AA	AC	AA	AC	AA	AC	AA	AC
Volumen de solución 10% [mL]	18,75	12,5	25	25	25	12,5	18,75	25
%p/v	0,75	0,5	1	1	1	0,5	0,75	1
Volumen total solución [mL]	250		250		250		250	

Apéndices B. Pruebas de Tukey con intervalos de confianza del 95%

Para cada una de las figuras, los bigotes superiores e inferiores en el eje x representan los intervalos de confianza del 95% para cada tratamiento y los puntos son el resultado de la diferencia de las medias obtenidas entre tratamientos. Si un intervalo no contiene cero (es decir, no cruza la línea de referencia en cero), las medias correspondientes son significativamente diferentes.

Figura B1

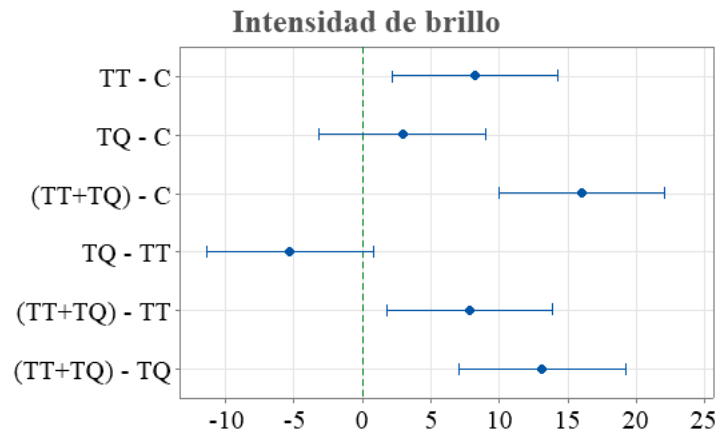
Comparación de medias (Tukey) de IP con intervalos de confianza 95%



Nota. El grafico representa la diferencia de medias del IP de los tratamientos en cada día de almacenamiento. T1: 0,75% AA y 0,5% AC p/v; T2: 1% AA y 1% AC p/v; T3: 1% AA y 0,5% AC p/v; T4: 0,75% AA y 1% AC p/v.

Figura B2

Comparación de medias (Tukey) de intensidad de brillo con intervalos de confianza 95%

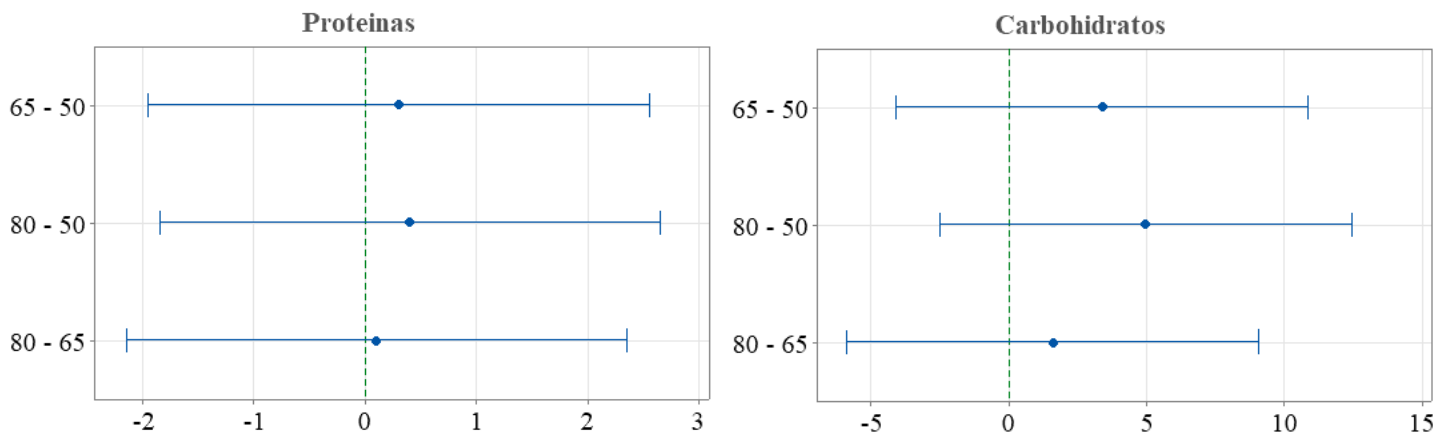


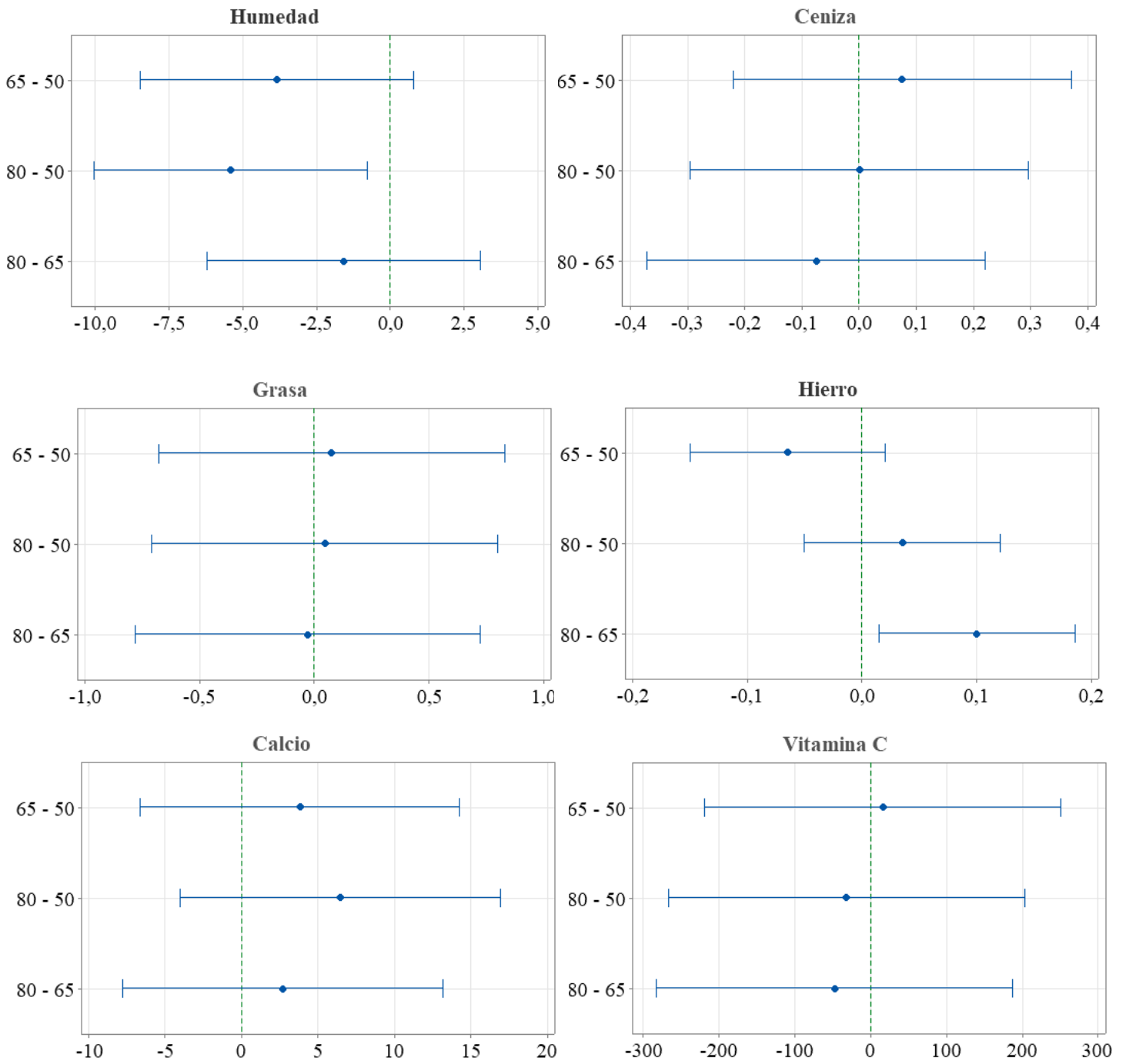
Nota. El grafico representa la diferencia de medias de la intensidad de brillo de los tratamientos.

C: Control, TT: Tratamiento térmico, TQ: Tratamiento químico, TT+TQ: Tratamiento térmico-químico

Figura B3

Comparación de medias (Tukey) de humedad, macro y micronutrientes en base húmeda de cada temperatura con intervalos de confianza 95%





Nota. En el eje Y se encuentran los niveles de temperatura evaluados en [°C]. El grafico representa la diferencia de medias de los contenidos de macro, micronutrientes y humedad.

Apéndices C. Protocolo del software ImageJ

OBJETO	ALCANCE
Describir el protocolo de manejo del software ImageJ para emplearlo en tesis de investigación y análisis de imágenes digitales.	Aplica para la determinación del área de objetos a través de la cuantificación de píxeles de una imagen digital y su distribución en el espacio de color RGB.
DEFINICIONES Y ABREVIATURAS	
- RGB: espacio de color que recibe su nombre por los colores primarios, rojo verde y azul por sus siglas en inglés (red, green y blue).	

CONSIDERACIONES

- El programa es de dominio público disponible para Windows, Linux y MacOS, es una plataforma útil para el procesamiento de imágenes en proyectos de investigación (Caraballo, 2018).
- El software permite realizar distintas operaciones, desde ajustar brillo y contraste hasta descomponer una imagen en píxeles en el espacio RGB y resaltar o borrar elementos.
- Algunas aplicaciones de investigación incluyen el análisis colorimétrico de superficies, conteo de píxeles para determinación de longitud en tejidos a escala nanométrica, determinación del área en imágenes médicas como células o microorganismos.
- Se debe contar con una cabina iluminada para la toma de las imágenes y una plantilla que suministre una escala para la calibración del programa.

- El software está disponible en distintos sitios web para su descarga, se recomienda revisar antes de su descarga para evitar archivos indeseados en la computadora.

Materiales y equipos

- Cabina de luz led (45,5x25x42 cm)
- Dispositivo para tomar fotografías, cámara profesional o celular
- Hoja base para la foto que incluya escala apropiada

METODOLOGÍA

