UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

T E S I S

"EFECTO DE LA TEMPERATURA Y EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL COLOR Y TEXTURA EN LOS TEJIDOS DE LA PAPA (AMARILIS) MEDIANTE PRETRATAMIENTO UTILIZANDO ÁCIDO ACÉTICO EN EL PROCESO DE SECADO"

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Presentado por el Bachiller:

DENILSON CHAMAYA SANCHEZ

ASESOR:

Dr. JIMY FRANK OBLITAS CRUZ

CAJAMARCA – PERÚ

2025

Universidad Nacional de Cajamarca
"Norte de la Universidad Peruana"

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

1. Investigador:
   Chamaya Sanchez, Denilson
   DNI: N° 71570440
   Escuela Profesional/Unidad UNC:
   ESCUELA PROFESIONAL DE ING. EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
2. Asesor:
   Dr. Jimy Frank Oblitas Cruz
   Facultad/Unidad UNC:
   FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
3. Grado académico o título profesional

   ☐Bachiller ☒Título profesional ☐Segunda especialidad

   ☐Maestro ☐Doctor
4. Tipo de Investigación:

   ☒ Tesis ☐ Trabajo de investigación ☐ Trabajo de suficiencia profesional

   ☐ Trabajo académico
5. Título de Trabajo de Investigación:
   "EFECTO DE LA TEMPERATURA Y EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL COLOR Y TEXTURA EN LOS TEJIDOS DE PAPA (AMARILIS) MEDIANTE PRETRATAMIENTO UTILIZANDO ÁCIDO ACÉTICO EN EL PROCESO DE SECADO"
6. Fecha de evaluación: 06/05/2025
7. Software antiplagio: ☒ **TURNITIN** ☐ **URKUND (OURIGINAL)** ***(*)***
8. Porcentaje de Informe de Similitud: 13%
9. Código Documento: oid: 3117:456397133
10. Resultado de la Evaluación de Similitud: 13%

    ☒ **APROBADO** ☐ **PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO**

Fecha Emisión: 07/05/2025

Firma y/o Sello
Emisor Constancia

.....

Dr. Jimy Frank Oblitas Cruz
DNI: 40043738

*En caso se realizó la evaluación hasta septiembre de 2023

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

"NORTE DE LA UNIVERSIDAD PERUANA"

Fundada por Ley N° 14015, del 13 de febrero de 1962

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Secretaría Académica

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la ciudad de Cajamarca, a los tres días del mes de febrero del año dos mil veinticinco, se reunieron en el ambiente **2H - 204** de la Facultad de Ciencias Agrarias, los miembros del Jurado, designados según **Resolución de Consejo de Facultad N° 675-2024-FCA-UNC, de fecha 16 de diciembre del 2024**, con la finalidad de evaluar la sustentación de la **TESIS** titulada: **"EFECTO DE LA TEMPERATURA Y EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL COLOR Y TEXTURA EN LOS TEJIDOS DE LA PAPA (AMARILIS) MEDIANTE PRETRATAMIENTO UTILIZANDO ÁCIDO ACÉTICO EN EL PROCESO DE SECADO"**, realizada por el Bachiller **DENILSON CHAMAYA SANCHEZ**para optar el Título Profesional de **INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**.

A las diez horas y treinta minutos, de acuerdo a lo establecido en el **Reglamento Interno para la Obtención de Título Profesional de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca**, el Presidente del Jurado dio por iniciado el Acto de Sustentación, luego de concluida la exposición, los miembros del Jurado procedieron a la formulación de preguntas y posterior deliberación. Acto seguido, el Presidente del Jurado anunció la aprobación por unanimidad, con el calificativo de dieciséis (16); por tanto, el Bachiller queda expedito para proceder con los trámites que conlleven a la obtención del Título Profesional de **INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**.

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

Dr. Rodolfo Raúl Orejuela Chirinos
PRESIDENTE

Ing. Mtr. Max Edwin Sangay Terrones
SECRETARIO

Dr. José Gerardo Salhuana Granados
VOCAL

Dr. Jimy Frank Oblitas Cruz
ASESOR

Dedicatoria

Dedico esta tesis a mis padres por el esfuerzo que me brindaron para ser un profesional y enseñarme a no rendirme ante los obstáculos durante mi etapa profesional. A mi novia María Cruz Soto Vega y a Cristiano Ronaldo.

Agradecimiento

Agradezco a Dios primeramente por darme salud y fuerzas para salir adelante y culminar mis estudios superiores y de este modo superarme en mi vida profesional. Del mismo modo, a todos los que fueron parte durante mi formación y desarrollo de esta investigación, mis padres, a mi novia, a mi asesor de tesis por su apoyo brindado, amigos y a la Universidad Nacional de Cajamarca especialmente a la Escuela Académico Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias por permitirme usar sus laboratorios para el desarrollo de esta investigación.

ÍNDICE GENERAL

Resumen…….vii

Abstrac……..viii

CAPITULO I……1

INTRODUCCION 1

Descripción del problema 1

Problema de investigación 3

Justificación 3

Objetivos 4

Objetivo especifico 4

Objetivo general 4

Hipótesis 4

CAPITULO II……..5

REVISIÓN DE LITERATURA 5

Antecedentes de la investigación 5

Marco teórico 9

Origen e historia 9

Contenido nutricional de la papa 10

Cultivo 12

Cosecha 12

Manejo de post cosecha 13

Composición química de la papa amarillis 13

Carbohidratos 14

Lípidos 15

Vitaminas 15

Minerales 15

MECANISMO Y CINÉTICA DE SECADO 15

CURVA DE SECADO 17

Tiempo de sacado 20

Periodo de velocidad de secado constante: 21

Periodo de inducción o de velocidad de secado creciente 21

Periodo de velocidad de secado decreciente 21

Periodo constante de secado 21

Periodo de caída de secado 21

CALIDAD EN LOS ALIMENTOS DESHIDRATADOS 23

La textura en los alimentos 26

Cambios en el volumen de los alimentos debido a la deshidratación 27

IMPORTANCIA DE COLOR EN LOS ALIMENTOS 35

Definición de términos 29

Papa amarilis 29

Pre tratamiento con ácido acético 30

Pre tratamiento: 30

Mecanismo y cinética de secado 30

Macrocopía celular de tejidos vegetales 30

Velocidad de secado 30

CAPITULO III.....31

MATERIALES Y MÉTODOS 31

Ubicación 31

Materiales, equipos e instrumentos 31

Metodología 33

Factor variables independientes y dependientes 33

CROQUIS DEL EXPERIMENTO 34

Descripción del flujograma 35

Microscopía óptica 37

CAPITULO IV……...38

RESULTADOS Y DISCUSIONES 38

Análisis de curva de secado por pre tratamiento con ácido acético en el color y textura de papa (amarilis). 38

Análisis de color L* 43

Análisis de color a* 47

Análisis de color b* 50

Análisis de dureza 53

Optimización 56

CAPITULO V……58

CONCLUSIONES 58

RECOMENDACIONES 59

CAPITULO VI……...60

BIBLIOGRAFÍA 60

CAPITULO VII…….66

ANEXOS 66

Índice de tablas

Tabla 1: Composición nutricional de la papa 11

Tabla 2 Factor de variables 33

Tabla 3 ANOVA para velocidad de secado 40

Tabla 4 ANOVA para el color L* 43

Tabla 5 ANOVA para el color a* 47

Tabla 6 ANOVA para el color b* 50

Tabla 7 ANOVA para la dureza 53

Tabla 8 Datos del valor óptimo para la Velocidad de secado 57

Índice de figuras

Figura 1: Composición Química de la papa ---------- 14

Figura 2: curva de secado para muestras sólidas (contenido de humedad frente al tiempo) ------ 17

Figura 3¨Curva de velocidad de secado con respecto a la humedad del alimento ---------- 18

figura 4 Croquis del desarrollo del proyecto de tesis ---------- 31

Figura 5 Flujograma del experimento ---------- 34

Figura 6 Curva de secado en base al tiempo ---------- 39

Figura 7 Pareto estandarizado para la cinética de secado ---------- 41

Figura 8 Efectos individuales para la velocidad de secado ---------- 42

figura 9 Superficie de respuesta para la velocidad de secado ---------- 42

figura 10 Pareto estandarizado para el color L* ---------- 44

figura 11 Efectos individuales para el color L* ---------- 45

figura 12 Superficie de respuesta para el color L* ---------- 46

figura 13 Pareto estandarizado para el color a* ---------- 48

figura 14 Efectos individuales para el color a* ---------- 48

figura 15 Superficie de respuesta para el color a* ---------- 49

figura 16 Pareto estandarizado para el color b* ---------- 51

figura 17 Efectos individuales para el color b* ---------- 51

figura 18 Superficie de respuesta para el color b* ---------- 52

figura 19 Pareto estandarizado para la dureza ---------- 54

figura 20 efectos individuales para la dureza ---------- 55

figura 21 superficie de respuesta para la dureza ---------- 56

figura 22 Curva de optimización ----------57

figura 23 Prueba Tukey para el área con respecto a la temperatura ---------- 66

figura 24 Prueba Tukey para la circularidad con respecto a la temperatura ---------- 67

Resumen

La reciente investigación se realizó en el laboratorio de fermentaciones industriales de la escuela académico de Ingeniería en Industrias Alimentarias, ambiente (2H-304) de la Universidad Nacional de Cajamarca, ubicados en el departamento, provincia y distrito de Cajamarca, el cual tiene como objetivo determinar el efecto de la temperatura en la evaluación de las características del color y textura en los tejidos de papa (Amarilis) mediante pretratamiento utilizando ácido acético en el proceso de secado, para ello se usó un diseño experimental usando las concentraciones de ácido acético 10 v/v, 20 v/v y 30 v/v y temperaturas de secado 45, 60 y 75 °C, agrupadas en tres partes (TA1, TA2, TA3), (TB1, TB2. TB3) y (TC1, TC2, TC3), la concentración de ácido acético se logró por unidades de dilución de volumen, el proceso de secado mediante un secador de bandejas para el color se determinó mediante Chroma Meter, la textura mediante un equipo de medición texturómetro con aguja tipo punta número 3 y la microestructura por el método de imágenes usando microscopio electrónico con el objetivo 10X mediante una cámara Motic de 10 Megapíxeles acoplada al microscopio usando el software Motic Image Plus 3.0. Al evaluar el efecto de la temperatura sobre el color y textura en los tejidos de papa amarilis mediante pretratamiento utilizando ácido acético en la velocidad de secado se determinó que ambos parámetros tienen efecto significativo para el parámetro de color a* y para la dureza (textura). Asimismo, al determinar la temperatura de 75 °C y la concentración de ácido acético a 30 v/v se observó que tiene un efecto sobre los parámetros microestructurales del área y circularidad, esto se realizó en base a la prueba Tukey; por lo que podemos concluir que la velocidad de secado utilizando pretratamiento con ácido acético es más eficiente y mejora los parámetros de color, textura y microestructura en los tejidos vegetales.

Apalabras clave. Microestructura, velocidad de secado, color CIELAB, textura.

Abstract

The recent research was carried out in the industrial fermentation laboratory of the academic school of Food Industry Engineering, room (2H-304) of the National University of Cajamarca, located in the department, province and district of Cajamarca, which aims to determine the effect of temperature in the evaluation of color and texture characteristics in potato tissues (Amarilis) by pretreatment using acetic acid in the drying process, for this an experimental design was used using acetic acid concentrations 10 v / v, 20 v / v and 30 v / v and drying temperatures 45, 60 and 75 ° C, grouped into three parts (TA1, TA2, TA3), (TB1, TB2. TB3) and (TC1, TC2, TC3), the acetic acid concentration was achieved by volume dilution units, the drying process by a tray dryer for color was determined by Chroma Meter, texture by a texturometer measuring equipment with a needle type tip number 3 and the microstructure by the imaging method using a scanning electron microscope with a 10X objective using a 10 Megapixel Motic camera coupled to the microscope using Motic Image Plus 3.0 software. When evaluating the effect of temperature on color and texture in amaryllis potato tissues by pretreatment using acetic acid at the drying speed, it was determined that both parameters have a significant effect on the color parameter a * and on hardness (texture). Likewise, when determining the temperature of 75 °C and the concentration of acetic acid at 30 v/v it was observed that it has an effect on the microstructural parameters of the area and circularity, this was done based on the Tukey test; therefore, we can conclude that the drying speed using pretreatment with acetic acid is more efficient and improves the color, texture and microstructure parameters in plant tissues.

Keywords. Microstructure, drying speed, CIELAB color, texture.

CAPITULO I

I. INTRODUCCIÓN

1.1.Descripción del problema

El secado, es uno de los procesos tradicionales de conservación de alimentos de mayor interés en la actualidad; consiste en la remoción del agua libre, para lo cual se utiliza aire caliente como medio desecador, pero en los últimos años se han realizado estudios en los que se combina el secado por aire caliente con la deshidratación osmótica, etanol, ácido acético, etc. estas técnicas se utiliza como pretratamiento de frutas y hortalizas, tubérculos, mediante la inmersión de éstas en líquidos con una actividad de agua más baja. Con este pretratamiento, en donde se producen de forma simultánea transferencia de agua y solutos al interior de la materia prima, se puede conseguir reducciones del contenido en agua de los alimentos, para luego continuar el secado con aire caliente. La utilización de esta técnica permite preservar la calidad de los alimentos bajando la actividad de agua mediante la disminución de humedad, evitando así el deterioro y contaminación microbiológica durante el almacenamiento.

Es importante recalcar que durante el proceso de deshidratación se puede llegar a perder nutrientes, esto depende de las condiciones en las que se lleve a cabo, el cual en nuestra investigación se tendrá en cuenta la temperatura para evitar perder los nutrientes de la papa. Mientras llevamos a cabo el proceso de deshidratación, proteger el valor nutricional del alimento, y sus características organolépticas (color y textura). Cuando se restituya el contenido acuoso, se debe tener un producto con las características similares al alimento original.

En este contexto es necesario determinar cómo la microestructura de la papa en el proceso de deshidratación se ve afectada por las condiciones de procesamiento de los alimentos y cuales podrían ser los cambios en las propiedades y atributos de calidad de los alimentos durante el procesamiento, tema que no ha sido analizado a profundidad ni se ha incluido en las investigaciones realizadas en Perú. Desde el punto de vista teórico es necesario determinar el papel de la microestructura en los cambios que se dan en los alimentos, muchos atributos de los alimentos están determinados no solo por su composición, sino también por la disposición espacial de los componentes dentro de los productos alimenticios. La microestructura de los alimentos tiene un impacto en las propiedades mecánicas, textura, sabor, propiedades de fusión, calidad, estabilidad y biodisponibilidad de los nutrientes. Por lo tanto, comprender la relación de la microestructura de las papas deshidratadas con estos diversos atributos es esencial para un diseño racional de productos alimenticios.

En este contexto, una buena alternativa es el uso de diferentes compuestos que pueden acelerar el proceso de secado, aquí denominados “aceleradores de secado”. Además, también pueden mejorar las propiedades del producto final. De hecho, algunos estudios ya han considerado algunos compuestos orgánicos como aceleradores del secado, siendo el etanol el más aplicado.

Se considero de gran importancia la conservación de alimentos pues esto permite alargar la vida útil de los alimentos y poder tener acceso a mercados nacionales e internacionales con la finalidad de cubrir las temporadas de escases de papa.

1.2.Problema de investigación

¿Cómo afecta la temperatura en la evaluación de las características del color y textura en los tejidos de la papa (Amarilis) mediante pretratamiento utilizando ácido acético en el proceso de secado?

1.3.Justificación

El Perú es el centro de mayor biodiversidad de la papa. La papa constituye un grupo de alimentos indispensable para nuestra salud y bienestar, especialmente por su aporte de fibra, vitaminas (B y C, que estas ayudan al metabolismo, el sistema nervioso central y la formación de los glóbulos rojos), minerales y fuentes de hidratos de carbono. La gran diversidad de especies, con sus distintas propiedades sensoriales (sabor, aroma, color, textura, etc.) y la distinta forma de prepararlas, hacen de ellas productos de gran aceptación por parte de los consumidores. La papa es el cuarto principal producto alimenticio en el mundo.

El mercado la papa deshidratada, aunque con buenas perspectivas, es aún modesto. La papa deshidratada se ha comercializado tradicionalmente. Actualmente puede encontrarse en presentaciones individuales y familiares, deshidratadas son uno de los productos procesados más antiguos que todavía se encuentran en los Andes del sur de Perú y Bolivia. Se les llama “chuño” y en su forma seca pueden durar por muchos años, láminas de papa, harina de papa.

El proyecto de investigación aquí descrito busco desarrollar una alternativa para mejorar el manejo de tubérculos deshidratados, en especial la papa, la cual tiene una alta producción a nivel nacional y es de gran aceptación dentro del mercado con el propósito de reducir tiempos de secado utilizando tratamientos previos al secado convencional.

1.4.Objetivos

1.4.1. Objetivo general

- Determinar el efecto de la temperatura en la evaluación de las características del color y textura en los tejidos de papa (Amarilis) mediante pretratamiento utilizando ácido acético en el proceso de secado.

1.4.2. Objetivo especifico

- Evaluar el efecto de la temperatura en las características del color en los tejidos de papa (Amarilis) mediante pretratamiento utilizando ácido acético en el proceso de secado.
- Evaluar el efecto de la temperatura en las características de textura en los tejidos de papa (Amarilis) mediante pretratamiento utilizando ácido acético en el proceso de secado.

1.5.Hipótesis

Existió un efecto positivo y directo de la temperatura en la evaluación de las características del color y textura en los tejidos de papa (Amarilis) mediante pretratamiento utilizando ácido acético en el proceso de secado.

CAPITULO II

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1.Antecedentes de la investigación

"Mejora del secado por convección de la zanahoria mediante la combinación de etanol y ultrasonido como pretratamientos: efecto sobre la estructura del producto, la calidad, el consumo de energía, la cinética de secado y rehidratación" (K. C. Santos et al., 2020). En este proyecto, el ultrasonido se combinó con etanol para mejorar diferentes aspectos de secado convectivo zanahoria, evaluando tanto la calidad de procesamiento y el producto. La ecografía en el tratamiento del agua como resultado de la inflamación celular y pequeño impacto en la textura. En otras palabras, el ultrasonido en etanol y tratamientos con etanol modifica tanto la microestructura (modificaciones de la pared celular de tejido parenquimático) y macroestructura (contracción y resistencia a la perforación) de la zanahoria. Pretratamientos con ultrasonidos en etanol y etanol mejoraron la cinética de secado, lo que reduce el tiempo de procesamiento (~50%) y el consumo de energía (42-62%). Estos pretratamientos también mejoran la rehidratación, cuya tasa y la retención inicial de agua fueron mayores que el control. Además, el contenido de carotenoides se conservó después del secado, para todos los tratamientos. No se observó ningún impacto en la contracción. Una discusión mecanicista, basado en modificación estructural (microestructura y la macroestructura) y las propiedades físicas del agua y etanol, se proporcionó. Como conclusión, este trabajo no sólo describe los aspectos positivos de la combinación de las tecnologías de ultrasonido y etanol como pretratamientos a secado por convección, pero también propuso mecanismos para explicar los fenómenos.

Aceleradores de secado para mejorar el procesamiento y las propiedades: etanol, isopropanol, acetona y ácido acético como pretratamientos para el secado por convección de la calabaza.(Carvalho et al., 2020), Se estudiaron diferentes aceleradores de secado para mejorar el secado de vegetales: acetona (AC), etanol (ET), isopropanol (ISO) y ácido acético (AA). Los pretratamientos se realizaron por inmersión de cilindros de calabaza. El secado convectivo se realizó a 40 °C y velocidad del aire 1 m/s. Se evaluaron diferentes aspectos: cinética de secado, cambios estructurales (microestructura y macroestructura), perfil térmico y comportamiento viscoelástico y de rehidratación. Todos los pretratamientos resultaron en un comportamiento superdifusivo, disminuyendo el tiempo de secado del 9% (ISO) al 22% (AC). Se discutieron posibles relaciones entre las propiedades físicas de los compuestos, el perfil de temperatura de la muestra, la cinética de secado y la humedad de equilibrio.

(Vírseda Chamorro et al., 1995) en el presente trabajo de investigación "Modelización de la cinética de secado de patata cortada en láminas" su objetivo fue determinar los valores constantes de difusividad y la energía de activación de la difusión para obtener el modelo de la cinética de secado de la patata. Para la realización de los experimentos de secado en capa fina utilizaron patata de la variedad bintje producida en el norte de España cortadas en láminas de 2,5 mm de espesor, temperaturas de aire de 60°C, 70°C, 80°C y 85°C y velocidades de aire de 0.5, 1 y 1,5 m/s, utilizaron una carga del lecho de secado de 25 Kg/m2, que equivale a unos 5 – 8 cm de espesor de lecho. El contenido de humedad del producto seco lo determinaron en una estufa a vacío en muestras de 20 g a temperatura de 70°C y una presión inferior a 1 000 mmHg De los resultados apreciaron dos periodos uno de velocidad de secado constante y otro de velocidad de secado decreciente, obtuvieron una relación entre el caudal másico de aire de secado y el coeficiente de trasmisión de calor por convección para el primer periodo y para el segundo periodo utilizaron la

segunda ley de Fick para obtener los valores de la difusividad obteniéndose un valor de difusividad de 8,25 KJ/Kmol y la energía de activación de la difusión 1,21 x 10-8 m 2 /s Concluyeron que la influencia de la temperatura es más importante y significativo que la influencia de la velocidad del aire de secado.

Influencia del método de secado en parámetros de calidad relacionados con la estructura y el color de manzana y fresa deshidratadas (Contreras Monzón, 2006), menciona que al secar rodajas de manzana y fresa, las muestras sin y con pretratamiento osmótico y por combinación de técnicas airemicroondas . Las muestras fueron colocadas horizontalmente sobre una rejilla, apoyándose sobre la superficie externa de la fresa a fin de favorecer la transferencia de masa, la cual ocurre principalmente por la superficie cortada de la fruta. En todos los tratamientos de deshidratación el tiempo de proceso fue prolongado lo suficiente para lograr un contenido final de agua en el producto cercano a 10g agua/100 g muestra deshidratada. Esto fue posible mediante el continuo control de la pérdida de peso de las muestras a lo largo del proceso y teniendo en consideración el contenido inicial promedio de agua de las muestras, además al realizar el pretratamiento osmótico se pudo observar el efecto protector del azúcar el menor encogimiento de las células de manzana. Desde este punto de vista, sería recomendable el pretratamiento osmótico de las muestras.

Impacto de los métodos de secado en los cambios de la microestructura de la fruta revelados por microtomografía computarizada de rayos X (Prawiranto et al., 2019), menciona que el secado provoca cambios físicos y bioquímicos en el tejido de la fruta. La pérdida de agua se acompaña de una contracción del tejido en masa y cambios en la microestructura, incluyendo colapso celular, contracción celular, desprendimiento de la membrana celular (plasmólisis) o rotura de la membrana celular (lisis). Estos cambios influyen fuertemente en las propiedades de transporte de

humedad del tejido y también inducen variaciones en la calidad del producto final. La textura del producto se ve influenciada, por ejemplo, por la densidad aparente, la porosidad, el tamaño celular, la forma celular y el espesor de la pared celular del producto seco.

Modelado multiescala para el secado de alimentos: estado del arte (Welsh et al., 2018), mencionan que los alimentos de origen vegetal pueden contener hasta un 90 % de humedad, que se encuentra en diferentes compartimentos, a saber, intracelular (dentro de la célula), intercelular (espacios entre las células) y en la pared celular. Las variaciones del contenido de agua en los diferentes compartimentos de la célula dan lugar a diferentes propiedades microestructurales heterogéneas e higroscópicas, incluidas las propiedades mecánicas de la estructura celular.

El color en los alimentos un criterio de calidad medible (Mathias-Rettig & Ah-Hen, 2014). En este artículo se aborda el color como una variable cuantificable en la determinación de la calidad en los alimentos en forma rápida, precisa y objetiva. Hoy en día existen diferentes herramientas para medir el color de forma objetiva y, son cada vez más precisas y de fácil interpretación. El uso de estas herramientas en la industria alimentaria va en crecimiento, sobre todo ahora con las nuevas tecnologías de la visión digital, la cual es una técnica no invasiva para el alimento y, permite inspeccionar el 100% de la producción, asegurándose al mismo tiempo la inocuidad y la calidad en la producción de los alimentos. Además, se puede correlacionar la imagen también con otras propiedades físicas de los alimentos, tales como la textura, el tamaño, el área o la distribución de ingredientes.

2.2.Marco teórico

2.2.1. Origen e historia

Es originaria del Perú y ha sido cultivada desde hace 8000 años en América del Sur y era alimento importante de los Incas quienes desarrollaron técnicas avanzadas para almacenarlas. En el siglo IV los conquistadores españoles lo llevaron a Europa siendo introducida en la península ibérica hacia 1550 y de allí al resto de Europa, llegando a ser en 1750 un alimento de gran importancia (Fairlie et al., 1999).

2.2.2. Papa amarilis

La papa amarilla es una variedad representativa de los Andes centrales. Es de pulpa amarilla intensa y tiene un alto contenido de materia seca (32.2%). La papa o patata *(Solanum tuberosum)* es una planta perteneciente a la familia de las solanáceas. Con el tiempo su consumo fue creciendo y su cultivo se expandió a todo el mundo 26 hasta posicionarse como uno de los principales alimentos para el ser humano (Seminario et al., 2017).

Este tubérculo continúa siendo la base de la alimentación de millones de personas, es una delicia culinaria en muchas regiones del globo que ha generado decenas de platos que la tienen de protagonista y, además, representa un verdadero desafío para científicos de varias disciplinas, que tratan de dilucidar su origen, genética y fisiología (Seminario et al., 2017).

2.2.3. Clasificación taxonómica

Reino: Plantae

División: Magoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Subclase: Asteridae

Orden: Solanales

Familia: Solanáceas

Género: Solanum

Especie: Tuberosum

Contenido nutricional de la papa

La papa es una fuente importante de carbohidratos, almidón, proteínas de calidad, B6 y potasio, también es una fuente de antioxidantes. Todas las papas contienen niveles significativos de vitamina C y ácido clorogénico, importante para regular las grasas corporales.

Las papas de pulpa amarilla son ricas en luteína y zeaxantina, asociadas a la prevención de enfermedades, y las papas de pulpa morada y roja son ricas en antocianinas como se muestra en la tabla 1. (Subía & Xavier, 2012)

Tabla 1 ***Composición nutricional de la papa***

Contenido	**Rango**
Energía	96 a 123 Kcal
Almidón	16 a 20 g
Proteína	1.76 a 2.95 g
Lípidos	0.1 a 0.5 g
Fibra dietaría	1.8 a 2.1 g
Potasio	150 a 1386 mg
Fósforo	42 a 120 mg
Magnesio	16 a 40 mg
Hierro	0.29 a 0.69 mg
Zinc	0.29 a 0.48 mg
Vitamina C	7.8 a 20.6 mg
Vitamina B6	0.299 mg
Ácido clorogénico	19 a 399 mg
Glicoalcaloides	0.7 a 18.7 mg

Fuente: (Subía & Xavier, 2012)

2.3.Cultivo

2.3.1. Elección de terreno

Los campos de cultivos destinados a la siembra de papa nativa se recomienda deben ser suelos profundos, planos, fértiles, descansados, cumpliendo el sistema de rotación de cultivo y con buen drenaje (Monteros J. et al., 2005).

2.3.2. Preparación de terreno

Por preparación de terreno se entiende las diferentes manipulaciones mecánicas y manuales del suelo, entre las que se pueden incluir el arado o picada, rastrado o repicada, nivelado o emparejado. Estas manipulaciones tienen como fin proveer al suelo de las condiciones favorables y necesarias para el crecimiento y buen desarrollo de la planta (Monteros J. et al., 2005).

2.3.3. Época de la preparación de terreno

La preparación del terreno debe realizarse de preferencia inmediatamente después de la cosecha anterior, en caso de cultivos de rotación sucesiva y, en los meses de marzo y abril en terrenos de romper o descansados, aprovechando la humedad existente en el suelo para facilitar y mejorar la aradura (Monteros J. et al., 2005).

2.3.4. Cosecha

La cosecha se efectúa cuando el cultivo alcanza su madurez completa, caracterizado por presentar as del 80% de plantas tumbadas y en proceso de secado (Monteros J. et al., 2005).

La cosecha consiste en remover el suelo, extraer y recolectar los tubérculos, cuando están maduros y ya no se pelan a la fricción de los dedos o roce entre los tubérculos por efecto del manipuleo (Monteros J. et al., 2005).

2.3.5. Sistema de cosecha

En la región existen tres sistemas de cosecha: Manual, Cosecha con tracción animal o tractor, Cosecha semi mecanizada (S & Patricia (ed.), 2003).

2.4.Manejo de post cosecha

2.4.1. Selección

La selección consiste en separar todos los tubérculos que presenten problemas fitosanitarios, magulladuras, heridas, daños por cortes, daños por la acción de insectos, 30 pudriciones y otros, de los tubérculos sanos y apropiados que se ajusten a las características típicas de la variedad de papas en procesamiento (S & Patricia (ed.), 2003).

Las papas deben estar maduras, sanas, atractivas y de buena presentación y tener buena presentación, separadas de las papas agusanadas y podridas, inmaduras, partidas y las que son de otras variedades, papas con verrugas, deformes y sin ojos, etc. (S & Patricia (ed.), 2003).

2.4.2. Clasificación

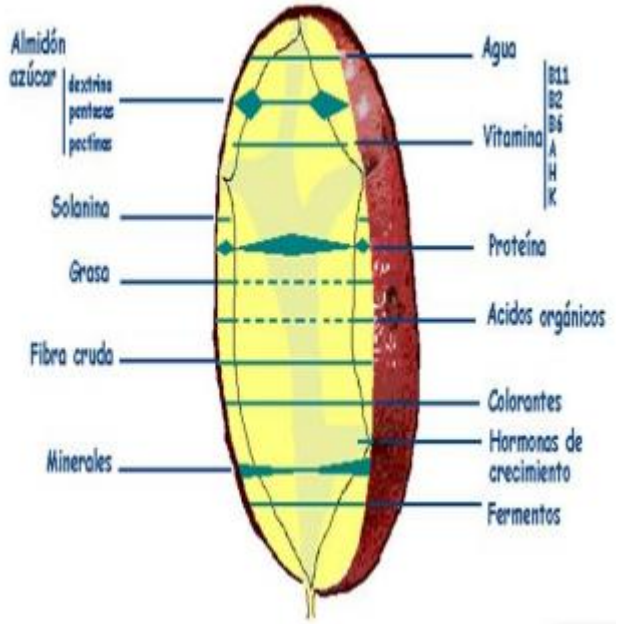
La clasificación, consiste en separar los tubérculos para semilla, papas destinadas al consumo humano y transformación, en diferentes categorías de acuerdo al tamaño o peso (diámetro) y por su longitud (Aguayo & Cristóbal, 2021).

2.5.Composición química de la papa amarilis

La composición química es importante, porque determina el valor nutritivo de la papa y por los efectos que origina en otras propiedades de la cálida (*Centro Internacional de la Papa*, 2023).

La papa es una excelente fuente de algunas de las vitaminas solubles en agua. Las papas frescas contienen 30 mg o más de ácido ascórbico por cada 100 g y otros componentes, lo cual se muestra en la figura 1.

Figura 1: Composición Química de la papa



2.5.1. Carbohidratos

La mayor parte de la materia seca del tubérculo se encuentra en forma de almidón azúcares y otros polisacáridos. En la tabla 02 se muestra la composición de la papa. El 75 % de la materia seca de la papa está compuesta por almidón. Cuando la papa se consume caliente, el almidón es rápidamente digerido por el 35 organismo; si se consume fría, la digestibilidad del almidón se reduce (Llanos Córdova, 2009).

2.5.2. Lípidos

El porcentaje de lípidos o grasa cruda en la papa “en fresco” es muy bajo. No tienen importancia desde un punto de vista cuantitativo (0.1 %) y se encuentran mayoritariamente en la piel (Llanos Córdova, 2009).

2.5.3. Minerales

Posee potasio, especialmente en el pellejo, y cantidades moderadas de fósforo, cloro, azufre, magnesio y hierro (Hellmann et al., 2021).

2.6.Mecanismo y cinética de secado

Teniendo en cuenta que el alimento sometido a deshidratación se puede considerar como un sistema trifásico (matriz sólida, fracción líquida y fracción gaseosa), pueden distinguirse varios mecanismos de transporte de materia según la fase a través de la cual se produce el transporte y según se trate de agua líquida, agua líquida más solutos o vapor de agua. Sin embargo, los mecanismos de transferencia más importantes en el interior del sólido son la difusión de agua en forma vapor o en fase líquida y la capilaridad. Por otro lado, en el seno del aire de secado también tiene lugar transporte de agua en forma vapor por mecanismo turbulento. El transporte de calor tiene lugar, en primer término, hacia la interfase sólido-gas (transferencia externa) y, en segundo lugar, a través del sólido (transferencia interna). La transferencia de calor hacia la interfase puede realizarse por mecanismos de convección, conducción y radiación. En algunas ocasiones es alguno de estos mecanismos el que predomina, mientras que en otras el calor se transmite por combinación de ellos (Maupoey et al., s. f.)

El estudio de estos fenómenos de transmisión de calor y materia, precisa de la cuantificación de los flujos que ocurren durante el secado y, frecuentemente, del uso de modelos cinéticos que permitan predecir la evolución del proceso, lo cual puede llegar a ser de gran ayuda en el diseño y optimización de la operación a nivel industrial. La modelización de la deshidratación requiere identificar las posibles etapas del proceso y los mecanismos de transferencia de materia que las gobiernan. A este respecto, es importante mencionar que en los procesos de secado por aire caliente se observan normalmente los siguientes periodos de secado:

Periodo de inducción o de velocidad de secado creciente: en esta etapa se inicia el proceso de secado de manera que el producto se calienta y aumenta la temperatura de la interfase, produciéndose una adaptación del material a las condiciones de secado. La duración de este periodo es función del contenido inicial de humedad del sólido, de su temperatura, de la velocidad del aire, etc., pero a fines de cálculo se prescinde de él ya que se considera que en su transcurso el secado tiende al régimen estacionario y suele ser de corta duración.

Periodo de velocidad de secado constante: la velocidad con que se elimina agua de la superficie del sólido es igual que la velocidad con que llega a ella desde el interior del mismo. De esta manera la superficie del material se mantiene constantemente mojada y se comporta como una masa de líquido. De aquí que la velocidad de secado sea igual a la velocidad de evaporación del agua, que será a su vez proporcional a la velocidad de flujo de calor que llega desde el aire al sólido. En tales condiciones, la temperatura de la interfase permanece constante y el calor que llega al sólido se invierte totalmente en evaporar el líquido.

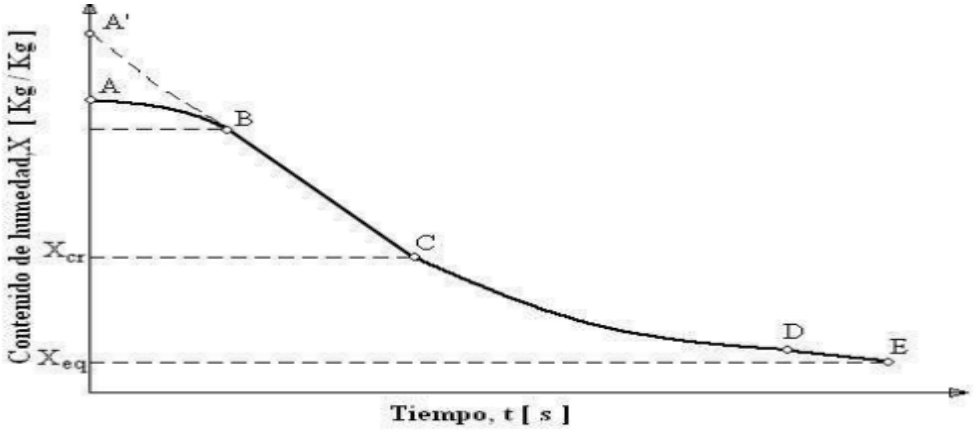
Periodo de velocidad de secado decreciente: la humedad del producto sigue disminuyendo hasta alcanzar la humedad de equilibrio. Cuando la disminución de la velocidad de secado es lineal con el contenido en humedad, se supone que la evaporación del agua que contiene el material

continúa produciéndose en la misma forma que en el periodo de velocidad constante, con la salvedad de que no ocurre en toda la superficie, ya que comienzan a aparecer zonas secas, de manera que la velocidad de secado disminuye a medida que lo hace la superficie mojada. (Maupoey et al., s. f.)

2.6.1. Curva de secado

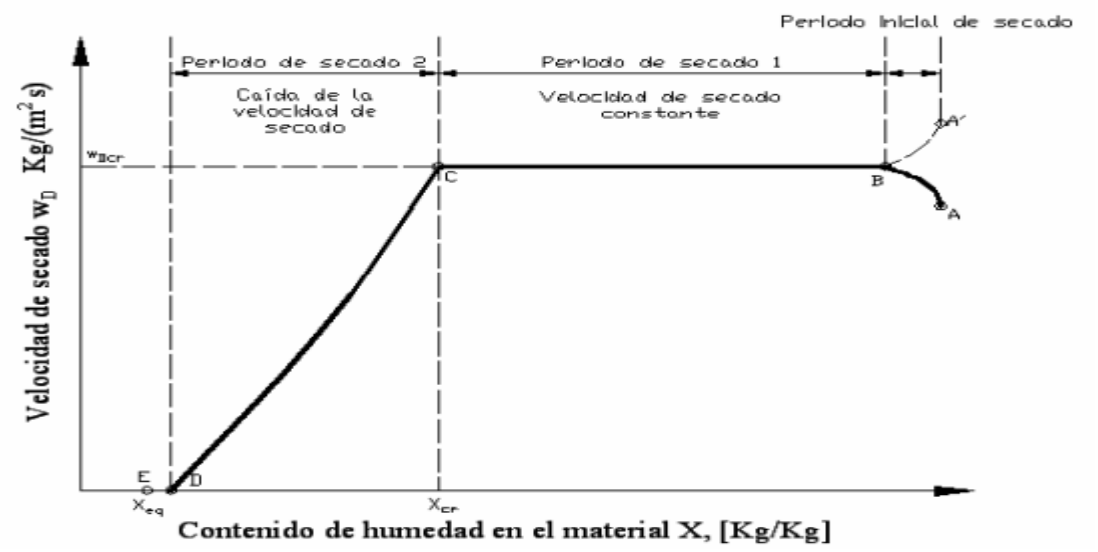
Una curva de secado es un tipo de gráfico tal como se muestra en las figuras 2 y 3, que relaciona la cantidad de agua en un material, en este caso de un alimento, a través del tiempo y se utiliza para representar el comportamiento del porcentaje de humedad durante el tiempo de este proceso de secado. En el periodo inicial de secado, en la zona A-B se seca lo que se conoce como humedad superficial. Al terminar este primer periodo el secado se toma una forma lineal donde se seca la humedad intersticial, en este periodo la velocidad del secado es constante (recta B-C). Posteriormente se forma una curva con una asíntota en el punto E donde se extrae la humedad hasta el punto D, pero nunca se llega al punto de humedad E el cual es el valor mínimo de humedad en el proceso de secado.(Nava, 2004)

Figura 2: curva de secado para muestras sólidas (contenido de humedad frente al tiempo)



Fuente: (Nava, 2004)

Figura 3¨Curva de velocidad de secado con respecto a la humedad del alimento



Fuente: (Strumillo & Kudra, 1986)

En este tipo de curva indica que la velocidad se seca el material. Este diagrama es muy útil para diferentes propósitos. Ente diagrama tiene la función $w_D = f(X)$, donde muestra la cantidad de humedad removida desde el material secado por unidad de tiempo por unidad de superficie secada.

$$w_D = -\frac{mdX}{Adt} \qquad 5.1$$

O como:

$$N = \frac{dX}{dt} \qquad 5.2$$

En esta grafica también pueden verse los periodos de velocidad constante y caída en la velocidad de secado. La explicación de la forma de la curva de secado la superficie del material está cubierta con una capa delgada de líquido la cual puede ser tratada como humedad desatada, libre o capilar. La evaporación empieza con el contacto con el aire. Considerando la resistencia de la transferencia de masa, tenemos las condiciones externas y la capa circulante de gas; limitado la velocidad de secado.

$$W_D = k_g (Y_s - Y)$$

5.3

Donde Y y Y_s son la humedad del ambiente circulante. El coeficiente de transferencia de masa K_g para una velocidad de gas constante en la relación con el material, permanecerá constante. La humedad Y_s corresponde a las condiciones de saturación en la temperatura de la capa de líquido (T_s). como la evaporación de la humedad requiere de la misma cantidad de calor latente de evaporación, la superficie del líquido después de algún tiempo alcanzara una temperatura de equilibrio (periodo inicial de secado), así la cantidad de calor proveída hacia la superficie desde el aire circulante sería igual al calor necesario para el cambio de fase la humedad Y_s permanece constante. Como resultado de los parámetros constantes del proceso, la humedad del aire Y no cambia. La velocidad de vaporación entre los puntos B y C será constante e igual a $W_{D\,cr}$. Este valor es igual a la velocidad de evaporación en una superficie libre. Sin embarga se ha demostrado que $W_{D\,cr}$ depende del tipo de material de secado y usualmente es menor que el 30% de los valores obtenidos en el proceso de evaporación de líquidos en una superficie libre.

Como ya es bien sabiendo en el periodo inicial de secado, el cuerpo se seca y su superficie están cubiertas con una capa de líquido, teniendo una temperatura menos a la temperatura de equilibrio T_s. y como resultado, la velocidad de secado em el rango entre los puntos Ay B se incrementan hasta que la temperatura de la superficie alcanza el valor correspondiente a la línea B-C. Es más raro cuando el secador es alimentado con material húmedo a una temperatura $T > T_s$. entonces el periodo inicial de secado está representando por la línea punteada A-B. usualmente el periodo inicial es muy corto y en la práctica puede ser despreciado.

Cuando $X < X_{cr}$ la cantidad de humedad que alcanza la superficie del cuerpo a secar empieza a caer gradualmente. Como resultado, la presión de vapor arriba de la superficie del material también empieza a decrecer de acuerdo a la ecuación 5.3 la velocidad secada (Curva C-D) en este periodo la velocidad de secado es controlado por el transporte de la humedad del material (condiciones internas) la cuales dependen del gradiente de la concentración de humedad.

2.6.2. Tiempo de sacado

El tiempo de secado depende del material, esto define las características que tendrá la curva de secado. El tiempo de secado debe ser determinado separadamente para el primer y segundo periodo de secado.

La ecuación 4.29 define la velocidad de secado, esta puede reacomodarse para obtener el tiempo de secado.

$$\int_0^t dt = -\frac{m_S}{A}\int_{X_1}^{X_2}\frac{dX}{w_D} \qquad 5.4$$

Donde X_1 y X_2 son el contenido de humedad desde el tiempo cero al tiempo t, respectivamente.

- ***Periodo constante de secado***

El secado en este periodo es constante y por lo tanto la ecuación 5.2 esto es el contenido de humedad al final del primer periodo. En este periodo de secado influyen la velocidad de secado w_{DI} depende del coeficiente de transferencia de calor y masa (h y k_g) entre el agente de secado y la superficie a secar.

Sin embargo, los materiales porosos representan un reto debido a su estructura no uniforme que crea dificultades en la estimación del contenido critico de humedad. Es por eso que a veces es mejor hacer experimentos baja condiciones similares a las se usan en práctica en la industria.

- ***Periodo de caída de secado***

Este periodo de caída de secado puede comportarse de manera lineal como lo muestra la curca de velocidad de secado, pero también puede comportarse de manera no lineal por lo cual requiere un estudio más minucioso del comportamiento de la curva de secado. En este estudio consideramos el caso lineal de la curva de caída de secado. La forma de la velocidad de la curva de secado depende del tipo de cuerpo, la velocidad de secado en el primer periodo de secado y el contenido crítico de humedad.

Ahora tomando la ecuación 4.32 podemos construir una ecuación similar en la cual la velocidad de secado depende de contenido de humedad.

$$t_{II} = \frac{m_S}{A}\int_{X_2}^{X_{cr}} \frac{dX}{w_{DII}} \qquad 5.5$$

Donde X_2 es el contenido final de humedad en el material.

Si observamos en la curva de secado podemos decir que existe una dependencia de w_{DII} = f(X) que es linear y puede ser escrita de la siguiente manera.

$$w_{DII} = aX + b$$

5.6

Sustituyendo esta ecuación 5.5 obtenemos:

$$t_{II} = \frac{m_S}{A}\int_{X_2}^{X_{cr}} \frac{dX}{aX + b}$$

5.7

Realizando la integración obtenemos

$$t_{II} = \frac{m_S}{aA} \ln \frac{aX_{cr} + b}{aX_2 + b}$$

5.8

Los coeficientes pueden ser obtenidos de la siguiente manera.

$$a = \frac{w_{DI} - w_{DII}}{X_{cr} - X_2}$$

5.9

$$w_{DII} = aX_2 + b$$

5.10

Sustituyendo estos coeficientes (a y b) en la ecuación 5.8 obtenemos:

$$t_{II} = \frac{m_S}{A} \frac{X_{cr} - X_2}{w_{DI} - w_{DII}} \ln \frac{w_{DI}}{w_{DII}}$$

5.11

Finalmente, el tiempo total del proceso es la suma de los tiempos en los dos periodos.

$$t = t_I + t_{II}$$

5.12

2.7.Calidad en los alimentos deshidratados

La calidad, en términos generales, es un concepto abstracto, de difícil definición, donde el consumidor se constituye en el principal elemento para su evaluación. Para el consumidor, algunos de los atributos fundamentales de la calidad de cualquier alimento son la ausencia de defectos, la textura, el aroma, el valor nutritivo, el aspecto, que incluye tamaño, color y forma (Jarén, 2005). Al deshidratar los alimentos, se producen cambios físicos y químicos que influyen en la calidad final, por lo que la producción de cualquier alimento deshidratado no sólo pasa por optimizar la operación en sí, en términos de volumen de producción o coste, sino que además es requisito fundamental ofrecer productos que satisfagan las necesidades y requerimientos del consumidor. El Importancia de color en los alimentos.

El color es una característica de gran importancia en nuestra valoración física y de la calidad de los alimentos. Desde el momento en que la conservación y elaboración de los alimentos comenzó a desplazarse desde los hogares a las fábricas, existió el deseo de mantener el color de los alimentos procesados y conservados lo más parecido al de la materia prima de origen. En el caso de las frutas y vegetales el color depende de la presencia de cuatro tipos fundamentales de pigmentos, carotenoides, antocianinas, clorofilas y compuestos fenólicos, los cuales pueden cambiar durante el procesado y almacenamiento. Por otra parte, en ciertos alimentos la aparición de coloraciones marrones frecuentemente indeseadas, se asocia a reacciones de pardeamiento no enzimático (reacción de Maillard, propiciada por las altas temperaturas), pardeamiento de tipo enzimático y el producido por la caramelización de los azúcares, en la superficie del alimento. Todo esto puede afectar en forma negativa a la presentación y al sabor de los productos (Guerreo & Núñez García, 1991)

Cuando el deterioro del color es visualmente extenso el producto resulta inaceptable, por lo que industrialmente, el color puede ser una característica determinante para el éxito comercial de innumerables productos. Debido a ello se vuelve cada día más imprescindible su control, lo que supone poder medir y comparar el color. En este sentido, es necesario disponer de métodos objetivos de medida de esta propiedad que permitan la obtención de valores comparables y reproducibles.

La medición del color se ve afectada por muchos factores tales como la iluminación, el observador, la naturaleza y características de la propia superficie (tamaño de la muestra, su textura y brillo). Además, el color es un fenómeno de interpretación subjetivo dependiente del observador, siendo más difícil su medida que la de un fenómeno objetivo como es medir una masa.

Desde que se estableció la definición de una serie de fuentes de iluminación estándar y observadores patrón, que permitieron establecer una medida del color en base a las coordenadas triestímulo X, Y, Z, se han introducido muchas otras coordenadas colorimétricas calculadas a partir de ellas, a partir de relaciones matemáticas más o menos complicadas. Tales coordenadas sitúan cada color en un espacio determinado, que tendrá tantas dimensiones como número de coordenadas se necesiten. Aparecen así los denominados colorimétricas a emplear, queda definido un espacio de color (Gilabert, 1992). Tras los esfuerzos encaminados a lograr un espacio de color lo más uniforme posible, la CIE (Comisión Internacional d´ Eclérage) o Instituto Internacional del color recomendó en 1976 el espacio de color CIEL*a*b*, adoptado también como norma UNE. Este espacio es un sistema coordenado cartesiano definido por tres condenadas colorimétricas L*, a*, b*, magnitudes que derivan matemáticamente de los valores de las coordenadas triestímulo. A partir de estas coordenadas es posible definir las magnitudes colorimétricas tono y saturación o croma. A continuación, se comenta la especificación de los parámetros colorimétricos del espacio de color CIEL*a*b* (Gilabert, 1992): espacios de color, definidos como la representación geométrica de los colores en el espacio, normalmente en tres dimensiones. Por tanto, elegidas unas coordenadas.

L*: recibe el nombre de “luminosidad”, atributo según el cual una superficie parece emitir más o menos luz. Para superficies reflectoras o transmisoras se reserva el término de “claridad”, por la que un cuerpo parece reflejar (o transmitir) por difusión una fracción mayor o menor de la luz incidente. Puede tomar valores entre 0 (negro absoluto) y 100 (blanco absoluto).

a*: define la desviación del punto acromático correspondiente a la claridad, hacia el rojo si $a^* > 0$, hacia el verde si $a^* < 0$.

b*: define la desviación del punto acromático correspondiente a la claridad, hacia el amarillo si b* > 0, hacia el azul si b*< 0.

C*ab: identificado como “saturación” o “croma”, es el atributo que permite estimar la proporción de color cromático puro contenido en la sensación total. Este concepto representa, por lo tanto, la pureza o intensidad relativa de un color. Numéricamente corresponde, en el plano cromático a*-b*, a la distancia desde el centro de la esfera de color al punto en cuestión.

h*ab: corresponde al “tono”, atributo que ha suscitado nombres como azul, verde, amarillo, rojo, etc. Numéricamente, también en el plano cromático a*-b*, es una medida angular y corresponde al ángulo de matiz definido desde el eje positivo de la coordenada a*, que varía entre 0 y 360º.

2.8.La textura en los alimentos

Uno de los objetivos de la Industria Alimentaria es producir alimentos que sean agradables y fáciles de comer. El placer es derivado de los sentidos del gusto, del olfato y de la visión. Sin embargo, la percepción de la textura también produce placer y es la sensación más relevante relacionada con la estructura del alimento. La textura se define como “todos los atributos mecánicos, geométricos y superficiales de un producto perceptibles por medio de receptores mecánicos, táctiles y, si es apropiado, visuales y auditivos(Saenz-Pardo-Reyes et al., 2021). Evidentemente, como se desprende de la definición anterior, la textura de los alimentos es esencialmente una experiencia humana que surge de nuestra interacción con el alimento y su estructura y con el comportamiento cuando es manipulado o comido. Nuestra percepción de la textura a menudo constituye un criterio por el cual juzgamos su calidad y frecuentemente es un factor importante para seleccionar un artículo o rechazarlo. Por este motivo, es necesario recurrir

a métodos objetivos que permitan su medida. No obstante, dada la complejidad de percepciones que conforman la textura, únicamente es posible evaluar de forma objetiva alguna o algunas de las propiedades texturales, que deberán ser aquellas que estén más directamente relacionadas con la textura percibida del producto. En este sentido, en los últimos años se han realizado grandes avances en el desarrollo de técnicas microscópicas para el estudio de estructuras vegetales, en la evolución de nuevos métodos instrumentales de la medición de la textura y en métodos de análisis sensorial. El desafío persiste en encontrar la convergencia entre estas tres áreas.

La textura de los tejidos vegetales tiene su base en la estructura celular, de manera que existe un efecto combinado de la presión de turgencia de los componentes celulares y de la elasticidad de las paredes celulares lo que determina las propiedades viscoelásticas de los tejidos vegetales. Estas propiedades están también afectadas por la composición de la fracción péctica de la pared celular y especialmente por la fuerza de las uniones celulares a través de la lámina media y el grado de empaquetamiento celular.

2.8.1. Cambios en el volumen de los alimentos debido a la deshidratación

a transferencia de masa en los procesos de deshidratación de tejidos celulares supone una gran reducción del volumen de la muestra debido a la pérdida de agua del protoplasto. Como consecuencia, las células se deforman dando lugar a formas irregulares. Este proceso puede almacenar energía dependiendo de las propiedades viscoelásticas de las paredes celulares y de las zonas de unión. La pérdida de volumen total durante el proceso de secado puede explicarse teniendo en cuenta la pérdida parcial de volumen de cada una de las fases que constituyen el volumen total de la muestra (la fase líquida, la fase gas ocluida en los poros y la fase sólida insoluble). La variación en el volumen de la fase líquida es el resultado de la pérdida de agua y de la consiguiente concentración de solutos. La diferencia entre la variación de volumen total y las

variaciones de volumen de la fase líquida y de la fase sólida insoluble se corresponderá a la variación de volumen de la fase gas (que se comprime o expande). La magnitud del volumen de gas perdido establece la porosidad del material. Los materiales que se encogen excesivamente revelan una reducción significativa del número de poros y del tamaño de los mismos. Sin embargo, los materiales que forman una capa externa rígida se deforman más difícilmente durante el secado (Bilbao-Sainz, 2002).

Si el producto deshidratado se sumerge posteriormente en una fase líquida, la liberación de la energía almacenada como tensión mecánica en el proceso de pérdida de volumen asociado a la deshidratación causará la relajación de la estructura del tejido y por lo tanto la recuperación, al menos parcial, de su volumen. La cinética de recuperación de volumen y el nivel de volumen recuperado están afectados en gran medida por las características particulares del tejido y por las condiciones de deshidratación (Bilbao-Sainz, 2002).

2.9.Aplicación de tratamientos previos de secado

Cualquiera que sea el método de secado utilizado es inevitable inducir, en mayor o menor grado, la degradación de ciertos atributos de calidad de la fruta (textura, color, flavor). Actualmente existe un amplio interés en la investigación y desarrollo de técnicas de conservación de alimentos que permitan obtener productos de alta calidad nutricional y cuyas características sensoriales sean lo más similares a la de los productos frescos. Al respecto, diversos autores (Torreggiani et al., 1999) han propuesto el uso de ciertas técnicas, tales como la deshidratación osmótica o la impregnación a vacío, como tratamientos previos al secado a fin de preservar algunos atributos, como por ejemplo el color. Presumiblemente, una combinación de técnicas de secado podrá

permitir mejorar la calidad final de los productos. A continuación, se describen ciertos aspectos tecnológicos relacionados con la impregnación a vacío y con la deshidratación osmótica, ambas técnicas seleccionadas en la presente tesis doctoral como tratamientos previos a la deshidratación de las frutas en estudio.

2.9.1. Pretratamiento con ácido acético

El pretratamiento se realiza por inmersión a altas concentraciones como con ácido acético (AA), de este modo evaluar los diferentes aspectos: cinética de secado, cambios estructurales (microestructura y macroestructura), perfil térmico. La microestructura celular en los tejidos vegetales con el (AA) muestran Paredes celulares más delgadas, cambios en la turgencia Las posibles relaciones serán discutido entre las propiedades físicas de los compuestos, el perfil de temperatura de la muestra, la cinética de secado y el equilibrio humedad. Las láminas de cualquier alimento son pretratados por inmersión en ácido acético (AA) (hasta 99% v/v).(Carvalho et al., 2020).

2.10. Definición de términos

Papa amarilis: Es una papa nativa ligeramente alargada, parecida a un olluco, con piel amarilla y pigmentos rosados o colorados, es un tubérculo de importancia porque aporta proteínas, energía, minerales y vitaminas; porque está adaptado a las condiciones y cultura del poblador de la sierra peruana y porque su producción y cosecha generan ingresos económicos que se distribuyen entre los diferentes agentes de la cadena de producción.

- **Pretratamiento**: Esta operación consiste en sumergir por inmersión el alimento sobre una solución a altas concentraciones con el propósito de disminuir la actividad de agua del alimento previo al secado del alimento.

- **Mecanismo y cinética de secado:** Teniendo en cuenta que el alimento sometido a deshidratación se puede considerar como un sistema trifásico (matriz sólida, fracción líquida y fracción gaseosa), pueden distinguirse varios mecanismos de transporte de materia según la fase a través de la cual se produce el transporte y según se trate de agua líquida, agua líquida más solutos o vapor de agua.

- **Velocidad de secado:** Este proceso es muy útil para diferentes propósitos. Ente diagrama tiene la función $w_D = f(X)$, donde muestra la cantidad de humedad removida desde el material secado por unidad de tiempo por unidad de superficie secada.

- **Color:** El color es una característica de gran importancia en nuestra valoración física y de la calidad de los alimentos.

- **Textura:** La textura se define como “todos los atributos mecánicos, geométricos y superficiales de un producto perceptibles por medio de receptores mecánicos, táctiles y, si es apropiado, visuales y auditivos” (A. J. Rosenthal,).

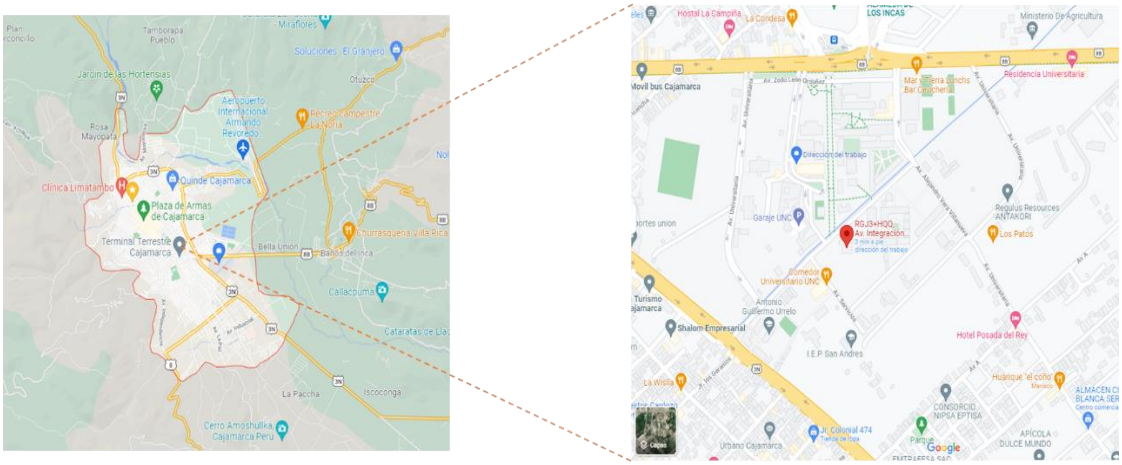
CAPITULO III

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.Ubicación

La investigación se realizará en los laboratorios de la Escuela Académico Profesional de INGENIERIA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS de la UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA, Av. Atahualpa N° 1050

figura 4 Croquis del desarrollo del proyecto de tesis



3.2.Materiales

3.2.1. Material biológico: Papa de variedad amarilis de la zona de CHOTA-CAJAMARCA.

3.2.2. Equipos

- Secador por bandejas
- Balanza analítica

- Microscopio electrónico
- Colorímetro
- Texturometro

3.2.3. Materiales

- Bisturís
- Navajas
- Papel toalla
- Bolsas (siploc)
- Pipetas graduadas
- Vaso precipitado
- Placa Petri
- Pinzas
- Tabla de picar

3.2.4. Materiales de escritorio

- Cámara fotográfica
- Computadora portátil
- Útiles de escritorio

3.2.5. Otros

- Ácido acético al 10%, 20% y 30 % v/v
- Tinte para pared celular azul de toluidina

3.3.Metodología

3.3.1. Tipo y diseño de investigación

Esta investigación es de tipo y diseño experimental factorial 3 x 2 de 9 tratamientos, el cual se buscará la relación de causa y efecto de dichas variables independientes (temperatura de secado convencional y concentración de ácido acético) sobre los parámetros de las variables dependientes de color y textura.

- **Temperatura de secado**

  T1 = 45 °C; T2 = 60°C; T3 = 75°C

- **Concentración de ácido acético**

  Concentración = 10, 20 y 30 % v/v

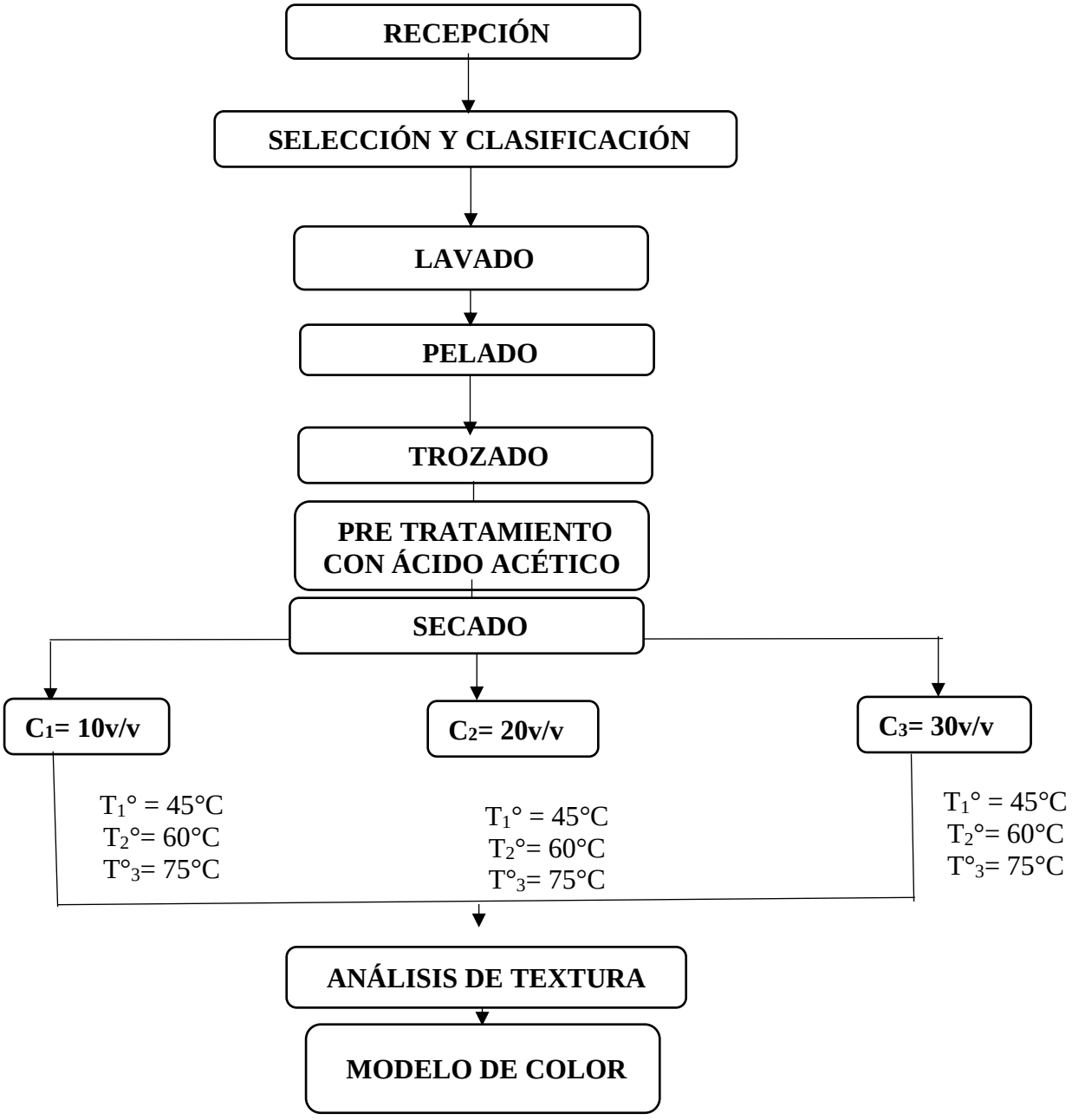
3.3.2. Factor variables independientes y dependientes

Tabla 2 Factor de variables

Variables independientes	Variables dependientes
• Temperatura de secado convencional (45, 60 y 75 °C) • Concentración de ácido acético (10, 20 y 30 % v/v)	• Color • Textura

3.3.3. Población y muestra: Papa variedad amarilis

Figura 5 Flujograma del experimento



3.3.4. Descripción del proceso

- ***Recepción***

En esta operación se da inicio al proceso donde la materia prima (papa) serán evaluadas y calificadas como aptas para su posterior análisis. Para la realización de este estudio se escogerá papa de la variedad (Amarilis), correspondiente a una variedad ampliamente consumida en el país.

- ***Selección y clasificación***

selección y clasificación son 2 operaciones de separación junto con la limpieza que se distinguen en que: selección: consiste en separar las materias primas en distintas categorías de características físicas distintas (tamaño, forma, etc) clasificación: separación de materias primas en distintas categorías según la calidad. También decíamos que eran 2 operaciones, que no hay una barrera tajante que separe una y otra ya que muchas operaciones de selección conllevan a una mejora de calidad, por lo que también estaríamos haciendo uno o varios procesos de selección.

- ***Lavado y pelado***

Estas operaciones se realizan con implementos manuales, preferentemente de acero inoxidable, con procesadoras a nivel hogareño, o con alguna máquina para procesamiento comercial de pequeña escala. Se realizan en el momento en que se tiene todo preparado para completar el secado. No conviene anticiparse demasiado, ya que la materia prima puede sufrir rápida degradación.

- ***Trozado***

Se efectuó un trozado para obtener láminas de papa de 0.5 cm de espesor, 2.5 cm de largo y 2.5 cm de ancho.

- ***Pretratamiento con ácido acético***

El pretratamiento con ácido acético se obtiene mediante la dilución del ácido acético puro (glacial) diluyendo de acuerdo a las concentraciones de la investigación al ser unidades de volumen a las muestras se adicionará 10 ml de ácido acético puro y 90 ml de agua destilada y se obtiene la concentración de 10% v/v, de la mimas forma para las demás concentraciones de 20 y 30% (V/V). El pretratamiento se realizará mediante la inmersión de las láminas de papa.

- ***Secado***

Se realizo mediante un secador de bandejas (estufa) a temperaturas de 45°C, 60 °C y 75°C. Se controló el tiempo de secado de 15 minutos por muestra durante 4 horas, es decir 15 muestras de láminas de papa por cada tratamiento (10, 20 y 30% v/v) y por cada temperatura asignada (45°C, 60 °C y 75°C), de este modo obtener pesadas sucesivas hasta tener un peso constante.

- ***Análisis de color***

El color de las láminas de papa secas se determinó mediante Chroma Meter (CM-2003d, Konica Minolta, Japón). El espectrofotómetro se calibra con una pizarra blanca estándar antes de la prueba. La escala se exhibió en L* (0 = negro; 100 = blanco), a* (-a = verdoso; +a = rojo), y b* (-b = azul; +b = amarillez). Este proceso se realiza en cada muestra de 15 minutos donde se coloca el espectrofotómetro sobre la muestra y se realiza el análisis para la obtención de datos numéricos para cada espacio CIELAB.

- ***Análisis de textura***

La textura de los tejidos vegetales tiene su base en la estructura celular, de manera que existe un efecto combinado de la presión de turgencia de los componentes celulares y de la elasticidad de las paredes celulares lo que determina las propiedades viscoelásticas de los tejidos vegetales. Estas propiedades están también afectadas por la composición de la fracción péptica de la pared celular y especialmente por la fuerza de las uniones celulares. La textura se determinará con un texturometro con una aguja número 3 de tipo punta en una muestra seca respecto a cada uno de los pretratamientos y temperaturas de secado para medir la resistencia de ella y hacer análisis estadístico.

- ***Microscopía electrónica por imágenes***

La microscopía electrónica produce imágenes de la superficie de una muestra la superficie con un haz de electrones enfocado. Permite realizar un análisis de la superficie de la misma para crear una imagen que refleja las características superficiales de la misma, pudiendo proporcionar información de las formas a nivel celular y de sus constituyentes. (de Assumpção Pereira-da-Silva & Ferri, 2017)

CAPITULO IV

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

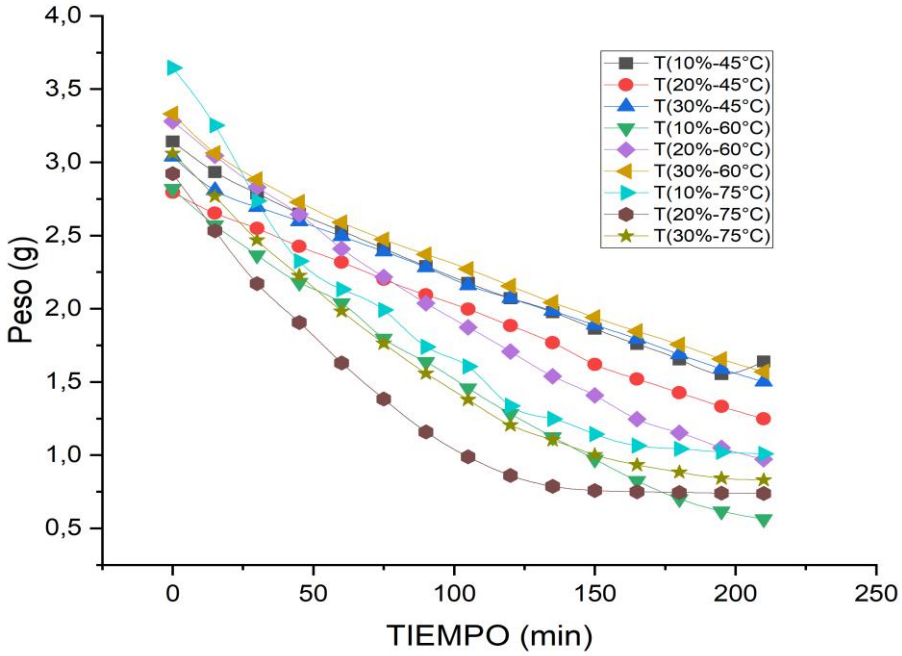
4.1.Análisis de curva de secado por pre tratamiento con ácido acético en el color y textura de papa (amarilis).

4.1.1. Análisis de secado

- La temperatura de 45 °C con 10, 20 y 30% v/v de pretratamiento con ácido acético, tal como se muestra en la figura 6, el descenso del peso inicial es lento con respecto al tiempo. Esto se debe que al tener una temperatura inicial inferior a los 50 °C no existe un equilibrio con el pretratamiento para lograr un descenso más rápido de la humedad inicial de la muestra.

- Para la temperatura de 60 °C con 10, 20 y 30% v/v de pretratamiento con ácido acético, solo se muestra una reducción en el peso inicial de la muestra para los tratamientos de 60°C con concentración de ácido acético de 10 y 20 %v/v, logrando de este el equilibrio sucesivo del descenso del peso.
- En la figura 6, se muestra que solo la temperatura de 75 °C con 20% de concentración AC, originó un descenso más rápido en relación al peso del alimento, de este modo se observa una aceleración en la velocidad de secado. Este efecto, mencionado (Lozada et al., 2021), que la velocidad de secado es la pérdida de humedad inicial exponencialmente en cada una de las etapas de tratamientos con el propósito de lograr un equilibrio entre la temperatura y tiempo para aumentar la velocidad de secado y por ende la reducción del peso inicial de la muestra.

Figura 6 Curva de secado en base al tiempo



la incidencia de la disminución inicial del peso durante el secado usando pretratamiento como es el ácido acético de 20 % v/v ayuda a reducir tiempos de secado y el suso de altas temperaturas de 75 °C ayuda a reducir costos de energía y una mejora en la calidad y eficiencia en la elaboración de productos deshidratados.

4.2.Análisis de efectos sobre parámetros cinética de secado

4.2.1. Análisis de velocidad de secado

- Según lo mostrado en la tabla 3, de los factores de temperatura y concentración la interacción de los valores de *p* fue mayores a 0.05, por tanto, todos estos no tienen efecto significativo para la cinética de secado.

  Esto se explica que el valor de p nos indica la importancia del resultado, la importancia desde el punto de vista la investigación, valores de p no significativos que pueden tener importancia desde el punto de vista de análisis debido al valor de p nos indicaría la probabilidad de obtener un valor semejante si se realiza el experimento en las mismas condiciones, pero hay muchos factores que pueden intervenir además del hecho de que exista o no diferencia real: el tamaño de la muestra, la varianza de la variable medida, el tamaño del efecto, la distribución de probabilidad empleada, etc. (Molina Arias, 2017)

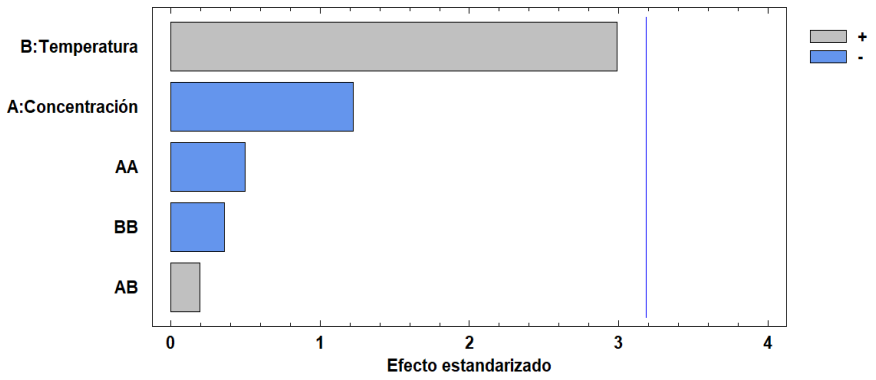
Tabla 3 ANOVA para velocidad de secado

Fuente	*Suma de Cuadrados*	*Gl*	*Cuadrado Medio*	*Razón-F*	*Valor-P*
A: Concentración	0.00000429241	1	0.00000429241	1.49	0.3091
B: Temperatura	0.000025705	1	0.000025705	8.94	0.0582
AA	7.1116E-7	1	7.1116E-7	0.25	0.6532
AB	1.11117E-7	1	1.11117E-7	0.04	0.8568
BB	3.73948E-7	1	3.73948E-7	0.13	0.7423

Velocidad = -0.00796967 + 0.0000872722*Concentración + 0.000346381*Temperatura - 0.00000596305*Concentración^2 + 0.00000111114*Concentración*Temperatura - 0.0000019218*Temperatura^2

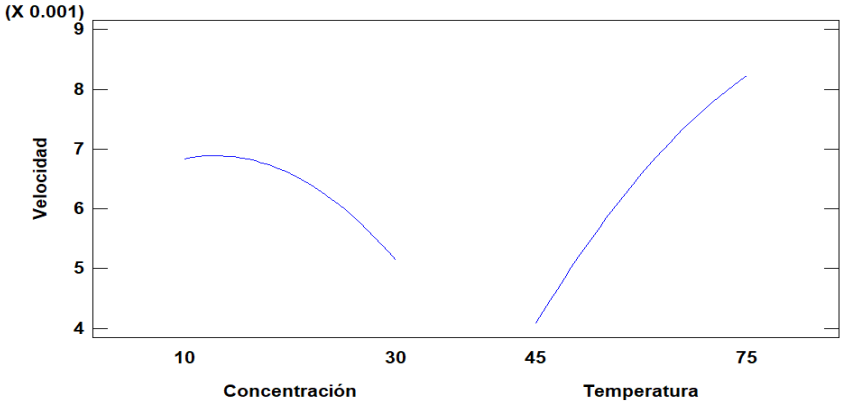
Así mismo al graficar los efectos estandarizados de la velocidad de secado mostrados en la figura 7, se puede observar que a pesar que no hay ningún efecto significativo, la temperatura tiene mayor efecto en la velocidad de secado con respecto a la concentración de ácido acético para el pretratamiento. La figura 8**,** muestra los efectos individuales para la velocidad de secado, donde se muestra que a mayor concentración de ácido acético para el pre tratamiento la velocidad de secado disminuye, pero a mayor temperatura aumenta la velocidad de secado. Estudios muestran que el pretratamiento tiene un comportamiento superdifusivo (ruptura de la uniones capilares a nivel celular facilitar la salida del agua libre del alimento), donde los perfiles de temperatura y concentración de ácido acético disminuyen el tiempo de secado en la superficie de la muestra (Carvalho et al., 2020)

Figura 7 Pareto estandarizado para la cinética de secado



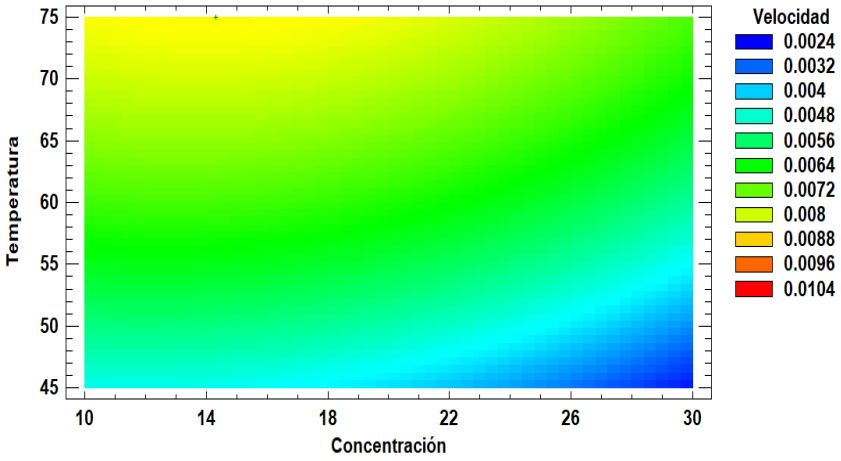
Según la investigación realizada puede explicarse que el uso de pretratamientos son aceleradores de secado afectando en el equilibrio de la humedad del alimento y se debe que a mayor temperatura y con las concentraciones de 20 a 30 %v/v de ácido acético se logra un descenso más rápido con respecto al peso inicial de la muestra ya que en conjunto con la temperatura aplicada de 75 °C ayuda a la salida del agua libre mediante la ruptura de las uniones capilares a nivel de la estructura del alimento.

Figura 8 Efectos individuales para la velocidad de secado



La figura 9 muestra la superficie de respuesta en el cálculo del efecto de la temperatura y pretratamiento de ácido acético para la velocidad de secado en las muestras de papa, donde se observa que el ajuste y la ecuación representada es: **Velocidad de secado** = -0.00796967 + 0.0000872722*Concentración + 0.000346381*Temperatura - 0.00000596305*Concentración^2 + 0.00000111114*Concentración*Temperatura - 0.0000019218*Temperatura^2

figura 9 Superficie de respuesta para la velocidad de secado



4.2.2. Análisis de color L*

El estudio sobre el color CIELAB, es actualmente uno de los espacios de color más importantes para evaluar valores numéricos de color, los resultados obtenidos por efecto de la temperatura y concentración de pretratamiento con ácido acético para el parámetro L* (0= negro; 100= blanco), por ende, ni la temperatura ni la concentración de pretratamiento con ácido acético fueron significativos, esto se logra observar en la tabla 4.

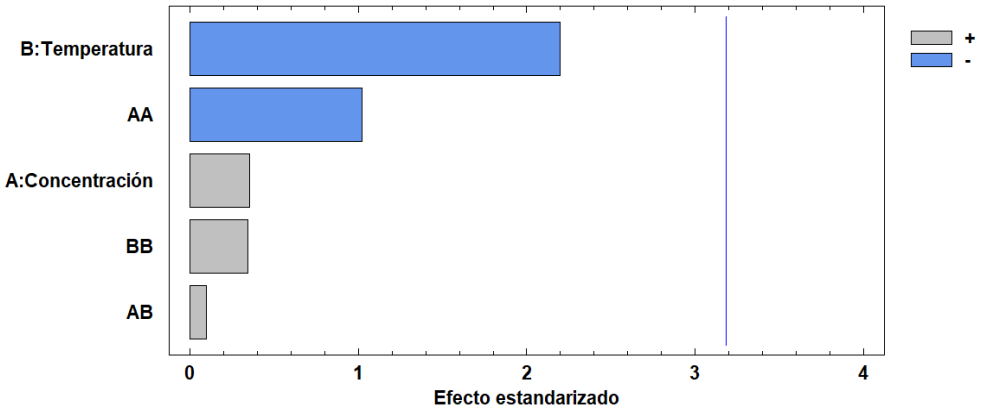
Tabla 4 ANOVA para el color L*

Fuente	*Suma de Cuadrados*	*Gl*	*Cuadrado Medio*	*Razón-F*	*Valor-P*
A: Concentración	1.60167	1	1.60167	0.13	0.7465
B: Temperatura	61.44	1	61.44	4.82	0.1157
AA	13.3472	1	13.3472	1.05	0.3816
AB	0.1225	1	0.1225	0.01	0.9281
BB	1.50222	1	1.50222	0.12	0.7541
Error total	38.2553	3	12.7518		
Total (corr.)	116.269	8			

L = 85.3556 + 1.015*Concentración - 0.698889*Temperatura - 0.0258333*Concentración^2 + 0.00116667*Concentración*Temperatura + 0.00385185*Temperatura^2

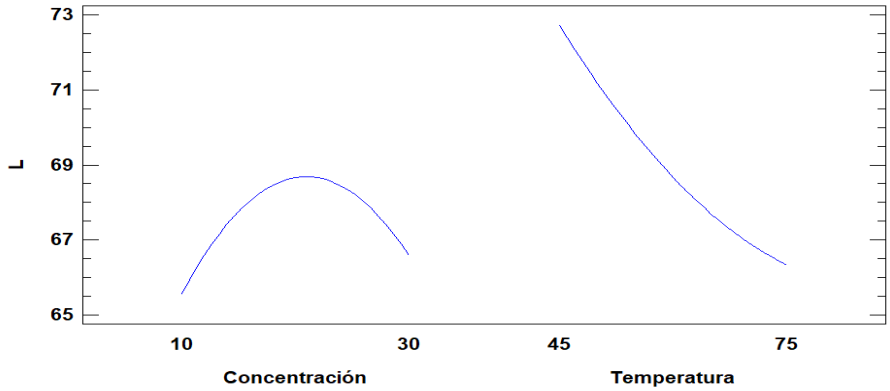
Asimismo, en la figura 10, de efecto estandarizado para el color **L*,** observamos que no hay ningún efecto significativo tanto de la temperatura y concentración de ácido acético para el pre tratamiento, pero la temperatura tiene mayor efecto que la concentración de pretratamiento.

figura 10 Pareto estandarizado para el color L*



En la figura 11, muestra las curvas de efectos individuales para el parámetro de color **L*** cómo se comporta con respecto a la concentración de pre tratamiento con ácido acético y la interacción de la temperatura donde podemos observar que la concentración no tiene una tendencia observable y por otro lado al aumentar la temperatura el parámetro **L*** va disminuyendo, esto representa los colores más oscuros. según (Ruttarattanamongkol et al., 2016) muestran resultados que a mayor temperatura de secado los valores **L*** son más altos con respecto a la muestra fresca, por ende, representa colores más claros L* (0= negro; 100= blanco). Por ello (Alva et al., 2015) y (VAN HAL, 2000) confirman que la luminosidad no está directamente relacionado con el color sino con el alto nivel de pardeamiento donde afecta su color durante la velocidad de secado. Asimismo, (Akoy, 2014), indica que la disminución en el valor L* puede atribuirse a la formación del pigmento marrón durante el secado, debido a que el pardeamiento aumenta con el aumento de la temperatura de secado.

figura 11 Efectos individuales para el color L*



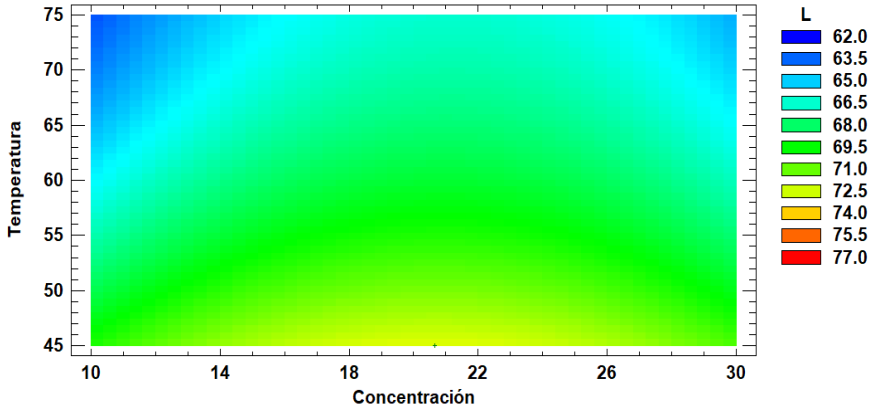
El pardeamiento enzimático en los tejidos ha sido atribuido a la actividad del polifenol oxidasa (PFO), una cobreproteína que actúa en los compuestos fenólicos, causando su oxidación y polimerización con el consecuente desarrollo de un color café. (García W. et al., 2006). De este modo se explica que al aumentar la temperatura el parámetro L* se torna a colorees más oscuros debido a la oxidación enzimática rápida de la papa la cual varía de acuerdo las distintas variedades.

Los polifenoles de la papa consisten en ácidos fenólicos, flavonoides y antocianinas. Los principales ácidos fenólicos reportados en las papas son ácido clorogénico y ácido cafeico; los principales flavonoides incluyen, quercetina, catequina y miricetina, mientras que las principales antocianinas son pelargonidina, peonidina, petunidina, malvidina, cianidina y delfinidina. (Rasheed et al., 2022)

De la misma forma se muestra la superficie de respuesta para el parámetro L* del espacio CIELAB donde se observa en la figura 12, indicando sus valores en su respectiva ecuación:

L*= 85.3556 + 1.015*Concentración - 0.698889*Temperatura - 0.0258333*Concentración^2 + 0.00116667*Concentración*Temperatura + 0.00385185*Temperatura^2

figura 12 Superficie de respuesta para el color L*



4.2.3. Análisis de color a*

En la tabla 5, se muestran los ANOVA para el parámetro **a*** (-a = verdoso; +a = rojo), del espacio CIELAB, donde se logra observar que solo la temperatura logro tener efecto significativo.

Tabla 5 ANOVA para el color a*

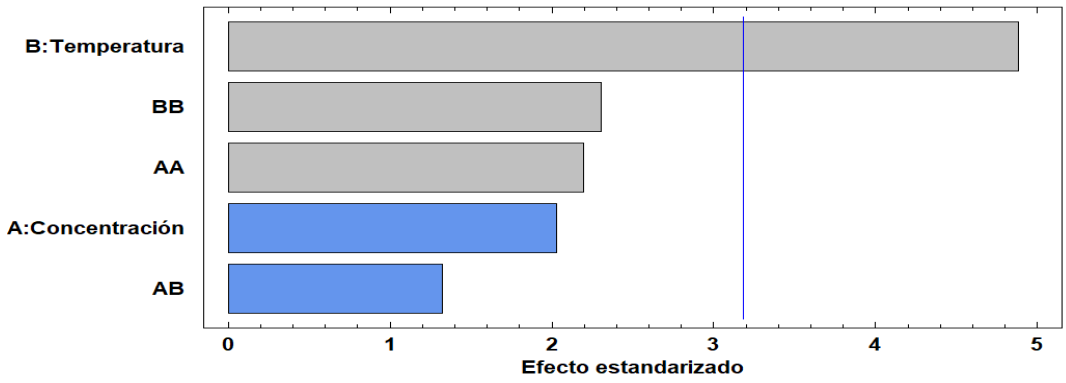
Fuente	*Suma de Cuadrados*	*Gl*	*Cuadrado Medio*	*Razón-F*	*Valor-P*
A: Concentración	6.82667	1	6.82667	4.12	0.1355
B: Temperatura	39.5267	1	39.5267	23.83	0.0164
AA	8.0	1	8.0	4.82	0.1156
AB	2.89	1	2.89	1.74	0.2785
BB	8.82	1	8.82	5.32	0.1044
Error total	4.97667	3	1.65889		
Total (corr.)	71.04	8			

a* = 27.4 - 0.566667*Concentración - 0.835556*Temperatura + 0.02*Concentración^2 - 0.00566667*Concentración*Temperatura + 0.00933333*Temperatura^2

Asimismo, al graficar los efectos estandarizados que se muestra en la figura 13, se observa que la temperatura tiene un efecto significativo sobre el parámetro **a***; es decir al aumentar la temperatura hay un mayor realce en el parámetro **a*** (-a = verdoso; +a = rojo); este efecto, mencionado por (T & Osorio, 2011), se puede explicar que al aplicar distintos tratamientos de calor la muestra mantiene su color (tonalidad roja) similar a de la papa fresca, pudiéndose observar en las figuras que el parámetro **a*** conserva su tonalidad muy clara ya que este tipo de secado no afecta de forma negativa el color característico de la papa criolla.

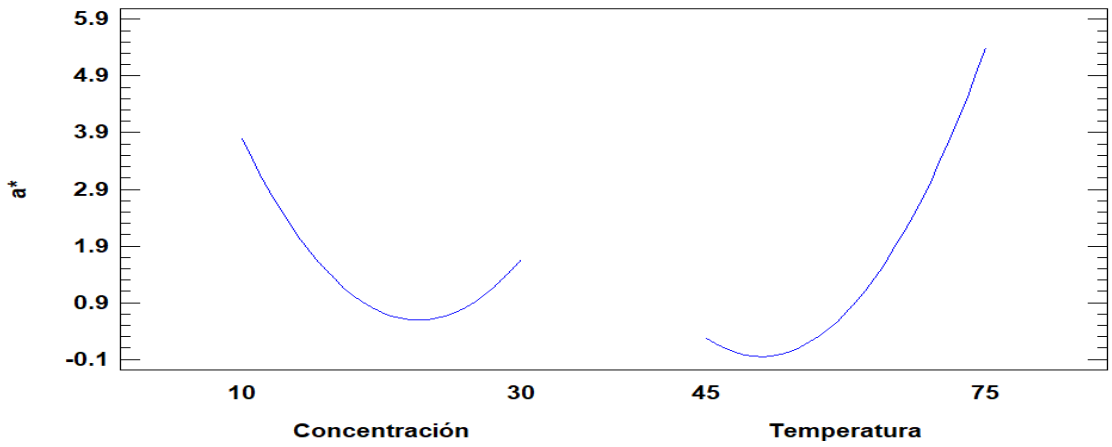
Esto se puede comparar ya que en la investigación realizada se logra que el parámetro a* presenta colores claros a tonalidades rojizas debido principalmente al contenido de antocianinas que generan su color tipo nativo de cada variedad de papa, de acuerdo a la presente investigaciones la papa conserva sus colores nativos de acuerdo a la medición de espectrofotometría comparando que la temperatura realza más las tonalidades nativas del color de la papa criolla.

figura 13 Pareto estandarizado para el color a*



Del mismo modo al graficar los efectos individuales en la figura 14, se muestra que mientras la concentración va aumentando tiende a subir ligeramente el parámetro **a***. por otro lado, al aumentar la temperatura hay mayor intensidad de color con respecto al parámetro **a*** (-a = verdoso; +a = rojo).

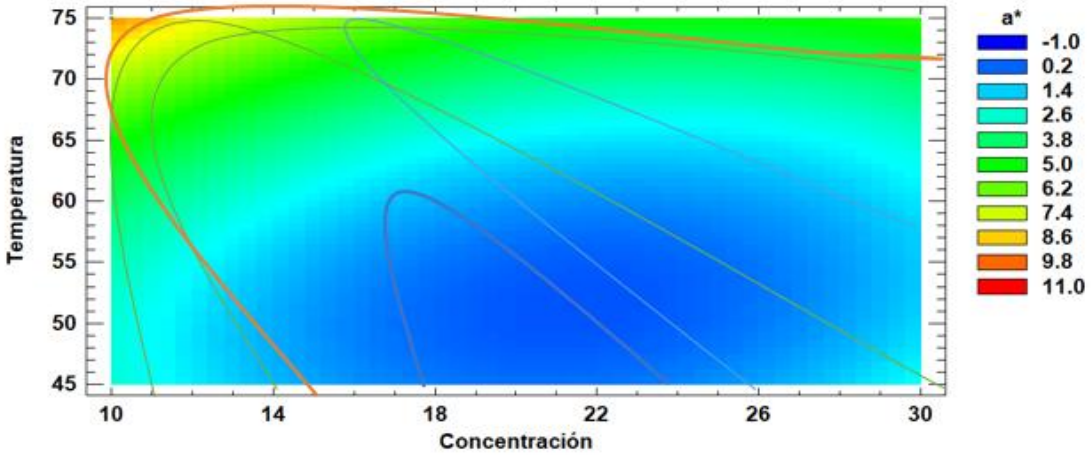
figura 14 Efectos individuales para el color a*



En la figura 15, se muestra la superficie de respuesta con respecto a la temperatura y el pretratamiento con ácido acético para el parámetro a* de las muestras donde se observa su ecuación adecuada la cual lo representa:

a* = 27.4 - 0.566667*Concentración - 0.835556*Temperatura + 0.02*Concentración^2 - 0.00566667*Concentración*Temperatura + 0.00933333*Temperatura^2

figura 15 Superficie de respuesta para el color a*



4.2.4. Valor óptimo para el parámetro a*

El valor optimo de la ecuación de acuerdo a la superficie de respuesta de la figura 15. Donde muestra los puntos para el parámetro a* la temperatura de efecto significativo es de 75 °C reflejando el punto más alto con tonalidades rojas más significativas.

4.2.5. Análisis de color b*

En la tabla 6, se muestra el color **b* (-b =azul, +b= amarillo)** dentro del espacio **CIELAB**, donde se puede distinguir que no hay significancia estadística de la temperatura ni de la concentración de pre tratamiento con ácido acético sobre el parámetro **b***

Tabla 6 ANOVA para el color b*

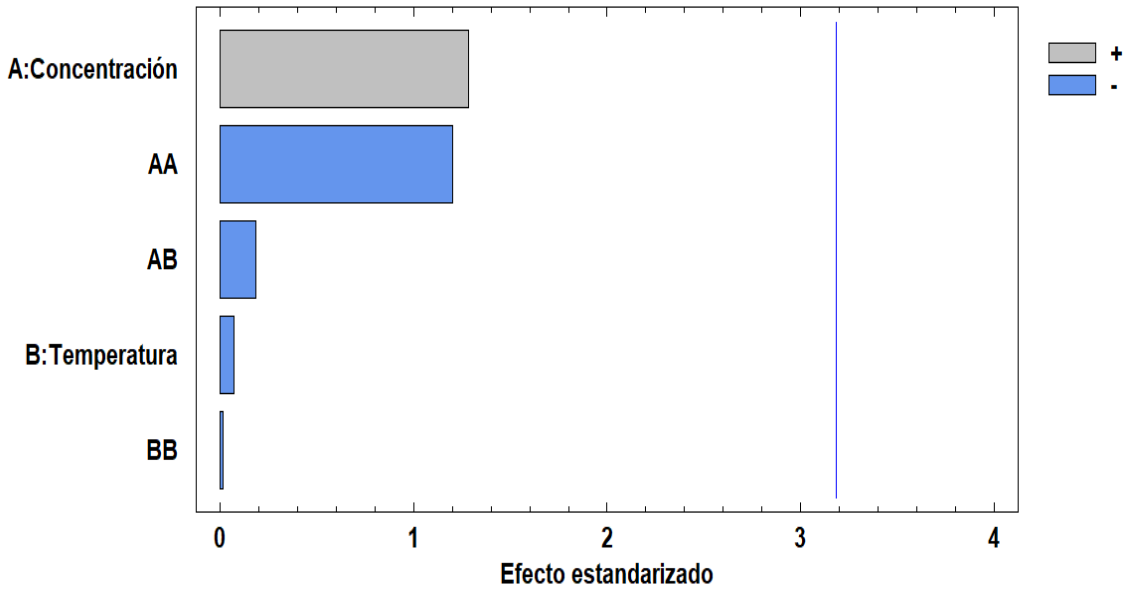
Fuente	*Suma de Cuadrados*	*Gl*	*Cuadrado Medio*	*Razón-F*	*Valor-P*
A: Concentración	51.6267	1	51.6267	1.65	0.2895
B: Temperatura	0.166667	1	0.166667	0.01	0.9465
AA	45.4422	1	45.4422	1.45	0.3149
AB	1.1025	1	1.1025	0.04	0.8632
BB	0.00888889	1	0.00888889	0.00	0.9876
Error total	94.0419	3	31.3473		
Total (corr.)	192.389	8			

b* = -7.82222 + 2.41*Concentración + 0.0944444*Temperatura - 0.0476667*Concentración^2 - 0.0035*Concentración*Temperatura - 0.000296296*Temperatura^2

En la figura 16, donde se logra observar que no hay ningún efecto significativo, podemos decir que la concentración de pretratamiento con ácido acético tiene mayor efecto que la temperatura con respecto al parámetro **b***.

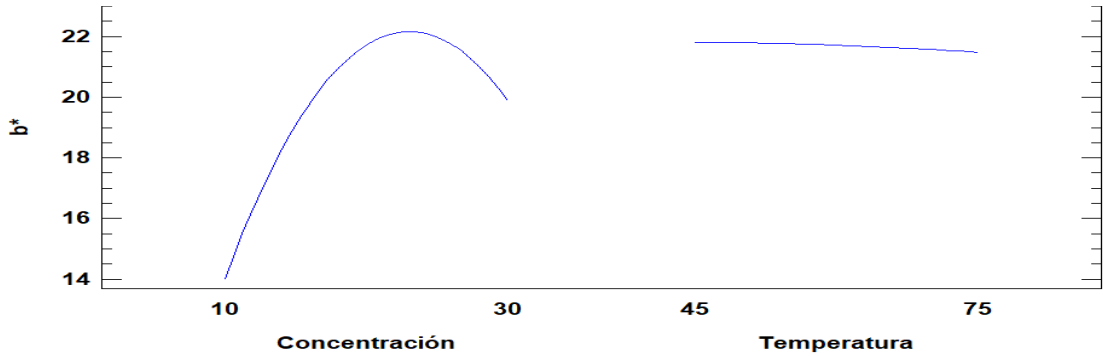
El uso de pretratamiento con ácido acético de 20 y 30 % v/v funciona como un antioxidante por ende realza los colores más claros a tonalidades amarillenta debido que no hay oxidación de los compuestos antioxidantes como son los polifenoles y las antocianinas y loa azucares como la glucosa y la fructosa son los principales azúcares simples y monosacáridos y los carbohidratos (almidón). Todo se hace con el propósito de evitar cambios a nivel enzimático que afecten la estructura del color. Del mismo las altas temperaturas de 75 °C actúan sobre los carbohidratos de la papa y mejoran las tonalidades amarillentas ya que se produce una reacción de Maillard sin efecto oxidativo.

figura 16 Pareto estandarizado para el color b*



Así mismo al graficar la figura 17, donde se muestra los efectos individuales de concentración de pre tratamiento y temperatura se logra observar que al aumentar la concentración de pre tratamiento hay efecto inicial sobre el color **b* (-b =azul, +b= amarillo)**, por otro lado, la temperatura no tiene mayor realce sobre el color **b*.** De este modo se explica que el pretratamiento con ácido acético realza el color más amarillento debido que funciona como un antioxidante para evitar el pardeamiento enzimático de la papa (amarilis), manteniendo su tonalidad amarilla, ya que la temperatura no tiene mayor realce en el parámetro **b*** de este modo no se produce colores más oscuros debido a la velocidad de secado.

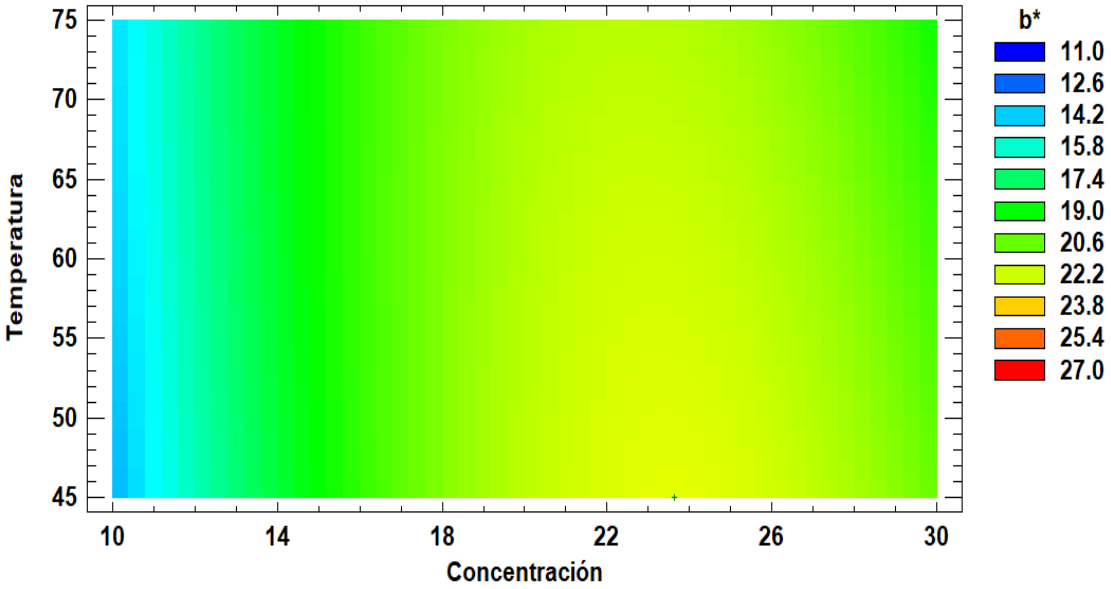
figura 17 Efectos individuales para el color b*



Del mismo modo en la figura 18 se muestra la superficie de respuesta estimada del efecto de la temperatura y pretratamiento con ácido acético sobre el parámetro b* donde su ecuación es representada por:

b* = -7.82222 + 2.41*Concentración + 0.0944444*Temperatura - 0.0476667*Concentración^2 - 0.0035*Concentración*Temperatura - 0.000296296*Temperatura^2

figura 18 Superficie de respuesta para el color b*



4.2.6. Análisis de dureza

De acuerdo a lo mostrado en la tabla 7, los parámetros de concentración de pre tratamiento con ácido acético y la temperatura obtuvieron valores de $p<0.05$ de este modo todos estos valores tienen significancia en la dureza.

La dureza es la fuerza máxima obtenida durante la primera parte de compresión, imitando el primer mordisco. Se refiere a la fuerza requerida para comprimir un alimento entre los molares o entre la lengua y el paladar. Se expresa en unidades de fuerza, generalmente Newton. (Hleap & Velasco, 2010). Por otro lado (González et al., 2015), menciona que la dureza es un parámetro que la mayoría de snacks a altas temperaturas presentas una textura rígida debido a la coagulación y gelificación firme del almidón por ende es más factible el análisis de dureza para la obtención de datos que faciliten su posterior empacado sin presentar daños ya que son alimentos que en su mayor parte no son empacados a sistema cerrado comprimido.

Tabla 7 ANOVA para la dureza

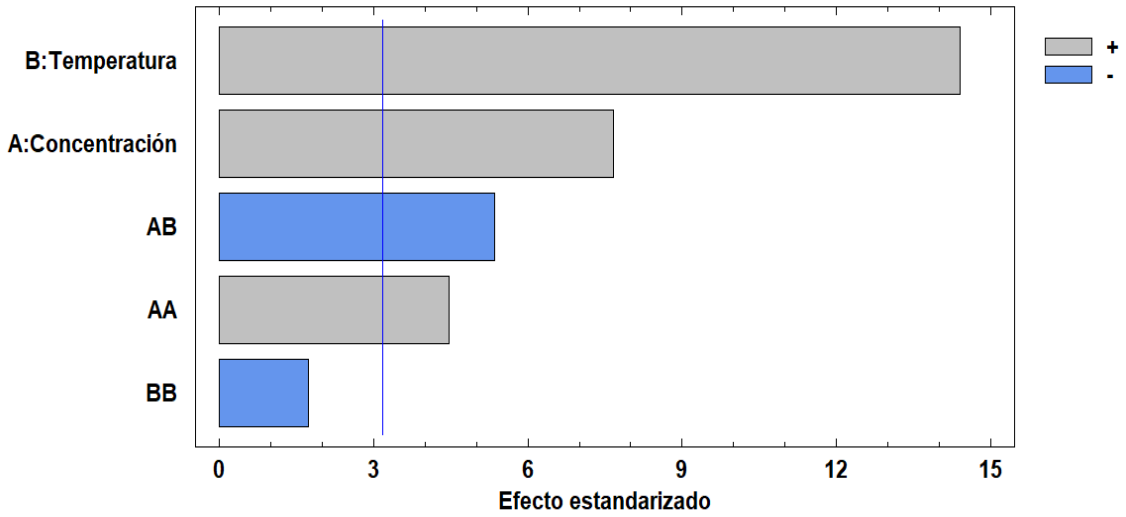
Fuente	*Suma de Cuadrados*	*Gl*	*Cuadrado Medio*	*Razón-F*	*Valor-P*
A: Concentración	2.81535	1	2.81535	58.59	0.0046
B: Temperatura	9.95882	1	9.95882	207.26	0.0007
AA	0.956806	1	0.956806	19.91	0.0210
AB	1.38063	1	1.38063	28.73	0.0127
BB	0.144006	1	0.144006	3.00	0.1819
Error total	0.144153	3	0.0480509		
Total (corr.)	15.3998	8			

Dureza = -7.83444 + 0.0268333*Concentración + 0.307333*Temperatura + 0.00691667*Concentración^2 - 0.00391667*Concentración*Temperatura - 0.00119259*Temperatura^2

En la figura 29, de efectos estandarizados para el parámetro de la dureza se puede observar que el mayor efecto significativo esta dado por la temperatura seguido de la concentración de pretratamiento con ácido acético, teniendo ambos un efecto significativo *(p <0.05)* sobre el parámetro dureza. Asimismo. Donde la dureza aumenta cuando la concentración de pretratamiento y temperatura son más altas debido que la muestra se deshidrata y la muestra es más resistente y dura. Asimismo, (Ravano & Alejandra, 2008), menciona que la textura es la coagulación y la gelificación del almidón y la deshidratación parcial que sufre el producto.

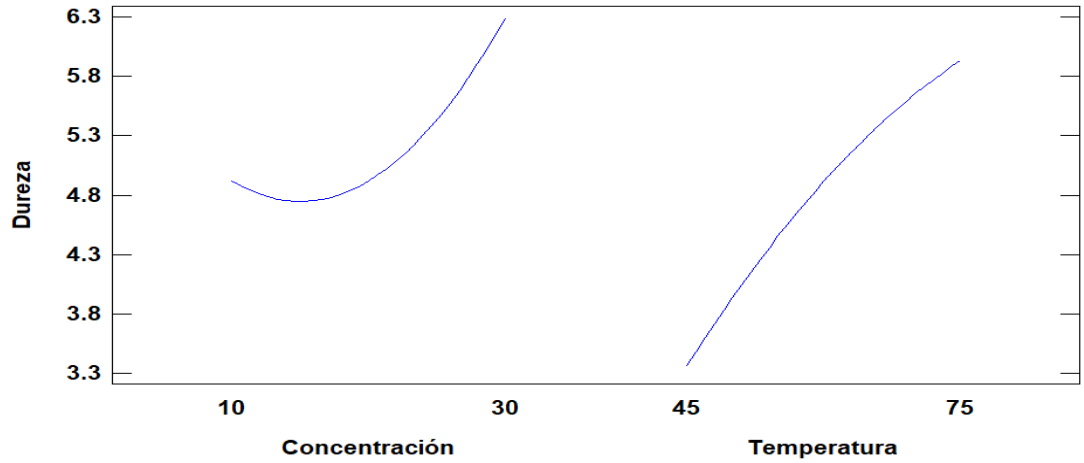
Este análisis se puede comparar con los datos obtenidos ya que la temperatura y el uso de aceleradores de secado como el ácido acético producen una rigidez en el alimento por ende durante el secado las láminas de papa o snacks generan firmeza debido a sus componentes mayoritarios como son los carbohidratos y por ende genera dureza y resistencia frente a la deformación.

figura 19 Pareto estandarizado para la dureza



En la figura 20, de los efectos individuales se observa las curvas de concentración de pretratamiento y temperatura, donde se logra observar que al aumentar la concentración de pre tratamiento aumenta la dureza de la muestra y del mismo modo a mayor temperatura mayor dureza.

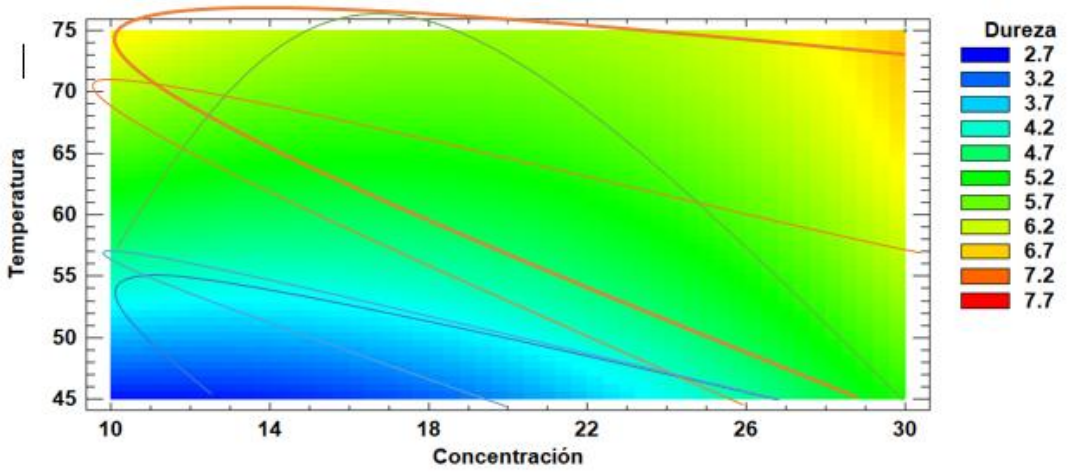
figura 20 efectos individuales para la dureza



En la figura 21 se muestra la superficie de respuesta para el parámetro textural de dureza por efecto de la temperatura y pretratamiento con ácido acético donde se muestra la ecuación:

Dureza = -7.83444 + 0.0268333*Concentración + 0.307333*Temperatura + 0.00691667*Concentración^2 - 0.00391667*Concentración*Temperatura - 0.00119259*Temperatura^2

figura 21 superficie de respuesta para la dureza



4.2.7. Valor óptimo para la dureza

El valor óptimo de temperatura y concentración de pretratamiento con ácido acético para logara un equilibrio de las láminas de papa mediante equipo de medición texturometro es de 75 °C y 20 % v/v, es el tratamiento donde se logra un aspecto de calidad en el alimento.

4.2.8. Optimización

Los valores óptimos es un sistema de ecuaciones que permite optimizar las operaciones de deshidratación para conseguir la máxima eficiencia y determinadas características del producto tal como menciona (Quispe Quilca, 2016), es aplicar el método superficie de respuesta, empleando un diseño de experimento con tendencia central compuesta, obteniendo gráficas y una ecuación cuadrática, el cual al interrelacionarse indicaron los valores promedio de las variables de respuesta y las condiciones más adecuadas de secado, se han encontrado las regiones óptimas para cada factor de análisis durante este proceso.

figura 22 Curva de optimización

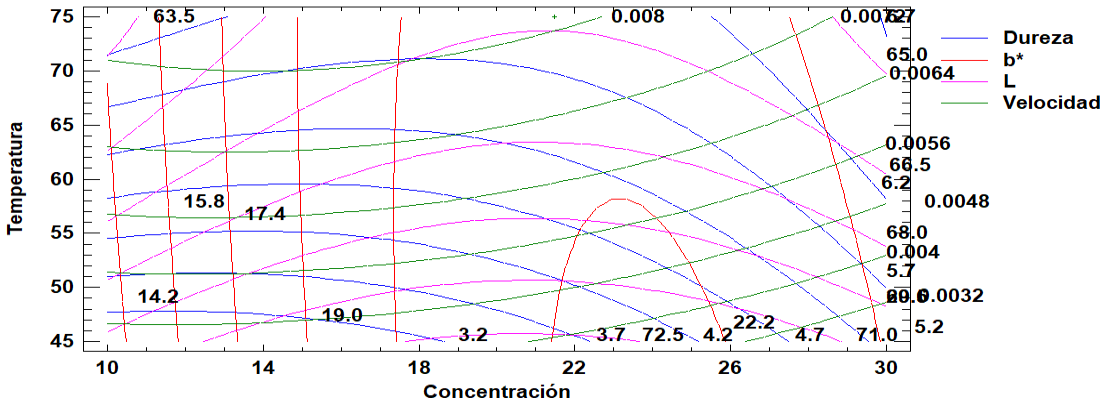


Tabla 8 Datos del valor óptimo

Factor	*Bajo*	*Alto*	*Óptimo*
Concentración	10.0	30.0	21.4714
Temperatura	45.0	75.0	75.0

Los valores óptimos de concentración de pretratamiento con ácido acético y temperatura para lograr una mejor calidad de color y textura en la muestra deshidratada fueron de 21.4714 de concentración y 75 °C de temperatura tal como se muestra en la tabla 8 y la figura 23 de las muestras sobre las curvas de optimización.

CAPITULO V

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.CONCLUSIONES

Se observó los efectos sobre el color donde solo la temperatura de 75 °C y la concentración de ácido acético de 20 % v/v funciona como un antioxidante de este modo tuvo efecto significativo en el parámetro (a *) (realzando los colores nativos primarios del vegetal a tonalidades rojas.

Se determinó que de las temperaturas y concentración de pretratamiento con ácido acético aplicadas solo tuvieron mayor efecto la temperatura de 75 °C y concentración de ácido acético de 20 % v/v sobre los parámetros texturales (dureza), siendo los que representaron más los cambios a nivel de significancia estadística mejorando considerablemente las características de las láminas de papa en cuanto al secado.

5.2.RECOMENDACIONES

Se deben realizar más investigaciones sobre el uso de aceleradores de secado tal como el etanol, acetona, alcohol etílico, etc.

Comparar este estudio para generar nuevas variables de estudio con respecto a la concentración de ácido acético para mejorar el proceso de secado.

Comparar cual es la temperatura ideal para mejorar la calidad de los parámetros de color durante el proceso de secado.

CAPITULO VI

VI. BIBLIOGRAFÍA

Aguayo, U., & Cristóbal, J. (2021). *Papas nativas de la Isla Grande de Chiloé y sus perspectivas de comercialización en el mercado gastrónomico de Valdivia*. http://repositorio.ucv.cl/handle/10.4151/76970

Akoy, E. (2014). Effect of Drying Temperature on Some Quality Attributes of Mango Slices. *International Journal of Innovation and Scientific Research*, *4*, 91-99.

Alva, C., Ramírez, C., & Siche, R. (2015). Visión computacional en la evaluación del efecto de la temperatura y tiempo de fritura sobre el color de hojuelas de papa (Solanum tuberosum) nativa. *Agroindustrial Science*, *5*(2), Article 2. https://doi.org/10.17268/agroind.science.2015.02.07

Batuwatta-Gamage, C. P., Rathnayaka, C. M., Karunasena, H. C. P., Jeong, H., Karim, M. A., & Gu, Y. T. (2024). A physics-informed neural network framework to investigate nonlinear and heterogenous shrinkage of drying plant cells. *International Journal of Mechanical Sciences*, *275*, 109267. https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2024.109267

Bilbao-Sainz, C. (2002). *Estudio del secado combinado aire/microondas en manzana granny smith* [Http://purl.org/dc/dcmitype/Text, Universitat Politècnica de València]. https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=242967

Carvalho, G. R., Rojas, M. L., Silveira, I., & Duarte Augusto, P. E. (2020). Drying Accelerators to Enhance Processing and Properties: Ethanol, Isopropanol, Acetone and Acetic Acid as Pre-treatments to Convective Drying of Pumpkin. *Universidad Privada Del Norte*. https://doi.org/10.1007/s11947-020-02542-6

Contreras Monzón, C. I. (2006, marzo 10). *Influencia del método de secado en parámetros de calidad relacionados con la estructura y el color de manzana y fresa deshidratadas*. https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/1932

de Assumpção Pereira-da-Silva, M., & Ferri, F. A. (2017). 1—Scanning Electron Microscopy. En A. L. Da Róz, M. Ferreira, F. de Lima Leite, & O. N. Oliveira (Eds.), *Nanocharacterization Techniques* (pp. 1-35). William Andrew Publishing. https://doi.org/10.1016/B978-0-323-49778-7.00001-1

Fairlie, T., Bermúdez, M. M., & Holle, M. (1999). *Raíces y tubérculos andinos: Avances de investigación*. Centro Internacional de la Papa. https://books.google.com.pe/books?id=TYKPIEA6fU8C

García W., C. L., Giraldo G., G. A., Hurtado T., H., & Mendivil, C. O. (2006). CINÉTICA ENZIMÁTICA DE LA POLIFENOL OXIDASA DEL BANANO GROS MICHEL EN DIFERENTES ESTADOS DE MADURACIÓN. *Vitae*, *13*(2), 13-19. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0121-40042006000200002&lng=en&nrm=iso&tlng=es

Gilabert, E. J. (with Universidad Politécnica de Valencia Servicio de Publicaciones). (1992). *Medida del color*. Universidad Politécnica, Servicio de publicaciones.

González, A., Alvis, A., & Arrázola, G. (2015). Efecto del Recubrimiento Comestible en las Propiedades de Trozos de Batata (Ipomoea Batatas Lam) Fritos por Inmersión: Parte 1: Textura. *Información tecnológica*, *26*(1), 95-102. https://doi.org/10.4067/S0718-07642015000100011

Guerreo, L., & Núñez García, M. J. (1991). El proceso de secado en los alimentos. *Alimentación, equipos y tecnología*, *10*(10), 111-117. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=88380

Hellmann, H., Goyer, A., & Navarre, D. A. (2021). Antioxidants in Potatoes: A Functional View on One of the Major Food Crops Worldwide. *Molecules*, *26*(9), 2446. https://doi.org/10.3390/molecules26092446

Hleap, J. I., & Velasco, V. A. (2010). ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES DE TEXTURA DURANTE EL ALMACENAMIENTO DE SALCHICHAS ELABORADAS A PARTIR DE TILAPIA ROJA (Oreochromis sp.). *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, *8*(2), 46-56. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1692-35612010000200007&lng=en&nrm=iso&tlng=es

Khan, M. I. H., Wellard, R. M., Nagy, S. A., Joardder, M. U. H., & Karim, M. A. (2017). Experimental investigation of bound and free water transport process during drying of hygroscopic food material. *International Journal of Thermal Sciences*, *117*, 266-273. https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2017.04.006

Llanos Córdova, E. M. (2009). Capacidad antioxidante de tres variedades de papa (Solanum tuberosum) con y sin cáscara: Blanca, amarilla y rosada. *Universidad Nacional Mayor de San Marcos*. https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/778

Lozada, D. F. G., Oña, G. E. C., & Chavez, A. F. M. (2021). Drying Kinetics of Oca (Oxalis Tuberosa). *ESPOCH Congresses: The Ecuadorian Journal of S.T.E.A.M.*, *1*(5), 1322-1333. https://doi.org/10.18502/espoch.v1i5.9573

Mathias-Rettig, K., & Ah-Hen, K. (2014). El color en los alimentos un criterio de calidad medible. *Agro Sur*, *42*(2), 57-66. https://doi.org/10.4206/agrosur.2014.v42n2-07

Maupoey, P. F., Grau, A. M. A., Baviera, J. M. B., & Sorolla, A. M. A. (s. f.). *INTRODUCCIÓN AL SECADO DE ALIMENTOS POR AIRE CALIENTE*.

Molina Arias, M. (2017). ¿Qué significa realmente el valor de p? *Pediatría Atención Primaria*, *19*(76), 377-381. https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1139-76322017000500014&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Monteros J., C., Cuesta Subía, H. X., & Jiménez, J. (2005). *Papas nativas en el Ecuador: Estudios cualitativos sobre oferta y demanda*. http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/3327

Nava, J. R. D. (2004, mayo 13). *Estudio experimental del efecto de la porosidad de particulas sobre el proceso de secado en un lecho fluidizado a vacio empleando aire*. http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/davila_n_jr/

Prawiranto, K., Defraeye, T., Derome, D., Bühlmann, A., Hartmann, S., Verboven, P., Nicolai, B., & Carmeliet, J. (2019). Impact of drying methods on the changes of fruit microstructure unveiled by X-ray micro-computed tomography. *RSC Advances*, *9*(19), 10606-10624. https://doi.org/10.1039/C9RA00648F

Quispe Quilca, J. (2016). *Determinación de parámetros óptimos en el secado de fécula de papa (solamum tuberosum L.) calidad tercera en un secador flash tipo neumático*. http://repositorio.unamba.edu.pe/handle/UNAMBA/314

Rasheed, H., Ahmad, D., & Bao, J. (2022). Genetic Diversity and Health Properties of Polyphenols in Potato. *Antioxidants*, *11*(4), 603. https://doi.org/10.3390/antiox11040603

Ravano, M., & Alejandra, C. (2008). *Clasificación de calidad sensorial de papas fritas tipo chips mediante visión computacional*. https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/105278

Rosenthal, A. J. (2001). *Textura de los alimentos: Medida y percepción /*. Editorial ACRIBIA, S.A.,.

Ruttarattanamongkol, K., Chittrakorn, S., Weerawatanakorn, M., & Dangpium, N. (2016). Effect of drying conditions on properties, pigments and antioxidant activity retentions of pretreated orange and purple-fleshed sweet potato flours. *Journal of Food Science and Technology*, *53*(4), 1811-1822. https://doi.org/10.1007/s13197-015-2086-7

S, L., & Patricia (ed.). (2003). *Plagas de la papa y su manejo*. https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/3684

Saenz-Pardo-Reyes, E., López-Espinoza, A., Padilla Galindo, M. del R., Saenz-Pardo-Reyes, E., López-Espinoza, A., & Padilla Galindo, M. del R. (2021). Complejidad textural: La percepción como determinante de la conducta de comer. *Revista mexicana de trastornos alimentarios*, *11*(2), 183-192. https://doi.org/10.22201/fesi.20071523e.2021.2.740

Seminario, J. F., Seminario, A., Domínguez, A., & Escalante, B. (2017). Rendimiento de cosecha de diecisiete cultivares de papa (Solanum tuberosum L.) del grupo Phureja. *Scientia Agropecuaria*, *8*(3), Article 3. https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2017.03.01

Strumillo, C., & Kudra, T. (1986). *Drying: Principles, Applications, and Design*. CRC Press.

Subía, C., & Xavier, H. (2012). *Valor nutritivo de la papa*. http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/1507

T, R. R., & Osorio, D. S. D. (2011). Efecto del secado por microondas sobre el color de la papa criolla (Solanum phureja). *@limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria*, *9*(2), Article 2. https://doi.org/10.24054/16927125.v2.n2.2011.476

Torreggiani, D., Forni, E., Guercilena, I., Maestrelli, A., Bertolo, G., Archer, G. P., Kennedy, C. J., Bone, S., Blond, G., Contreras-Lopez, E., & Champion, D.

(1999). Modification of glass transition temperature through carbohydrates additions: Effect upon colour and anthocyanin pigment stability in frozen strawberry juices. *Food Research International*, *32*(6), 441-446. https://doi.org/10.1016/S0963-9969(99)00106-4

Universidad Pública de Navarra—Campus de Excelencia Internacional. (s. f.). Recuperado 4 de mayo de 2023, de http://www.unavarra.es/mecatronica-agraria/publicaciones/libros?tipoPub=cap&index=20

VAN HAL, M. (2000). Quality of Sweetpotato Flour During Processing and Storage. *Food Reviews International*, *16*(1), 1-37. https://doi.org/10.1081/FRI-100100280

Vírseda Chamorro, M. P., López, A., & Abril Requena, J. (1995). Modelización de la cinética de secado de patata cortada en láminas. *Alimentaria: Revista de tecnología e higiene de los alimentos*, *268*, 43-48. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=132876

Welsh, Z., Simpson, M. J., Khan, M. I. H., & Karim, M. A. (2018). Multiscale Modeling for Food Drying: State of the Art. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *17*(5), 1293-1308. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12380

CAPITULO VII

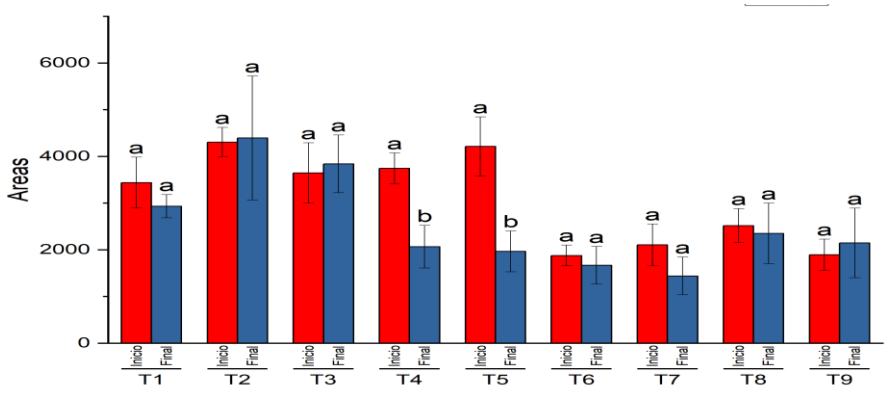
VII. ANEXOS

7.1.Análisis adicional

7.1.1. Análisis de efectos sobre parámetros microestructurales

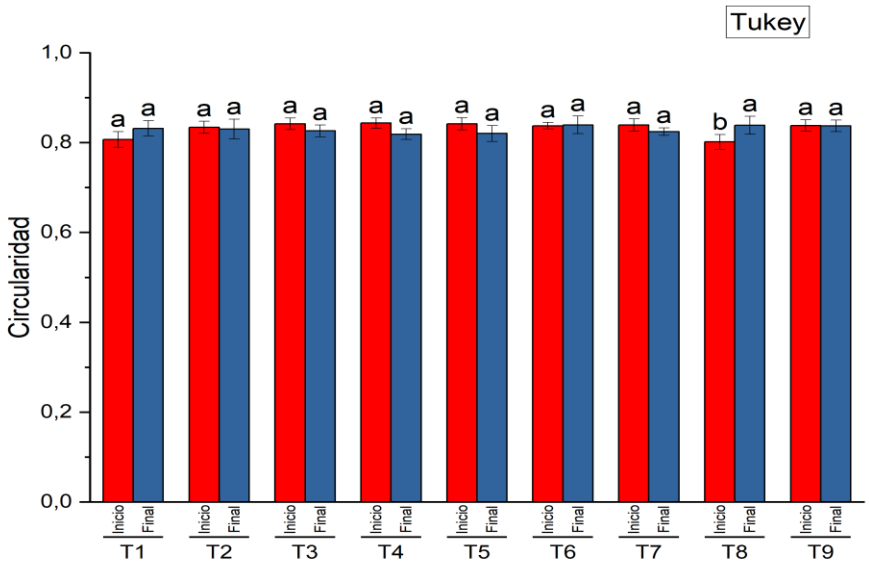
En la figura 24, se realizó el análisis descriptivo para observar el comportamiento de las características microestructurales de la papa durante el proceso de secado, se logra observar que el área tiene tendencia a decrecer, lo cual muestra una contracción por efecto de la temperatura. Esto se menciona en la investigación (Khan et al., 2017), donde la comprensión profunda de los mecanismos de migración de humedad desde diferentes ambientes celulares durante el secado es crucial para optimizar la transferencia de calor y masa, así como para obtener alimentos secos de mejor calidad. Por lo tanto, la comprensión de las distribuciones de humedad y temperatura y el mecanismo de transporte durante el secado es importante. La tasa de transporte de humedad depende del tamaño y la orientación de las células, así como de los tipos de agua celular en las muestras. Los materiales alimenticios de origen vegetal son higroscópicos y porosos por naturaleza.

figura 23 Prueba Tukey para el área con respecto a la temperatura



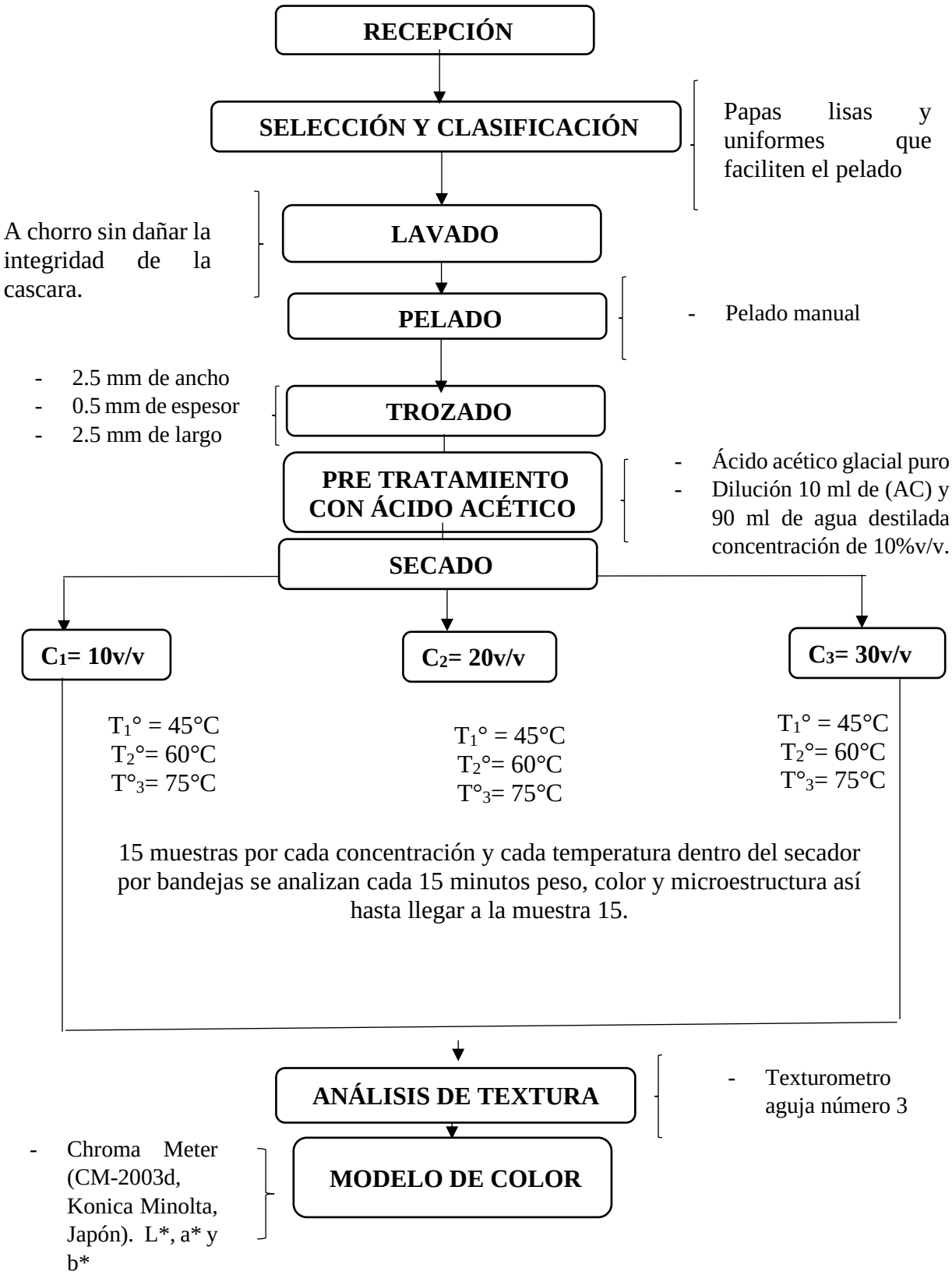
Asimismo, en la figura 25 se observa el efecto de la temperatura y pretratamiento con ácido acético sobre la circularidad celular en la microestructura de las rodajas de papa, donde el mayor efecto es en el tratamiento 8 a altas temperaturas muestra un efecto claro de decrecimiento celular. Según (Batuwatta-Gamage et al., 2024) A pesar de la forma circular inicial del dominio celular, surgen patrones de contracción no uniformes, en particular durante las etapas finales del secado es decir, (el espesor de la pared celular) también se pueden observar a través de las regiones que experimentan un mayor grado de contracción muestran finalmente paredes celulares más delgadas, donde según esta investigación al utilizar aceleradores de secado facilitan la contracción celular de los tejidos se encuentra en diferentes compartimentos, a saber, intracelular (dentro de la célula), con el propósito de reducir los tiempos de secado.

figura 24 Prueba Tukey para la circularidad con respecto a la temperatura



Significance Level: 0,05

7.2.Flujo de proceso de secado de láminas de papa amarilis



Anexo1: datos de cálculo para la velocidad de secado

TIEMPO	PESO	MR_t	□M	x_w	X_w	Y = dXw/dt	Ln MRt
min	g	-	g	gH_2O/ g.alim	gH_2O/ g.s.s.	gH_2O/ g.s.s. x min	
0.000	3.143	1.000	0.000	0.805	4.135	0.000	**0.000**
15.000	2.933	0.931	-0.067	0.791	3.793	0.023	**-0.072**
30.000	2.787	0.882	-0.113	0.780	3.553	0.016	**-0.125**
45.000	2.649	0.837	-0.157	0.769	3.329	0.015	**-0.178**
60.000	2.530	0.797	-0.195	0.758	3.134	0.013	**-0.227**
75.000	2.410	0.758	-0.233	0.746	2.938	0.013	**-0.277**
90.000	2.290	0.718	-0.271	0.733	2.742	0.013	**-0.331**
105.000	2.176	0.680	-0.308	0.719	2.555	0.012	**-0.386**
120.000	2.072	0.646	-0.341	0.705	2.386	0.011	**-0.437**
135.000	1.977	0.614	-0.371	0.690	2.229	0.010	**-0.487**
150.000	1.863	0.577	-0.407	0.671	2.044	0.012	**-0.551**
165.000	1.759	0.542	-0.440	0.652	1.874	0.011	**-0.612**
180.000	1.654	0.507	-0.474	0.630	1.702	0.011	**-0.678**
195.000	1.553	0.474	-0.506	0.606	1.538	0.011	**-0.746**

TIEMPO	PESO	MR_t	□M	x_w	X_w	Y = dXw/dt	Ln MRt
min	g	-	g	gH_2O/ g.alim	gH_2O/ g.s.s.	gH_2O/ g.s.s. x min	
0.000	2.795	1.000	0.000	0.805	4.135	0.000	**0.000**
15.000	2.652	0.947	-0.051	0.795	3.872	0.018	**-0.055**
30.000	2.548	0.908	-0.088	0.786	3.681	0.013	**-0.097**
45.000	2.425	0.862	-0.132	0.776	3.456	0.015	**-0.149**
60.000	2.318	0.822	-0.171	0.765	3.258	0.013	**-0.197**
75.000	2.201	0.778	-0.213	0.753	3.043	0.014	**-0.251**
90.000	2.094	0.738	-0.251	0.740	2.847	0.013	**-0.304**
105.000	1.997	0.702	-0.285	0.727	2.669	0.012	**-0.354**
120.000	1.885	0.660	-0.326	0.711	2.462	0.014	**-0.416**
135.000	1.769	0.616	-0.367	0.692	2.249	0.014	**-0.484**
150.000	1.620	0.561	-0.420	0.664	1.977	0.018	**-0.578**
165.000	1.520	0.523	-0.456	0.642	1.792	0.012	**-0.648**
180.000	1.426	0.488	-0.490	0.618	1.619	0.012	**-0.717**
195.000	1.332	0.453	-0.523	0.591	1.447	0.011	**-0.792**

TIEMPO	PESO	MR_t	□M	x_w	X_w	Y = dXw/dt	Ln MRt
min	g	-	g	gH_2O/ g.alim	gH_2O/ g.s.s.	gH_2O/ g.s.s. x min	
0.000	3.039	1.000	0.000	0.805	4.135	0.000	**0.000**
15.000	2.809	0.921	-0.076	0.789	3.746	0.026	**-0.082**
30.000	2.695	0.882	-0.113	0.780	3.554	0.013	**-0.125**
45.000	2.597	0.849	-0.145	0.772	3.388	0.011	**-0.164**
60.000	2.494	0.813	-0.179	0.763	3.215	0.012	**-0.206**
75.000	2.391	0.778	-0.213	0.752	3.040	0.012	**-0.251**
90.000	2.283	0.741	-0.249	0.741	2.857	0.012	**-0.300**
105.000	2.160	.699	-0.289	0.726	2.650	0.014	**-0.358**
120.000	2.072	0.669	-0.318	0.714	2.502	0.010	**-0.402**
135.000	1.985	0.639	-0.347	0.702	2.354	0.010	**-0.448**
150.000	1.890	0.606	-0.378	0.687	2.193	0.011	**-0.500**
165.000	1.794	0.573	-0.410	0.670	2.031	0.011	**-0.556**
180.000	1.688	0.537	-0.444	0.649	1.853	0.012	**-0.621**
195.000	1.590	0.503	-0.477	0.628	1.686	0.011	**-0.686**

TIEMPO	PESO	MR_t	□M	x_w	X_w	Y = dXw/dt	Ln MRt
min	g	-	g	gH_2O/ g.alim	gH_2O/ g.s.s.	gH_2O/ g.s.s. x min	
0.000	2.819	1.000	0.000	0.805	4.135	0.000	**0.000**
15.000	2.571	0.908	-0.088	0.786	3.684	0.030	**-0.096**
30.000	2.366	0.832	-0.161	0.768	3.310	0.025	**-0.184**
45.000	2.178	0.763	-0.227	0.748	2.967	0.023	**-0.271**
60.000	2.038	0.711	-0.277	0.731	2.713	0.017	**-0.341**
75.000	1.797	0.621	-0.363	0.694	2.273	0.029	**-0.476**
90.000	1.637	0.562	-0.419	0.665	1.981	0.019	**-0.576**
105.000	1.457	0.496	-0.483	0.623	1.655	0.022	**-0.702**
120.000	1.283	0.431	-0.545	0.572	1.337	0.021	**-0.842**
135.000	1.124	0.372	-0.601	0.512	1.048	0.019	**-0.989**
150.000	0.971	0.315	-0.655	0.435	0.769	0.019	**-1.154**
165.000	0.824	0.261	-0.708	0.334	0.501	0.018	**-1.344**
180.000	0.701	0.215	-0.751	0.217	0.276	0.015	**-1.536**
195.000	0.617	0.184	-0.781	0.110	0.124	0.010	**-1.692**

TIEMPO	PESO	MR_t	□M	x_w	X_w	Y = dXw/dt	Ln MRt
min	g	-	g	gH_2O/ g.alim	gH_2O/ g.s.s.	gH_2O/ g.s.s. x min	
0.000	3.280	1.000	0.000	0.805	4.135	0.000	**0.000**
15.000	3.044	0.925	-0.072	0.790	3.766	0.025	**-0.078**
30.000	2.830	0.857	-0.137	0.774	3.430	0.022	**-0.154**
45.000	2.645	0.799	-0.194	0.759	3.141	0.019	**-0.224**
60.000	2.409	0.724	-0.266	0.735	2.772	0.025	**-0.322**
75.000	2.217	0.664	-0.324	0.712	2.471	0.020	**-0.410**
90.000	2.038	0.607	-0.379	0.687	2.191	0.019	**-0.499**
105.000	1.874	0.555	-0.429	0.659	1.933	0.017	**-0.589**
120.000	1.708	0.503	-0.479	0.626	1.674	0.017	**-0.688**
135.000	1.539	0.449	-0.531	0.585	1.409	0.018	**-0.801**
150.000	1.407	0.407	-0.571	0.546	1.203	0.014	**-0.898**
165.000	1.245	0.356	-0.620	0.487	0.949	0.017	**-1.033**
180.000	1.153	0.327	-0.649	0.446	0.804	0.010	**-1.119**
195.000	1.050	0.294	-0.680	0.391	0.643	0.011	**-1.224**

TIEMPO	PESO	MR_t	□M	x_w	X_w	Y = dXw/dt	Ln MRt
min	g	-	g	gH_2O/ g.alim	gH_2O/ g.s.s.	gH_2O/ g.s.s. x min	
0.000	3.332	1.000	0.000	0.805	4.135	0.000	**0.000**
15.000	3.063	0.916	-0.081	0.788	3.721	0.028	**-0.087**
30.000	2.884	0.861	-0.134	0.775	3.445	0.018	**-0.150**
45.000	2.728	0.812	-0.181	0.762	3.205	0.016	**-0.208**
60.000	2.589	0.769	-0.223	0.749	2.991	0.014	**-0.263**
75.000	2.473	0.733	-0.258	0.738	2.811	0.012	**-0.311**
90.000	2.371	0.701	-0.288	0.726	2.654	0.010	**-0.355**
105.000	2.271	0.670	-0.318	0.714	2.500	0.010	**-0.401**
120.000	2.156	0.634	-0.353	0.699	2.323	0.012	**-0.456**
135.000	2.043	0.599	-0.387	0.682	2.149	0.012	**-0.513**
150.000	1.941	0.567	-0.417	0.666	1.992	0.010	**-0.567**
165.000	1.846	0.537	-0.446	0.649	1.845	0.010	**-0.621**
180.000	1.756	0.509	-0.473	0.630	1.706	0.009	**-0.675**
195.000	1.656	0.478	-0.503	0.608	1.552	0.010	**-0.738**

TIEMPO	PESO	MR_t	□M	x_w	X_w	Y = dXw/dt	Ln MRt
min	g	-	g	gH_2O/ g.alim	gH_2O/ g.s.s.	gH_2O/ g.s.s. x min	
0.000	3.646	1.000	0.000	0.805	4.135	0.000	**0.000**
15.000	3.252	0.888	-0.108	0.782	3.581	0.037	**-0.118**
30.000	2.737	0.742	-0.249	0.741	2.855	0.048	**-0.298**
45.000	2.324	0.625	-0.362	0.695	2.274	0.039	**-0.470**
60.000	2.132	0.571	-0.415	0.667	2.003	0.018	**-0.561**
75.000	1.991	0.531	-0.454	0.643	1.805	0.013	**-0.634**
90.000	1.740	0.460	-0.523	0.592	1.451	0.024	**-0.778**
105.000	1.606	0.421	-0.560	0.558	1.262	0.013	**-0.864**
120.000	1.336	0.345	-0.633	0.469	0.883	0.025	**-1.064**
135.000	1.248	0.320	-0.658	0.431	0.757	0.008	**-1.140**
150.000	1.144	0.290	-0.686	0.379	0.611	0.010	**-1.236**
165.000	1.065	0.268	-0.708	0.333	0.500	0.007	**-1.317**
180.000	1.043	0.262	-0.714	0.319	0.468	0.002	**-1.341**
195.000	1.022	0.256	-0.720	0.305	0.439	0.002	**-1.363**

TIEMPO	PESO	MR_t	□M	x_w	X_w	Y = dXw/dt	Ln MRt
min	g	-	g	gH_2O/ g.alim	gH_2O/ g.s.s.	gH_2O/ g.s.s. x min	
0.000	2.923	1.000	0.000	0.805	4.135	0.000	**0.000**
15.000	2.532	0.860	-0.134	0.775	3.448	0.046	**-0.150**
30.000	2.171	0.732	-0.257	0.738	2.814	0.042	**-0.312**
45.000	1.907	0.637	-0.348	0.701	2.350	0.031	**-0.450**
60.000	1.630	0.539	-0.442	0.651	1.863	0.032	**-0.619**
75.000	1.383	0.451	-0.527	0.589	1.430	0.029	**-0.797**
90.000	1.159	0.370	-0.604	0.509	1.035	0.026	**-0.993**
105.000	0.989	0.310	-0.662	0.424	0.737	0.020	**-1.172**
120.000	0.861	0.264	-0.705	0.339	0.513	0.015	**-1.330**
135.000	0.787	0.238	-0.731	0.276	0.382	0.009	**-1.436**
150.000	0.758	0.228	-0.741	0.249	0.331	0.003	**-1.480**
165.000	0.750	0.225	-0.744	0.241	0.317	0.001	**-1.493**
180.000	0.744	0.223	-0.745	0.235	0.308	0.001	**-1.502**
195.000	0.741	0.221	-0.747	0.231	0.301	0.000	**-1.508**

TIEMPO	PESO	MR_t	□M	x_w	X_w	Y = dXw/dt	Ln MRt
min	g	-	g	gH_2O/ g.alim	gH_2O/ g.s.s.	gH_2O/ g.s.s. x min	
0.000	3.060	1.000	0.000	0.805	4.135	0.000	**0.000**
15.000	2.768	0.900	-0.096	0.785	3.644	0.033	**-0.105**
30.000	2.468	0.799	-0.193	0.759	3.142	0.033	**-0.225**
45.000	2.226	0.716	-0.273	0.732	2.735	0.027	**-0.334**
60.000	1.983	0.634	-0.352	0.699	2.328	0.027	**-0.456**
75.000	1.763	0.559	-0.424	0.662	1.959	0.025	**-0.582**
90.000	1.558	0.489	-0.491	0.618	1.615	0.023	**-0.715**
105.000	1.379	0.428	-0.550	0.568	1.313	0.020	**-0.849**
120.000	1.205	0.369	-0.606	0.505	1.021	0.019	**-0.997**
135.000	1.103	0.334	-0.640	0.460	0.851	0.011	**-1.096**
150.000	1.003	0.300	-0.672	0.406	0.682	0.011	**-1.203**
165.000	0.934	0.277	-0.695	0.362	0.567	0.008	**-1.285**
180.000	0.884	0.260	-0.711	0.325	0.482	0.006	**-1.348**
195.000	0.842	0.246	-0.725	0.292	0.413	0.005	**-1.404**

Anexo 2: Imágenes de la parte experimental de la tesis

Muestras de papa para el proceso de secado

Preparación de las muestras para análisis de velocidad de secado

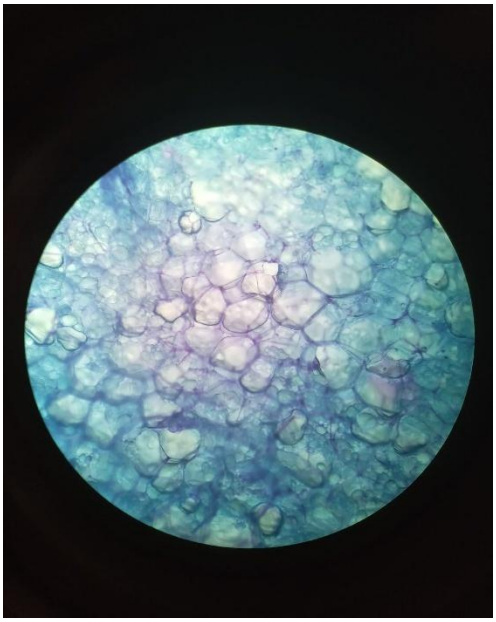
Corte de las muestras para la preparación con pretratamiento con ácido acético

Proceso de secado de láminas
de papa con previo
pretratamiento y tinción

Pretratamiento con ácido acético

Preparación de las muestras con
tinción de azul de toluidina para
análisis microestructural

Análisis de microestructura
celular



Análisis de textura