

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



**T E S I S**

**“DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE SECADO POR VENTANA  
REFRACTANTE DE PULPA DE MANGO (*Mangifera indica*) EN BASE A LA  
TEMPERATURA Y ESPESOR”**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
**INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

PRESENTADO POR LA BACHILLER:  
**INDIRA MASSIEL BAZÁN VIZCONDE**

ASESOR:  
**M.Sc. Ing. JIMY FRANK OBLITAS CRUZ**

**CAJAMARCA – PERÚ**

**2024**

## CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- Investigador:  
INDIRA MASSIEL BAZÁN VIZCONDE  
DNI: 44364521  
Escuela Profesional/Unidad UNC:  
DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
- Asesor:  
DR. JIMY FRANK OBLITAS CRUZ  
Facultad/Unidad UNC:  
DE CIENCIAS AGRARIAS
- Grado académico o título profesional  
 Bachiller  Título profesional  Segunda especialidad  
 Maestro  Doctor
- Tipo de Investigación:  
 Tesis  Trabajo de investigación  Trabajo de suficiencia profesional  
 Trabajo académico
- Título de Trabajo de Investigación:  
**DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE SECADO POR VENTANA REFRACTANTE DE  
(*Mangifera indica*) EN BASE A LA TEMPERATURA Y ESPESOR**  
Fecha de evaluación: 02/09/2024
- Software antiplagio:  TURNITIN  URKUND (OURIGINAL) (\*)
- Porcentaje de Informe de Similitud: 16%
- Código Documento: 3117:377660324
- Resultado de la Evaluación de Similitud: 16%  
 APROBADO  PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 03/09/2024

<i>Firma y/o Sello Emisor Constancia</i>

_____ <b>DR. JIMY FRANK OBLITAS CRUZ</b> <b>DNI: 40043738</b>



**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 dieciocho días del mes de julio del año dos mil veinticuatro, se reunieron en el ambiente **2H - 204** de la Facultad de Ciencias Agrarias, los miembros del Jurado, designados según **Resolución de Consejo de Facultad N° 179-2024-FCA-UNC, de fecha 18 de marzo del 2024**, con la finalidad de evaluar la sustentación de la **TESIS** titulada: "**DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE SECADO POR VENTANA REFRACTANTE DE PULPA DE MANGO (*Mangifera indica*) EN BASE A LA TEMPERATURA Y ESPESOR**", realizada por la Bachiller **INDIRA MASSIEL BAZÁN VIZCONDE** para optar el Título Profesional de **INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**.

A las dieciséis horas y cero 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 quince (15); por tanto, la Bachiller queda expedita para proceder con los trámites que conlleven a la obtención del Título Profesional de **INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**.

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

Ing. M. Sc. Fanny Lucila Rimarachin Chávez  
**PRESIDENTE**

Dr. José Gerardo Sahuana Granados  
**SECRETARIO**

Ing. Mtr. Max Edwin Sangay Terrones  
**VOCAL**

Dr. Jimmy Frank Oblitas Cruz  
**ASESOR**

## **DEDICATORIA**

A mi esposo Miguel por su amor, comprensión, apoyo en cada momento de mi vida, es la persona que me ha acompañado a realizar mis sueños, siempre le voy a estar agradecida por todo.

A mis hermosas hijas Danna y Emilia porque son el motivo de querer superarme y ser una mejor persona, han venido a este mundo para ser mi fortaleza en mi caminar.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, porque gracias a él sigo viva y con energía para seguir adelante.

A mi familia, mis padres, porque gracias a su apoyo, comprensión y amor me enseñaron a ser una persona con valores y principios para cumplir mis metas con responsabilidad, a mis hermanas por su apoyo incondicional en cada aspecto de mi vida.

A mi asesor MSc Ing Jimy Frank Oblitas Cruz por su sabiduría, paciencia y dedicación, guiándome con sus conocimientos e ideas, para culminar con éxito la investigación

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
ÍNDICE GENERAL.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	ix
RESUMEN .....	xi
ABSTRACT.....	xii
CAPÍTULO I.....	1
1.1 Descripción del problema.....	1
1.1.1. Formulación del problema (pregunta de investigación) .....	2
1.2 Justificación .....	2
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1. Objetivo General .....	3
1.3.2. Objetivos Específicos .....	3
1.4 Hipótesis .....	3
CAPÍTULO II .....	4
REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. Antecedentes.....	4
2.2. Marco teórico.....	7
2.3. Definición de Términos .....	12
CAPÍTULO III.....	14
MATERIALES Y MÉTODOS .....	14
3.1. Ubicación .....	14
3.2. Materiales e insumos.....	14
3.3. Metodología.....	16
3.3.1 Tipo de Investigación .....	16
3.3.2 Variables.....	16
3.3.3 Diseño de la investigación .....	17
3.3.4 Descripción del Proceso .....	20
3.3.5 Análisis de Datos y Técnicas de Procesamiento.....	22
CAPÍTULO IV.....	23
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	23
4.1. Resultados .....	23
4.1.1. Análisis de las curvas de secado .....	23

4.1.2. Efecto en la Difusividad .....	25
4.1.3. Efecto en la velocidad de Secado.....	28
4.1.4. Efectos en el Color .....	30
CAPÍTULO IV .....	39
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	39
4.1. CONCLUSIONES.....	39
4.2. RECOMENDACIONES .....	40
CAPÍTULO V .....	41
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	41
ANEXOS .....	46

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Taxonomía del Mango ( <i>Mangifera indica</i> ) .....	8
<b>Tabla 2</b> Factores, Variables Independientes y Niveles .....	17
<b>Tabla 3</b> ANOVA para <i>Difusividad</i> .....	26
<b>Tabla 4</b> ANOVA para Velocidad de Secado .....	28
<b>Tabla 5</b> ANOVA para L* .....	31
<b>Tabla 6</b> ANOVA para a* .....	34
<b>Tabla 7</b> ANOVA para b* .....	36
<b>Tabla 8</b> Operacionalización de Variables .....	46

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Haden ( <i>Mangifera indica</i> ).....	7
<b>Figura 2</b> Transferencia de energía térmica del sistema de secado por Ventana de Reflectancia .....	10
<b>Figura 3</b> Curva de Secado.....	11
<b>Figura 4</b> Curva de Velocidad de Secado .....	11
<b>Figura 5</b> Mapa de Ubicación.....	14
<b>Figura 6</b> Croquis del Experimento .....	19
<b>Figura 7</b> Curva de Secado en base al tiempo para 0.3 cm de espesor .....	24
<b>Figura 8</b> Curva de Secado en base al tiempo para Curva de Velocidad de Secado en.....	24
<b>Figura 9</b> Curva de Secado en base al Tiempo para 0.4 cm de espesor .....	24
<b>Figura 10</b> Curva de Secado en base al Tiempo Curva de Velocidad de Secado en.....	24
<b>Figura 11</b> Curva de Secado en base al tiempo para 0.5 cm de espesor .....	25
<b>Figura 12</b> Curva de Secado en base al tiempo Curva de Velocidad de Secado en .....	25
<b>Figura 13</b> Pareto Estandarizado para Difusividad.....	26
<b>Figura 14</b> Efectos Individuales en la Difusividad .....	27
<b>Figura 15</b> Superficie de Respuesta para Difusividad .....	27
<b>Figura 16</b> Pareto Estandarizado para Velocidad de Secado .....	29
<b>Figura 17</b> Efectos individuales en la Velocidad de Secado .....	29
<b>Figura 18</b> Superficie de Respuesta para velocidad de Secado .....	30
<b>Figura 19</b> Pareto Estandarizado para $L^*$ .....	32
<b>Figura 20</b> Efectos individuales en $L^*$ .....	32
<b>Figura 21</b> Superficie de Respuesta para $L^*$ .....	33
<b>Figura 22</b> Pareto Estandarizado para $a^*$ .....	34
<b>Figura 23</b> Efectos individuales en $a^*$ .....	35
<b>Figura 24</b> Superficie de Respuesta para $a^*$ .....	36
<b>Figura 25</b> Pareto Estandarizado para $b^*$ .....	37
<b>Figura 26</b> Efectos Individuales en $b^*$ .....	37
<b>Figura 27</b> Superficie de respuesta para $b^*$ .....	38
<b>Figura 28</b> Cortado y Medida de la fruta .....	47
<b>Figura 29</b> Colocación de la fruta en la ventana refractante .....	47
<b>Figura 30</b> Muestras en la Ventana Refractante .....	47
<b>Figura 31</b> Ventana Refractante .....	48

<b>Figura 32</b> Pesado de la Muestra .....	48
<b>Figura 33</b> Balanza Analítica.....	48
<b>Figura 34</b> Aqua Lab.....	49
<b>Figura 35</b> Medida de la Actividad de Agua (AW).....	49
<b>Figura 36</b> Secado a 50 °C a 0.3 cm de espesor .....	49
<b>Figura 37</b> Secado a 50 °C y a 0.4 cm de espesor .....	50
<b>Figura 38</b> Secado a 60 °C y a 0.3 cm de espesor .....	50
<b>Figura 39</b> Secado a 60 °C y a 0.4cm de espesor .....	50
<b>Figura 40</b> Secado a 60 °C y a 0.5 cm de Espesor.....	51
<b>Figura 41</b> Secado a 70°C y a 0.3cm de espesor .....	51
<b>Figura 42</b> Secado a 70°C y a 0.4cm de espesor .....	51
<b>Figura 43</b> Secado a 70°C y 0.5cm de espesor .....	52
<b>Figura 44</b> Colorímetro .....	52

## RESUMEN

El problema de la siguiente investigación es ¿Cuáles son los parámetros de secado por ventana refractante de pulpa de mango (*Mangifera indica*) en base a la temperatura y espesor?, teniendo como objetivo determinar los parámetros de secado por ventana refractante de pulpa de mango (*Mangifera indica*) en base a la temperatura y espesor, el estudio se desarrolló en la Universidad Nacional de Cajamarca situada en la Av. Atahualpa 1050 carretera a baños del Inca, en el edificio 2H en el laboratorio de Bioingeniería y Fermentaciones Industriales, se desarrolló con muestras de pulpa mango con espesores de 0.3, 0.4 y 0.5 cm y de 1.5 cm de diámetro, cada una de estas muestras fueron sometidas a temperaturas de 50, 60 y 70 °C y se pesaron cada 30 minutos evaluando la velocidad de secado y midiendo el color. En este estudio se evaluó el efecto de la temperatura y el espesor de la pulpa en: la difusividad, velocidad de secado y color ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ). Se encontró que las temperaturas de 50, 60 y 70°C no presentaron efecto significativo ( $p < 0.05$ ) en las variables estudiadas (Difusividad, velocidad de secado y color ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ )), con respecto al espesor de la pulpa no presentó efecto significativo ( $p > 0.5$ ) en la difusividad, velocidad de secado, en  $L^*$  y  $a^*$ , no obstante, sí presentó efecto significativo ( $P < 0.05$ ) en  $b^*$ . Los resultados de los análisis se realizaron mediante el análisis de varianza ANOVA, concluyendo que el espesor es el que presentó mayor efecto en las variables estudiadas.

**Palabras Clave:** Temperatura, Espesor, Difusividad, Velocidad de Secado, Color

## ABSTRACT

The problem of the following research is: What are the parameters of drying by refractive window of mango pulp (*Mangifera indica*) based on temperature and thickness?, with the objective of determining the parameters of drying by refractive window of mango pulp (*Mangifera indica*) based on temperature and thickness, the study was developed at the National University of Cajamarca located at Av. Atahualpa 1050 road to Baños del Inca, in building 2H in the Bioengineering and Industrial Fermentations laboratory, it was developed with pulp samples with a thickness of 0.3, 0.4 and 0.5 cm and 1.5 cm in diameter, each of these samples were subjected to temperatures of 50, 60 and 70 °C and were weighed every 30 minutes, evaluating the drying speed and measuring the color. In this study, the effect of temperature and pulp thickness on: diffusivity, drying speed and color ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) was evaluated. It was found that temperatures of 50, 60 and 70°C did not have a significant effect ( $p < 0.05$ ) on the variables studied (Diffusivity, drying speed and color ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ), with respect to the thickness of the pulp did not present a significant effect ( $p > 0.5$ ) on diffusivity, drying speed, in  $L^*$  and  $a^*$ , however, it did present a significant effect ( $P < 0.05$ ) in  $b^*$ . The results of the analyzes were carried out using the ANOVA analysis of variance, concluding that thickness is the one that had the greatest effect on the variables studied.

Keywords: Temperature, thickness, diffusivity, drying speed, color.

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

El secado por ventana refractante es un procedimiento que permite obtener productos adecuadamente deshidratados en poco tiempo y a bajas temperaturas, el producto no alcanza la temperatura de la fuente por un efecto de enfriamiento a causa de la evaporación del agua de su superficie. Esto permite convertir alimentos de alta actividad de agua en productos más estables para el deterioro.

El mango es una fruta altamente perecedera, su comercialización como fruta fresca presenta cierta dificultad, por ello es importante explorar nuevas alternativas de secado para una simple preservación y comercialización.

El siguiente trabajo tuvo como finalidad evaluar experimentalmente el secado por ventana refractante de pulpa de mango en base a la temperatura y espesor de la pulpa, este proceso está siendo utilizado en otros casos para diferentes tipos de frutas, hortalizas y cereales obteniendo un producto con alto valor nutritivo.

Con este trabajo de investigación se piensa desarrollar un producto que conserve las propiedades sensoriales del mango, así como alargar su vida útil aprovechando el mango durante las épocas que no son cosechados.

Asimismo, este estudio proporciona información para futuras aplicaciones en la industria alimentaria impulsando nuevas alternativas para la conservación de alimentos.

### **1.1 Descripción del problema**

En la industria actual de alimentos se requiere de técnicas para el aprovechamiento y conservación de las frutas con la finalidad de alargar su vida útil.

El secado es una opción de conservación de alimentos que permite alargar la vida útil de los alimentos al mismo tiempo se tiene que obtener un producto nutritivo y de calidad.

El secado tradicional afecta negativamente el sabor, el color, las cualidades nutricionales y la conservación de los compuestos bioactivos debido a la exposición a altas temperaturas del producto. El secado por ventana refractante (RW) es un sistema de secado de película delgada que tiene altas velocidades de transferencia de calor y masa que acelera la velocidad de secado. Esto permite impartir una calidad superior y preservar un mayor valor nutricional en los alimentos procesados (Shende, D.; & Datta, 2019)

El mango es una fruta caracterizada por su valor nutricional, color, sabor y composición en fibra, sin embargo, las técnicas postcosecha hacen necesario aplicar técnicas de conservación que conduzcan a mantener y mejorar el valor sensorial y nutricional de esta fruta.

La presente investigación busca determinar los parámetros adecuados del secado del mango mediante la ventana refractante conservando así sus características físicas y sensoriales.

### **1.1.1. Formulación del problema (pregunta de investigación)**

¿La temperatura y espesor tiene efecto sobre los parámetros de secado por ventana refractante de pulpa de mango (*Mangifera indica*)?

## **1.2 Justificación**

La necesidad actual de los consumidores respecto a la importancia de alimentos nutritivos y equilibrados es muy alta, considerando la variedad y la calidad de los mismos. Las frutas son fuente de vitaminas, minerales, fibra y antioxidantes, sin embargo, consumirlo en su estado natural presenta diferentes factores: La estación de la fruta y Perecederos por su alto contenido de agua.

Estos factores conllevan a la innovación de nuevas técnicas en el mercado que prolonguen su vida útil sin alterar la calidad y valor nutricional de los mismos.

La presente investigación se centrará en la determinación de parámetros de secado en pulpa de mango donde se tendrá en cuenta la temperatura y el espesor de la pulpa. Para esto se utilizará la ventana refractante como instrumento de investigación el cual puede aplicarse al

mango y a diversos productos.

La siguiente investigación tiene por finalidad aportar conocimientos a la solución de problemas en las distintas técnicas de secado para contribuir en la calidad de los alimentos que consume la población.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo General**

Determinar los parámetros de secado por ventana refractante de pulpa de mango (*Mangifera indica*) en base a la temperatura y espesor.

#### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- Determinar los parámetros de secado por ventana refractante de pulpa de mango (*Mangifera indica*) en base a la temperatura.
- Determinar los parámetros de secado por ventana refractante de pulpa de mango (*Mangifera indica*) en base al espesor.

### **1.4 Hipótesis**

La temperatura y espesor tiene efecto sobre los parámetros de secado por ventana refractante de pulpa de mango (*Mangifera indica*).

## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. Antecedentes.

**Diseño, construcción y evaluación de un secador solar para mango Ataulfo.** Se reporta el diseño, construcción y evaluación de un secador solar para mango Ataulfo cosechado en la región del Soconusco en el estado de Chiapas. En esta región se pierde 15% del mango ya sea por súper producción y por no tener un método de conservación postcosecha. Para el diseño se utilizaron las especificaciones del producto a secar, el registro de las condiciones climáticas del lugar y los ensayos experimentales de secado realizados en la UNICACH. La metodología propuesta se basa en la sistemática combinación de la aplicación de los conceptos básicos de diseño y reglas generales de la transferencia de calor y masa, presentándose los resultados de dichos cálculos en un cuadro. Se obtuvieron de la evaluación en vacío del secador valores promedios de humedad y temperatura del aire en la cámara de secado de 5% y 45 °C respectivamente. La temperatura promedio del aire ambiente fue de 25 °C y la radiación solar promedio de 500 W m<sup>-2</sup>. El tiempo de secado fue de 8 horas sol, secándose hasta 8.4% desde una humedad inicial de 80%. Se presentan las curvas la evaluación en vacío; además de la variación del peso, humedad y la humedad libre del mango respecto al tiempo. Se demostró que es posible dar tratamiento postcosecha del mango Ataulfo y aprovechar el que se pierde en los campos (Iglesias Díaz et al., 2017).

**Deshidratación Osmótica y secado por aire caliente en mango, guayaba y limón para la obtención de ingredientes funcionales.** Se presenta y se discute los resultados de la aplicación de técnicas de deshidratación osmótica y secado por aire caliente en mango, guayaba y limón procedentes de pequeños productores agropecuarios del Departamento de Atlántico-Colombia como estrategia para dar valor agregado y aprovechamiento a sus cosechas a través de la obtención de ingredientes funcionales. Se determinaron compuestos de interés nutraceútico: fibra, calcio y vitamina C antes y después de los procesos de deshidratación. Se obtuvieron productos de humedad baja comprendidos por ralladura de limón deshidratada, lámina de mango-limón, mango en polvo, guayaba en polvo y de humedad intermedia comprendido por mango y guayaba osmodeshidratada. La técnica de secado por aire caliente

permitió obtener ralladura de cascara de limón, mango y guayaba en polvo, con contenidos importantes de fibra dietaria y los dos últimos también de vitamina C, en contraste con una pérdida drástica de vitamina C en los productos osmo-deshidratados (Estrada et al., 2018).

**Cambios en la Textura y Color en mango (Tommy Atkins) Pre Secado por Deshidratación Osmótica y Microondas.** En el presente trabajo, se evaluó el efecto de la deshidratación osmótica (65 °Brix de 37 a 40 °C por 60 min), microondas (560 W por 7 min) y combinado como pre-secado de mangos. Los mangos con 11 a 14 °Brix y humedad del 80% fueron dimensionados a 1 x 1 x 0.4 cm y deshidratados a 70 °C en un horno convectivo y al sol. Se evaluó el croma, la tonalidad y los parámetros de textura. Se utilizó un diseño con arreglo unifactorial correspondiente a la variable categórica deshidratación. Los parámetros de color y textura presentaron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ). El tratamiento de deshidratación más adecuado que le confiere a los trozos de mango el mantenimiento del color, textura firme, mejor aceptación sensorial y menor tiempo de secado es el de deshidratación osmótica seguido del tratamiento convencional utilizando convección forzada de aire (Alvis et al., 2016).

**Caracterización de la operación de secado del nancite (*Byrsonima Crassifolia*).** El nancite (*Byrsonima crassifolia*) es una fruta tropical perecedera, cuyo periodo de cosecha se da al inicio del invierno (mes de mayo) en los países de América Central. Los frutos se suelen consumir crudos, en refrescos, jaleas, jarabes o mermeladas, como saborizante para helados y como materia prima para productos de elaboración artesanal. No obstante, es necesario continuar promoviendo más alternativas de valor agregado para dicho producto. En ese sentido, estudios previos sugieren que la pulpa de nancite fresca aporta 66 kcal por cada 100 gramos y presenta un contenido de materia seca entre 20 y 25 %, lo que puede ser aprovechado en su agroindustrialización como producto deshidratado. Por lo tanto, en esta investigación se estudió el proceso de secado de la pulpa de nancite en términos del impacto de la temperatura en las tasas de secado y en el color del producto final. A través del análisis proximal de la parte comestible del nancite (pulpa) se determinó un contenido de humedad de  $78.80 \pm 0.32$  % (b. h) y en base seca se determinó un contenido de carbohidratos de  $78.67 \pm 0.53$  y extracto etéreo de  $16.60 \pm 0.27$  %. Los experimentos de secado de este material se realizaron en secador de túnel usando aire seco con una velocidad de 2 m/s a temperaturas de 60°C, 70°C y 80°C. Los resultados sugieren que el contenido de humedad y el tiempo de secado disminuyen conforme se incrementa la temperatura de operación, sin embargo, a 60°C el producto seco presenta el menor pardeamiento, por lo que esta temperatura de secado podría recomendarse en procesos

en los que se requiera una pulpa seca de color amarillo pálido (Ruiz Saldívar & Blandón Navarro, 2021).

**Cinética de Secado de Lúcumas (*Pouteria Lúcumas* L.).** La lúcumas es una fruta que se comercializa en fresco y como harina, para emplearla como sumo en repostería e industria alimentaria. El objetivo fue determinar los parámetros que permitirán diseñar un secador de bandejas con flujo de aire caliente, con la finalidad de producir harina de lúcumas. Se empleó lúcumas fresca en su madurez fisiológica y con buen estado sanitario; la pulpa fue cortada en rodajas de 0,3 cm de espesor y colocadas en un secador de bandejas con aire caliente de laboratorio. Se ensayaron tres temperaturas para el aire de secado (40, 50 y 60 °C) y tres velocidades del aire: 2,5; 3,0 y 3,5 m/s. El tiempo mínimo de secado fue de 120 m. Los resultados indican que la mayor similitud de color de la pulpa seca con la pulpa fresca de lúcumas y por ende de la harina de lúcumas obtenida, se consigue trabajando con aire de secado a una temperatura de 50 °C y velocidad de 3,5 m/s; con estas condiciones del aire el tiempo crítico de secado fue de 40 m, la humedad crítica de 0,48 g agua/g lúcumas seca, la humedad de equilibrio de 0,04 g agua/g lúcumas seca y la velocidad de secado fue de 0,020 g agua/g lúcumas seca.minuto (Barrena et al., 2009).

**Secado de Lúcumas (*Pouteria obovata*) Empleando la Técnica de Ventana Refractante.** La lúcumas es una fruta que experimenta una tendencia creciente a nivel comercial en forma de harina para su empleo en la industria alimentaria. Este estudio tuvo como objetivo obtener harina de lúcumas utilizando el método de secado por ventana refractante y evaluar el efecto del espesor de la pulpa de lúcumas y el tiempo de secado en la humedad y el color de la harina. Fue utilizado un Diseño Compuesto Central Rotable (DCCR) con el tiempo entre 10 y 50 min y el espesor entre 1 y 3 mm. Se empleó una temperatura fija de 95°C y lámina mylar (polietileno de tereftalato metalizado) como película refractante de 0,1 mm. Se determinó que las condiciones ideales para obtener harina de lúcumas (9,8% de humedad) con esta técnica se da cuando el espesor fue 1,3 mm y con un tiempo de 15 minutos; a estas condiciones la difusividad efectiva del agua es de 2,53E-7 m<sup>2</sup>/s (Gamboa et al., 2014).

## 2.2. Marco teórico

### 1.1.1. Descripción del fruto

El mango (*Mangifera Indica*) es una fruta tropical, rica en azúcares, fibra, vitamina C que ayuda a combatir enfermedades y contiene carotenoides que le brindan su color característico. El mango contiene hierro, mineral de gran importancia en la dieta de los seres humanos sobre todo para mujeres en estado de gestación, contiene potasio que ayuda al buen funcionamiento del corazón y los nervios. El mango es una fruta que presenta características muy llamativas para el consumo por su sabor y su contenido de fibra lo que la vuelve muy popular en su consumo al llegar a su estado de madurez, ver figura 1 (Quintero, V.; Giraldo, G.; Lucas, J.; & Vasco, 2013).

#### Figura 1

*Haden (Mangifera indica)*



### 1.1.2. Taxonomía del Mango

En la tabla 1 se muestra la ubicación taxonómica del mango

## Tabla 1

### *Taxonomía del Mango (Mangifera indica)*

<b>Taxonomía del Mango</b>	
Clase	Dicotiledoneas
Subclase	Rosidae
Orden	Sapindales
Familia	Anadicardiceae
Genero	Mangifera
Especie	Indica

Fuente: Elaboración Propia a partir de (Correa, 1994)

### 1.1.3. Variedades de Mango

Las variedades comerciales más populares en Perú son Kent, Haden Edward y Tommy Atkins conocidas como variedades mejoradas. También existen variedades franco, como el Criollo de Chulucanas, el mango Rosado o la variedad Chato de Ica, que se plantan en el Departamento de Ica, Perú (MINAGRI, 2014).

La fruta del mango es baja en calorías y muy rica en ácidos, vitamina C, vitamina B5 y vitamina A, lo que la convierte en una fruta antioxidante, aportando al organismo un poder defensivo contra la degradación celular (LEDESMA, 2018).

### 1.1.4. Secado

El secado o deshidratación consiste en la extracción del agua contenida en los alimentos, por medios físicos, hasta que el nivel de agua sea adecuado para su conservación por largos períodos. En los alimentos deshidratados, debido a la mínima actividad de agua, los microorganismos no pueden proliferar y quedan detenidas la mayoría de las reacciones químicas y enzimáticas. Es por eso que los procesos de secado son una alternativa eficiente para la conservación de alimentos y el incremento de su vida útil (Barbosa; Vega 2000).

El secado es una técnica de conservación de alimentos cuyo objetivo es la disminución de la actividad del agua de los mismos. A mismo el secado influye en las propiedades físicas de los materiales. La superficie se seca y cambia su capacidad para absorber o reflejar la luz.

Además, la contracción y la deformación de la superficie también afectan la reflexión de la luz. La evaporación del agua da como resultado la concentración de solubles, también colorantes y la contracción del tejido conduce a una estructura compacta (Lewicki y Duszczuk, 1998).

El secado es la operación que elimina, por evaporación o sublimación, el agua de una materia húmeda (sólida o líquida). Aunque numerosos productos alimenticios se secan en el momento de su transformación y/o conservación, existe el riesgo de alteración de la forma, la textura y la calidad tanto nutricional como organoléptica del producto y el consumo energético de la operación puede ser considerable (Boulogne, Márquez, García, Medina y Cayot, 2008).

#### **1.1.5. Secado por ventana Refractante**

El sistema de secado por ventana refractante utiliza agua caliente por debajo del punto de ebullición y se realiza a presión atmosférica. La energía térmica del agua caliente que circula se transfiere al producto fresco a través de una interfaz plástica que es relativamente transparente a la radiación infrarroja. Los productos, como jugo y purés, se extienden en la banda transportadora plástica que se mueve mientras su superficie inferior está en contacto con agua caliente que se recircula, mejorando la eficacia térmica del sistema. El empleo de agua caliente como medio que transfiere el calor y la temperatura justo debajo del punto de ebullición hace de éste, un equipo de características únicas en métodos de secados (Nindo y Tang, 2007).

El sistema de secado por ventana de refractancia es una alternativa para convertir alimentos de alta actividad de agua como frutas y verduras, en productos más estables a las reacciones de deterioro, ver figura 2 (Nindo, C.; Feng, H.; Shen, G.; Tang, J. y Kang, 2003).

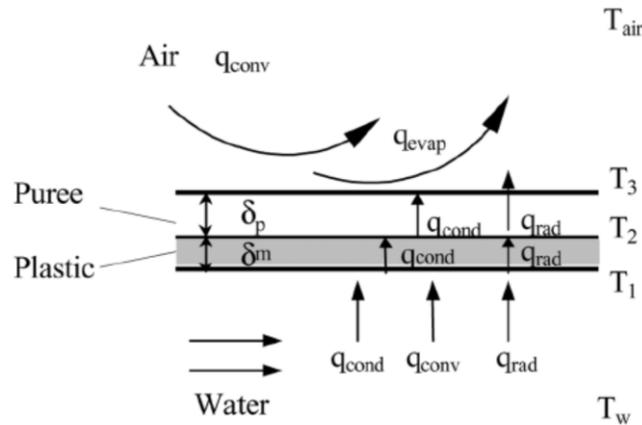
El secado de productos agrícolas y alimenticios es necesario para un manejo fácil, conservación segura, almacenamiento prolongado, y la reducción de costos de transporte. Este proceso generalmente implica la eliminación de agua mediante la aplicación de calor. El secado inadecuado puede llevar a un consumo irreversible de la calidad del producto, el consumo de energía y el tiempo, las recargas no deseadas (Mujumdar, 2006).

La transmisión de calor ocurre en el interior del alimento y está relacionada con el gradiente de temperatura existente entre su superficie y la superficie del agua en el interior del alimento. Cuando se proporciona al agua suficiente energía para su evaporación, el vapor

producido se transporta desde la superficie de la capa húmeda en el interior del producto hacia la superficie de éste. El gradiente de presión de vapor existente entre la superficie del agua en el interior y el aire exterior al alimento, es el que provoca la difusión del vapor de agua hacia la superficie de éste (Xue, 2004).

**Figura 2**

*Transferencia de energía térmica del sistema de secado por Ventana de Reflectancia*



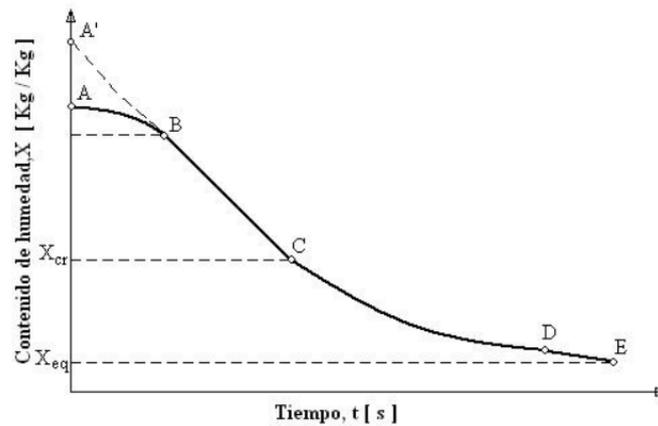
*Fuente:* (Nindo, C. y Tang, 2007)

### 1.1.6. Cinética y Curvas de Secado

Este tipo de curva nos muestra el contenido de humedad a través del tiempo en el proceso. En el periodo inicial, está ilustrado en la curva A-B. Al terminar este primer periodo el secado toma una forma lineal del tipo  $X = f(t)$ , en este periodo la velocidad de secado es constante (recta B-C). El secado se mantiene igual por un periodo de tiempo hasta que llega a un punto crítico (Punto C) donde la línea recta tiene a curvarse y a formar una asíntota con el contenido de humedad  $X_{eq}$  donde es el valor mínimo de humedad en el proceso de secado esto quiere decir que el punto E jamás es tocado como se muestra en la figura 3 (Dávila Nava, 2004).

**Figura 3**

*Curva de Secado*



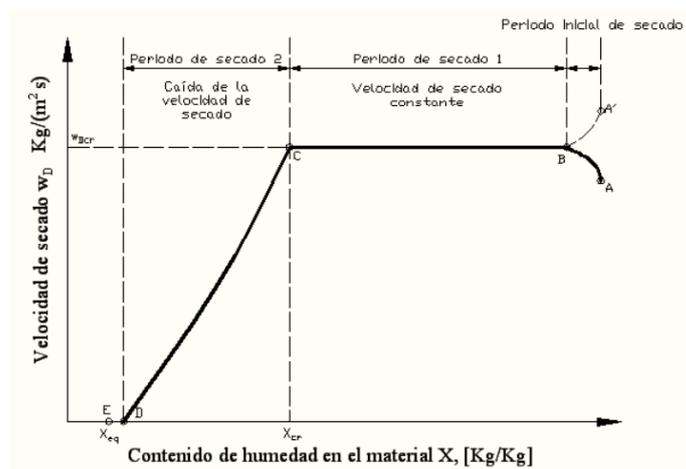
*Fuente:* (Dávila Nava, 2004)

### 1.1.7. Curva de velocidad de Secado

Este tipo de curva indica con que velocidad se seca el material. Muestra la cantidad de humedad removida desde el material secado por unidad de tiempo por unidad de superficie secada, también pueden verse los periodos de velocidad constante y caída en la velocidad de secado, ver figura 4 (Dávila, 2004).

**Figura 4**

*Curva de Velocidad de Secado*



*Fuente:* (Dávila, 2004).

### 1.1.8. Medidas del Color

El color es una medida importante del objeto para la comprensión de la imagen y la descripción del objeto, que se puede utilizar para la evaluación de calidad e inspección de productos alimenticios. Las mediciones de color se pueden realizar mediante inspección visual (humana), instrumentos tradicionales como el colorímetro o la visión por computadora (Wu & Sun, 2013)

Colorímetros, como el colorímetro Minolta; El colorímetro Hunter Lab y el colorímetro Dr. Lange se utilizan para medir el color de las fuentes de radiación primaria que emiten luz y las fuentes de radiación secundaria que reflejan o transmiten luz externa (Leon, Mery, Pedreschi & Leon, 2006). Por lo tanto, los valores de triestímulo se obtienen ópticamente, no matemáticamente. Su medición es rápida y simple. La calibración de los colorímetros se logra utilizando mosaicos estándar al comienzo de la operación (Oliveira & Balaban, 2006).

### 2.3. Definición de Términos

- **Color:** Es una cualidad organoléptica de los alimentos y se aprecia por medio del sentido de la vista. Está relacionado con la maduración de las frutas y vegetales.
- **Difusividad:** Cantidad de calor que, normalmente, pasa por una unidad de superficie en la unidad de tiempo, dividida por el producto del calor específico, la densidad y el gradiente de temperatura.
- **Mango:** fruta perteneciente a la familia Anacardiaceae, tiene una forma generalmente redondeada u oval u ovoide oblongada. El color puede ser verde, amarillo-verdoso, amarillos y rojos y diferentes tonalidades de rojo dependiendo a su madurez. La cáscara es gruesa, la carne es de color amarillo o anaranjado, y es jugosa.
- **Secado:** El secado es un método que consiste en extraer agua de los alimentos, lo que inhibe la proliferación de microorganismos y dificulta la putrefacción. Alargando la vida útil del alimento.

- **Temperatura:** La temperatura es una medida que se utiliza para hacer referencia a la cantidad de calor que irradia un objeto o ambiente.
- **Tiempo:** Una magnitud de carácter físico que se emplea para realizar la medición de lo que dura algo que es susceptible de cambio.
- **Ventana Refractante:** Es un método novedoso y económico de deshidratación de alimentos sólidos, líquidos o en forma de puré. Con esta tecnología los alimentos son deshidratados en periodos cortos de tiempo, obteniéndose productos que mantienen sus características organolépticas y sus nutrientes.
- **Velocidad de Secado:** La velocidad de secado se define como la disminución del contenido en humedad libre de un sólido por unidad de tiempo.
- **Espesor:** Es el grosor de la pulpa para realizar los diferentes análisis de la investigación.
- **Pulpa de Mango:** Es la parte comestible que corresponde entre el 60 y 75% del total del fruto.

## CAPÍTULO III

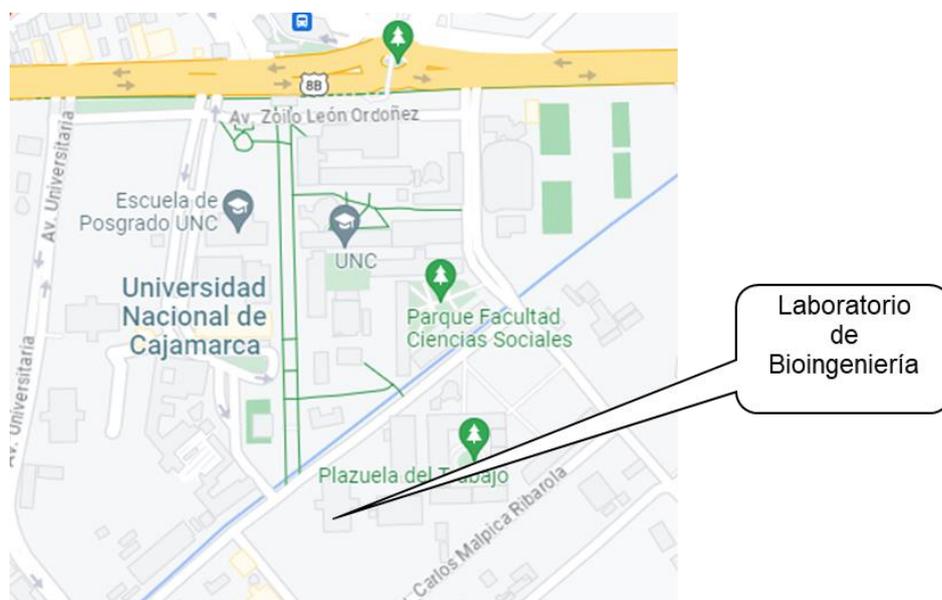
### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Ubicación

El presente trabajo de investigación será realizado en la Universidad Nacional de Cajamarca situado en la Av. Atahualpa 1050 carretera a Baños del Inca, en el edificio 2H en el laboratorio de Bioingeniería y Fermentaciones Industriales de la EAP de Industrias Alimentarias.

#### Figura 5

Mapa de Ubicación



Fuente: Elaboración Propia

#### 3.2. Materiales e insumos

##### 3.2.1. Materia prima

- Mango (*Mangifera Indica* L.)

### **3.2.2. Equipos**

- Balanza analítica
- Aqualab
- Colorímetro
- Vernier
- Baño maría Memmert
- Ventilador
- Secador Pol-Eko Aparatura

### **3.2.3. Materiales**

- Cuchillo de acero inoxidable
- Bisturí
- Pinzas de acero inoxidable
- Bowls de acero inoxidable
- Tabla de picar
- Bolsas siploc
- Bolsas lisas Poliamida/Polietileno (PA/PE)
- Film Mylar
- Marco de madera

### **3.2.4. Material de escritorio**

- Cámara fotográfica
- Computadora portátil
- Útiles de escritorio

### **3.2.5. Otros**

- Papel toalla
- Alcohol 70%
- Indumentaria completa (guardapolvo, mascarilla, protector de cabello, guantes)

quirúrgicos)

- Hipoclorito de sodio (lejía comercial)
- Jabón líquido antibacterial
- Lavavajilla

### **3.3. Metodología**

#### **3.3.1 Tipo de Investigación**

Para poder llegar a los objetivos planteados se utilizó una investigación de tipo experimental, donde se realizaron 9 tratamientos con diferentes espesores de pulpa (0.3, 0.4 y 0.5 cm) y diferentes temperaturas (50°C, 60°C y 70°C), en este tipo de investigación el investigador manipula las variables independientes y el efecto que causa sobre las variables dependientes, siendo verificada (Arias, Holgado, Tafur, y Vásquez, 2022) de manera cuantitativa en sus respectivas unidades de estudio.

Para el análisis se utilizó muestras de mango a diferentes espesores (0.3, 0.4 y 0.5 cm) con 9 tratamientos de temperaturas (50°C, 60°C y 70°C), obteniéndose 27 unidades experimentales, teniendo como parámetros evaluados la Difusividad, Velocidad de Secado y el Color.

#### **3.3.2 Variables**

- **Variables Independientes**

Temperatura (50, 60 y 70 °C)

Espesor de la pulpa (0.3, 0.4 y 0.5 cm)

- **Variables Dependientes**

Difusividad

Velocidad de Secado

Color

- **Factores Variables (Independientes), Niveles y Tratamientos de estudio.**

De acuerdo al arreglo factorial experimental, los factores en estudio son dos y cada uno de ellos tiene tres niveles, los cuales se muestran en la tabla 2.

#### **Temperatura de secado**

T1 = 50 °C; T2 = 60 °C y T3 = 70 °C

#### **Espesor de la pulpa**

E1=0.3cm; E2=0.4cm y E3=0.5cm

**Tabla 2**

*Factores, Variables Independientes y Niveles*

<b>Factores</b>	<b>Niveles</b>
Temperatura	50°C
	60°C
	70°C
Espesor de la muestra	0.3cm
	0.4cm
	0.5cm

*Fuente: Elaboración Propia*

### **3.3.3 Diseño de la investigación**

En esta investigación el procedimiento será realizado de acuerdo con la metodología establecida aplicando un diseño completamente al azar (DCA) factorial de 3A x 3B cuyo modelo estadístico es:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Donde:

$Y_{ijk}$  = Respuesta

$\mu$  = Efecto medio

$\alpha_i$  = Efecto verdadero del i-ésimo nivel del factor A

$\beta_j$  = Efecto verdadero del j-ésimo nivel del factor B

$(\alpha\beta)_{ij}$  = Efecto verdadero de la interacción

$\epsilon_{ij}$  = Error experimental

El diseño es experimental “verdadero” o “puro” pues según Supo (2013) son aquellas investigaciones donde el investigador manipula directamente las variables independientes y asimismo lo confirma Hernandez et al (2010) donde afirma que un diseño experimental “puro” es aquel donde hay manipulación de la variable independiente

### **A. Población de Muestra**

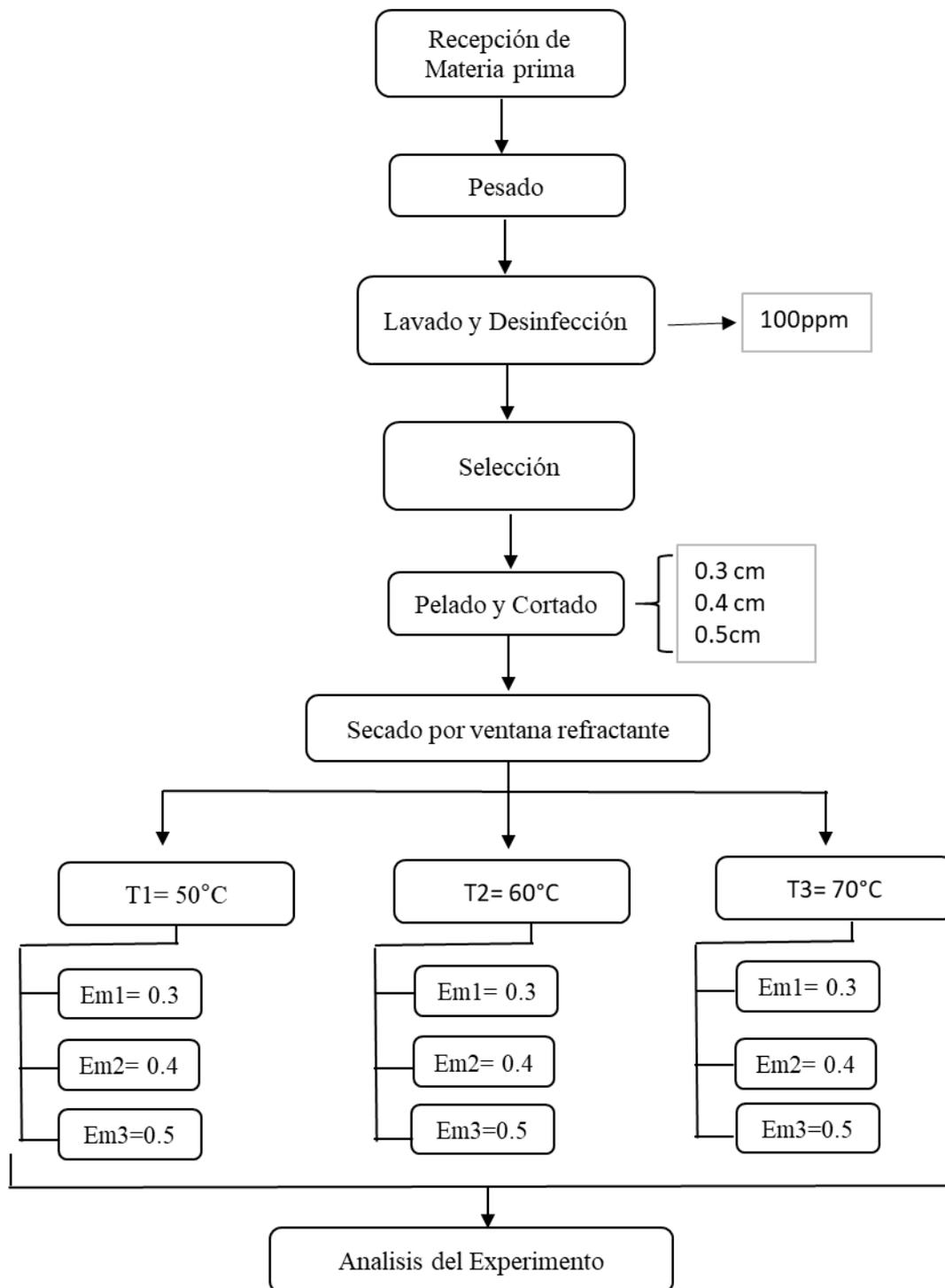
Mango (*Mangifera Indica*)

### **B. Croquis del Experimento**

El croquis del experimento se muestra en la figura 6

**Figura 6**

*Croquis del Experimento*



*Fuente: Adaptado de Quispe y Castro (2017)*

### 3.3.4 Descripción del Proceso

- **Recepción de Materia Prima**

Se empleo mango (*Mangifera Indica*), adquiridos en el mercado local de la ciudad de Cajamarca la fruta estaba en estado de maduración comercial. Sin presentar daños por insectos la fruta será trasladado hasta el laboratorio de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de Cajamarca.

- **Lavado y Desinfección**

Los mangos fueron lavados con abundante agua para eliminar impurezas como la tierra y la suciedad que esta adherida al producto y luego se sumergieron en una solución de agua clorada a 100 ppm para su desinfección y eliminación de microorganismos (Sencara, 2018).

- **Selección**

Los mangos que se encuentren en buen estado de madurez y que no se presenten daño físico ni químico pasaran a la siguiente etapa (Ramos, 2014).

- **Pelado y Corte**

Se pela el mango para luego proceder a medir la fruta con el vernier para una medida más precisa y se realiza el corte de la fruta con un bisturí para obtener láminas de diferentes cm de espesor (0.3, 0.4 y 0.5cm) (Sencara, 2018).

- **Secado**

Se llevo a cabo por ventana refractante. Este secador estuvo compuesto de una bañera termostática de acero inoxidable de 500 ml llena de agua potable. La superficie del agua calentó las superficies plásticas (material acetato de celulosa) sobre el que se colocaron las muestras, espaciadas uniformemente, para cada prueba (Espinoza et al., 2015).

- **Análisis del experimento**

**Secado por Ventana Refractante:** el secado del mango se llevó a cabo en la Ventana refractante, adaptando el baño maría, teniendo en cuenta la temperatura y el espesor de la pulpa.

**Recolección de datos de color:** Se utilizará la técnica de colorimetría, en el sistema Cielab, usando un equipo Konika Minolta.

**Determinación de humedad.** Se limpio la placa Petri para poder colocar la muestra de 2cm de diametro, luego se coloca la muestra de mango en la placa y se la lleva a pesar en la balanza analítica, posteriormente se coloca la placa Petri con la muestra a la estufa a 90°C por un periodo de 24 horas, luego se saca la placa con la muestra y se vuelve a pesar y finalmente se expresa la humedad en porcentaje.

$$\text{Porcentaje de Humedad \%} = \frac{M_{inicial} - M_{final}}{M_{inicial}}$$

Minicial: Masa inicial de la muestra

Mfinal: Masa final de la muestra

**Determinación de Difusividad.** Varios investigadores han recomendado que es ventajoso describir la tasa de transporte interno de humedad mediante una difusividad efectiva promedio, dado que no se puede afirmar un mecanismo que prevalezca a lo largo del secado (Arslan y Özcan, 2011; Das y Arora, 2017).

Los mecanismos de humedad durante el secado se pueden modelar matemáticamente a partir de la segunda ley de Fick (MGHAZLI et al 2017), que describe la difusión de humedad a través de una lámina infinita de acuerdo a la ecuación:

$$\frac{\partial M}{\partial t} = D_{eff} \left( \frac{\partial^2 M}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 M}{\partial z^2} \right) cm^2/min$$

Donde:

M: contenido de humedad

t: tiempo

x,y y z: coordenadas espaciales

$D_{eff}$ : coeficiente de difusión efectiva

Al realizar la investigación se obtuvo los datos experimentales de los pesos que fueron ingresados en la expresión matemática de la segunda ley de Fick en Excel brindado por el asesor (Anexo C, tabla 13)

### **3.3.5 Análisis de Datos y Técnicas de Procesamiento**

Obtenidos los datos se procederá al procesamiento de datos con apoyo del software Statgrafic Centurión para Windows, mediante metodología superficie de respuesta.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Resultados

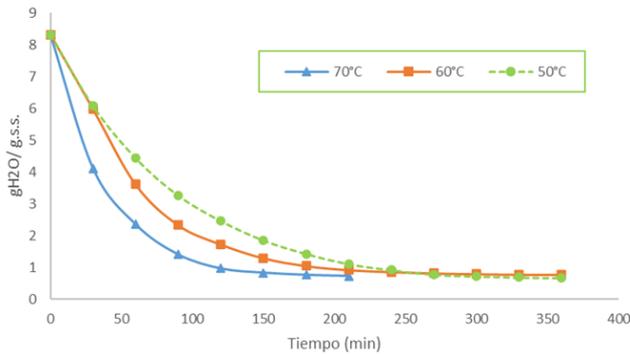
##### 4.1.1. Análisis de las curvas de secado

El secado de las muestras de mango se realizó en trozos de mango de 1.5 cm de diámetro con diferentes espesores (0.3cm, 0.4cm y 0.5 cm) y a diferentes temperaturas (50, 60 y 70 °C). Se determinó el peso de la muestra cada 30 minutos. La humedad inicial que presentó fue de 8.6642.

experimentales en base al tiempo y peso seco, para un espesor de 0.3cm obtenida para cada temperatura (50°C, 60 °C y 70C), como se puede observar el mayor descenso en la humedad fue a una temperatura de 70°C mientras que en la de 50 y 60°C el descenso fue el mismo, así como lo corrobora, **Ormaza et al. (2016b)** que indican que mayores temperaturas de secado reducen el tiempo necesario para el secado, esto debido a un mayor gradiente de temperatura entre el aire caliente y el producto, facilitando así la transferencia de calor y masa; sin embargo, también se señala que temperaturas más altas pueden causar encogimiento y cambios en la claridad del producto, aspectos que no fueron el foco de este análisis pero que son relevantes para la calidad final del producto.

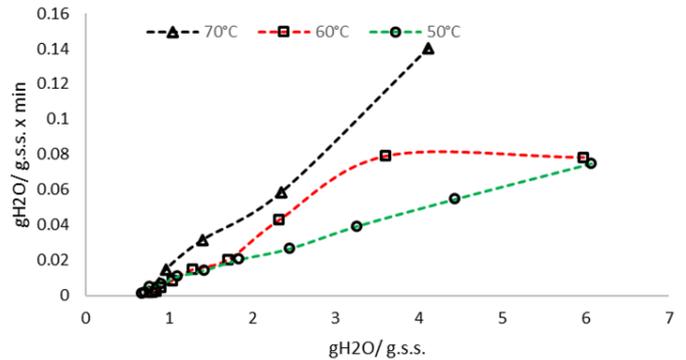
**Figura 7**

*Curva de Secado en base al tiempo para 0.3 cm de espesor*



**Figura 8**

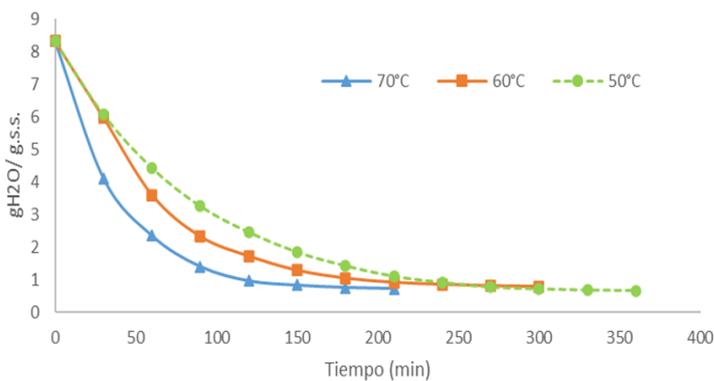
*Curva de Velocidad de Secado en base al peso seco para 0.3cm de espesor*



En las figuras 9 y 10 se muestran las curvas de cinética de secado experimentales en base al tiempo y peso seco, para un espesor de 0.4cm obtenida para cada temperatura (50°C, 60 °C y 70C), como se puede observar el mayor descenso de humedad ocurre a una temperatura de 70°C y el secado ocurre en menos tiempo, así como lo afirma Tirado et al (2015) el secado por ventana refractante disminuye rápidamente en rodajas de 1mm tardando 45 minutos y en rodajas de 2mm tarda 55 minutos, demostrando así que el secado por ventana refractante tiene gran capacidad para secar rebanadas de frutas en un corto periodo de tiempo.

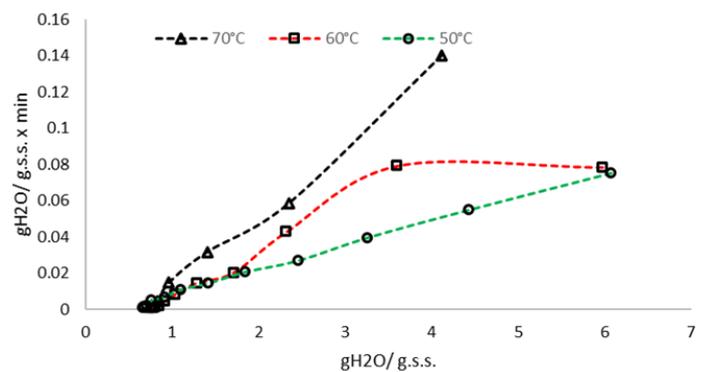
**Figura 9**

*Curva de Secado en base al Tiempo para 0.4 cm de espesor*



**Figura 10**

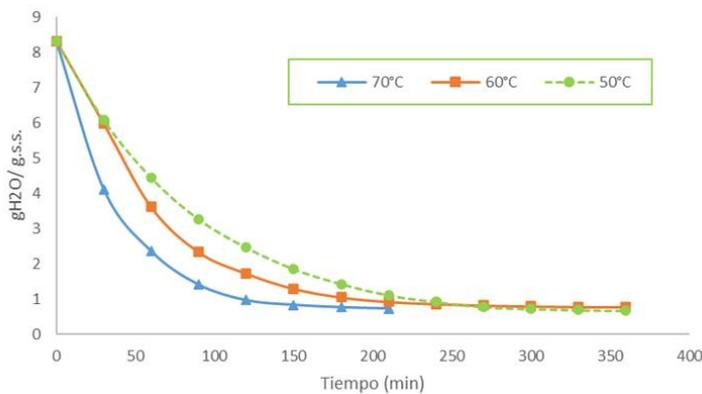
*Curva de Velocidad de Secado en base al peso seco para 0.4cm de espesor*



En las figuras 11 y 12 se muestran las curvas de cinética de secado experimentales en base al tiempo y peso seco, para un espesor de 0.5cm obtenida para cada temperatura (50°C, 60 °C y 70C), como se puede observar la temperatura de 70°C origino un descenso en la humedad más rápido que las temperaturas de 50 y 60 °C que tomaron más tiempo para el secado.

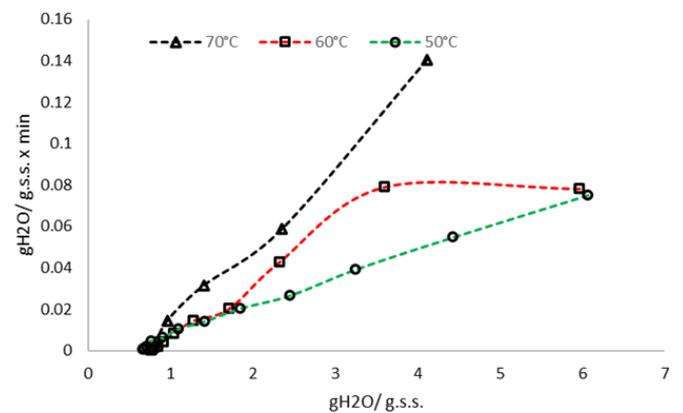
**Figura 11**

*Curva de Secado en base al tiempo para 0.5 cm de espesor*



**Figura 12**

*Curva de Velocidad de Secado en base al peso seco para 0.5 cm de Espesor*



#### 4.1.2. Efecto en la Difusividad

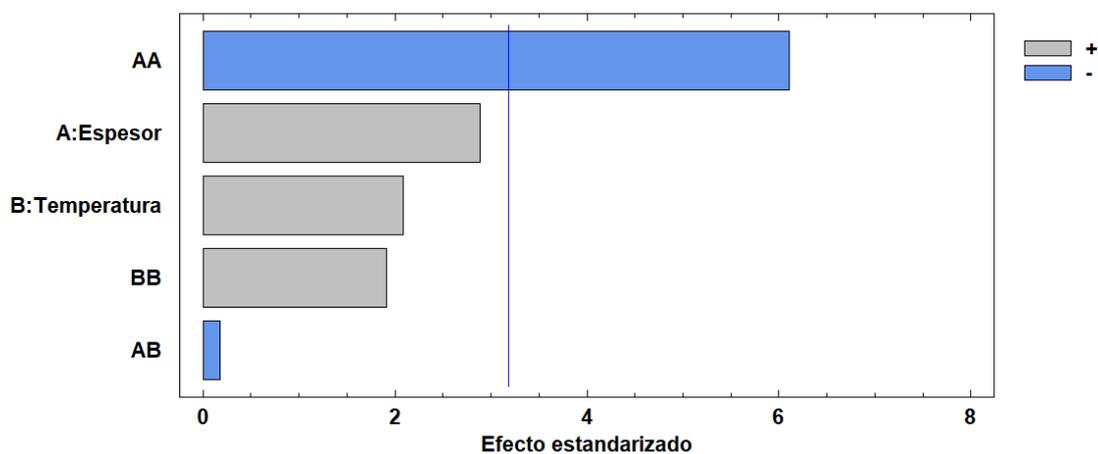
El modelo difusional de Fick considera que el transporte de agua desde el interior del solido hasta la superficie del mismo tiene lugar principalmente por difusión, calculándose de este modo un coeficiente de difusión efectivo (Kaymak – Ertekin, 2002)

En los resultados de la tabla 3 análisis de Varianza (ANOVA) se observa la temperatura presento un valor de (p=0.1281) y el espesor de (p = 0.0634) y la interacción de espesor y temperatura de (p= 0.08699) para la difusividad, por lo tanto, no presentaron efecto significativo (p< 0.05), sin embargo, se puede observar que el espesor tiene mayor efecto sobre la difusividad, pues su valor se acerca más al significativo. Lo cual se corrobora con Ramírez (2012) que con el aumento de la temperatura y el aumento del espesor se presenta un aumento en el coeficiente de difusión esto se debe a que durante el secado es necesario evaporar el agua que existe tanto sobre la superficie como el interior del sólido.

**Tabla 3***ANOVA para Difusividad*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<b>A: Espesor</b>	0.0000125187	1	0.0000125187	8.30	0.0634
<b>B: Temperatura</b>	0.00000656825	1	0.00000656825	4.36	0.1281
<b>AA</b>	0.0000562037	1	0.0000562037	37.28	<b>0.0088</b>
<b>AB</b>	4.78955E-8	1	4.78955E-8	0.03	0.8699
<b>BB</b>	0.00000551617	1	0.00000551617	3.66	0.1517
<b>Error total</b>	0.00000452268	3	0.00000150756		
<b>Total (corr.)</b>	0.0000853774	8			

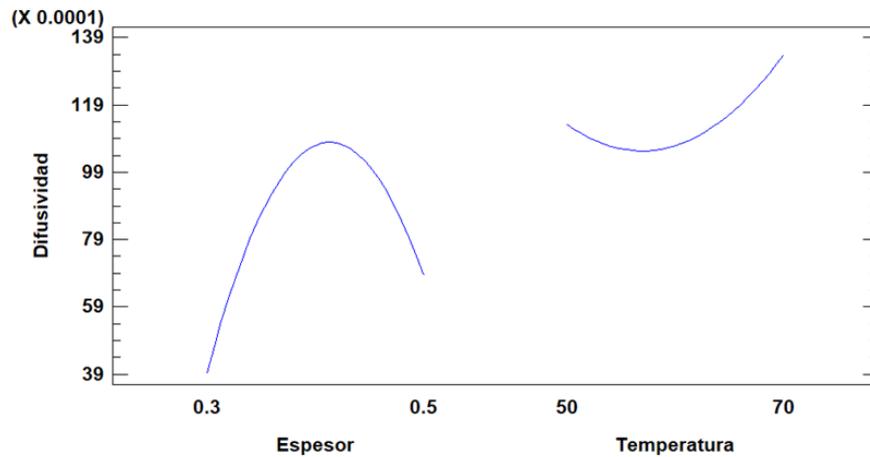
Los resultados del diagrama de Pareto se muestran en la figura 13 donde se observa que ninguna de las variables (temperatura y espesor) tienen efecto significativo sobre la difusividad, sin embargo, la variable espesor tiene mayor efecto en la difusividad que la variable temperatura.

**Figura 13***Pareto Estandarizado para Difusividad*

En la figura 14 se puede observar que, con respecto al espesor no existe una representación matemática, no obstante, se puede observar que al aumentar la temperatura aumenta la difusividad. Lo cual guarda relación por lo encontrado por **Leiton (2012)** que a menor espesor requiere menos energía para iniciar la difusión de la humedad.

**Figura 14**

*Efectos Individuales en la Difusividad*

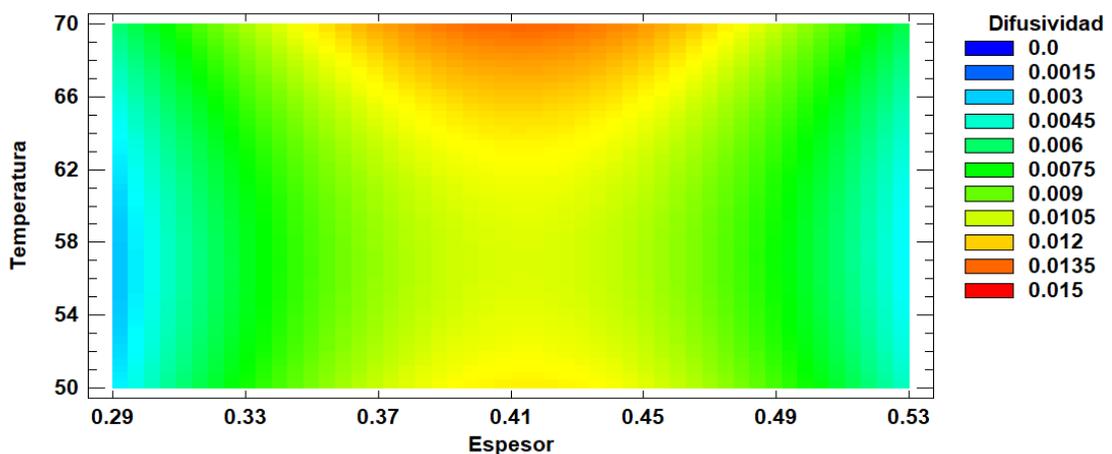


En la figura 15 se observa los resultados de la superficie de respuesta estimada en el cálculo de los efectos de la temperatura y el espesor de la pulpa sobre la difusividad, se observa que la zona más óptima es de 0.0135 esto quiere decir que a altas temperaturas y aun espesor de 0.4cm y la ecuación que lo representa es:

$$\begin{aligned} \text{Difusividad} = & -0.0290198 + 0.4451*\text{Espesor} - 0.0018445*\text{Temperatura} - \\ & 0.530112*\text{Espesor}^2 - 0.000109425*\text{Espesor}*\text{Temperatura} + \\ & 0.0000166075*\text{Temperatura}^2 \end{aligned}$$

**Figura 15**

*Superficie de Respuesta para Difusividad*



### 4.1.3. Efecto en la velocidad de Secado

Los resultados de la deshidratación de mango por análisis de Varianza (ANOVA) están representados en la tabla 4 donde se muestra que no hubo efecto significativo de la temperatura y el espesor y la interacción de temperatura y espesor en la velocidad de secado, no obstante, el espesor de la pulpa tiene mayor efecto. La velocidad de secado está relacionada con el espesor lo que significa que a mayor temperatura y menor espesor la tasa de secado es mayor (Vega et al., 2007a).

**Tabla 4**

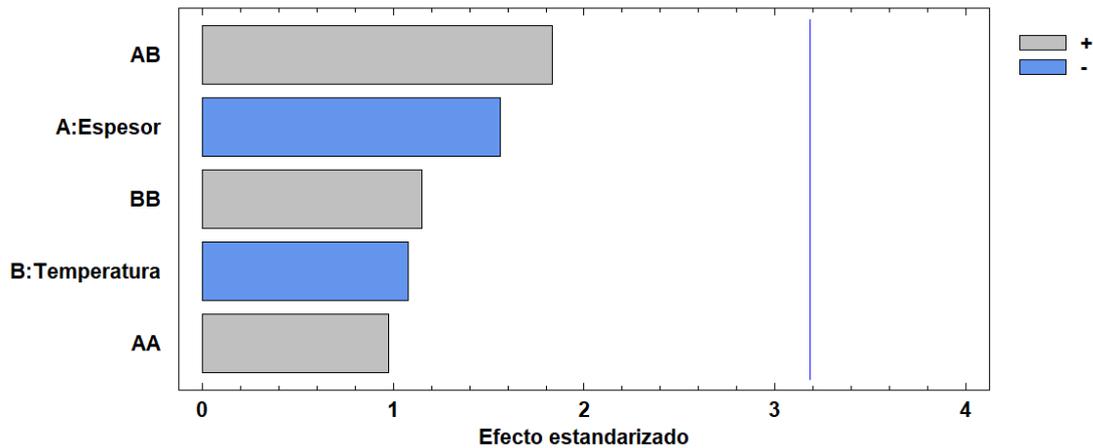
*ANOVA para Velocidad de Secado*

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
A: Espesor	0.000152007	1	0.000152007	2.43	0.2166
B: Temperatura	0.0000728017	1	0.0000728017	1.17	0.3593
AA	0.0000597689	1	0.0000597689	0.96	0.4000
AB	0.00021025	1	0.00021025	3.37	0.1638
BB	0.0000823472	1	0.0000823472	1.32	0.3340
Error total	0.000187288	3	0.0000624293		
Total (corr.)	0.000764462	8			

En la figura 16 se muestra el resultado del efecto de la temperatura y el espesor de la pulpa de lo cual se infiere que no existe efecto significativo de ninguna de las variables, a pesar de ello se observa que el espesor tiene mayor efecto sobre la velocidad de secado.

**Figura 16**

*Pareto Estandarizado para Velocidad de Secado*

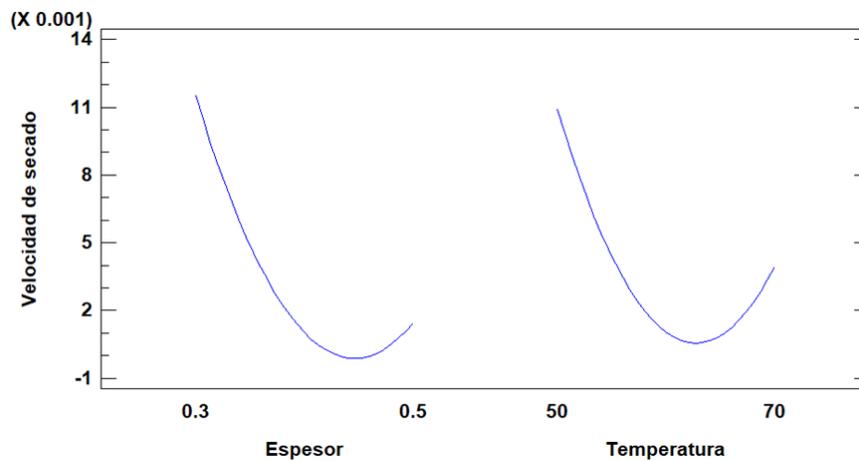


Según Nindo et al (2003b) a mayor espesor mayor es el tiempo para que la radiación infrarroja refleje y se evapore el agua de la fruta.

Los resultados de la figura 17 se muestra que a mayor el espesor de la pulpa la velocidad de secado es menor, y al elevarse la temperatura la velocidad de secado aumenta. Como lo demuestra Pari M (2019) que las ventanas refractantes pueden secar rápidamente los productos independientemente del tiempo, cuando el espesor del slice es menor y el flujo de calor es constante.

**Figura 17**

*Efectos individuales en la Velocidad de Secado*

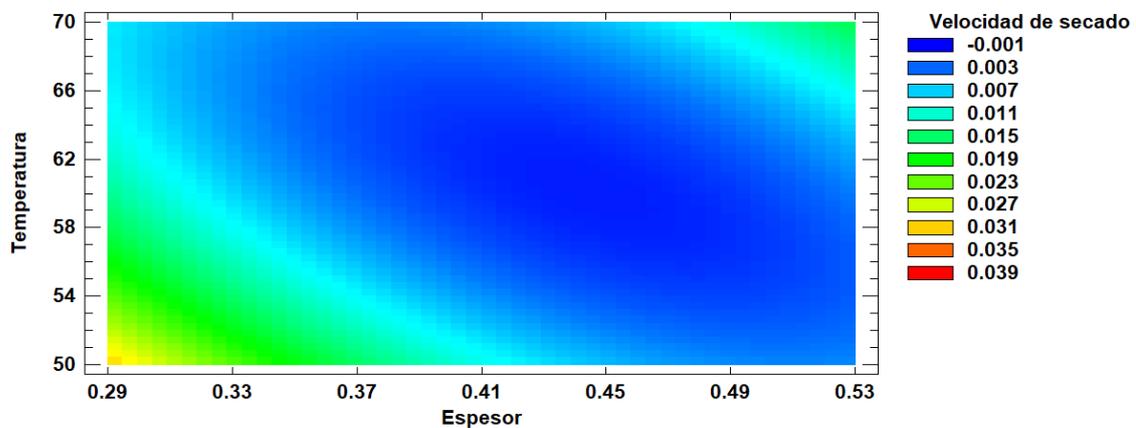


En la figura 18 se observa los resultados de la superficie de respuesta en el cálculo de los efectos de la temperatura y del espesor de la pulpa en la velocidad de secado donde se observa que la zona optima de velocidad de secado es de 0.035 quiere decir que a menor temperaturas y a menor espesor y la ecuación que lo representa es:

$$\text{Velocidad de secado} = 0.534522 - 0.922667*\text{Espesor} - 0.0109483*\text{Temperatura} + 0.546667*\text{Espesor}^2 + 0.00725*\text{Espesor}*\text{Temperatura} + 0.0000641667*\text{Temperatura}^2$$

**Figura 18**

*Superficie de Respuesta para velocidad de Secado*



#### 4.1.4. Efectos en el Color

El color de un alimento debe describirse en base a los 3 atributos de color: luminosidad, tonalidad y pureza de color. La luminosidad es el atributo de la sensación visual según la cual una superficie emite más o menos luz; el tono es el atributo de la sensación visual según la cual una superficie parece similar a uno, o a proporciones de dos, de los colores percibidos rojo, naranja, amarillo, verde, azul y púrpura; y la pureza es el atributo de la sensación visual según la cual una superficie parece mostrar más o menos tonalidad, o lo que es lo mismo, contenido de color de una superficie evaluado en proporción a su luminosidad (Talens.P, 2007)

El espacio de color Hunter L, a, b está organizado en un cubo. En el eje L, 100 es la máxima valoración donde se produce una perfecta difusión del reflejo de luz, es decir, donde se obtiene un color blanco total; 0 es la mínima valoración y es donde se representa el color negro. Los ejes a y b no tienen límites numéricos específicos, valores positivos de a son rojos

y negativos son verdes, valores positivos de b son amarillos y negativos son azules (Hunter Associates Laboratory, Inc., 2008)

- **Efectos en L\***

En la tabla 5 se muestra los resultados de varianza de L\*, se puede observar que: el espesor de la pulpa y la temperatura y la interacción de espesor y temperatura no tienen efecto estadísticamente significativo ( $p < 0.05$ ) para L\*, no obstante, el espesor está más cerca de ser estadísticamente significativo por lo que tiene mayor efecto que la temperatura, su valor de  $p = 0.0841$ . El color se mantiene más puro para los tratamientos de mayor temperatura y menor espesor porque el color es más uniforme, como lo corroboran **Nindo Et al. (2003 b)** que aplicando el método por ventana refractante en el secado de espárragos encontraron que la clorofila se concentró en el producto final.

**Tabla 5**

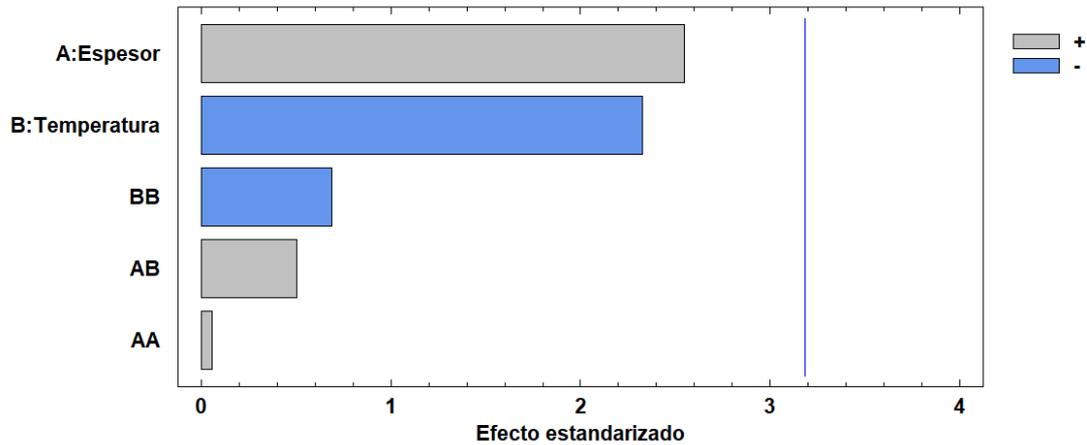
*ANOVA para L\**

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
A: Espesor	70.3837	1	70.3837	6.49	0.0841
B: Temperatura	58.7188	1	58.7188	5.42	0.1024
AA	0.03645	1	0.03645	0.00	0.9574
AB	2.7556	1	2.7556	0.25	0.6489
BB	5.15205	1	5.15205	0.48	0.5402
Error total	32.5305	3	10.8435		
Total (corr.)	169.577	8			

Asimismo, al graficar los efectos mostrados en la figura 19, observamos que el espesor es la variable que tiene mayor efecto en L\*, seguido por la temperatura. Sin embargo, no tienen efecto significativo ( $P < 0.05$ ) como lo explica **Pari (2019)** que la falta de ajuste significativa implica que el modelo no se ajusta a los estándares de luminosidad deseada.

### Figura 19

*Pareto Estandarizado para L\**

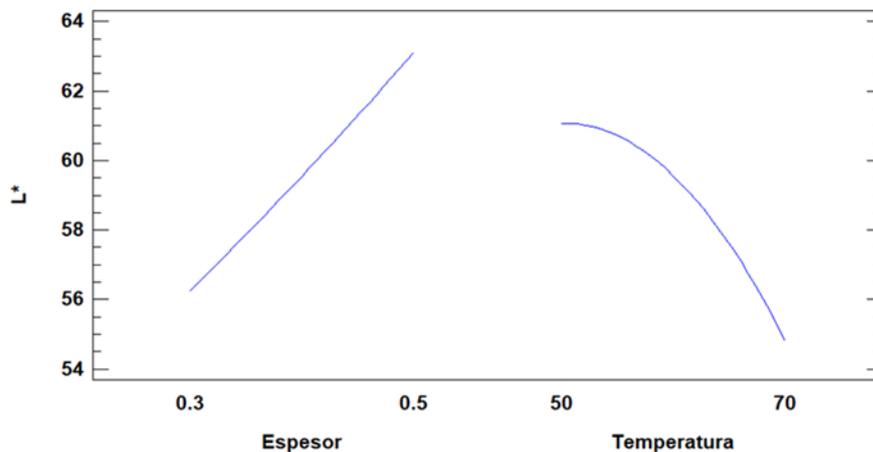


La figura 20 muestra los efectos individuales donde se observa que la luminosidad aumenta cuando el espesor aumenta y disminuye cuando la temperatura aumenta, lo cual concuerda con lo estudiado por **Leiton (2012)** que el aumento del parámetro  $L^*$  en la mayoría de los tratamientos a través del proceso, siendo más pronunciado para los tratamientos con el menor espesor y mayor temperatura.

La luminosidad es un parámetro de color que varía notoriamente por el secado cualquiera sea el método en los resultados se nota que el espesor, el cuadrado del tiempo y la interacción de ambos influyen en la luminosidad (**Pari, 2019**).

### Figura 20

*Efectos individuales en L\**

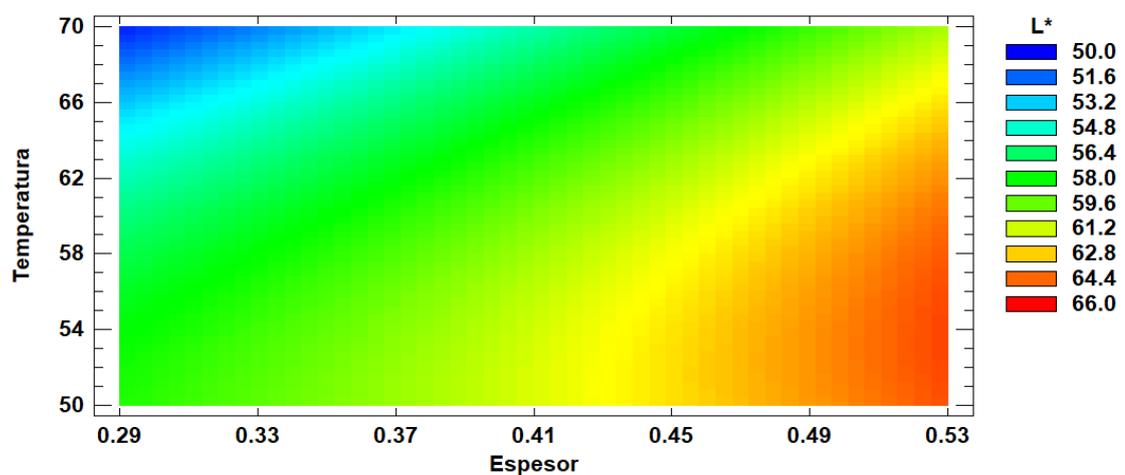


En la figura 21 se observa los resultados de la superficie de respuesta para el cálculo de los efectos de la temperatura y el espesor de la pulpa sobre la luminosidad, se puede ver que el ajuste fue correcto y la ecuación que lo representa es:

$$L^* = 28.9133 - 26.35 * \text{Espesor} + 1.28117 * \text{Temperatura} + 13.5 * \text{Espesor}^2 + 0.83 * \text{Espesor} * \text{Temperatura} - 0.01605 * \text{Temperatura}^2.$$

**Figura 21**

*Superficie de Respuesta para L\**



Según Leiton, Y (2012) La mayor pureza de color se presenta para los tratamientos de mayor temperatura y menor espesor porque el color tiende a hacer más uniforme. Este comportamiento puede atribuirse a que los pigmentos de la fruta se degradan dando un color uniforme.

- **Efectos en a\***

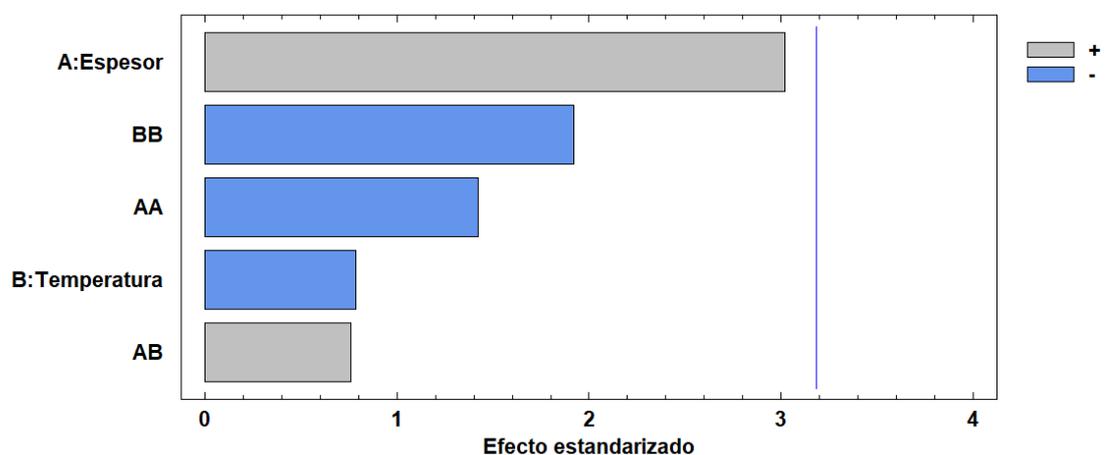
En la tabla 6 se muestra el análisis de varianza del parámetro a\* y se puede observar que no existe un efecto significativo ( $p > 0.05$ ) en el parámetro a\*, con respecto al espesor y temperatura, no obstante, se observa que el espesor tiene un valor de  $p = 0.0567$  por lo tanto tiene mayor efecto que la temperatura. La influencia de la temperatura, espesor y actividad de agua sobre la diferencia de color durante el secado, a mayor actividad de agua es mayor la diferencia de color (Leiton, 2012).

**Tabla 6***ANOVA para a\**

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
A: Espesor	62.9856	1	62.9856	9.12	0.0567
B: Temperatura	4.25042	1	4.25042	0.62	0.4899
AA	14.0097	1	14.0097	2.03	0.2495
AB	3.98002	1	3.98002	0.58	0.5029
BB	25.5136	1	25.5136	3.70	0.1503
Error total	20.7088	3	6.90292		
Total (corr.)	131.448	8			

Por otro lado, al graficar los resultados del parámetro  $a^*$  se observa que el espesor tiene mayor efecto en dicho parámetro que la temperatura. García (2005) estudio el mango deshidratado y encontró diferencias significativas en los atributos sensoriales color, sabor, aroma, textura, apariencia y aceptación general concluyendo que el mango deshidratado a 62.5°C y a un espesor de 6mm fue el de mayor aceptación.

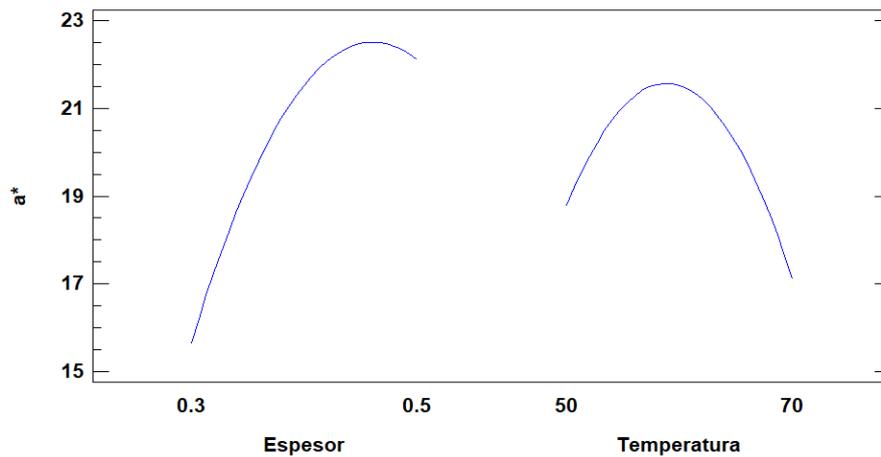
Según Pari (2019) para minimizar el valor del parámetro  $a^*$  se requiere de valores de espesores menores a 1.5858 mm y de tiempos menores de 51.2132 min.

**Figura 22***Pareto Estandarizado para a\**

En la figura 23 se muestra los resultados de los efectos individuales de  $a^*$  donde se observa que al aumentar el espesor de la pulpa el parámetro  $a^*$  también aumenta y que la temperatura no tiene relevancia matemática. Los estudios sobre los parámetros de color son extremadamente importantes, ya que el primer contacto del consumidor con un producto es a través de una presentación visual donde el color y la apariencia se destacan (Ferreira et al., 2000).

**Figura 23**

*Efectos individuales en  $a^*$*

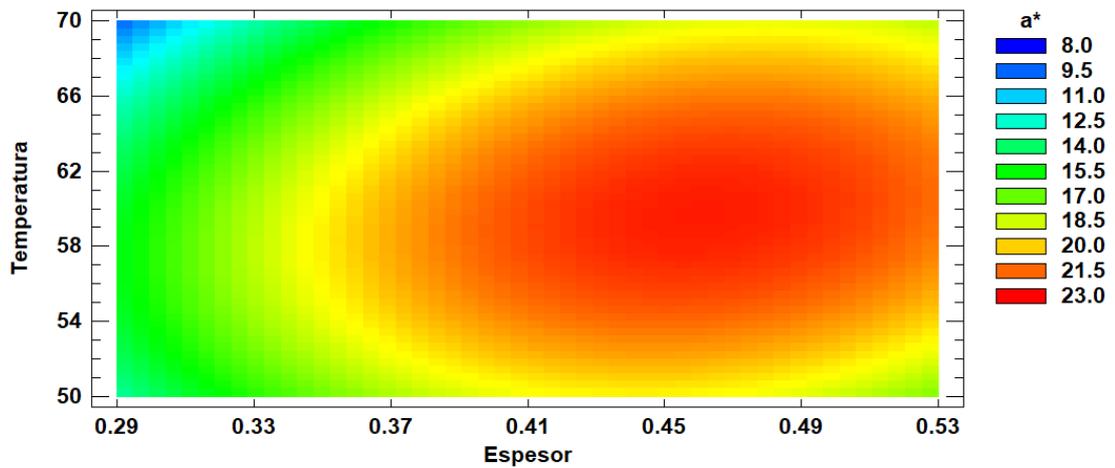


En la figura 24 se muestra los resultados de la superficie de respuesta para el cálculo de los efectos de la temperatura y el espesor de la pulpa sobre la  $a^*$ , se puede ver que el ajuste fue correcto y la ecuación que lo representa es:

$$a^* = -133.372 + 184.283 \cdot \text{Espesor} + 3.80283 \cdot \text{Temperatura} - 264.667 \cdot \text{Espesor}^2 + 0.9975 \cdot \text{Espesor} \cdot \text{Temperatura} - 0.0357167 \cdot \text{Temperatura}^2.$$

**Figura 24**

*Superficie de Respuesta para a\**



• **Efectos en b\***

En la tabla 7 se muestra el análisis de varianza para el parámetro b\*, donde se observa que existe un efecto significativo ( $p < 0.05$ ) en el espesor, sin embargo, la temperatura no presenta efecto significativo y no afecta al parámetro b\*. Según **Leiton (2012)** a mayor temperatura y menor espesor se diferencia mayores cambios de color, esto se debe a la ganancia de luminosidad y croma.

**Tabla 7**

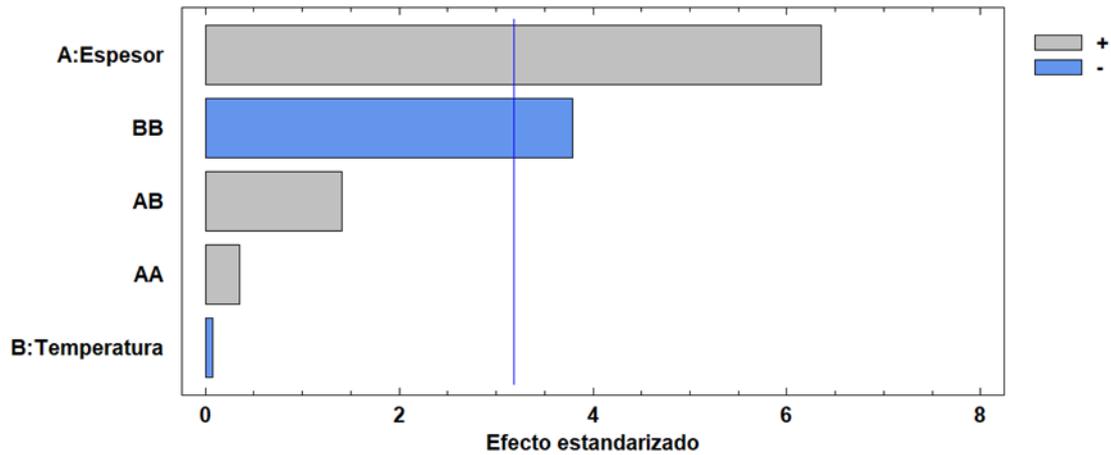
*ANOVA para b\**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Espesor	360.065	1	360.065	40.34	0.0079
B: Temperatura	0.0486	1	0.0486	0.01	0.9458
AA	1.11502	1	1.11502	0.12	0.7471
AB	17.682	1	17.682	1.98	0.2540
BB	128.427	1	128.427	14.39	0.0322
Error total	26.7766	3	8.92552		
Total (corr.)	534.114	8			

En la figura 25 se muestra los resultados del efecto de la temperatura y el espesor sobre el parámetro b\* durante el secado, como se muestra el espesor tiene efecto significativo ( $p < 0.05$ ) y la temperatura no es significativa ( $p > 0.05$ ) para dicho parámetro.

**Figura 25**

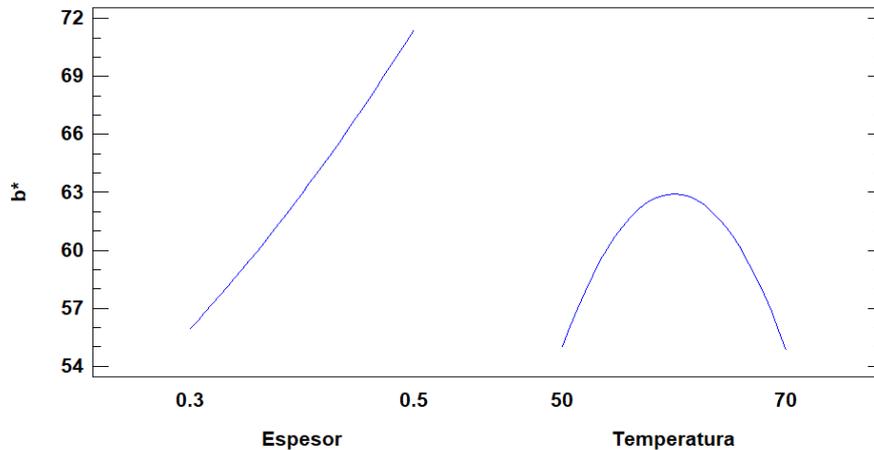
*Pareto Estandarizado para b\**



Así mismo en la figura x se observa que la relación del parámetro b\* es proporcional al espesor al aumentar el espesor aumenta el parámetro b\*.

**Figura 26**

*Efectos Individuales en b\**

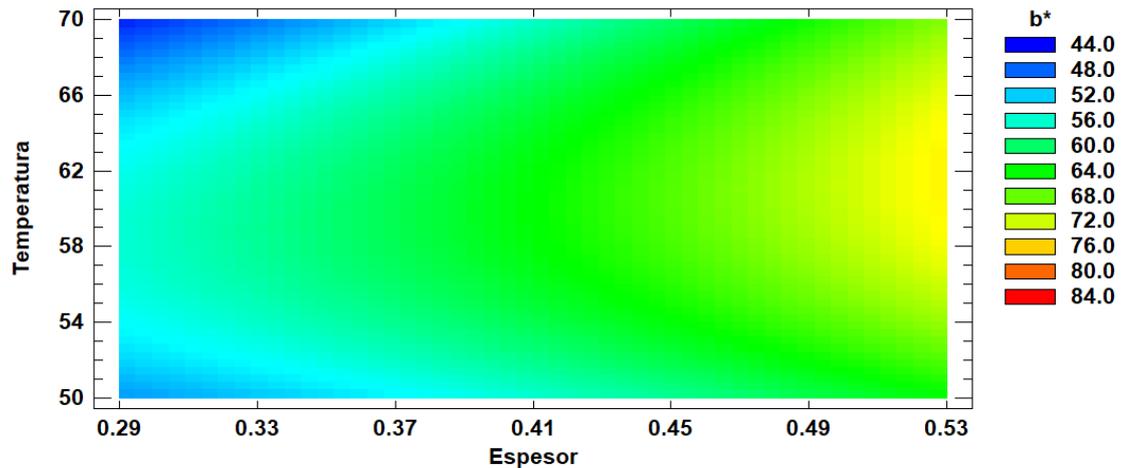


En la figura 27 se muestra los resultados de la superficie de respuesta para el cálculo de los efectos de la temperatura y el espesor de la pulpa sobre la b\* se puede ver que el ajuste fue correcto y la ecuación que lo representa es:

$$b^* = -193.594 - 108.417 \cdot \text{Espesor} + 8.766 \cdot \text{Temperatura} + 74.6667 \cdot \text{Espesor}^2 + 2.1025 \cdot \text{Espesor} \cdot \text{Temperatura} - 0.0801333 \cdot \text{Temperatura}^2.$$

**Figura 27**

*Superficie de respuesta para b\**



Se puede observar que en todos los tratamientos presentaron cambio en el color, sin embargo, los mayores cambios se dieron en los tratamientos sometidos a mayores espesores y menores temperaturas como lo corrobora ..... las muestras sometidas a bajas temperaturas y mayores espesores de 4mm presentaron pérdida en la luminosidad esto puede explicarse si se tiene en cuenta la velocidad máxima de pardeamiento que se intensifica cuando el alimento se expone al ambiente y a temperaturas bajas las cuales no inactivan la encima

Severini et al (2003) explican que debido a la alta actividad de agua y la baja temperatura, los pigmentos (carotenos) son mas susceptibles al pardeamiento enzimático, donde la peroxidasa a sido vinculada junto con la polifenoloxidasa como las responsables del pardeamiento enzimático produciendo pigmentos pardos – marrones sobre la superficie de frutas y vegetales durante su procesamiento.

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1. CONCLUSIONES

En el secado por ventana refractante de pulpa de mango se obtuvo diferentes difusividades que se encuentran dentro del rango de los alimentos y están entre 0.00364 y 0.01020 cm<sup>2</sup>/min para los diferentes espesores (0.3, 0.4 y 0.5cm) y temperaturas (50, 60 y 70 °C).

En las muestras procesadas se obtuvo una velocidad de secado de entre 0.0042 y 0.0347g/min para los diferentes espesores (0.3, 0.4 y 0.5cm) y temperaturas (50, 60 y 70 °C).

Los parámetros de secado por ventana refractante en función de la temperatura no fueron significativos para la difusividad, con un valor de  $p = 0.1281$ ; la velocidad de secado, con un valor de  $p = 0.3593$ ; y el color ( $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ), con valores de  $p = 0.1024$  para  $L^*$ ,  $p = 0.4899$  para  $a^*$ , y  $p = 0.9458$  para  $b^*$ . Por lo tanto, la temperatura no tuvo efecto significativo en las variables estudiadas durante el secado por ventana refractante, según la prueba estadística ANOVA, que establece que hay un efecto cuando  $p < 0.05$ .

El parámetro espesor del mango no tuvo un impacto significativo en la difusividad, con un valor de  $p = 0.0634$ , ni en la velocidad de secado, con un valor de  $p = 0.2166$ . Asimismo, el espesor no afectó de manera significativa los parámetros de color  $L^*$  y  $a^*$ , con valores de  $p = 0.0841$  y de  $p = 0.05667$  respectivamente. No obstante, para el parámetro  $b^*$ , el espesor sí tuvo un efecto significativo, con un valor de  $p = 0.0079$ . De acuerdo con la prueba estadística ANOVA, que indica un efecto significativo cuando  $p < 0.05$ , el espesor influyó de manera significativa solo en la variable  $b^*$ , a diferencia de las otras variables evaluadas.

## **4.2. RECOMENDACIONES**

Se recomienda prestar especial atención a la selección del espesor de la pulpa durante el proceso de secado. Se sugiere realizar pruebas adicionales para determinar el espesor óptimo que maximice la calidad del producto final, especialmente en términos de atributos sensoriales como el color.

Realizar análisis más detallado considerando otros posibles efectos secundarios que no fueron abordados en este estudio, como la energía consumida y el tiempo total de secado. Podría ser beneficioso identificar una temperatura operativa que minimice costos energéticos sin comprometer la calidad del producto.

Se recomienda llevar a cabo estudios adicionales para investigar otros factores que podrían influir en la eficiencia y calidad del secado, como la humedad inicial de la pulpa, la velocidad del aire en el proceso de secado, y la posible interacción entre estos factores y el espesor o la temperatura.

Utilizar temperaturas más altas y espesores menores para que el secado sea más rápido y de esa manera no se altere el sabor y el color de la fruta.

Investigar otros atributos de calidad, como la textura, el sabor y el contenido nutricional, para obtener una visión más completa de cómo la temperatura y el espesor afectan el secado de la pulpa de mango.

Realizar un análisis de costo-beneficio para determinar el impacto económico de optimizar los parámetros de secado basados en el espesor, considerando tanto los costos operativos como los potenciales beneficios en términos de calidad del producto y aceptación del mercado.

## CAPÍTULO V

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvis-Bermudez, A., García-Mogollon, C., & Dussán-Sarria, S. (2016). Cambios en la textura y color en mango (Tommy Atkins) pre-secado por deshidratación osmótica y microondas. *Informacion Tecnologica*, 27(2). <https://doi.org/10.4067/S0718-07642016000200005>
- Arias, J., Holgado, J., Tafur, T., y Vásquez, M. (2022). Metodología de la investigación. W. Sucari, J. Quilca, y P. Aza, Eds.; Inudi Perú (S.A.C.). <https://doi.org/10.35622/Inudi.b.016>, Primera Ed.
- Arslan, D. , y Özcan, M. M. (2011) Dehydration of red bell-pepper (capsicum annuum L.): change in drying behavior, colour and antioxidant content. *Food and Bioproducts Processing* 89 (4), 504-513. doi:<https://doi.org/10.1016/j.fbp.2010.09.009>
- Barbosa G.; Vega H. (2000). Deshidratación de Alimentos. *España. Acribia S. A.*
- Barrena Gurbillón, M. Á., Maicelo Quintana, J. L., Gamarra Torres, O. A., & Cárdenas Alayo, R. D. (2009). Cinética de Secado de Lúcumá (Pouteria lucuma L.). *APORTE SANTIAGUINO*, 2(2). <https://doi.org/10.32911/as.2009.v2.n2.406>
- Boulogne, S.; Márquez, E.; Garcia, Y.; Medina, A.; Cayot, P. (2008). optimizacion de la operación de la operacion de secado de lombriz (eisenia andrei)para producir harina al consumo nacional. *Revista Ciencia e Ingenieria*, 29(2), 91–96.
- Correa, C. (1994). Riqueza Química del Mango. *Revista Universidad EAFIT*, 83, 77–82.
- Das, I.; y Arora, A. (2017). Alternate microwave and convective hot air application for rapid mushroom drying. *Journal of Food Engineering*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.10.018>
- Dávila Nava, J. R. (2004). . *Capitulo 4: Procesos de secado. Estudio Experimental Del Efecto de La Porosidad de Partículas Sobre El Proceso de Secado En Un Lecho Fluidizado a Vacío Empleando Aire*. 51–73.

- Espinoza, M.; Gómez, E.; Aguilar, J.; Cabanillas, J.; Santa Cruz, M.; C.; Rodríguez, I.; Ríos, R.; Zuta, I. Siche, Raúl. (2015). Impacto térmico del secado por Ventana Refractante™ sobre los metabolitos antioxidantes de la cáscara del membrillo (*Cydonia oblonga* L.). *Agroind Sci* 5. <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/agroindscience/article/view/1061/989>
- Estrada, H. H., Restrepo, C. E., Saumett, H. G., & Pérez, L. (2018). Deshidratación Osmótica y Secado por Aire Caliente en Mango, Guayaba y Limón para la Obtención de Ingredientes Funcionales. *Información Tecnológica*, 29(3). <https://doi.org/10.4067/s0718-07642018000300197>
- Ferreira, V., Almeida, T., Pettinelli, M., Silva, M., J. C., & Barbosa, E (2000). Análise Sensorial: testes discriminativos e afetivos. Campinas: SBCTA.
- Gamboa, D., Ibáñez, D., Meléndez, M., Paredes, E., & Siche, R. (2014). Secado de lúcuma (*Pouteria obovata*) empleando la técnica de Ventana Refractante™. *Scientia Agropecuaria*, 5(2). <https://www.redalyc.org/pdf/3576/357633709005.pdf>
- Hunter Associates Laboratory, Inc. (2008). Hunter L, a, b color scale. *Insight on Color*, 8 (9), 1-4. Extraído el 23 de Octubre desde <http://www.hunterlab.com/ApplicationNotes>
- Iglesias Díaz, R., José Gómez, R. A., Lastres Danguillecourt, O., López de Paz, P., Farrera Vázquez, N., & Ibáñez Duharte, G. R. (2017). Diseño, construcción y evaluación de un secador solar para mango Ataulfo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(8). <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i8.697>
- Kaymak- Ertekin. F. (2002) drying and rehydration kinetics of green and red peppers. *Jornal of Food science*. 67(1), 168-175.
- LEDESMA, N. (2018). The genetic diversity of mangoes . In: LU, P.; SAUCO, V.G. (ed.). Achieving sustainable cultivation of mangoes. *London: Burleigh Dodds Science Publishing*.
- Leiton. Y (2012). Evaluación de secado por ventana de Refractancia en Pulpa de Guayaba (*psidium guajava*).
- Leon, K.; Mery, D.; Pedreschi, F.; & Leon, J. (2006). Color measurement in L\*a\*b\* units from RGB digital images. *Food Research International*, 39, 1084–1091.

- Lewicki, P. P., Duszczek, E. (1998). Color change of selected vegetables during convective air drying. *International Journal of Food Properties* <https://doi.org/10.1080/10942919809524582>, 1(3), 263–273.
- MGHAZLI, S., OUHAMMOU, M., HIDAR, N., LAHNINE, L., IDLIMAM, A., y MAHROUZ, M. (2017). Drying characteristics and kinetics solar drying of Moroccan rosemary leaves. *Renewable Energy*, 108(Supplement C), 303- 310. doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.02.022>
- MINAGRI. (2014). *El Comercio Exterior Agrario*.
- Mujumdar, A. (2006). Handbook of industrial drying. *New York: Marcel Dekker., tercera Ed.*
- Nindo, C.; Feng, H.; Shen, G.; Tang, J. y Kang, D. (2003). Energy Utilization and Microbial Reduction in a New Film Drying System. *Journal of Food Processing and Preservation*, 27(2), 117–136.
- Nindo, C. y Tang, J. (2007). Refractance Window Dehydration Technology: A Novel Contact Drying Method. *Drying Technology*, 25, 37–48.
- Oliveira, A., & Balaban, M. (2006). . Comparison of a colorimeter with a machine vision system in measuring color of Gulf of Mexico sturgeon fillets. *Applied Engineering in Agriculture*, 22, 583–587.
- Ormaza, A., Ayala - Aponte, A., Ortega, K. (2016). Cambios físicos durante el secado de banano bocadillo (*Musa acuminata colla*) mediante la técnica de ventana refractante. *Vitae*, 23(1), 584-587.
- Pari, M. (2019). Efecto del espesor y tiempo de Secado por ventanarefractante en las características sensoriales y humedad del Olluco en Slice (*ollucus Tuberosus*).
- Quintero, V.; Giraldo, G.; Lucas, J.; & Vasco, J. (2013). Caracterización fisicoquímica del mango común (*Mangifera indica L.*) durante su proceso de maduración. *Bioteología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11(1), 10–18.
- Quispe, A., & Castro, N. (2017). Secado de durazno (*Prunus pérsica*) empleando la técnica de ventana refractante. *Revista De Investigaciones De La Universidad Le Cordon Bleu*, 4(2), 23-46. <https://doi.org/10.36955/RIULCB.2017v4n2.002>

- Ramos, J. G. (2014). Evaluación de las características fisicoquímicas y microbiológicas en láminas de fruta de mango criollo (*Mangifera indica* L.). [Tesis de Grado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/1888/Ramos%20Obregon.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ruiz Saldívar, D. M., & Blandón Navarro, S. L. (2021). Caracterización de la operación de secado de nancite (*byrsonima crassifolia*). *Revista Ciencia y Tecnología El Higo*, 11(2). <https://doi.org/10.5377/elhigo.v11i2.13032>
- Sencara, M. E.; Tacza, H. L. y Yance, M. K. (2018). Obtención y caracterización de fibra dietética a partir de la cáscara de mango haden. [Tesis de Grado, Universidad Nacional del Callao]. [https://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/6118/TESIS\\_PREGRADO\\_SECARA\\_TACZA\\_YANCE\\_FIQ\\_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/6118/TESIS_PREGRADO_SECARA_TACZA_YANCE_FIQ_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Severini, C; Baiano, A; De Pilli;T; Romaniello, R; y Derosi, A (2003). Prevention of enzymatic browning in slices potatoes by blanching in boiling saline solutions. *Lebensman - Wisenthal - technologies*. 36, 657 - 665.
- Shende, D.; & Datta, A. K. (2019). Refractance window drying of fruits and vegetables: A Review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(4), 1449–1456.
- Talens, P (2007) Evaluación del color y tolerancia de color en alimentos a través del espacio CIELAB
- Tirado, D. Acevedo, D. Montero, P (2015) Secado de rodajas de fruto del arbol del pan mediante la tecnica de ventana refractante.
- Varela, H. . F. V. y S. B. (2013). Actividad antioxidante, análisis sensorial y microbiológico de láminas flexibles de mango (*Mangifera indica* l.). *Scientia Agroalimentaria*, 1, 26–32.
- Wu, D., & Sun, D. (2013). Colour measurements by computer vision for food quality control e A review. *Trends in Food Science & Technology*, 29, 5–20.
- Xue, K. (2004). *Optimización del secado por aire caliente de pera (variedad blanquilla)*. Universidad Politécnica de Valencia.

Zapata, J y Montoya, A. (2012). Deshidratacion Osmotica de Laminas de Mango cv. Tommy Atkins aplicando metodología de superficies de respuesta. *Universidad de Antioquia, Revista de Facultad de Ciencias Agrarias*, 65(1), 6507–6518.

Zou, K.; T. Jianwen, Li.; Huang, D. X. y W. B. (2013). Effect of osmotic pretreatment on quality of mango chips by explosion puffing drying. *Food Science and Technology*, 51, 253–259.

## ANEXOS

### Anexo A: Operacionalización de Variables

**Tabla 8**

*Operacionalización de Variables*

VARIABLES	DEFINICIÓN		DIMENSIÓN (formula)	INDICADOR
	CONCEPTUAL	OPERACIONAL		
<b>Independiente</b>				
Temperatura	Es una magnitud escalar que se define como la cantidad de energía cinética de las partículas de una masa gaseosa, sólida o líquida. Cuanto mayor es la velocidad de las partículas mayor es la temperatura y viceversa. (colucci, 2022)	Temperatura adecuada para el correcto deshidratado de alimentos	Temperatura	°C
Espesor de la Pulpa	Díametro de Grosor de la pulpa	Grosor de la pulpa	Longitud	cm
<b>Dependientes</b>				
Difusividad	se utilizara el enfoque analítico desarrollado por (Dincer & Dost, 1995), determina el coeficiente de difusividad y permite obtener el coeficiente de transferencia de masa.	velocidad con la cual sale el agua de la matriz del alimento	$Deff = D_0 \exp \left[ \frac{E_a}{R(T_A + 273.15)} \right]$	m <sup>2</sup> /s
Velocidad de Secado	La velocidad de secado se define como la disminución del contenido en humedad libre de un sólido por unidad de tiempo:	Perdida de Humedad de un sólido por unidad de tiempo	velocidad de secado	m/s
Color	El color es una medida importante del objeto para la comprensión de la imagen y la descripción del objeto, que se puede utilizar para la evaluación de calidad e inspección de productos alimenticios (Wu & Sun, 2013).	Es la impresión que se visualiza dependiendo la luminosidad	Color	CIE-L*a*b

## Anexo B: Fotos del Secado de Mango por Ventana Refractante

### Figura 28

*Cortado y Medida de la fruta*



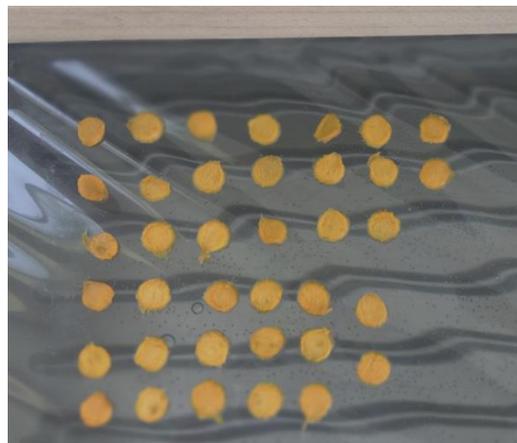
### Figura 29

*Colocación de la fruta en la ventana refractante*



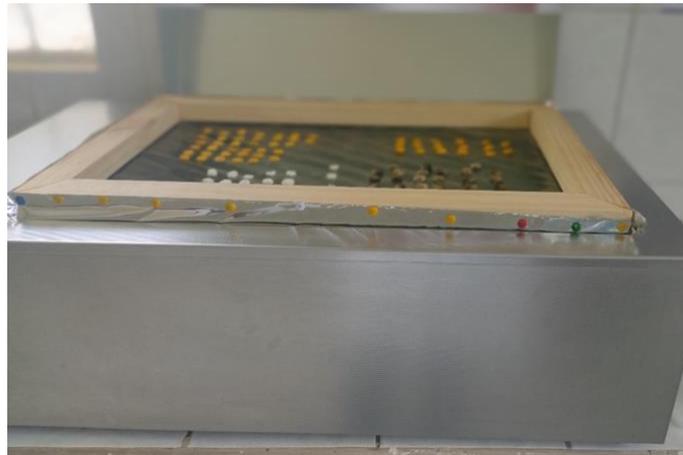
### Figura 30

*Muestras en la Ventana Refractante*



**Figura 31**

*Ventana Refractante*



**Figura 32**

*Pesado de la Muestra*



**Figura 33**

*Balanza Analítica*



**Figura 34**

*Aqua Lab*



**Figura 35**

*Medida de la Actividad de Agua (AW)*



**Figura 36**

*Secado a 50 °C a 0.3 cm de espesor*



**Figura 37**

*Secado a 50 °C y a 0.4 cm de espesor*



**Figura 38**

*Secado a 60 °C y a 0.3 cm de espesor*



**Figura 39**

*Secado a &0 °C y a 0.4cm de espesor*



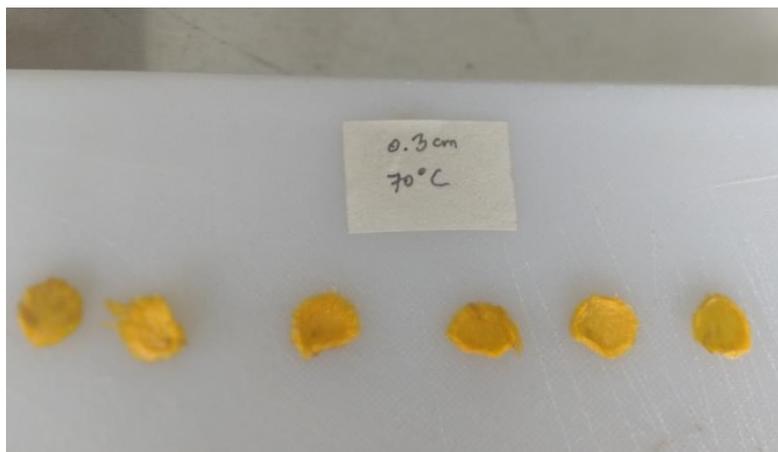
**Figura 40**

*Secado a 60 °C y a 0.5 cm de Espesor*



**Figura 41**

*Secado a 70°C y a 0.3cm de espesor*



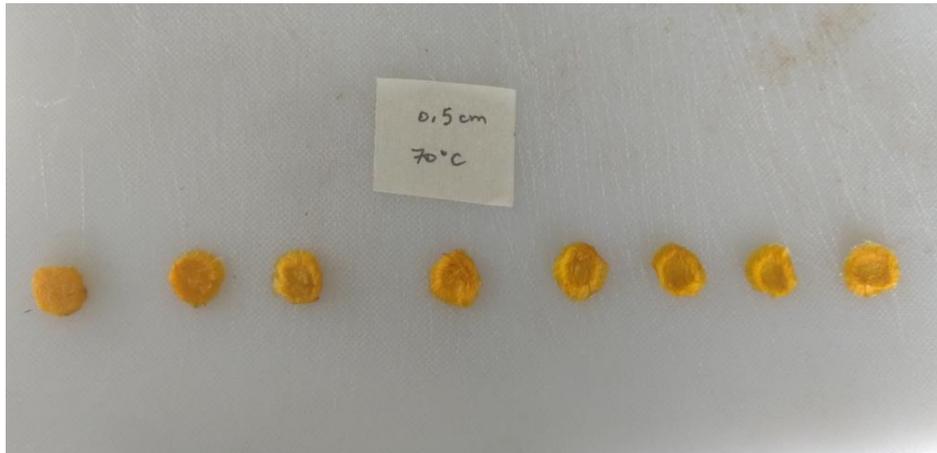
**Figura 42**

*Secado a 70°C y a 0.4cm de espesor*



**Figura 43**

*Secado a 70°C y 0.5cm de espesor*



**Figura 44**

*Colorímetro*



Anexo C: Datos recolectados de la investigación

**Tabla 9**

*Peso de las muestras a 50°C*

<b>T = 50°C</b>					
<b>Espesor = 0.3 cm</b>		<b>Espesor = 0.4 cm</b>		<b>Espesor = 0.5 cm</b>	
<b>Tiempo</b>	<b>Peso</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Peso</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Peso</b>
0	0.551	0	0.6868	0	0.9022
30	0.3102	30	0.4747	30	0.6846
60	0.1883	60	0.3333	60	0.5259
90	0.14	90	0.2162	90	0.412
120	0.1161	120	0.1747	120	0.3347
150	0.1068	150	0.1496	150	0.2756
180	0.1032	180	0.1377	180	0.2345
210	0.1011	210	0.1317	210	0.2036
240	0.1005	240	0.1282	240	0.1851
270	0.0997	270	0.1264	270	0.1711
300	0.0996	300	0.1246	300	0.1659
330	0.0982	330	0.1239	330	0.1626
		360	0.1227	360	0.161

**Tabla 10**

*Peso de las muestras a 60°C*

<b>T = 60°C</b>					
<b>Espesor = 0.3 cm</b>		<b>Espesor = 0.4 cm</b>		<b>Espesor = 0.5 cm</b>	
<b>Tiempo</b>	<b>Peso</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Peso</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Peso</b>
0	0.5154	0	0.6704	0	0.8842
30	0.2998	30	0.419	30	0.6616
60	0.1566	60	0.2577	60	0.4367
90	0.1115	90	0.1845	90	0.3154
120	0.1005	120	0.1526	120	0.2579
150	0.0976	150	0.142	150	0.2169
180	0.0964	180	0.1365	180	0.1937
210	0.0955	210	0.1337	210	0.1816
240	0.0948	240	0.1329	240	0.1757
270	0.0948	270	0.1319	270	0.1717
		300	0.1304	300	0.1696
				330	0.1677
				360	0.1675

**Tabla 11***Peso de las muestras a 70 °C*

<b>T = 70°C</b>					
<b>Espesor = 0.3 cm</b>		<b>Espesor = 0.4 cm</b>		<b>Espesor = 0.5 cm</b>	
<b>Tiempo</b>	<b>Peso</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Peso</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Peso</b>
0	0.6422	0	0.8678	0	0.8989
30	0.2847	30	0.4592	30	0.4932
60	0.1479	60	0.2774	60	0.3234
90	0.1123	90	0.1883	90	0.232
120	0.1073	120	0.1577	120	0.1895
150	0.1065	150	0.1509	150	0.1767
180	0.1047	180	0.1478	180	0.1701
		210	0.1466	210	0.1668

**Tabla 12***Resultado de los Análisis*

<b>ESPESOR (cm)</b>	<b>T (°C)</b>	<b>DIFUSIVIDAD (cm<sup>2</sup>/min)</b>	<b>L</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>VELOCIDAD DE SECADO (g/min)</b>
0.3	50	0.00364	60.84	12.74	49.92	0.0347
0.4	50	0.01250	57.40	18.51	53.22	0.0043
0.5	50	0.00718	65.23	19.84	63.36	0.0047
0.3	60	0.00443	54.71	18.15	56.94	0.0045
0.4	60	0.01060	61.03	21.73	65.2	0.0042
0.5	60	0.00645	63.16	19.40	68.13	0.0053
0.3	70	0.00710	50.00	8.88	44.89	0.0082
0.4	70	0.01230	56.99	17.19	54.33	0.0074
0.5	70	0.01020	57.71	19.97	66.74	0.0072

**Tabla 13***Datos para hallar difusividad*

<b>TIEMPO</b>	<b>PESO</b>	<b>MR<sub>t</sub></b>	<b>ΔM</b>	<b>x<sub>w</sub></b>	<b>X<sub>w</sub></b>	<b>Y = dX<sub>w</sub>/dt</b>	<b>Ln MR<sub>t</sub></b>
min	g	-	g	gH <sub>2</sub> O/ g.alim	gH <sub>2</sub> O/ g.s.s.	gH <sub>2</sub> O/ g.s.s. x min	
0.000	0.8989	1.000	0.000	0.893	8.318	0.000	<b>0.000</b>
30.000	0.4932	0.479	-0.451	0.804	4.113	0.140	<b>-0.736</b>
60.000	0.3234	0.261	-0.640	0.702	2.352	0.059	<b>-1.343</b>
90.000	0.232	0.144	-0.742	0.584	1.405	0.032	<b>-1.939</b>
120.000	0.1895	0.089	-0.789	0.491	0.964	0.015	<b>-2.417</b>
150.000	0.1767	0.073	-0.803	0.454	0.832	0.004	<b>-2.620</b>
180.000	0.1701	0.064	-0.811	0.433	0.763	0.002	<b>-2.744</b>
210.000	0.1668	0.060	-0.814	0.422	0.729	0.001	<b>-2.812</b>
240.000	0.1757	0.072	-0.805	0.451	0.821	-0.003	<b>-2.638</b>
270.000	0.1717	0.066	-0.809	0.438	0.780	0.001	<b>-2.712</b>
300.000	0.1696	0.064	-0.811	0.431	0.758	0.001	<b>-2.754</b>
330.000	0.1677	0.061	-0.813	0.425	0.738	0.001	<b>-2.793</b>
360.000	0.1675	0.061	-0.814	0.424	0.736	0.000	<b>-2.797</b>
195.000	1.8382	2.206	1.045	0.948	18.056	0.105	<b>0.791</b>