

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



**“EFECTO DEL ULTRASONIDO Y TEMPERATURA POR VENTANA  
REFRACTANTE EN LA CINÉTICA DE SECADO Y PARÁMETROS FÍSICOS  
DE RODAJAS DE YACÓN (*Smallanthus sonchifolius*)”**

**T E S I S**

**Para optar el título Profesional:**  
**INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

Presentado por la Bachiller:  
**MARÍA CELESTE DOLCI VELA**

Asesor:  
**Mg. JIMY FRANK OBLITAS CRUZ**

**CAJAMARCA – PERÚ**


**2024**

## CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

1. Investigador:  
MARÍA CELESTE DOLCI VELA  
DNI: 70947516  
Escuela Profesional/Unidad UNC:  
DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
2. Asesor:  
DR. JIMY FRANK OBLITAS CRUZ  
Facultad/Unidad UNC:  
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 DEL ULTRASONIDO Y TEMPERATURA POR VENTANA REFRACTANTE EN LA CINÉTICA DE SECADO Y PARÁMETROS FÍSICOS DE RODAJAS DE YACÓN (*Smallanthus sonchifolius*)**  
Fecha de evaluación: 03/09/2024
6. Software antiplagio:  TURNITIN     URKUND (OURIGINAL) (\*)
7. Porcentaje de Informe de Similitud: 11%
8. Código Documento: 3117:377826290
9. Resultado de la Evaluación de Similitud: 11%  
 APROBADO     PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 10/10/2024

*Firma y/o Sello  
Emisor Constancia*



---

**Dr. JIMY FRANK OBLITAS CRUZ**  
**DNI: 40043738**

\* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
"NORTE DE LA UNIVERSIDAD PERUANA"  
Fundada por Ley N° 14015, del 13 de febrero de 1962  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
Secretaría Académica



**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

En la ciudad de Cajamarca, a los 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° 197-2024-FCA-UNC, de fecha 18 de marzo del 2024**, con la finalidad de evaluar la sustentación de la **TESIS** titulada: "**EFECTO DEL ULTRASONIDO Y TEMPERATURA POR VENTANA REFRACTANTE EN LA CINÉTICA DE SECADO Y PARÁMETROS FÍSICOS DE RODAJAS DE YACÓN (*Smallanthus sonchifolius*)**", realizada por la Bachiller **MARÍA CELESTE DOLCI VELA** para optar el Título Profesional de **INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**.

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

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

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

Dr. José Gerardo Sathuana Granados  
**VOCAL**

Dr. Jimmy Frank Oblitas Cruz  
**ASESOR**

## **DEDICATORIA**

A Dios por brindarme salud, por su fortaleza, por sus grandes bendiciones, por ser mi protección y guía en mi camino, poniendo personas maravillosas en este proceso lleno de aprendizaje.

A mi familia, por ser impulsores de mis proyectos, por la motivación y el apoyo incondicional que me dieron durante mi formación profesional.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios cada día por brindarme salud, amor e inteligencia, fortaleza para no rendirme, por permitirme vivir cada día con los seres que más quiero.

Agradezco a mi familia por ser el soporte que necesitaba cuando pensaba en rendirme. A la Universidad Nacional de Cajamarca que hizo posible cumplir mi sueño de estudiar la carrera de Ingeniería en Industrias Alimentarias, aprendiendo de mis docentes que día a día se esforzaban por brindar sus conocimientos en cada clase de la mejor manera posible.

A mi asesor el Ingeniero Jimy Oblitas que con su asesoramiento y guía brindados hicieron posible la finalización de este trabajo.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS .....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT .....	xii
CAPITULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Descripción del problema .....	2
1.2. Formulación del problema.....	2
1.3. Justificación .....	2
1.4. Objetivo General .....	3
1.4.1. Objetivos Específicos .....	3
1.5. Hipótesis .....	3
CAPITULO II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. Antecedentes .....	4
2.2. Marco Teórico.....	7
2.2.1. Yacón.....	7
2.2.1.1. Composición química.....	8
2.2.1.2. Fructooligosacárido.....	8
2.2.2. Ultrasonido.....	9
2.2.2.1. Tipos de Ultrasonidos .....	9
2.2.2.2. Aplicación de ultrasonido.....	9
2.2.2.3. Efecto del ultrasonido .....	10
2.2.3. Secado.....	11
2.2.3.1. Cinética de secado.....	12
2.2.3.2. Curva de velocidad de secado .....	14
2.2.3.3. Difusividad de secado .....	15
2.2.3.4. Secado por ventana refractante.....	17
2.2.4. Color .....	17
2.2.5. Textura .....	18

2.3. Definición de Términos .....	20
CAPITULO III. MARCO METODOLÓGICO.....	21
3.1. Ubicación .....	21
3.2. Materiales y equipos .....	21
3.1.1. Materiales.....	21
3.1.2. Instrumentos.....	21
3.1.3. Equipos de laboratorio.....	21
3.1.4. Material de escritorio.....	22
3.1.5. Otros.....	22
3.3. Tipo de investigación.....	22
3.3.1. Variables .....	22
3.3.1.1. Independientes .....	22
3.3.1.2. Dependientes .....	23
3.3.2. Factores, variables (independientes), niveles y tratamientos en estudio. ....	23
3.3.3. Diseño de la investigación .....	23
3.3.4. Población.....	23
3.3.5. Muestra .....	23
3.3.6. Diagrama del diseño experimental .....	24
3.3.7. Procedimiento.....	25
3.3.8. Descripción diagrama de flujo de las operaciones de proceso.....	26
CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSION .....	29
4.1. Efecto del ultrasonido y temperatura en curva de secado .....	29
4.1.1. Análisis de la curva de secado.....	29
4.2. Efecto de ultrasonido y temperatura de secado por Ventana Refractante en las condiciones físicas .....	34
4.2.1. Efecto en la difusividad .....	34
4.2.2. Efecto en la Velocidad de Secado .....	37
4.3. Efecto del pretratamiento con Ultrasonido y Temperatura por ventana refractante Color .....	40
4.4. Efecto del pretratamiento con Ultrasonido y Temperatura por ventana refractante en la dureza.....	49
CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	52
5.1. CONCLUSIONES .....	52

5.2. RECOMENDACIONES .....	53
CAPITULO VI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	54
CAPITULO VII. ANEXOS .....	57



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Composición Química del Yacón en 1kg materia comestible de la raíz.....	8
Tabla 2 Definición de las características de las Propiedades Mecánicas.....	19
Tabla 3 Factores, variables independientes y niveles .....	23
Tabla 4 Análisis de varianza ANOVA para Difusividad .....	34
Tabla 5 Análisis de varianza ANOVA para Velocidad de Secado.....	37
Tabla 6 Análisis de varianza ANOVA para L* .....	40
Tabla 7 Análisis de varianza ANOVA para a*.....	43
Tabla 8 Análisis de Varianza para b* .....	46
Tabla 9 Análisis de varianza para la difusividad .....	49

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Proceso de Cavitación .....	11
Figura 2	Contenido de humedad en función del tiempo de secado .....	13
Figura 3	Curva de velocidad de secado.....	14
Figura 4	Mecanismo de difusión superficial y transporte de vapor de agua.....	15
Figura 5	Relación entre el contenido de humedad y difusividad .....	16
Figura 6	Esquema de secado por ventana refractante .....	17
Figura 7	Diagrama del diseño experimental.....	24
Figura 8	Proceso de secado de yacón .....	25
Figura 9	Rodaja de Yacón.....	25
Figura 10	Curva de secado en base al Tiempo, con aplicación de US de 1 min.....	29
Figura 11	Curva de secado en base al peso seco .....	30
Figura 12	Curva de secado en base a Tiempo, con aplicación de US de 2 min .....	31
Figura 13	Curva de secado en base al peso seco .....	31
Figura 14	Curva de secado en base a Tiempo, con aplicación de US de 3 min .....	32
Figura 15	Curva de secado en peso seco.....	33
Figura 16	Pareto estandarizado para Difusividad.....	35
Figura 17	Efectos individuales en la Difusividad.....	35
Figura 18	Superficie de respuesta para la difusividad .....	36
Figura 19	Pareto estandarizado para la Velocidad de Secado.....	37
Figura 20	Efectos individuales en la Velocidad de Secado .....	38
Figura 21	Superficie de respuesta Velocidad de Secado .....	39
Figura 22	Pareto estandarizado para $L^*$ .....	40
Figura 23	Efectos individuales en $L^*$ .....	41
Figura 24	Superficie de Respuesta $L^*$ .....	42
Figura 25	Pareto estandarizado para $a^*$ .....	43
Figura 26	Efectos individuales en $a^*$ .....	44
Figura 27	Superficie de respuesta en $a^*$ .....	45
Figura 28	Pareto estandarizado para $b^*$ .....	46
Figura 29	Efectos individuales en $b^*$ .....	47
Figura 30	Superficie de respuesta en $b^*$ .....	48
Figura 31	Pareto estandarizado para dureza.....	49
Figura 32	Efectos individuales en la dureza.....	50
Figura 33	Superficie de respuesta.....	50

## RESUMEN

La presente investigación se realizó en el laboratorio de Bioingeniería y Fermentaciones Industriales de la Escuela Académica Profesional de Industrias Alimentarias de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca donde se evaluó la aplicación del ultrasonido como pretratamiento a con diferentes tiempos (1, 2 y 3 minutos) seguido del secado por ventana refractante a diferentes temperaturas (50, 60 y 70°C) evaluando el comportamiento en la cinética de secado y el efecto en los parámetros físicos de rodajas de yacón (*Smallanthus sonchifolius*), tales como la difusividad, velocidad de secado, color y textura evaluando solo la dureza. El yacón fue adecuado en láminas de 2cmx2cm con 5mm de espesor, seguido, se procedió la aplicación de ultrasonido como pretratamiento a frecuencia de 40 KHz que posteriormente fueron colocadas en la ventana refractante, monitoreando el proceso de secado mediante el pesaje de la muestra registrando estos valores en intervalos de tiempo de 30 minutos hasta obtener un peso constante. Donde interpretamos la significancia de la aplicación de estos factores sobre los parámetros físicos en rodajas de yacón, determinando que el mejor tratamiento que permite minimizar la exposición del producto a altas temperaturas fue de tratamiento de ultrasonido de 3 min a una temperatura de 70°C.

**Palabras clave:** velocidad de secado, ultrasonido, ventana refractante, yacón, Difusividad, color Lab.

## ABSTRACT

This research was carried out in the laboratory of Bioengineering and Industrial Fermentations of the Academic Professional School of Food Industries of the Faculty of Agricultural Sciences of the National University of Cajamarca where the application of ultrasound was evaluated as a pretreatment at different times (1, 2 and 3 minutes) followed by drying by refractory window at different temperatures (50, 60 and 70°C), evaluating the behavior in the drying kinetics and the effect on the physical parameters of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) slices, such as diffusivity, drying speed, color and texture, evaluating only the hardness. The yacon was suitable in sheets of 2cmx2cm with 5mm of thickness, followed by the application of ultrasound as a pretreatment at a frequency of 40 KHz that were placed in the refractory window at a temperature, monitoring the drying process by weighing the sample and recording these values in time intervals of 30 minutes until a constant weight was obtained. Where we interpreted the significance of the application of these factors on the physical parameters in yacon slices, determining that the best treatment that allows minimizing the exposure of the product to high temperatures was the ultrasound treatment of 3 min at a temperature of 70°C.

**Key words:** drying speed, ultrasound, refractory window, yacon, diffusivity, color Lab.

## CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

Existen diferentes tecnologías aplicables en la conservación de alimento, con el objetivo de ralentizar su deterioro, dentro de estas tecnologías encontramos la deshidratación o secado de alimento que hoy en día son las operaciones unitarias más utilizadas para la conservación de alimento. Estas ya eran aplicadas por nuestros antepasados debido a las necesidades que presentaban, ya que les permitía tener un alimento con un tiempo de vida útil superior.

En la actualidad el procesamiento de alimentos está en una constante evolución debido a la alta necesidad y demanda de la población. Por un lado, tenemos la exigencia del consumidor en cuanto a las características de aceptabilidad de los productos que consumen, buscando siempre que el producto sea inocuo y de alta calidad, y, por otro lado, la información que hoy en día se conoce respecto al procesamiento de alimentos.

El secado actual y tradicional se realiza mediante aire caliente forzado, haciendo de este un proceso económico; sin embargo, la eliminación de la humedad interior toma un tiempo relativamente largo, pues la aplicación de altas temperaturas influye negativamente a los atributos del alimento, como en el color, sabor y valor nutricional del alimento (Robles Ozuna & Ochoa Martínez, 2012).

Por esto en la búsqueda de nuevas tecnologías para el proceso de secado de alimento se encontró la aplicación del ultrasonido como pretratamiento puesto que refiere a la transmisión de ondas sonoras no audibles para el humano, pues estas al generar la frecuencia vibracional puede estimular la deshidratación, y de esta manera disminuir el daño provocado por altas temperaturas del proceso convencional.

En el presente trabajo se busca identificar los efectos de la aplicación de ultrasonido como pretratamiento y temperatura a través de ventana refractante en el proceso de secado del yacón, mediante una metodología experimental, observando el efecto entre las variables tiempo y temperatura sobre el color, textura, difusividad y velocidad de secado. En el que se espera identificar una correlación entre el empleo de ambas tecnologías sobre la cinética de secado y parámetros físicos en las rodajas de yacón.

### **1.1. Descripción del problema**

En los diferentes procesos de conservación de alimentos hay tratamientos térmicos en las cuales se aplica altas temperaturas, obteniendo como resultado un producto con mayor vida útil, pero a su vez con baja calidad en sus características físicas. Es por esto por lo que la industria de alimentos siempre está en constante innovación, en busca de mejoras de procesos, reduciendo costo, tiempo, mejora de calidad en el producto y que a su vez sea una tecnología amigable con el medio.

Como tal se encontró la aplicación del ultrasonido, siendo considerada una tecnología limpia y aplicable en las diferentes fases del procesamiento de alimentos, ya que debilita las paredes celulares haciendo que el proceso de secado sea más rápido.

La presente investigación pretende aplicar el ultrasonido como pretratamiento seguidamente la aplicación de temperatura en la cinética de secado por ventana refractante evaluando el efecto de los parámetros físicos en rodajas de yacón.

### **1.2. Formulación del problema**

¿Cuál será el efecto del pretratamiento con ultrasonido a diferentes tiempos, secado por ventana refractante a diferentes temperaturas en la cinética de secado y parámetros físicos de rodajas de yacón (*Smallanthus sonchifolius*)?

### **1.3. Justificación**

En la industria alimentaria existen diferentes tecnologías como tratamientos físicos que ayudan a la conservación del alimento o como pretratamiento para facilitar las operaciones unitarias en la fabricación de productos innovadores. Uno de los tratamientos más comunes es el tratamiento térmico, que ayuda a la inhibición de proliferación de microorganismos y bacterias, debido a la alta temperatura que es expuesta; dentro de estas tenemos el proceso de secado pues esta consta de la reducción de actividad de agua, dando como resultado un producto con mayor tiempo de vida útil.

Entre los tratamientos físicos para el procesamiento de alimentos nace una tecnología emergente que es el ultrasonido. El uso del ultrasonido como pretratamiento se ha incrementado debido a las ventajas que presenta sobre los procesos convencionales como reducción de tiempo, menor costo y obteniendo una mayor eliminación de microorganismos y enzimas sin dañar los nutrientes del alimento.

Con esta investigación se pretende obtener información necesaria sobre el efecto que existe en la aplicación de ultrasonido y temperatura por ventana refractante, en los parámetros físicos del yacón.

#### **1.4.Objetivo General**

Determinar el efecto del pretratamiento con ultrasonido a diferentes tiempos, secado por ventana refractante a diferentes temperaturas en la cinética de secado y parámetros físicos (difusividad y dureza) de rodajas de yacón (*Smallanthus sonchifolius*)

##### **1.4.1. Objetivos Específicos**

- Determinar el efecto del pretratamiento con ultrasonido expuesto a diferentes tiempos en la cinética de secado y parámetros físicos (difusividad y dureza) de rodajas de yacón (*Smallanthus sonchifolius*)

- Determinar el efecto de la temperatura por ventana refractante en la cinética de secado y parámetros físicos (difusividad y dureza) de rodajas de yacón (*Smallanthus sonchifolius*)

#### **1.5.Hipótesis**

El empleo del pretratamiento con ultrasonido a diferentes tiempos ejerce un efecto positivo a temperaturas mayores de 50°C y menores de 70°C por ventana refractante en la cinética de secado y parámetros físicos de rodaja de yacón (*Smallanthus sonchifolius*)

## **CAPITULO II. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1. Antecedentes**

Inés (2022), en su estudio realizado sobre el análisis de conocimiento bibliográfico a través de la aplicación de Osmodeshidratación asistida con ultrasonido para una mejor conservación de frutas y hortalizas manteniendo la calidad del alimento, mostro que al aplicar este proceso se debe tener en cuenta variables como: la concentración de soluciones utilizadas, la temperatura, la presencia del ultrasonido y el tipo de secado. Obteniendo como resultado que la frecuencia de ultrasonido que se utilizó en su mayoría fue de 40 a 45 kHz (kilohertz) permitiendo el intercambio de sólido disueltos y la pérdida de agua. Esta investigación me permitirá tener un parámetro aplicable para las ondas del ultrasonido.

Luz (2020), en su investigación evaluó el efecto de la deshidratación osmótica con soluciones de sacarosa a 50 y 60 °Brix, en combinación con ultrasonido a 45KHz y 150W, como pretratamiento, observando su comportamiento de secado y cambios en el color. Los resultados expuestos determinaron que a mayor concentración de solución y la aplicación de ultrasonido disminuye el tiempo de secado, haciendo que el proceso sea más rápido. Y que la difusividad aumenta al aumentar la temperatura y velocidad de secado. Las temperaturas aplicables a través de secado de túnel fueron de 50, 60, 70 °C indicándonos que la mejor temperatura fue de 70°C, con esto se haría una comparación respecto a la difusividad, y determinar si es mejor el secado de túnel o secado por ventana refractante.

Baeza Boronat (2018), evaluó la influencia del secado sobre la calidad del champiñón, aplicando temperatura (30 – 70 °C) y ultrasonido en muestras de láminas de 6mm de espesor. A su vez aplico modelos de difusividad en la cinética de secado. Concluyendo que el aumento de temperatura de secado como la aplicación de ultrasonido, redujeron el tiempo de secado y la difusividad aumentó, con respecto al color y textura no se mostraron cambios significativos comparado con el secado convencional y la aplicación de ultrasonido disminuyo el daño celular. Tras la revisión de la información se podría tomar como referencia el espesor que se consideró para la muestra, comparando los efectos del ultrasonido en el tipo de secado, y el efecto causado en los parámetros físicos del champiñón.



Campo Vera et al., (2018), el presente artículo habla sobre el uso del ultrasonido en el procesamiento de los alimentos, y de cómo se tiene ventajas significativas sobre los procesos convencionales. Los autores, concluyeron que la aplicación del ultrasonido es una tecnología versátil, innovadora para el procesamiento de homogenización, extracción y secado en alimentos, siendo a su vez respetuosa con el medio ambiente, mejorar la calidad, la reducción de riesgos químicos y físicos. Esta información nos permitirá determinar si la aplicación de ultrasonido es amigable con el medio y a su vez nos genere una mejora en el producto final, sin causar efectos adversos sobre la humanidad.

Santisteban (2022), evaluó los parámetros de (frecuencia y tiempo de exposición) de ultrasonido para la incorporación de hierro y ácido ascórbico en camote, con el propósito de obtener un camote enriquecido con hierro, junto a la vitamina C. En su investigación aplicó dos frecuencias y 6 tiempos, posteriormente a una deshidratación de 45°C durante 8 horas, en láminas de camote de 5mm. Nos menciona que el factor frecuencia no tuvo efecto significativo en el contenido de hierro y ácido ascórbico; sin embargo, el tiempo si demostró efecto significativo determinando que los valores con mayor optimización de mayor contenido de ácido ascórbico y hierro fue a una frecuencia de 37 kHz y un tiempo de exposición de 60 min.

Saavedra Davila (2022), este estudio tuvo como objetivo evaluar la aplicación de tecnologías de ultrasonido y/o etanol antes del secado convectivo en muestras con una estructura vascular particular (núcleo de piña). Evaluando los efectos sobre la cinética de secado, contracción, cinética de rehidratación, recuperación de tamaño y textura. Obteniendo como resultados principales, una reducción en el tiempo de secado cuando se aplicó el pretratamiento de etanol más el ultrasonido durante 10 min, conservando mejor su diámetro y espesor después del secado. Esta información nos permitirá hacer la comparación de conservación del producto.

Perez Rodriguez (2019), evaluó el efecto de dos tiempos (30 y 45 min) de exposición al ultrasonido y dos temperaturas (25 y 40 °C) sobre la acidez titulable, el pH, el contenido de sólidos solubles, contenido de vitamina C y recuento de mohos y levaduras de la pulpa de zarzamora. Aplicando una frecuencia de ultrasonido de 40 kHz, dieron como resultados mostraron cambios significativos en la acidez titulable, el contenido de sólidos solubles, contenido de vitamina C y recuento de mohos y levaduras menos en el pH. Determinando que el mejor tratamiento es a un tiempo de exposición al ultrasonido de 30 min y temperatura de 40 °C.

García Ledesma (2018), esta investigación tuvo como propósito el análisis de la evaluación sensorial la pulpa de mango deshidratado por Ventana Refractiva, aplicando temperaturas de 80, 85 y 90 °C durante 20, 15 y 10 minutos respectivamente, considerando 2 y 3 mm de espesor para cada prueba. Comparando el producto con un testigo obtenido de la deshidratación de pulpa de mango mediante bandeja. Concluyendo que el producto al que se le aplico el uso de venta refractiva tuvo una mayor aceptación, debido a la mayor intensidad de aroma y sabor a mango, así como una mejor textura y estética del producto. Con esta investigación se podría determinar si el secado por ventana refractiva se obtiene mejores resultados que los convencionales.

## **2.2. Marco Teórico**

### **2.2.1. Yacón**

El yacón, considerada planta nativa de los andes que pertenece a la familia Asteraceae, Su nombre científico es *Smallanthus sonchifolius* (Seminario, 2003). Crece desde la zona templada de los Andes de Venezuela y Colombia, hasta el norte de Argentina. Siendo domesticada desde las grandes culturas andinas del Perú y cultivada en 18 departamentos ya que esta puede crecer desde el nivel del mar hasta los 3 200 metros de altitud (Falconi & Lobo, 2009).

La planta de yacón es herbácea perenne, puede llegar a tener una altura de 1 a 2.5 m. Sus hojas tienen un tamaño que alcanza los 30 cm de longitud por lo general son triangulares o acorazonadas (Manrique et al., 2003). La planta presenta una ramificación que pueden tener hasta 8 tallos por planta, las dimensiones del tallo del yacón oscilan entre 2,05cm a 2.10 cm de diámetro en su etapa de máximo crecimiento (Gutiérrez Vargas & Vaca Jerez, 2011).

El yacón tiene dos tipos de raíces: fibrosas y reservantes. Las raíces fibrosas tienen como función la fijación de la planta al suelo junto a la absorción del agua y nutrientes. Respecto a las raíces reservantes, debido a diferentes factores como la variedad de suelo pueden influenciar bastante en su forma y tamaño, siendo cilíndricas o fusiformes, con colores blanco, crema, amarillo o anaranjado claro, en algunos con estrías de color púrpura (Seminario et al., 2003).

Las raíces del yacón tienen cáscara delgada y muy adherida a la pulpa y los tejidos internos son muy blandos debido a alta acumulación de agua (entre el 90% del peso fresco de la raíz), volviéndolo altamente perecible a sufrir rajaduras o a romperse fácilmente durante la cosecha, el embalaje y el transporte (Manrique et al., 2003). El peso de la raíz es altamente variable: dentro de una misma planta puede diferir entre 50 y 1000 g, aunque por lo general varía entre 200 y 500 g (Spinei Mariana, 2021).

Su fruto es muy jugoso pudiendo alcanzar longitudes que varían entre 10 y 35 cm y diámetros entre 3 y 10 cm, con peso que fluctúa entre 50 a 1000 gramos con un 86% de humedad, 0.3% de proteína, 23 g de calcio y 21 mg de fósforo. Esto se debe a

que sus tejidos almacenan sustancias de reserva en forma de carbohidratos simples y principalmente fructooligosacáridos, un tipo especial de azúcar con altos beneficios para la salud humana, ya que tienen pocas calorías y no elevan el nivel de glucosa en la sangre (Falconi & Lobo, 2009).

### 2.2.1.1. Composición química

Entre 85 a 90% del peso fresco de las raíces de yacón se encuentra en forma de agua. El yacón no almacena almidón, sino que acumula sus carbohidratos en forma de fructooligosacáridos y azúcares libres (fructosa, glucosa y sacarosa). El mineral más abundante es el potasio, en promedio 230 mg/100 g de materia fresca comestible. En mucho menor cantidad se encuentran el calcio, fósforo, magnesio, sodio y hierro (Manrique et al., 2003)

*Tabla 1 Composición Química del Yacón en 1kg materia comestible de la raíz*

VARIABLE	PROMEDIO	RANGO
Materia Seca (g)	115	98 - 13
Carbohidratos Totales (g)	106	89 - 127
Fructanos (g)	62	31 - 89
Glucosa Libre (g)	3.4	2.3 - 5.9
Fructuosa Libre (g)	8.5	3.9 - 21.1
Sacarosa Libre (g)	1	10 - 19.
proteína (g)	3.7	2.7 - 4.9
Fibra (g)	3.6	3.1 - 4.1
lípidos (mg)	244	112 - 464
Calcio (mg)	84	56 - 131
Fosforo (mg)	240	182 - 309
Potasio (mg)	2282	1843 - 2946

Fuente: Hermann et al (1999) citado por (Seminario et al., 2003).

### 2.2.1.2. Fructooligosacárido

Una característica particular del yacón es que se puede comer en forma fresca a pesar de ser un tubérculo como el camote o la yuca, ya que es jugosa con un sabor dulce dejando una sensación refrescante. Esto se debe a que sus tejidos almacenan sustancias de reserva en forma de carbohidratos simples y principalmente

fructooligosacáridos (FOS), un tipo especial de azúcar con altos beneficios para la salud humana, ya que tienen pocas calorías y no elevan el nivel de glucosa en la sangre. Esta propiedad ha convertido al yacón como recurso potencial para el mercado como producto dietético (Falconi & Lobo, 2009)

### **2.2.2. Ultrasonido**

Es una energía que viaja en ondas de sonido iguales o mayores a 20KHz, la frecuencia o nivel de sonido es medido en Hertz (ciclos/segundo). Conforme la frecuencia aumenta, el sonido se vuelve no audible al oído humano (Parzanese, 2018).

#### **2.2.2.1. Tipos de Ultrasonidos**

En la industria alimentaria el ultrasonido se puede clasificar según su frecuencia como nos indica Ulloa et al., (2013):

- **Ultrasonido de baja intensidad:** (baja potencia, baja energía) tiene frecuencias superiores a 100 KHz utiliza intensidad por debajo de  $1\text{W.cm}^2$  el cual se utiliza para análisis no invasivos y monitoreos de materiales alimenticios durante su procesamiento y almacenamiento, para garantizar alta calidad e inocuidad.
- **Ultrasonido de alta intensidad:** (alta potencia, alta energía) utiliza intensidades superiores a  $1\text{W.cm}^2$  a frecuencia de 20 y 500 KHz, las cuales provocan modificaciones en las propiedades físicas, mecánicas o químicas-bioquímicas de los alimentos, para mejorar la vida útil y calidad en el procesamiento de conservación e inocuidad de alimentos.

#### **2.2.2.2. Aplicación de ultrasonido**

La tecnología del ultrasonido ha sido empleada en diferentes investigaciones dentro del campo alimentario, existiendo un gran interés debido a que se puede aplicar de forma práctica y también porque se considera ambientalmente sustentable. Esta aplicación se puede dar de tres maneras: por aplicación directa al producto, aplicación a un dispositivo, y sumergido a un baño ultrasónico (Robles Ozuna & Ochoa Martínez, 2012).

Las principales razones por las cuales el ultrasonido ha ganado interés como técnica para análisis de alimentos lo indica Parzanese (2018):

- Sellado ultrasónico que es capaz de detectar empaques mal sellados, permitiendo ahorrar material de envasado
- Detección fugas de latas y botellas
- Formulación de sistema de dispersión se obtiene mejoras en la calidad del producto final, alimentos más homogéneos con características organolépticas mejoradas.
- Procesamiento de miel, se comenzó a utilizar como alternativa al tratamiento térmico a fin de reducir la aplicación de altas temperatura que eran expuestas.
- Análisis y determinación de propiedades de interés en alimentos teniendo un mejor control de las propiedades físicas antes durante y después de los procesamientos.

#### **2.2.2.3. Efecto del ultrasonido**

La absorción de la energía acústica es importante, por el contenido de aire y la buena estructura que algunos productos poseen. Las frecuencias altas son más fácilmente atenuadas que las bajas de ahí que el ultrasonido de alta intensidad es aplicado a bajas frecuencias para obtener niveles de poder alto. Este ultrasonido de alta intensidad es utilizado en la industria para limpieza y desinfección al provocar la destrucción microbiana, así como la inactivación enzimática ya que esta presenta cambios físicos y químicos dando lugar a la cavitación (Gómez & López, 2009)

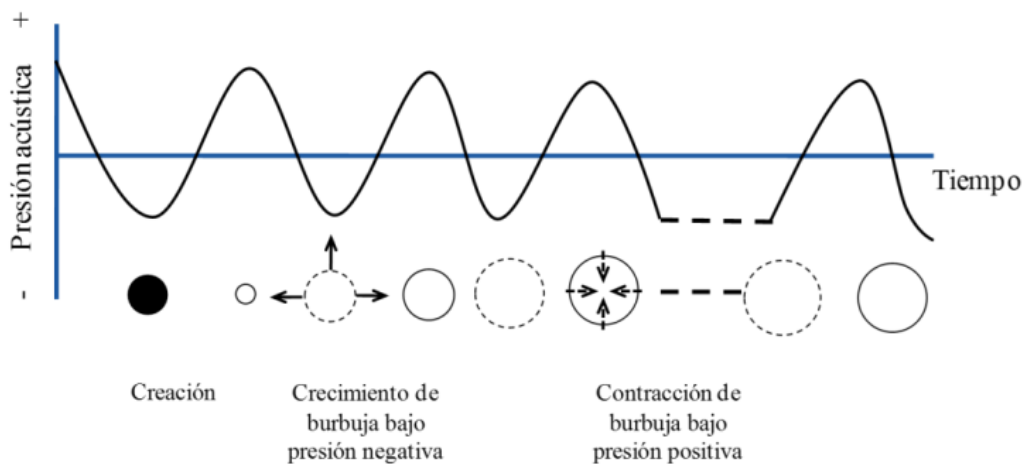
- **Proceso de cavitación**

El proceso de cavitación no es más que la formación de pequeñas burbujas esto surge cuando la onda sónica se propaga en un medio líquido de forma longitudinal, provocan elevadas variaciones de presión, creando fuerza de tensión si tienen amplitudes grandes (Delgado, 2012).

La cavitación por ultrasonidos depende de varios aspectos según Parzanese (2018):

- Frecuencia: a mayores frecuencias el tiempo dado a la burbuja para que crezca y afecte al sistema es pequeño, por lo que el efecto de la cavitación es menor.
- Viscosidad: cuanto más viscoso es un líquido (mayor resistencia a fluir), menor es el efecto de la cavitación.
- Temperatura: cuanto mayor es la temperatura, la cavitación tiene lugar para intensidades acústicas menores.
- Intensidad: en general a mayor intensidad ultrasónica, mayor es el efecto de este fenómeno.

Figura 1 Proceso de Cavitación



Fuente: Ulloa et al., (2013)

### 2.2.3. Secado

El secado es un proceso complejo en el que se produce una transferencia simultánea de materia y de energía para la conservación de alimentos, reduciendo el peso para su transporte e incrementando la estabilidad de los alimentos reduciendo la

actividad de agua, la acción microbiológica y los cambios fisicoquímicos que se pueda generar durante su almacenamiento (Campo Vera et al., 2018)

En el proceso de secado es importante conocer los mecanismos que involucran el movimiento del agua en el interior y exterior del alimento. Este movimiento puede ser debido a fuerzas capilares, que son responsables de la retención del agua en los poros de los sólidos de construcción rígida; o mecanismo difusivo, que es la transferencia interna de materia al alimento y se produce únicamente por los gradientes de humedad (Ibarz & Barbosa, 2005).

### **2.2.3.1. Cinética de secado**

En el proceso de secado los datos se expresan como la variación del peso respecto al tiempo en el que se seca el producto, esto se conoce como cinética de secado o velocidad de secado (Ibarz & Barbosa, 2005).

El contenido en humedad del producto se define como la relación entre la cantidad de agua en el alimento y la cantidad de sólidos secos, y se expresa como:

$$Y_t = \frac{W_T - W'_s}{W'_s} \quad (1)$$

En la que  $W_T$  es el peso total de material en un tiempo determinado,  $W'_s$  el peso de los sólidos secos, e  $Y_t$  la humedad expresada como (peso de agua/peso de sólido seco).

En el proceso de secado una variable muy importante es la denominada contenido de humedad libre,  $Y$ , que se define como:

$$Y = Y_t - Y_{eq} \quad (2)$$



En la que  $Y_{eq}$  es el contenido de humedad cuando se alcanza el equilibrio. Una típica curva de secado se obtiene al representar el contenido de humedad libre frente al tiempo de secado.

La velocidad de secado,  $R$ , es proporcional al cambio del contenido de humedad con el tiempo:

$$R \propto \frac{dY}{dt} \quad (3)$$

A partir de la figura 2 se puede obtener el valor de  $dY/dt$  para cada punto de la curva, mediante el valor que adquiere la tangente a la misma en cada uno de los puntos.

La velocidad de secado  $R$  se puede expresar como:

$$R = -\frac{w's}{A} \quad (4)$$

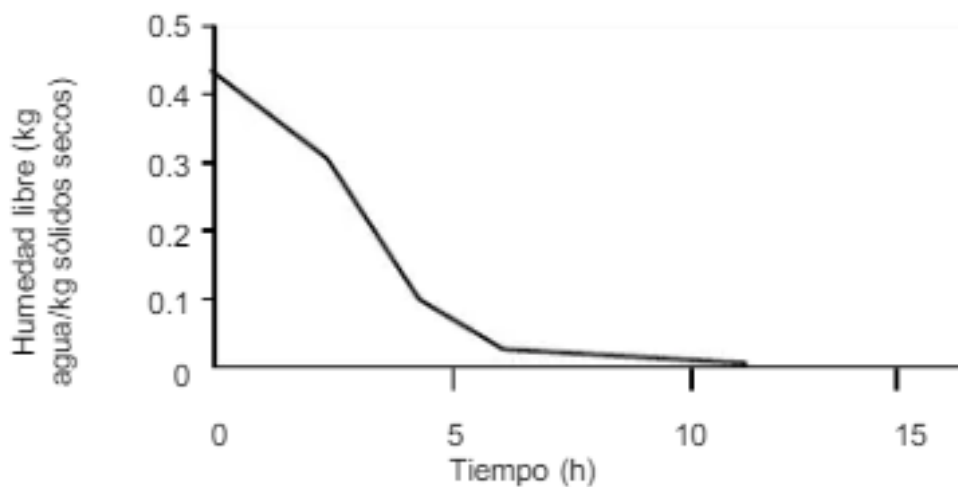
Donde:

$R$ : velocidad de secado

$w's$ : caudal del sólido

$A$ : área de la superficie

*Figura 2 Contenido de humedad en función del tiempo de secado*



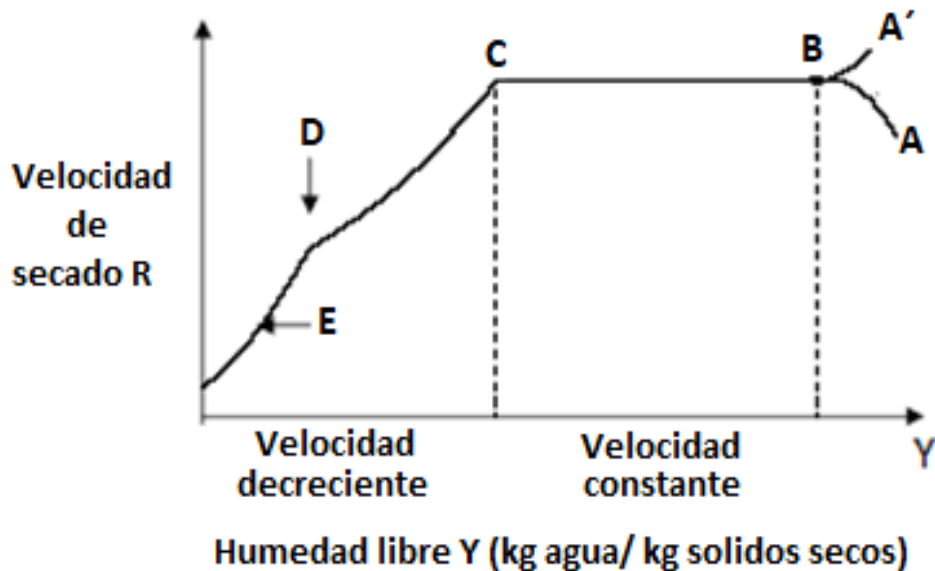
Fuente: Geankoplis, (1983) citado por Ibarz & Barbosa, (2005)

### 2.2.3.2. Curva de velocidad de secado

En la figura 3 se muestra una típica curva de velocidad de secado de un producto, describiendo el proceso en etapas, donde la velocidad de secado juega un papel importante, los puntos A Y A' representan el inicio de secado para un material frío y caliente, respectivamente, el punto B representa el estado de temperatura de equilibrio de la superficie del producto, el tramo de la curva B-C es conocido como periodo de velocidad constante de secado, y está asociado a la eliminación del agua no ligada al producto (Ibarz & Barbosa, 2005).

Cuando la velocidad de secado no se mantiene constante y empieza a disminuir se da periodo de velocidad decreciente; además, la actividad de agua en la superficie se hace menor a la unidad. En este caso la velocidad de secado está gobernada por el flujo interno del agua y vapor. El punto C representa el inicio de periodo de velocidad decreciente (Ibarz & Barbosa, 2005)

Figura 3 Curva de velocidad de secado



Fuente: (Ibarz & Barbosa, 2005)

### 2.2.3.3. Difusividad de secado

La difusividad de secado es la medida de la capacidad de un material para permitir la transferencia de masa de agua durante el proceso de secado. Se define como la relación entre velocidad de secado y la concentración de la humedad en el material. El principal mecanismo en el secado de sólidos es la difusión del agua en sólidos de estructura fina y en los capilares, poros y pequeños huecos llenos con vapor, donde este se difunde hasta alcanzar la superficie donde pasa a la corriente global del aire.

El modelo de Fick es una ecuación matemática que describe la difusión de una sustancia en un medio, es una herramienta fundamental para entender y predecir la difusión en diversos sistemas. La ley de Fick aplicada a un sistema se <sup>(5)</sup> expresar como:

$$\frac{\partial Y}{\partial t} = D_{effect.} \frac{\partial^2 Y}{\partial x^2}$$

Donde:

$\partial Y/\partial t$  : variación de concentración con el tiempo

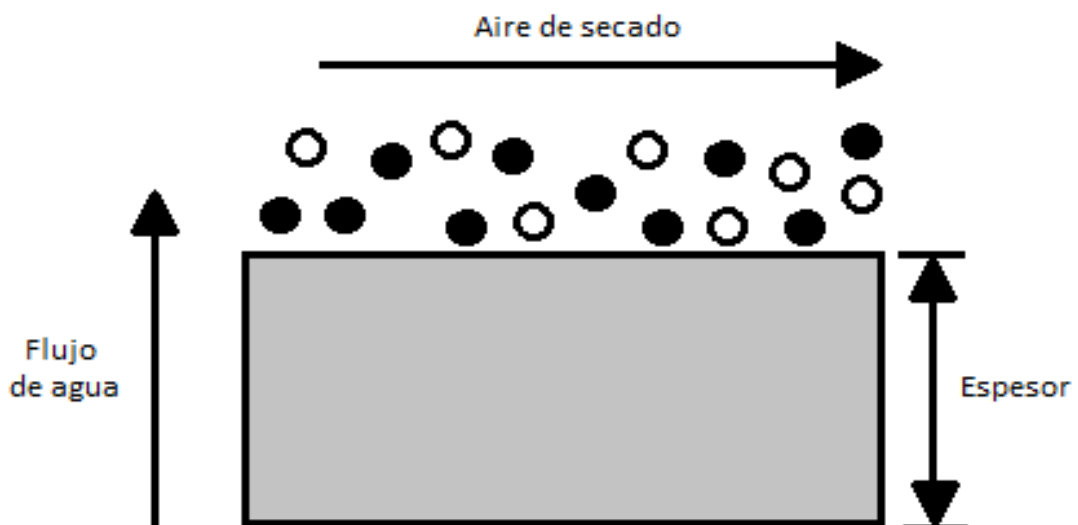
Defect: coeficiente de difusión

Y: contenido de humedad

t: tiempo

x: dimensión de transferencia

Figura 4 Mecanismo de difusión superficial y transporte de vapor de agua

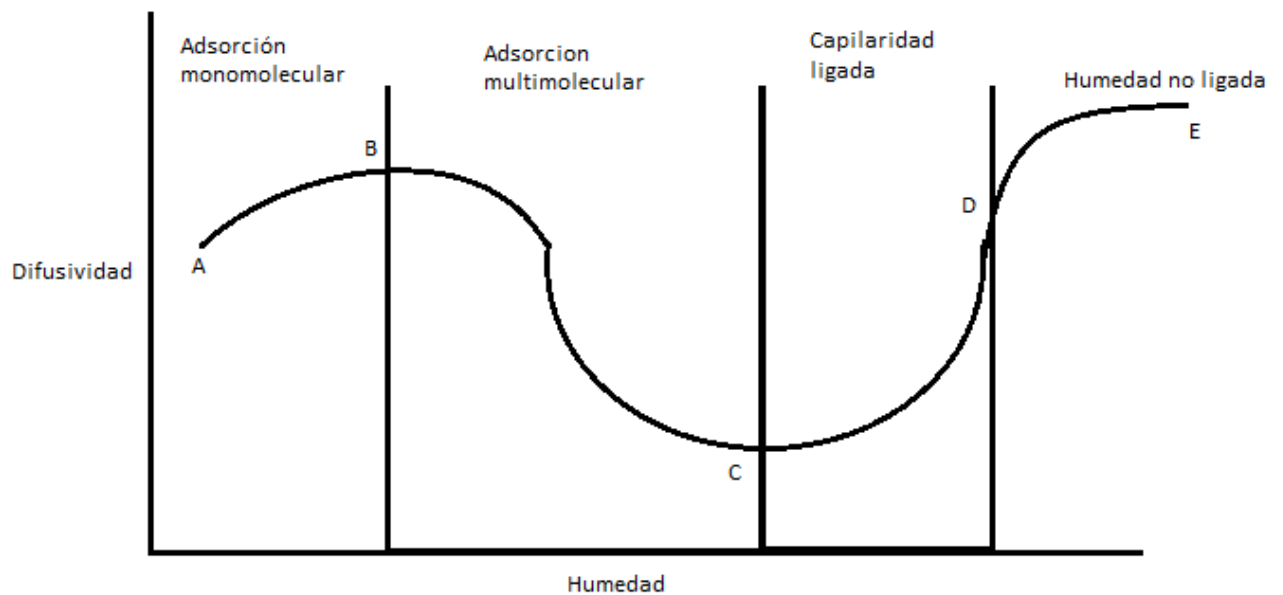


Fuente: Ibarz & Barbosa, (2005)

La relación entre la difusividad y humedad se representa en la siguiente figura 5 según (Ibarz & Barbosa, 2005):

- Región A-B representa la absorción monomolecular en la superficie del sólido que consiste en el movimiento del agua por difusividad de la fase vapor.
- Región B-C cubre la desorción multimolecular donde la humedad empieza el movimiento en la fase líquida.
- Región C-D juega un papel importante la microcapilaridad, donde la humedad emigra fácilmente en los poros llenos de agua.
- Región D-E la humedad ejerce su máxima presión de vapor y la migración de la humedad es debida primordialmente a la capilaridad.

*Figura 5 Relación entre el contenido de humedad y difusividad*

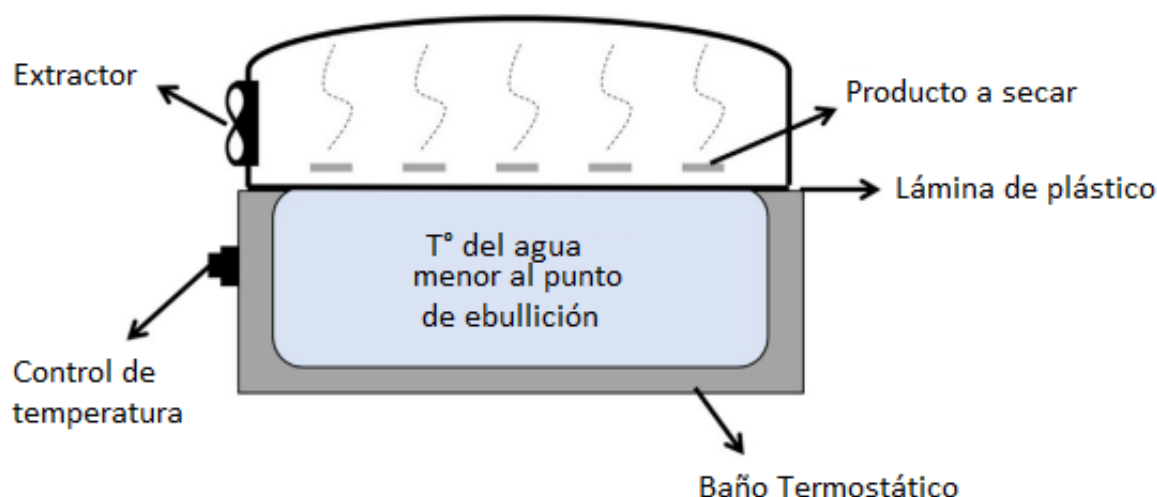


Fuente: (Ibarz & Barbosa, 2005)

#### 2.2.3.4. Secado por ventana refractante

El sistema de secado por Ventana Refractante se realiza a través de una banda transportadora que se mueve relativamente transparente a la radiación infrarroja, donde en la parte inferior está en contacto con agua caliente por debajo del punto de ebullición, haciendo que el agua caliente recircule, mejorando la eficacia térmica del sistema, transfiriendo energía. El empleo de agua caliente como medio de transferencia de calor y la temperatura hace de éste, un equipo de características únicas en métodos de secados. Durante el secado por Ventana de Refractante se presentan los tres tipos de transferencia de calor: conducción, convección y radiación (Leiton, 2012).

Figura 6 Esquema de secado por ventana refractante



Fuente: Adaptado de (Ortiz Jerez et al., 2022)

#### 2.2.4. Color

Propiedad de la materia relacionada con una percepción humana de la luz reflejada por un objeto, esta medida de color se puede hacer físicamente ya que transmite o refleja la radiación luminosa, como también por su longitud de onda. El color es un parámetro importante, porque se define la calidad, puesto que puede ser rechazado o aceptado si la impresión visual que se produce es aceptada como bueno (Cuatin, 2019)

El sistema cielab se representa en un plano cartesiano con los colores rojo, verde, azul y amarillo. El conjunto de tonalidades  $h^*ab$  lo dicta el ángulo del vector generado por las componentes  $a^*$  (componente +rojo y -verde) y  $b^*$  (componente +amarillo y - azul), la amplitud de este vector es el croma  $C^*ab$ , mientras que  $L^*$  es la luminancia (Orlando Guerrero et al., 2023).

El vector croma ( $C^*ab$ ) se calcula:

$$C^*ab = \sqrt{a^* + b^*} \quad (6)$$

Conjunto de tonalidades ( $h^*ab$ ) se calcula:

$$h^*_{ab} = \tan^{-1} \left( \frac{b^*}{a^*} \right) \quad (7)$$

Calculo diferencia de color ( $\Delta E$ ) (Leiton, 2012)

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (8)$$

Donde:

$L^*$  : luminosidad (-100, negro; 100, blanco)

$a^*$  : (verde (-) rojo (+))

$b^*$  : (azul (-) amarillo (+))

### 2.2.5. Textura

Conjunto de propiedades según NC-ISO 5492, (2020):

- **Mecánicas** reacción del producto a una fuerza. Hay cinco características elementales: dureza, cohesividad, viscosidad, elasticidad y adhesividad.
- **Geométricos** son aquellos relacionados con el tamaño, forma y distribución de las partículas en el producto.
- **Superficie** son aquellos relacionados con las sensaciones producidas por el contenido de humedad y/o grasa.

*Tabla 2 Definición de las características de las Propiedades Mecánicas*

PROPIEDADES	CARACTERISTICAS
DUREZA	<p>Fuerza requerida para lograr la deformación de un producto. Los niveles de dureza son:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Blando: Nivel bajo Ej. queso crema</li> <li>• Firme: Nivel moderado Ej. aceituna</li> <li>• Duro: Nivel alto Ej. caramelo duro</li> </ul>
COHESIVIDAD	<p>Relación de cohesividad y fuerza que se requiera para romper un producto en migajas o pedazos, incluyendo la propiedad de fracturabilidad, masticabilidad y gomosidad.</p>
VISCOSIDAD	<p>Fuerza requerida para aspirar un líquido desde una cuchara sobre la lengua, o para extenderlo sobre un sustrato. niveles de viscosidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fluido: nivel bajo Ej. Agua</li> <li>• Delgado: nivel moderado Ej.: salsa</li> <li>• Viscoso: nivel alto Ej. leche condensada azucarada, miel</li> </ul>
ELASTICIDAD	<p>a) La rapidez de recuperación después de una fuerza de deformación y b) El grado al cual un material deformado retorna a su condición original cuando cesa la fuerza de formadora. La elasticidad es:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ausencia: Plástico: Ej. Margarina</li> <li>• Nivel medio: Maleable: Ej: el Marshmallow</li> <li>• Nivel alto: Elástico: Ej. Calamares, almejas</li> </ul>
ADHESIVIDAD	<p>Fuerza requerida para remover un producto que se adhiere a la boca o a un sustrato. Los diferentes niveles de adhesividad son los siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pegajoso, nivel bajo Ej. arroz pre-cocido</li> <li>• Adhesivo: nivel moderado Ej. Caramelo blando de crema</li> <li>• Viscoso, glutinoso: nivel alto Ej. arroz sobre cocinado, yuca</li> </ul>

Fuente: (NC-ISO 5492, 2020)

### 2.3. Definición de Términos

- **Yacón:** tubérculo que se considera como fruta por su sabor dulce y agradable para el paladar
- **Ultrasonido (US):** ondas de sonido con frecuencias mayores a 20KHz no audibles por el oído humano.
- **Ventana refractante (VR):** método de deshidratación, en periodos cortos de tiempo por transferencia de calor y la temperatura
- **Cinética de secado:** variación del peso respecto al tiempo que experimenta el producto mientras está en proceso de secado.
- **Difusividad:** La difusividad es una característica de un componente y de su entorno, la velocidad de reacción del producto al cambio de la temperatura.
- **Color instrumental:** se representa en un plano cartesiano con los colores rojo, verde, azul y amarillo. El vector generado por las componentes  $a^*$  (componente +rojo y -verde) y  $b^*$  (componente +amarillo y – azul), mientras que  $L^*$  es la luminancia (Orlando Guerrero et al., 2023).
- **Textura:** Máxima fuerza durante el primer ciclo de compresión es decir fuerza requerida para lograr la ruptura y deformación de un producto (dureza).
- **Velocidad de Secado:** Eliminación del agua durante la aplicación de temperatura en el proceso de secado.



## **CAPITULO III. MARCO METODOLÓGICO**

### **3.1.Ubicación**

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de Bioingeniería y Fermentaciones Industriales de la Escuela Académica Profesional de Industrias Alimentarias de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca, situado en la Av. Atahualpa 1050, Km.03 del departamento de Cajamarca, Perú.

- Coordenadas: 7°10'01"S 78°29'44"O /-7°166943,-78.495427.
- Altitud: 2750 msnm

### **3.2.Materiales y equipos**

#### **3.1.1. Materiales (ANEXO 1)**

- Materia prima: Yacón será obtenido del mercado central de Cajamarca procedente del distrito de Cajamarca, Provincia de Cajamarca, departamento Cajamarca.

#### **3.1.2. Instrumentos (ANEXO 2)**

- Cuchillo
- Regla
- Cuter
- Pinza
- Tabla de picar

#### **3.1.3. Equipos de laboratorio (ANEXO 3)**

- Ultrasonido marca Ultrasonic Cleaner modelo 010S
- Ventana refractiva marca MEMMERT
- Texturometro marca a BROOKFIELD CT3
- Colorímetro marca SADT colorimeter SC50
- Balanza Digital analítica marca PRECISA modelo LX 220 SCS
- Estufa

#### **3.1.4. Material de escritorio (ANEXO 4)**

- Cámara fotográfica
- Computadora
- Libreta de notas
- Papel
- Plumón indeleble
- Bolígrafo

#### **3.1.5. Otros (ANEXO 5)**

- Indumentaria completa (guardapolvo, mascarilla, protector de cabello, guantes quirúrgicos)
- Papel toalla
- Alcohol 70%
- Hipoclorito de sodio (lejía comercial)
- Jabón líquido antibacterial
- Lavavajilla

### **3.3. Tipo de investigación**

La presente investigación es de tipo experimental, en el que se busca la relación de causa y efecto entre dos variables, siendo verificada de manera cuantitativa, a partir de la aplicación de las variables independientes (tiempo y temperatura) analizando el efecto sobre las variables dependientes.

#### **3.3.1. Variables**

##### **3.3.1.1. Independientes**

- Tiempo de exposición a ultrasonido (min)
- Temperatura (C°)

### 3.3.1.2. Dependientes

- Velocidad de secado
- Color (instrumental) L\* a\* b\*
- Textura (dureza)
- Difusividad

### 3.3.2. Factores, variables (independientes), niveles y tratamientos en estudio.

De acuerdo con el arreglo factorial experimental, los factores estudiados fueron dos y cada uno de ellos teniendo tres niveles, los cuales se muestran en la siguiente tabla 3.

*Tabla 3 Factores, variables independientes y niveles*

<b>FACTOR</b>	<b>VARIABLES INDEPENDIENTES</b>	<b>NIVELES</b>
A	Tiempo	A1: 1 min A2: 2 min A3: 3 min
B	Temperatura	B1: 50°C B2: 60°C B3: 70°C

Fuente: elaboración propia

### 3.3.3. Diseño de la investigación

La investigación se ubica en el diseño experimental, cuyo procedimiento será realizada de acuerdo con metodologías establecidas, aplicando un diseño factorial 3x3.

### 3.3.4. Población

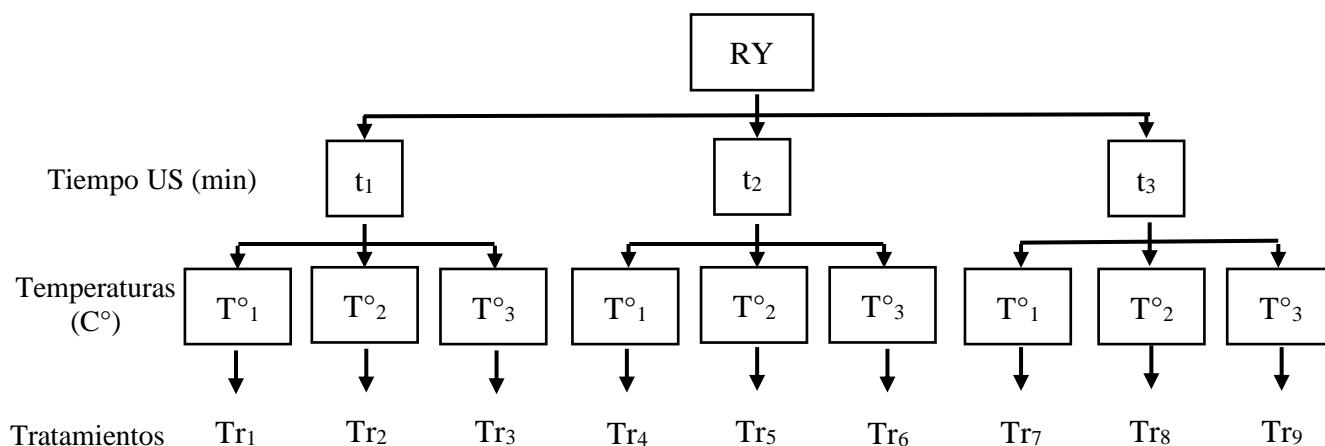
Yacón (*Smallanthus sonchifolius*), sometido a tiempo de ultrasonido y temperatura por ventana refractante.

### 3.3.5. Muestra

Se utilizo 3 kilos de yacón, para la evaluación de los análisis correspondientes.

### 3.3.6. Diagrama del diseño experimental

Figura 7 Diagrama del diseño experimental



Fuente: Elaboración propia

Donde:

**RY:** Rodajas de yacón

**t<sub>1</sub>:** Tiempo de ultrasonido 1

**t<sub>2</sub>:** Tiempo de ultrasonido 2

**t<sub>3</sub>:** Tiempo de ultrasonido 3

**T°<sub>1</sub>:** Temperatura por ventana refractante 1

**T°<sub>2</sub>:** Temperatura por ventana refractante 2

**T°<sub>3</sub>:** Temperatura por ventana refractante 3

**Tr<sub>1</sub>:** Tratamiento 1 (t<sub>1</sub> y T°<sub>1</sub>)

**Tr<sub>2</sub>:** Tratamiento 2 (t<sub>1</sub> y T°<sub>2</sub>)

**Tr<sub>3</sub>:** Tratamiento 3 (t<sub>1</sub> y T°<sub>3</sub>)

**Tr<sub>4</sub>:** Tratamiento 4 (t<sub>2</sub> y T°<sub>1</sub>)

**Tr<sub>5</sub>:** Tratamiento 5 (t<sub>2</sub> y T°<sub>2</sub>)

**Tr<sub>6</sub>:** Tratamiento 6 (t<sub>2</sub> y T°<sub>3</sub>)

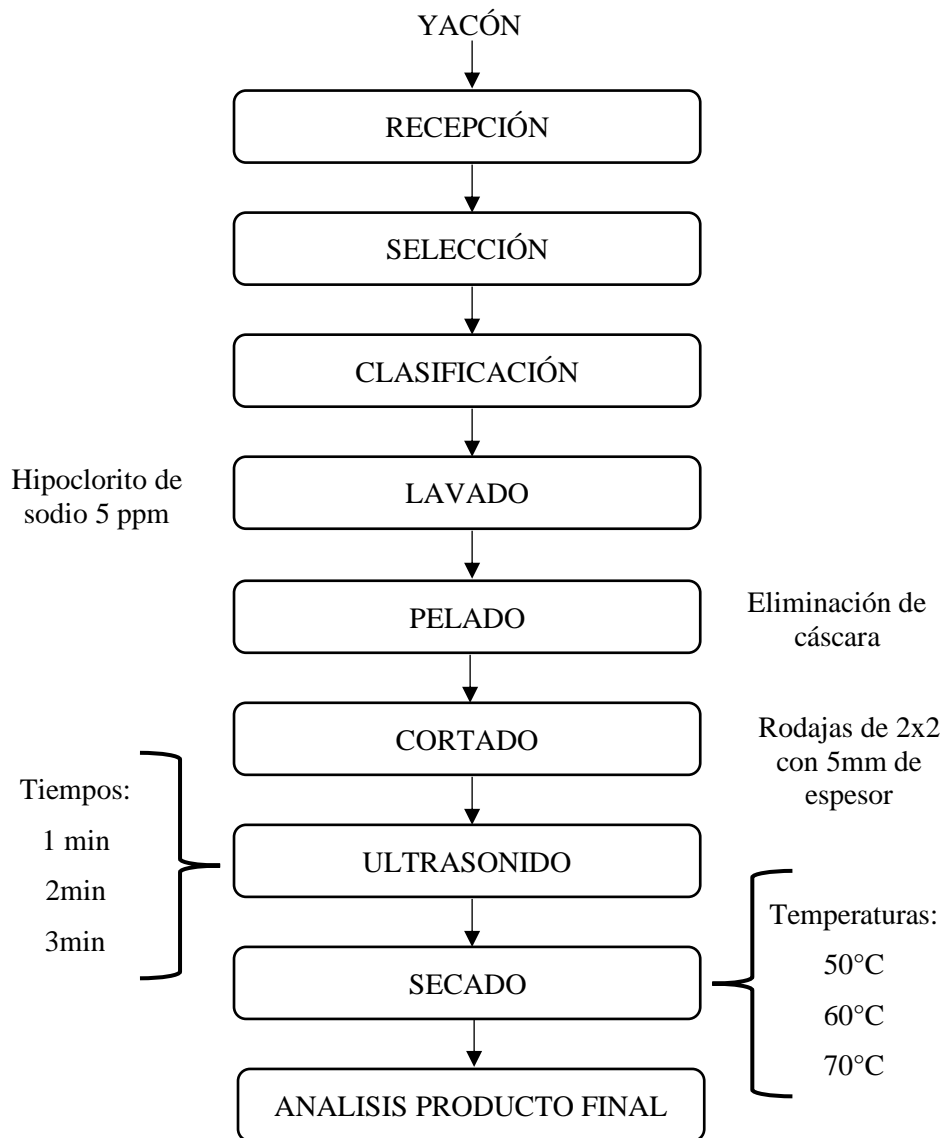
**Tr<sub>7</sub>:** Tratamiento 7 (t<sub>3</sub> y T°<sub>1</sub>)

**Tr<sub>8</sub>:** Tratamiento 8 (t<sub>3</sub> y T°<sub>2</sub>)

**Tr<sub>9</sub>:** Tratamiento 9 (t<sub>3</sub> y T°<sub>3</sub>)

### 3.3.7. Procedimiento

Figura 8 Proceso de secado de yacón



Fuente: Adaptado de (Perez Rodriguez, 2019)

Figura 9 Rodaja de Yacón



### 3.3.8. Descripción diagrama de flujo de las operaciones de proceso

- **Recepción de materia prima.** Se utilizó el yacón obtenido del mercado central de Cajamarca, procedente del Distrito de Cajamarca de la Provincia de Cajamarca, departamento Cajamarca.
- **Selección.** Se realizó la selección del yacón retirando aquellos que presentan daños físicos.
- **Clasificación.** Se realizó el clasificado de yacón de manera visual.
- **Lavado.** Se realizó el lavado con hipoclorito de sodio 5 ppm, mezclando 0,5 mL de lejía comercial (5%) en 5 L de agua (5 ppm), para el retiro de cualquier sustancia física presente en el yacón, luego se enjuagó con agua potable.
- **Pelado.** Se eliminó la cáscara de la materia prima, para esto nos apoyamos de un cuchillo para la realizar el retiro de la cascara del yacón.
- **Cortado.** El yacón fue cortado de tal manera que tengan el mismo grosor (5mm) y perímetros (2x2cm) con el objetivo de tener una mayor homogeneidad en la aplicación de las variables. Una vez cortado se procedió a poner las rodajas de yacón al equipo de ultrasonido.
- **Ultrasonido.** La aplicación fue a través del equipo Ultrasonic Cleaner modelo 010S, que tiene una frecuencia de 40KHz, donde se sometió al producto por tiempos determinados de 1, 2 y 3 min como se muestra en el ANEXO 6. La aplicación de las ondas sonoras como pretratamiento fue para estimular la deshidratación, ya que provoca cambios en la estructura debilitando las paredes celulares.
- **Secado.** Se realizo utilizando la ventana refractante de marca Memmert, donde el producto se puso sobre la lámina aplicando las temperaturas de 50; 60; 70 °C hasta obtener un peso constante. ANEXO 7.

- **Análisis producto final.**

Se realizó el cálculo mediante un modelo matemático brindado por nuestro asesor como se muestra en el ANEXO 11. Una vez obtenido los resultados después de la aplicación del pretratamiento por ultrasonido y temperatura por ventana refractante como se muestra en el ANEXO 12, se procedió a realizar los diferentes análisis, tales como:

- **Determinación de la humedad**

- Se cortó la muestra en 2x2 cm con espesor de 5 mm
- En la balanza analítica se puso la placa Petri y ya tarado se puso la muestra para obtener el peso inicial,
- Luego se metió la muestra en la estufa por 24 horas,
- Se procedió a pesar para obtener el peso final.
- Finalmente, la humedad se expresa en % mediante el siguiente cálculo:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100 \quad (6)$$

Donde:

P<sub>i</sub> = peso inicial

P<sub>f</sub> = peso final

(AOAC: Official Methods of Analysis, 1990)

- **Curva de secado**, para el análisis de curva de secado se realizó el peso de cada muestra con sus respectivos tratamientos en la balanza analítica de marca Precisa por intervalos de 30 minutos hasta observar que el peso de la muestra tenga un peso constante.
- **Difusividad**, para el análisis de la difusividad, se vio la interacción que entre la aplicación del ultrasonido y la temperatura por VR en las muestras de yacón. Realizando el análisis de varianza ANOVA.

- **Velocidad de secado**, se realizó el análisis de la interacción de la aplicación de ultrasonido y temperatura por ventana refractante, observando los efectos que causan haciendo análisis de varianza ANOVA.
  
- **Color**, los parámetros de color se determinaron mediante colorímetro Sadt Colorimeter SC50, encontrando los valores L\* (claridad), a\* (cromaticidad en un eje verde a rojo); y b\* (cromaticidad en un eje azul a amarillo).
  - Se analizó la muestra cada media hora, donde se obtuvo resultados en tres diferentes partes de la muestra. ANEXO 9
  - Se analizó los efectos de la interacción entre ultrasonido y temperatura por ventana refractante, a través del ANOVA
  
- **Textura** (dureza) se realizó de manera individual
  - Una vez que las muestras obtenían un peso constante, las muestras se llevaron al texturometro Brookfield, donde se determinaba la fuerza requerida para lograr la deformación del producto (yacón secado) ANEXO 10



## CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSION

### 4.1.Efecto del ultrasonido y temperatura en curva de secado

#### 4.1.1. Análisis de la curva de secado

En el proceso de secado es importante conocer los mecanismos que involucran el movimiento del agua en el interior y exterior del alimento, como nos menciona Ibarz & Barbosa (2005) ya que ese movimiento puede ser debido a fuerza capilar, que son responsables de la retención del agua en los poros de los sólidos de construcción rígida; o mecanismo difusivo, que es la transferencia interna de materia al alimento y se produce únicamente por los gradientes de humedad.

La figura 10 y la figura 11 se muestran las curvas de secado en base a tiempo y peso seco respectivamente, obtenidas de la aplicación de pretratamiento de ultrasonido por un tiempo de un (1) minuto para cada temperatura aplicada en el secado por ventana refractante (50, 60 y 70 °C).

*Figura 10 Curva de secado en base al Tiempo, con aplicación de US de 1 min*

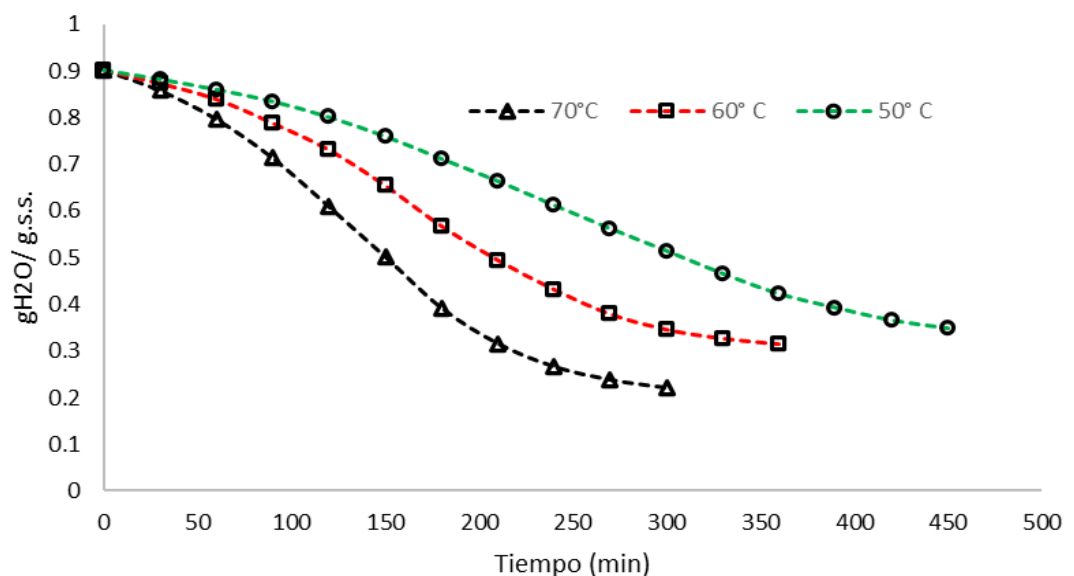
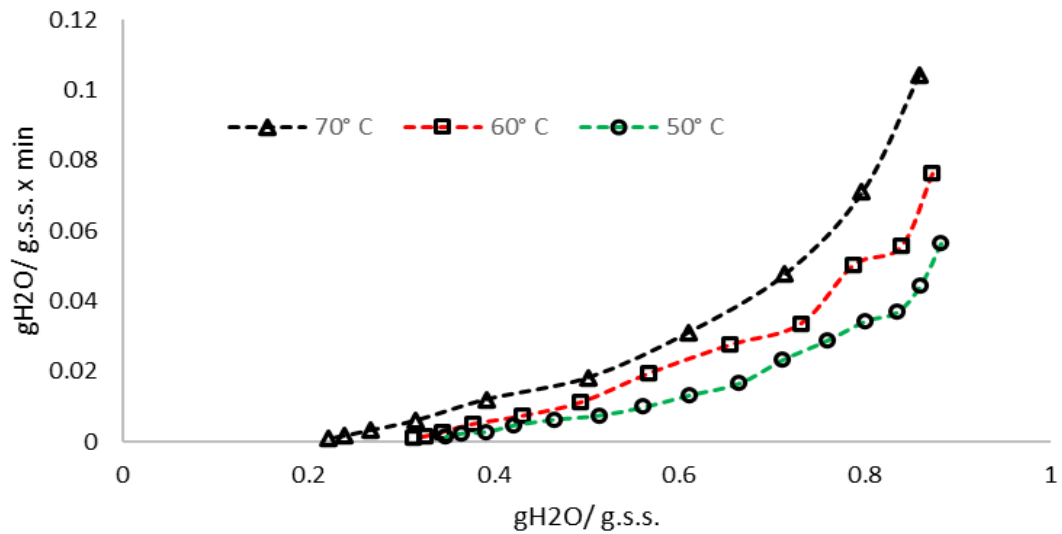


Figura 11 Curva de secado en base al peso seco



Como se observa en las curvas de secado de la figura 10 y la figura 11, la aplicación de temperatura que originó un mayor descenso de la humedad del producto respecto al tiempo y peso seco fue de 70°C, observando las etapas de aceleración y velocidad constante en el secado por ventana refractante. Como nos menciona Baeza Boronat (2018), en su tesis influencia de la temperatura y ultrasonido, indica que el tiempo de secado aplicado en su producto se redujo cuando la temperatura de secado se incrementó de 30°C a 70°C, y como observamos en la figura 10 y figura 11 corroboramos que las altas temperaturas mejoran la actividad del agua dentro del producto e incrementa la cantidad de energía disponible, facilitando el proceso de secado.

La figura 12 y la figura 13 muestran las curvas de secado obtenidas tras la aplicación de ultrasonido por un tiempo de dos (2) minutos para cada temperatura aplicada en el secado por ventana refractante (50, 60 y 70 °C). Inés (2022) indica que la mejor frecuencia aplicable de ultrasonido oscila entre 40 y 45 KHz, permitiendo intercambio de sólidos disueltos y la pérdida de agua, destacando que las condiciones óptimas para Osmodeshidratación con asistencia de ultrasonido fue a una temperatura de 60°C, asegurando obtener un producto seguro y de calidad. Como se observa en las curvas de secado de la figura 12 y la figura 13, se mostró que el que tuvo un mayor descenso de la humedad en el producto respecto al tiempo y pesos seco fue la

temperatura de 60°C, observando las etapas de aceleración y velocidad constante en el secado por ventana refractante, donde se usó una frecuencia de 40 KHz.

Figura 12 Curva de secado en base a Tiempo, con aplicación de US de 2 min

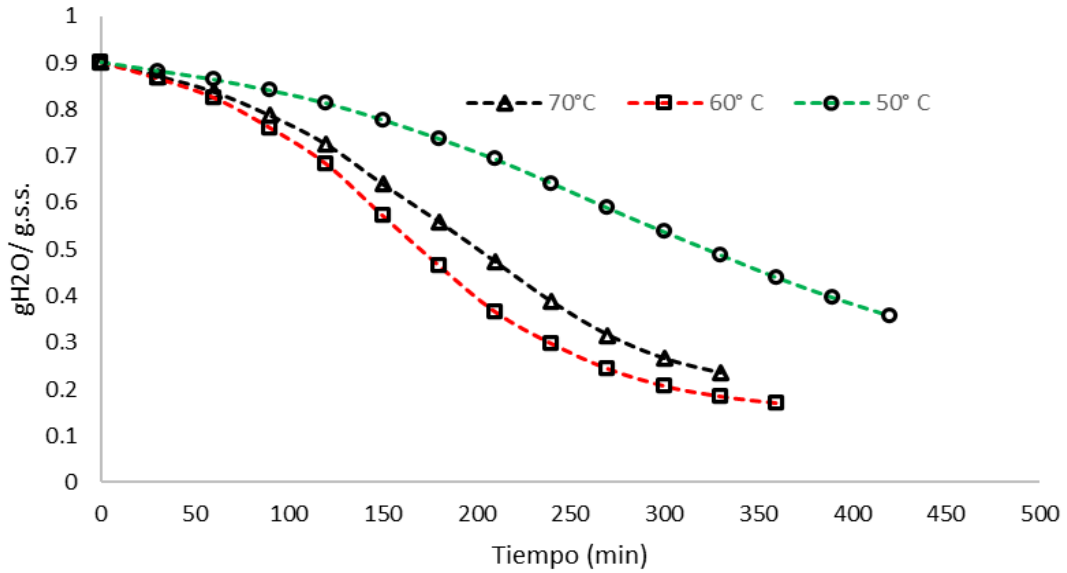
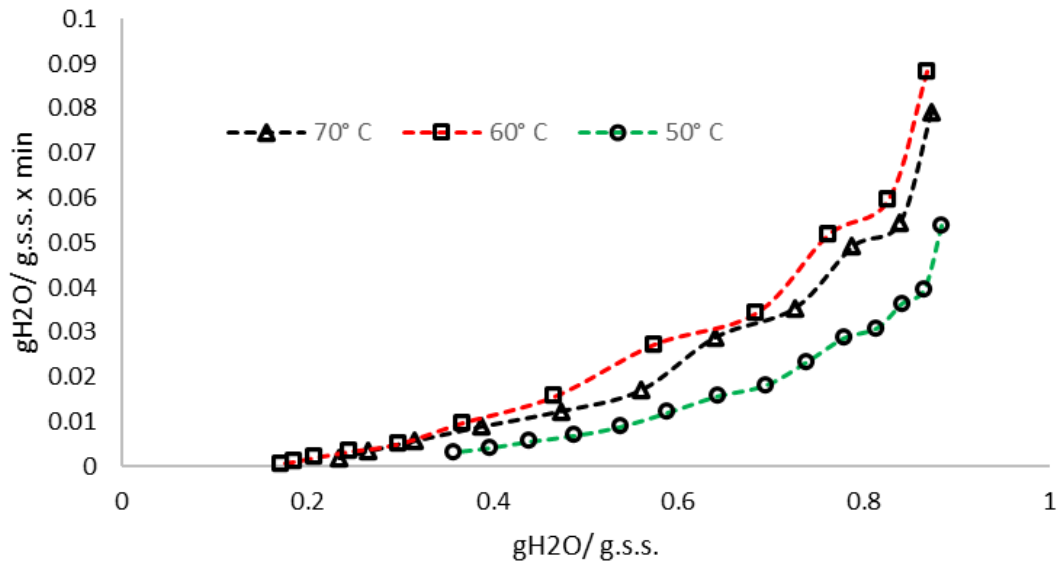


Figura 13 Curva de secado en base al peso seco



Por otro lado Saavedra Davila (2022) menciona que la mejor reducción en el tiempo de secado es cuando aplicó el pretratamiento de etanol más el ultrasonido durante 10 min, mientras que el tiempo de ultrasonido que se aplicó en el presente

trabajo de investigación fue de 1, 2 y 3 min, observando en la figura 12 y figura 13, la temperatura de 60°C fue quien obtuvo mayor descenso de la humedad del producto respecto al tiempo y peso seco con una aplicación de ultrasonido de 2 min.

Seguidamente tenemos que en la figura 14 y la figura 15 se muestran las curvas de secado obtenidas mediante la aplicación de ultrasonido por un tiempo de tres (3) minutos para cada temperatura aplicada en el secado por ventana refractante (50, 60 y 70°C). Campo Vera et al., (2018) nos menciona que el uso del ultrasonido en el procesamiento de alimentos tiene ventajas significativas sobre los procesos convencionales, siendo una tecnología versátil, respetuosa con el medio ambiente, generando una mejora en el producto final. Tras la aplicación de los 3 min de ultrasonido vemos que nuestro producto tiene un mayor efecto sobre la temperatura de 60°C, con esto el producto estaría menos expuesto a temperaturas altas.

Figura 14 Curva de secado en base a Tiempo, con aplicación de US de 3 min

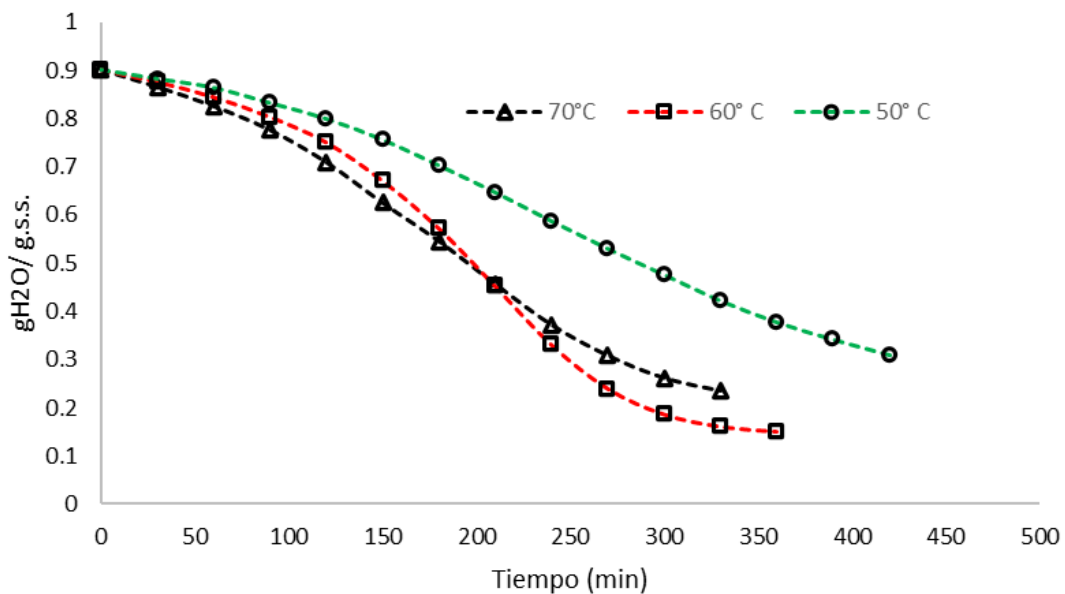
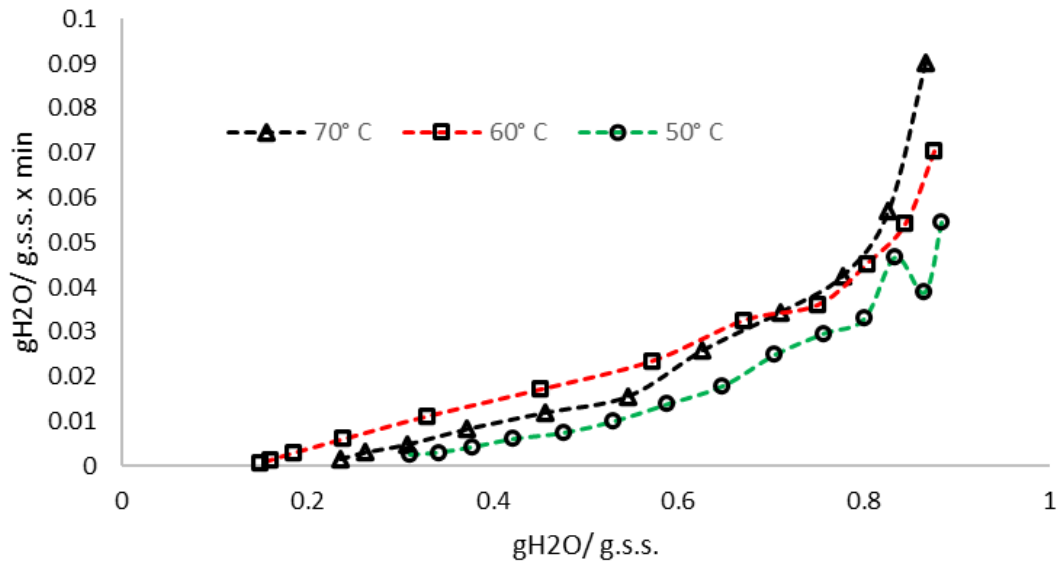


Figura 15 Curva de secado en peso seco



En la figura 14 de la curva de secado respecto al tiempo en las etapas de aceleración y velocidad constante tras el secado por ventana refractante, observamos que la temperatura de 70°C en un inicio tiene un mayor descenso pero que al transcurrir los minutos se intercepta con la temperatura de 60°C y observamos que continúa teniendo un mayor descenso es la temperatura de 60°C. Inés (2022) en su investigación de deshidratación de batata morada, nos indica que el tiempo empleado en la pérdida de peso de la batata relacionada con la pérdida de humedad se vio reducido con la aplicación de Ultrasonido, esta investigación aplicó ultrasonido hasta que obtengan un peso constante, mientras que en la presente investigación el tiempo de ultrasonido empleado fue por 1, 2 y 3 min. Por otro lado Ibarz & Barbosa (2005), nos menciona que el contenido en humedad del producto se define como la relación entre la cantidad de agua en el alimento y la cantidad de solidos secos, en la figura 15 curva de secado en peso seco se observa que quien obtuvo un mayor descenso fue el que se aplicó la temperatura de 60°C.

## 4.2. Efecto de ultrasonido y temperatura de secado por Ventana Refractante en las condiciones físicas

### 4.2.1. Efecto en la difusividad

La difusividad es una característica de un componente y de su entorno (temperatura, presión, concentración ya sea en solución líquida, gaseosa o sólida y la naturaleza de los otros componentes). Treybal (1973), nos menciona que, si se suministra calor a una superficie de un sólido, se puede evaporar la humedad debajo de la superficie, difundiendo hacia afuera como vapor. Justamente la aplicación de temperatura por ventana refractante es aplicar temperatura a través de una faja donde se regula la temperatura del agua haciendo que las partículas de humedad existentes en la muestra de yacón fluyen a través de los capilares.

*Tabla 4 Análisis de varianza ANOVA para Difusividad*

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A: Temperatura	0.0000800534	1	0.0000800534	35.24	<b>0.0000</b>
B: Tiempo US	6.92272E-7	1	6.92272E-7	0.30	0.5874
AA	0.0000198744	1	0.0000198744	8.75	<b>0.0081</b>
AB	0.0000179341	1	0.0000179341	7.89	<b>0.0112</b>
BB	7.84817E-7	1	7.84817E-7	0.35	0.5636
bloques	0.00000858776	2	0.00000429388	1.89	0.1784
Error total	0.0000431677	19	0.00000227198		
Total (corr.)	0.000171094	26			

De acuerdo con lo mostrado en la tabla 4, de los factores principales (Temperatura y Tiempo de Ultrasonido) se observa que la aplicación de ultrasonido no tiene ningún efecto sobre la difusiva y solo la Temperatura es quien tiene efecto significativo sobre la difusividad, también la interacción de estos dos factores obtuvo valores de  $P < 0.05$ , observado que, la aplicación de los dos factores tiene un efecto significativo para la Difusividad.

Así mismos al analizar la graficar de los efectos estandarizados mostrado en la figura 16, observamos que la temperatura es el factor con mayor efecto significativo sobre el parámetro de la Difusividad, Baeza Boronat (2018), indica que la difusividad obtenida a 70°C fue mayor que a la temperatura de 30°C, y que el aumento de la temperatura de secado se tuvo una mayor cantidad de energía disponible para la

movilización de las moléculas de agua lo que disminuyó la resistencia al transporte de estas, también nos dice que a mayor tiempo de ultrasonido mayor difusividad. Como observamos en la figura 16, el ultrasonido no tiene efecto significativo sobre la difusividad, esto puede ser por el tiempo de aplicación de ultrasonido ya que solo aplicamos ultrasonido por tiempo de 1,2 y 3 min.

Figura 16 Pareto estandarizado para Difusividad

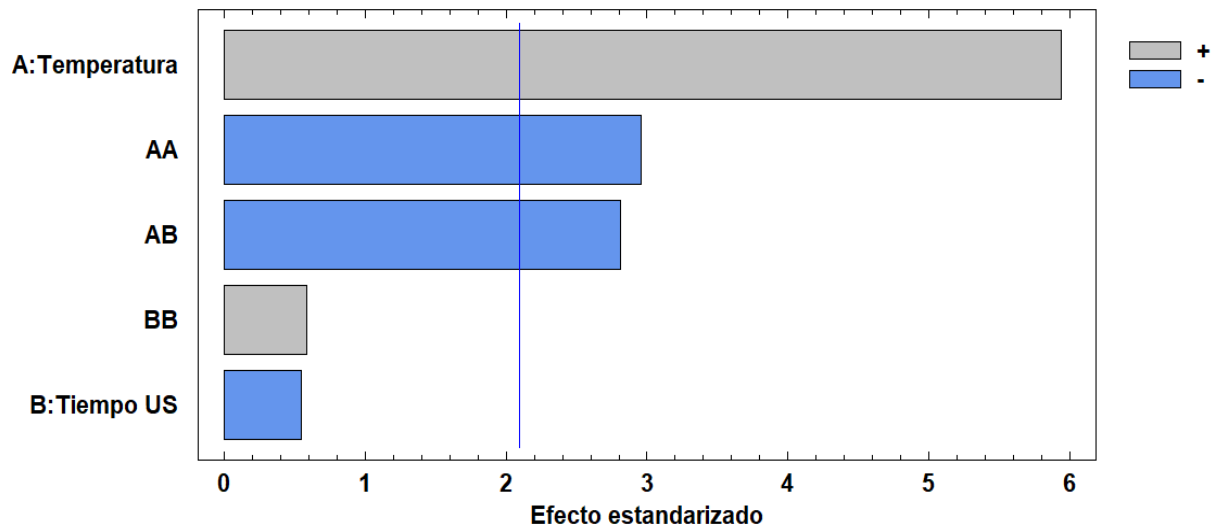
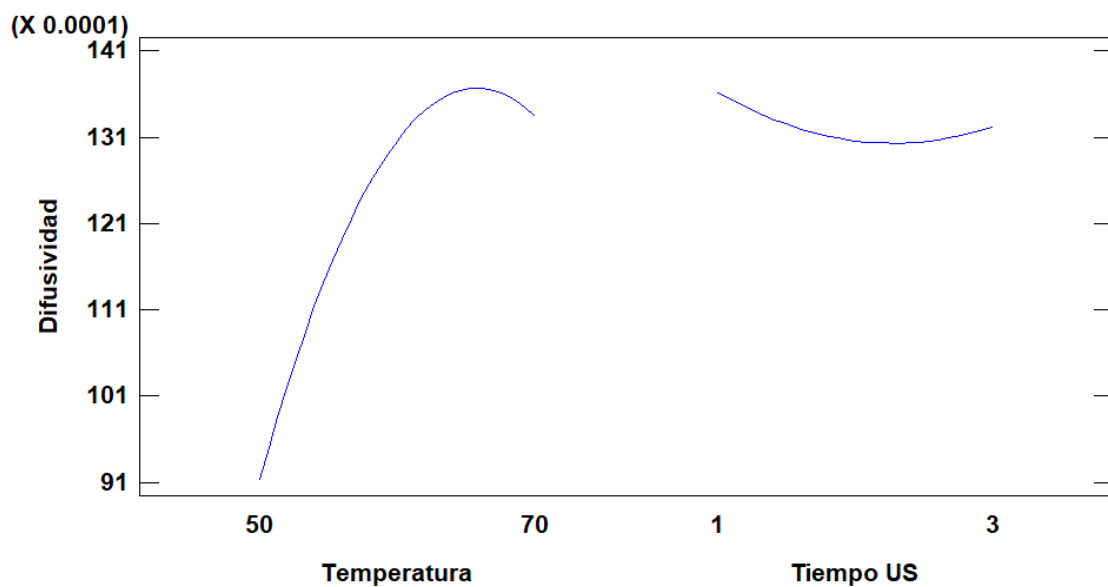


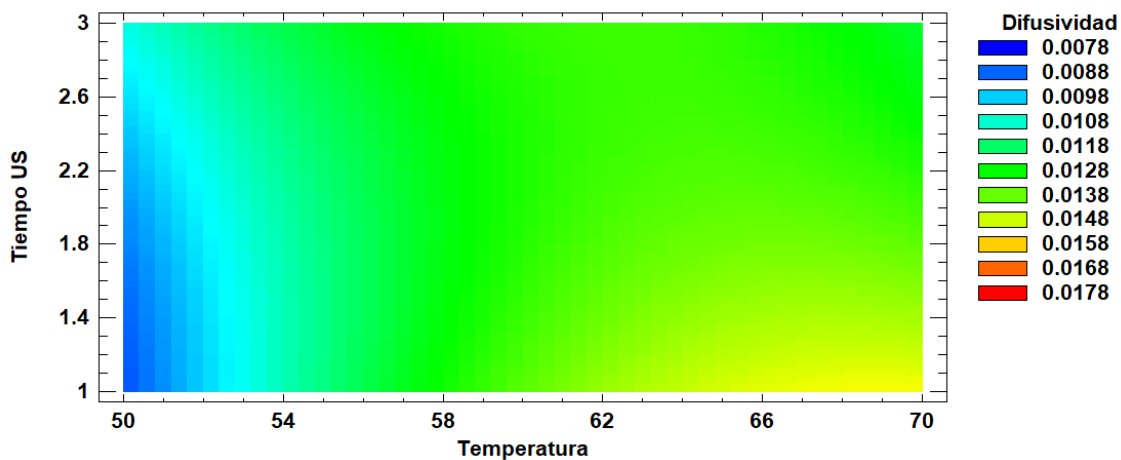
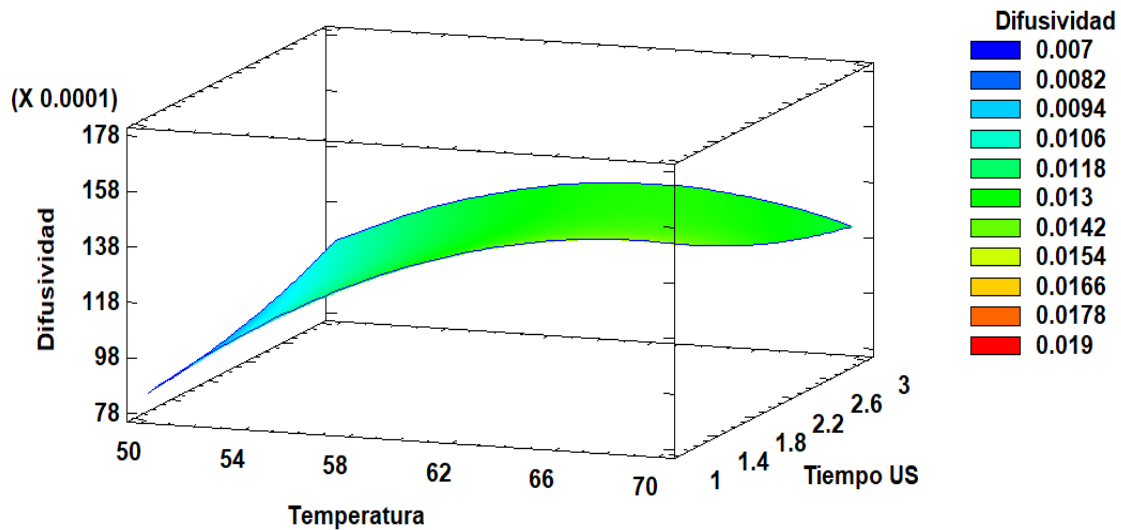
Figura 17 Efectos individuales en la Difusividad



En la figura 17 se muestran los efectos individuales de ultrasonido y temperatura, Luz (2020), nos menciona que en sus resultados la difusividad aumento cuando la temperatura fue mayor, es decir a mayor temperatura mayor difusividad, igualmente

en esta investigación los resultado muestra que la difusividad efectiva aumenta conforme aumenta la temperatura, mientras que el tiempo de ultrasonido no tiene ningún efecto significativo sobre difusividad.

Figura 18 Superficie de respuesta para la difusividad



La figura 18 muestra la superficie de respuesta estimada en el cálculo de los efectos de la temperatura y tiempo de ultrasonido sobre la difusividad, la zona óptima de la difusividad es 0.0148 que es aplicar mayor temperatura y menor aplicación de tiempo de ultrasonido, y la ecuación que lo representa es:

$$\text{Difusividad} = -0.0779456 + 0.00263939 \times T + 0.00569222 \times t'US - 0.0000182 \times T^2 - 0.00012225 \times T \times t'US + 0.000361667 \times t'US^2$$



#### 4.2.2. Efecto en la Velocidad de Secado

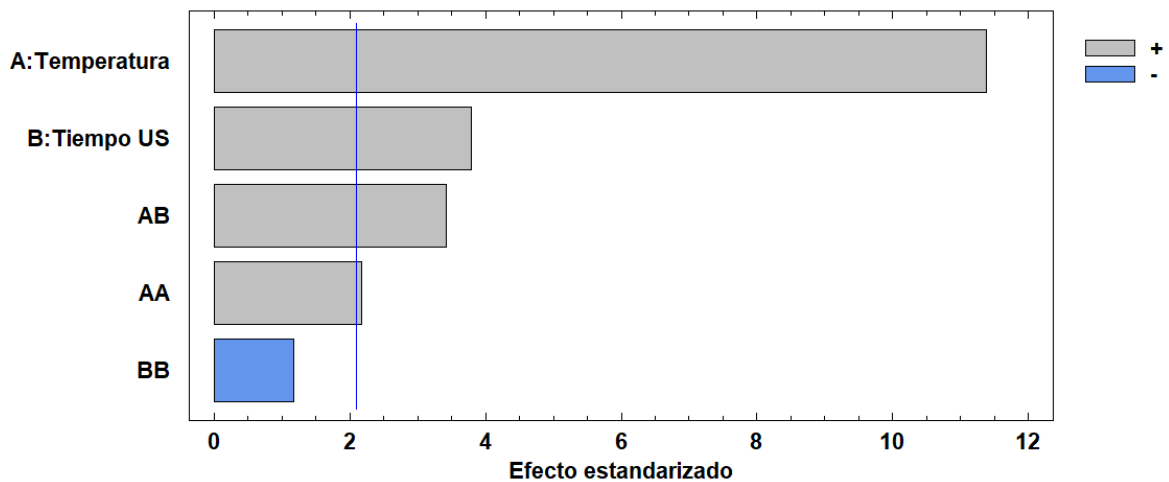
De acuerdo con lo mostrado en la tabla 5, de los factores principales (Temperatura y Tiempo de Ultrasonido) y su interacción de estos factores obtuvieron valores de  $P < 0.05$ , por lo tanto, esos factores tienen un efecto significativo directamente proporcional a la Velocidad de Secado.

Tabla 5 Análisis de varianza ANOVA para Velocidad de Secado

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Temperatura	0.000173601	1	0.000173601	129.69	<b>0.0000</b>
B: Tiempo US	0.00001922	1	0.00001922	14.36	<b>0.0012</b>
AA	0.00000633796	1	0.00000633796	4.73	<b>0.0424</b>
AB	0.0000156408	1	0.0000156408	11.68	<b>0.0029</b>
BB	0.00000185185	1	0.00000185185	1.38	0.2540
bloques	0.00000116519	2	5.82593E-7	0.44	0.6534
Error total	0.0000254332	19	0.00000133859		
Total (corr.)	0.00024325	26			

Campo Vera et al., (2018), nos menciona que el uso del ultrasonido es una tecnología versátil e innovadora, que es respetuosa con el medio ambiente y mejora la calidad del producto, pues al analizar los resultados de la aplicación de ultrasonido y temperatura por ventana refractante en la tabla 5 observamos los factores independientes tienen efecto significativo sobre la velocidad de secado en el producto siendo a su vez un efecto positivo ya que de este manera el producto está menos tiempo expuesta a temperaturas altas, manteniendo la calidad del producto.

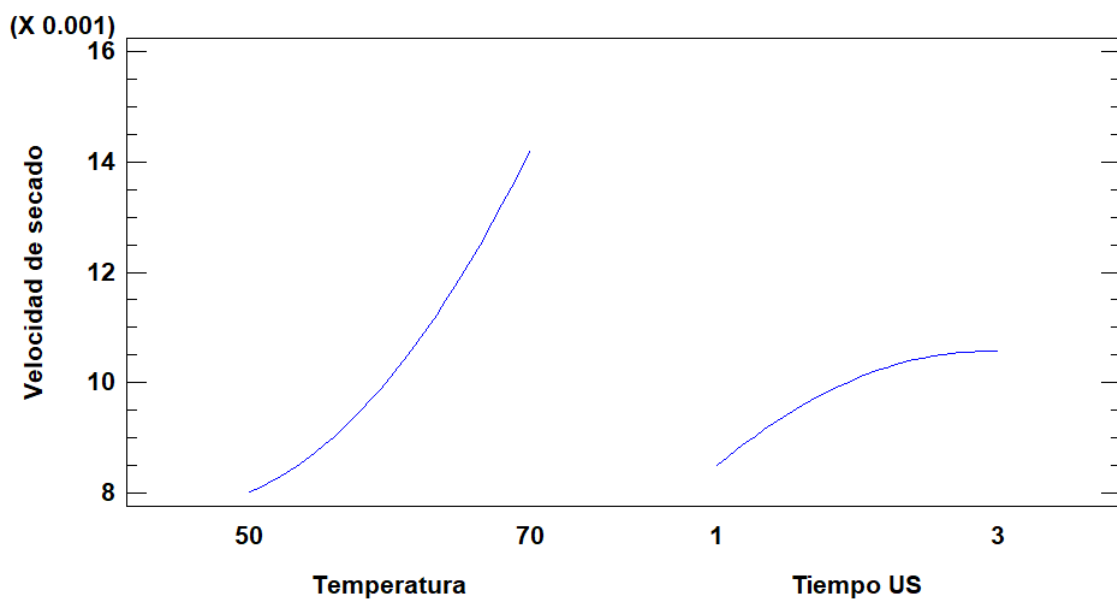
Figura 19 Pareto estandarizado para la Velocidad de Secado



Así mismos en la figura 19 de los efectos estandarizados observamos que el factor con mayor efecto en la Velocidad de Secado es la Temperatura, seguido por el Tiempo de Ultrasonido y la interacción de ambos, demostrando que tienen un efecto positivo sobre el parámetro de velocidad de secado.

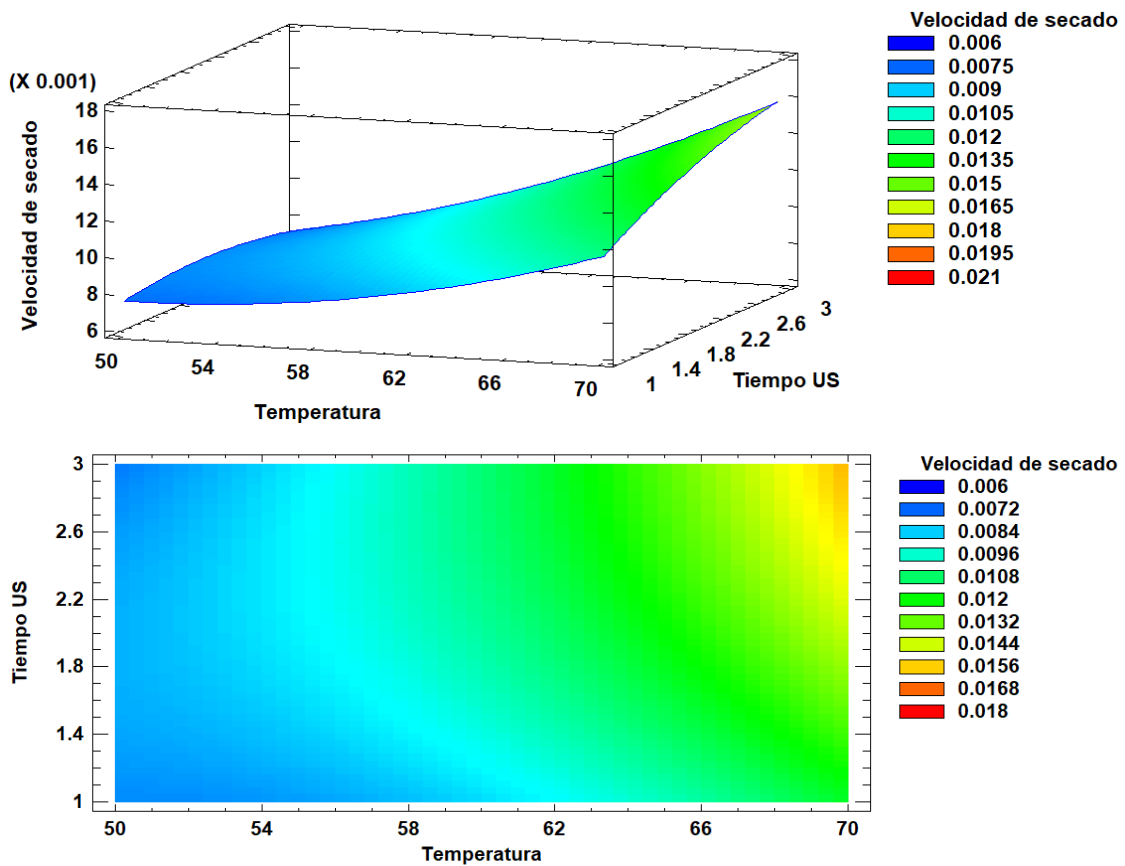
Santisteban (2022), menciona que cuando el tiempo de pretratamiento con etanol es mayor junto con la aplicación de ultrasonidos ayudan a desbloquear los poros, teniendo un mejor equilibrio en su proceso. Por otro lado Baeza Boronat (2018) considero para sus muestras un espesor de 6mm donde aplicó el ultrasonido y temperaturas de hasta 70°C observando que, a mayor temperatura, mayor la velocidad de secado y mostro que disminuyo el daño celular. Tras el análisis realizado de la aplicación de ultrasonido como pretratamiento y temperatura por ventana refractante a la muestra de espesor de 5 mm, nos mostró que a mayor temperatura y mayor tiempo de ultrasonido mayor será la velocidad de secado.

*Figura 20 Efectos individuales en la Velocidad de Secado*



La figura 20 se muestran los efectos individuales donde se observa que al aumentar la temperatura aumenta la velocidad de Secado y de igual manera al aumentar el tiempo de aplicación de ultrasonido también aumenta la velocidad de secado teniendo un efecto significativo.

Figura 21 Superficie de respuesta Velocidad de Secado



La figura 21 muestra la superficie de respuesta estimada en el cálculo de los efectos de la temperatura y tiempo de ultrasonido sobre la velocidad de secado, donde la zona más óptima de velocidad de secado es de 0.0156 es decir a temperaturas altas y tiempo de ultrasonido alto, y la ecuación que lo representa es:

$$\text{Velocidad de secado} = 0.0378593 - 0.00115111 \times T - 0.00359444 \times t'US + 0.0000102778 \times T^2 + 0.000114167 \times T \times t'US - 0.000555556 \times t'US^2$$

### 4.3. Efecto del pretratamiento con Ultrasonido y Temperatura por ventana refractante Color

El sistema cielab se representa en un plano cartesiano con los colores rojo, verde, azul y amarillo. Donde los componentes  $a^*$  (componente +rojo y -verde) y  $b^*$  (componente +amarillo y - azul), la amplitud de este vector es el cromatismo  $C^*ab$ , mientras que  $L^*$  es la luminancia Orlando Guerrero et al., (2023).

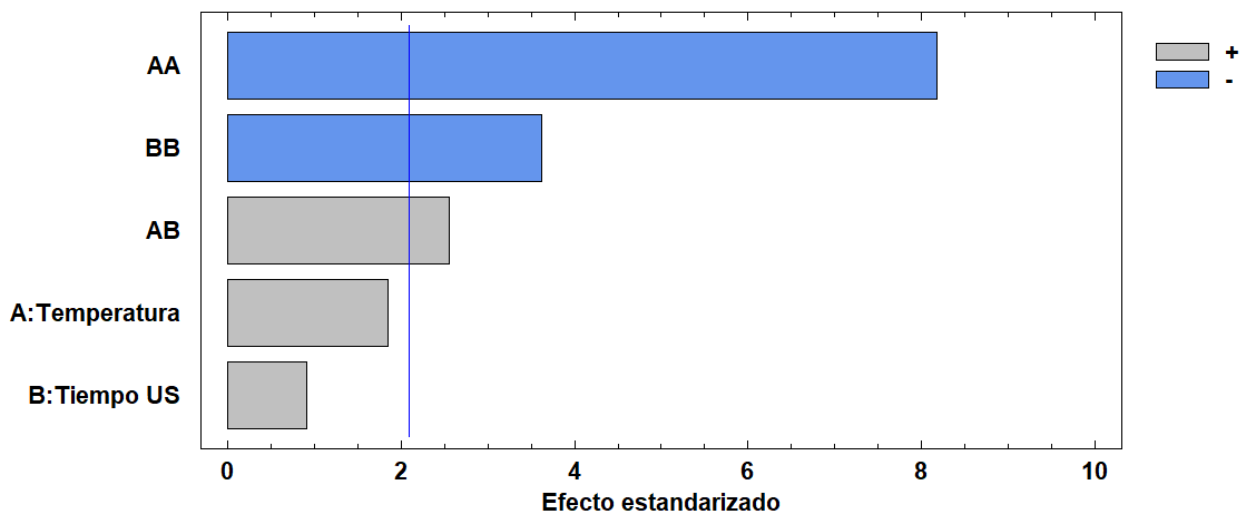
En la tabla 6 se muestra el efecto del tiempo de ultrasonido y temperatura por ventana refractante para el valor de  $L^*$ .

Tabla 6 Análisis de varianza ANOVA para  $L^*$

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Temperatura	14.7606	1	14.7606	3.44	0.0794
B: Tiempo US	3.60014	1	3.60014	0.84	0.3715
AA	286.765	1	286.765	66.73	<b>0.0000</b>
AB	28.1827	1	28.1827	6.56	<b>0.0191</b>
BB	56.488	1	56.488	13.15	<b>0.0018</b>
bloques	0.0592667	2	0.0296333	0.01	0.9931
Error total	81.6447	19	4.29709		
Total (corr.)	471.5	26			

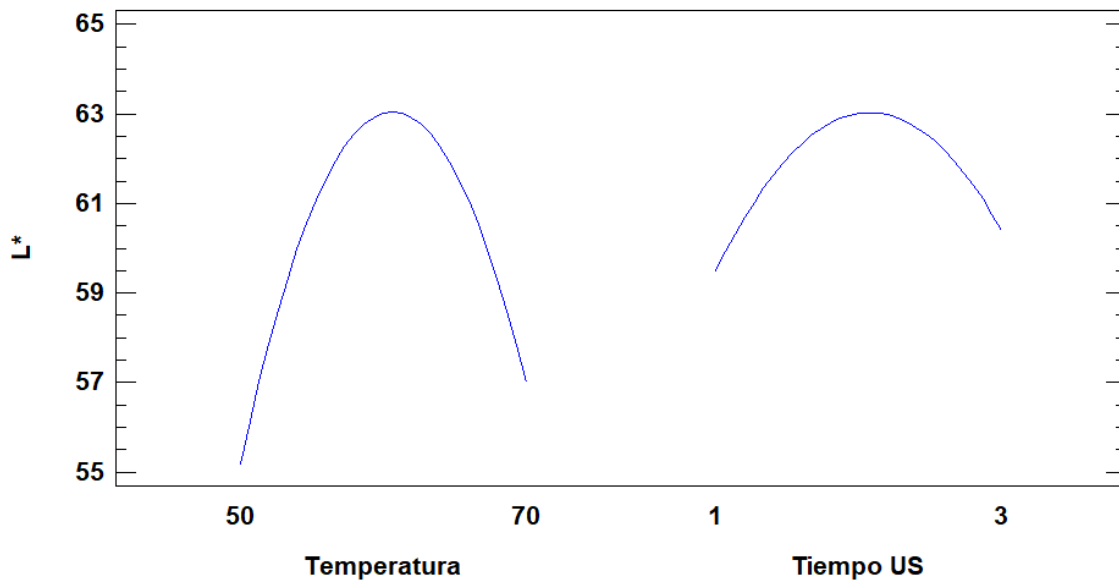
Luz (2020), nos indica que, teniendo en cuenta que el valor  $L^*$  representa la claridad de la muestra, con respecto al blanco, todos sus tratamientos sufrieron un leve oscurecimiento, en este caso, determinamos que la temperatura y el tiempo de ultrasonido no tienen efecto significativo sobre el valor de  $L^*$ , pero si la interacción de estos factores (tiempo de US y temperatura) puesto que el valor de  $P < 0.05$ .

Figura 22 Pareto estandarizado para  $L^*$



Si bien no existe significancia al observar el grafico de Pareto estandarizado para el color valor  $L^*$  Figura 22, podemos darnos cuenta de que el factor con mayor efecto significativo en el parámetro de color en valor  $L^*$  es la interacción de ambas, si bien cada variable no causa efecto significativo, pero si causan ciertos cambios tras su aplicación en el producto.

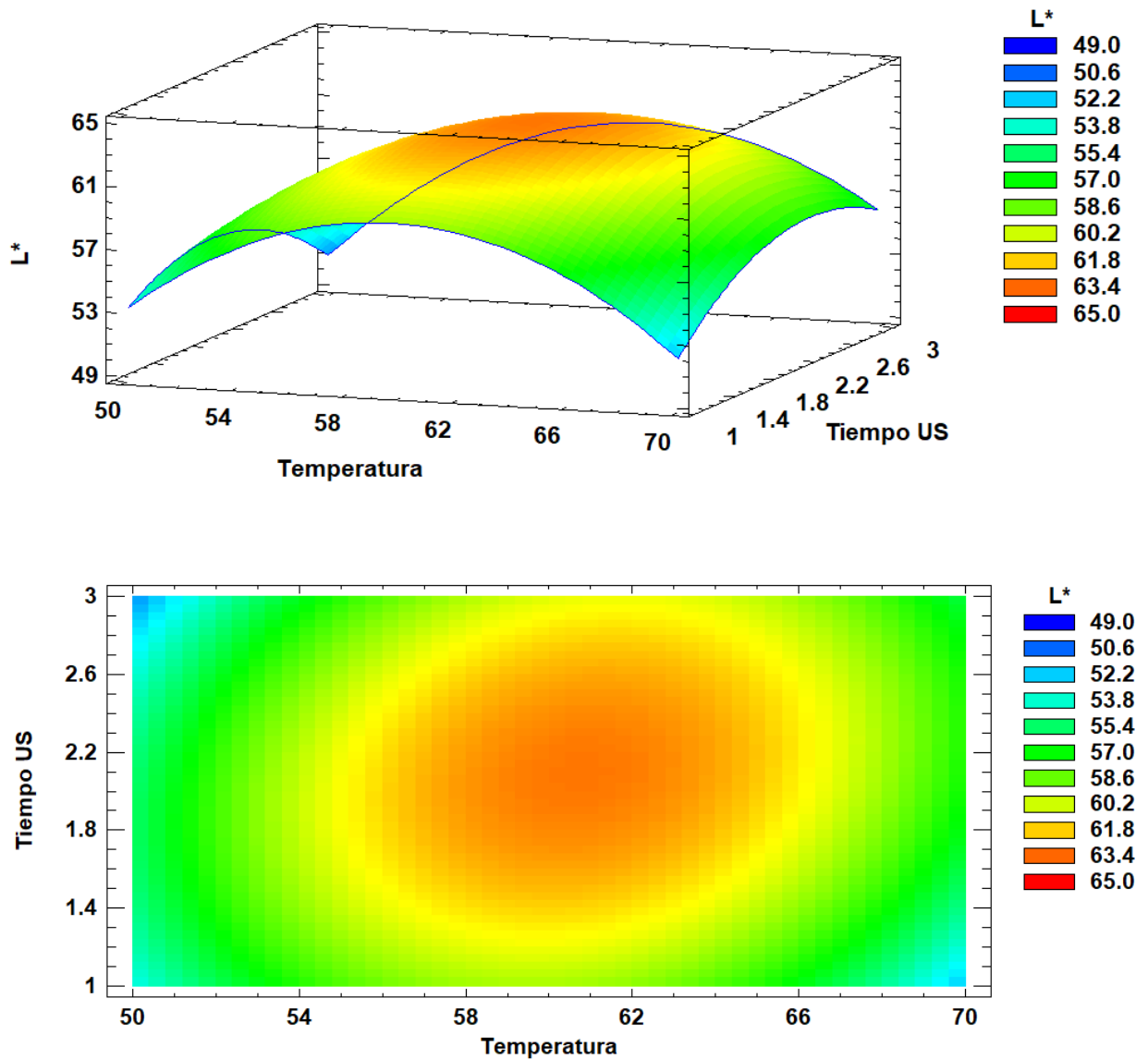
*Figura 23 Efectos individuales en  $L^*$*



La figura 23 se muestran los efectos individuales donde se observa que al aumentar la temperatura y el tiempo de ultrasonido no existe una tendencia representativa sobre el parámetro del color en valor  $L^*$ , es decir no tiene cambios significativos en la claridad.

El no ver un efecto significativo sobre el color valor  $L^*$  puede ser por diversas razones, la primera es porque se tuvo una temperatura controlada, ya que no supero los 70°C., lo segundo los tratamientos previos al secado, como fue el caso de la aplicación de ultrasonido como pretratamiento realizado antes de aplicar diversas temperaturas y por último la composición química del producto.

Figura 24 Superficie de Respuesta L\*



La figura 24 muestra la superficie de respuesta estimada en el cálculo de los efectos de la temperatura y tiempo de ultrasonido sobre el color en valor L\*, como se puede observar el punto óptimo es de 52.2 y la ecuación que lo representa es:

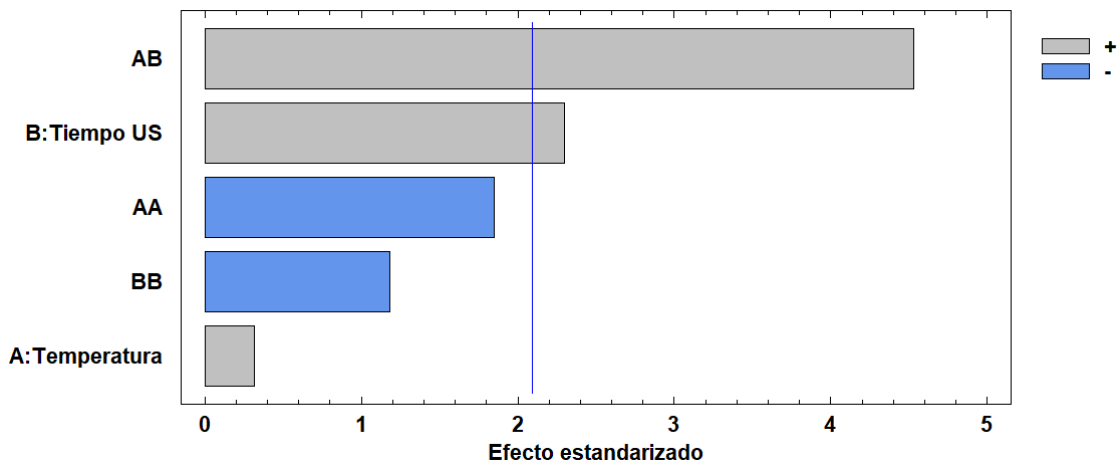
$$L^* = -186.08 + 8.08006 \times T^{\circ} + 3.52556 \times t'US - 0.0691333 \times T^2 + 0.15325 \times T \times t'US - 3.06833 \times t'US^2$$

En la tabla 7 se muestra el efecto del tiempo de ultrasonido y temperatura por ventana refractante para el color valor en  $a^*$ , determinando que el Tiempo de Ultrasonido y la interacción de los dos factores (temperatura y tiempo de ultrasonido), tienen efecto significativo porque el valor de  $P < 0.05$ .

Tabla 7 Análisis de varianza ANOVA para  $a^*$

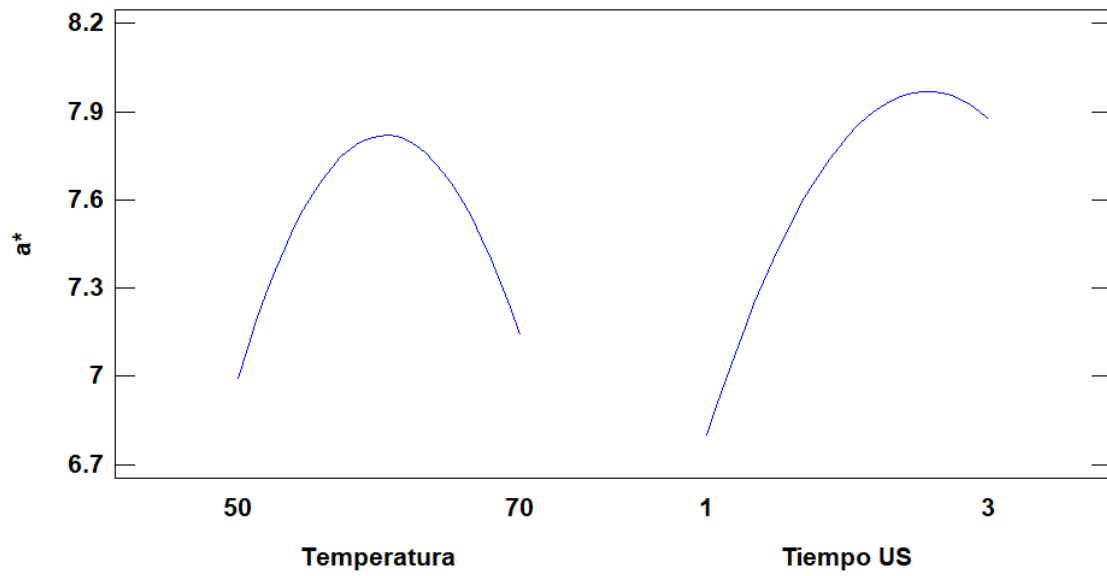
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Temperatura	0.0982722	1	0.0982722	0.10	0.7559
B: Tiempo US	5.21645	1	5.21645	5.28	<b>0.0331</b>
AA	3.38	1	3.38	3.42	0.0800
AB	20.28	1	20.28	20.53	<b>0.0002</b>
BB	1.3856	1	1.3856	1.40	0.2509
bloques	0.341296	2	0.170648	0.17	0.8427
Error total	18.7697	19	0.987879		
Total (corr.)	49.4713	26			

Figura 25 Pareto estandarizado para  $a^*$



En la figura 25 al graficar los efectos estandarizados, se observa que el factor con mayor efecto significativo en el parámetro de color de valor  $a^*$  es la interacción de ambos factores, seguido por el Tiempo de Ultrasonido, como nos menciona Baeza Boronat (2018), al evaluar evaluó la influencia del secado sobre la calidad del champiñón, los factores aplicados no mostraron cambios significativos con respecto al color al ser comparado con el secado convencional. Y como observamos en la figura 25 la temperatura no tiene efecto significativo sobre el color en el valor de  $a^*$ .

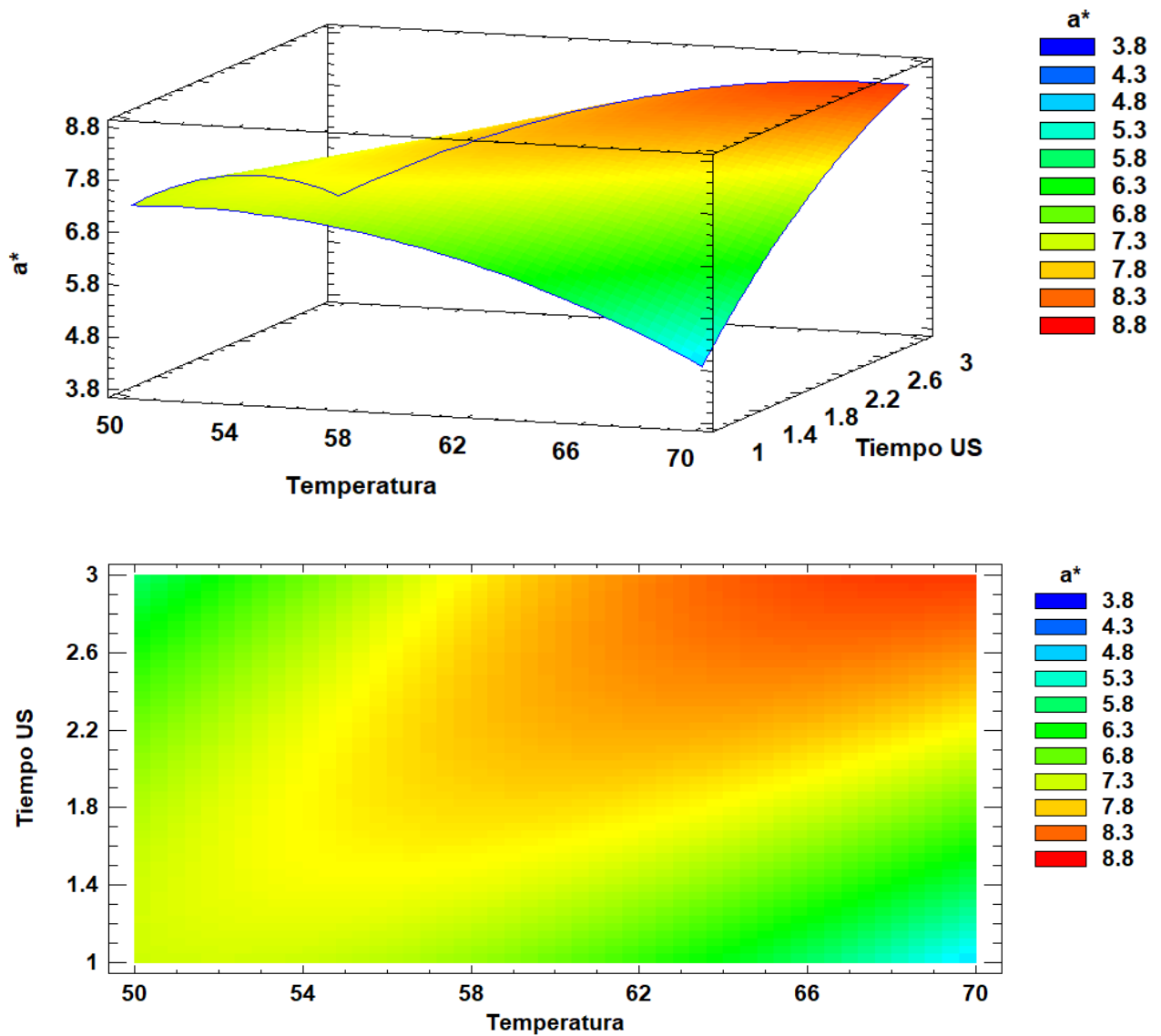
Figura 26 Efectos individuales en  $a^*$



Los efectos individuales que se muestran en la figura 26 se observa que al aumentar la temperatura no existe una tendencia representativa sobre el parámetro del color en valor  $a^*$ , mientras que, al aumentar el tiempo de aplicación de ultrasonido si existe una representación significativa sobre el parámetro de color en valor  $a^*$ .



Figura 27 Superficie de respuesta en a\*



La figura 27 muestra la superficie de respuesta estimada en el cálculo de los efectos de la temperatura y tiempo de ultrasonido sobre el color de valor a\*, se puede decir que su valor óptimo de a\* es 5.3 es decir cuando mayor tiempo de ultrasonido y mayor temperatura, si bien es cierto que la temperatura no tiene un efecto significativo, pero si interfiere con el valor óptimo de a\*, y la ecuación que lo representa es:

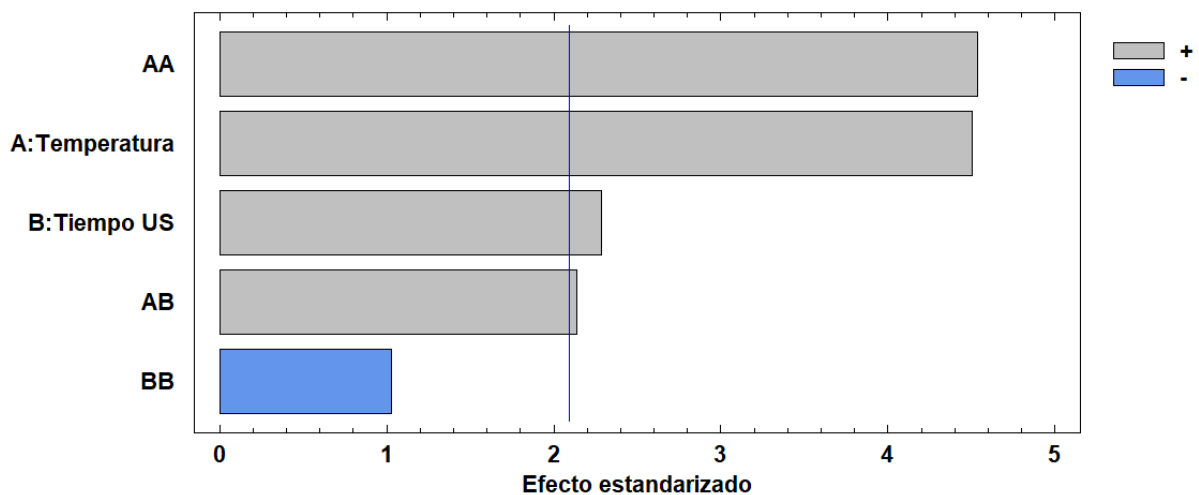
$$a^* = -7.04407 + 0.648056 \times T^\circ - 5.33944 \times t'US - 0.00750556 \times T^2 + 0.13 \times T^\circ \times t'US - 0.480556 \times \text{Tiempo} \times t'US^2$$

En la tabla 8 se muestra el efecto del tiempo de ultrasonido y temperatura por ventana refractante para el color valor en  $b^*$ , mostrando que, los factores principales (Temperatura y Tiempo de Ultrasonido) y su interacción de estos factores obtuvieron valores de  $P < 0.05$ , por lo tanto, esos factores tienen un efecto significativo directamente proporcional sobre el parámetro de color en valor  $b^*$ .

Tabla 8 Análisis de Varianza para  $b^*$

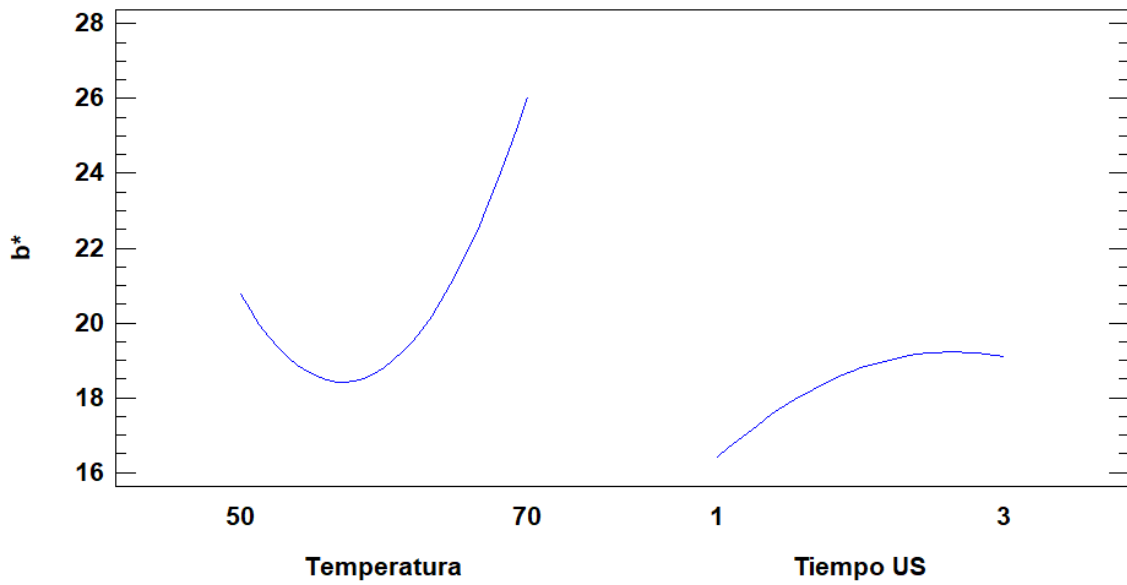
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Temperatura	125.664	1	125.664	20.29	<b>0.0002</b>
B: Tiempo US	32.294	1	32.294	5.22	<b>0.0341</b>
AA	127.451	1	127.451	20.58	<b>0.0002</b>
AB	28.244	1	28.244	4.56	<b>0.0459</b>
BB	6.56609	1	6.56609	1.06	0.3161
bloques	2.18334	2	1.09167	0.18	0.8397
Error total	117.657	19	6.19246		
Total (corr.)	440.059	26			

Figura 28 Pareto estandarizado para  $b^*$



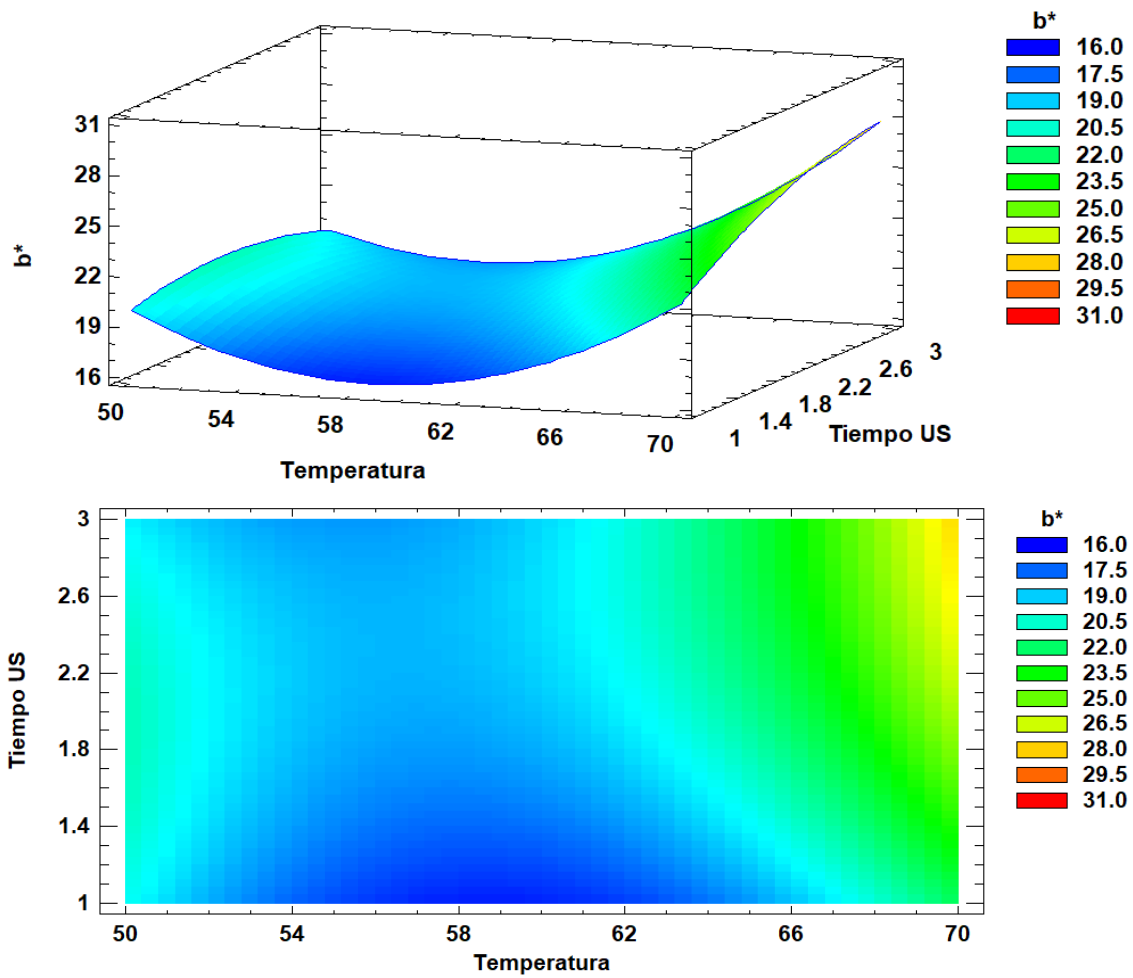
Así mismos al graficar los efectos estandarizados mostrado en la figura 28 observamos que el factor con mayor efecto en valor  $b^*$  es la Temperatura, seguido por el Tiempo de Ultrasonido y la interacción de ambos.

Figura 29 Efectos individuales en  $b^*$



La figura 29 se muestran los efectos individuales donde se observa que al aumentar la temperatura aumenta el valor de  $b^*$  y de igual manera al aumentar el tiempo de aplicación de ultrasonido también aumenta el valor de  $b^*$  teniendo un efecto significativo.

Figura 30 Superficie de respuesta en  $b^*$



La figura 30 muestra la superficie de respuesta estimada en el cálculo de los efectos de la temperatura y tiempo de ultrasonido sobre el color valor  $b^*$ , el punto óptimo es 17.5 es decir, mayor tiempo de ultrasonido y a temperaturas menores de  $70^{\circ}\text{C}$  y la ecuación que lo representa es:

$$b^* = 180.404 - 5.57328 \times T - 3.68111 \times t^{\text{US}} + 0.0460889 \times T^2 + 0.153417 \times T^{\circ} \times t^{\text{US}} - 1.04611 \times t^{\text{US}^2}$$

El color es un parámetro importante, porque se define la calidad, puesto que puede ser rechazado o aceptado si la impresión visual que se produce es aceptada como bueno Cuatin, (2019).

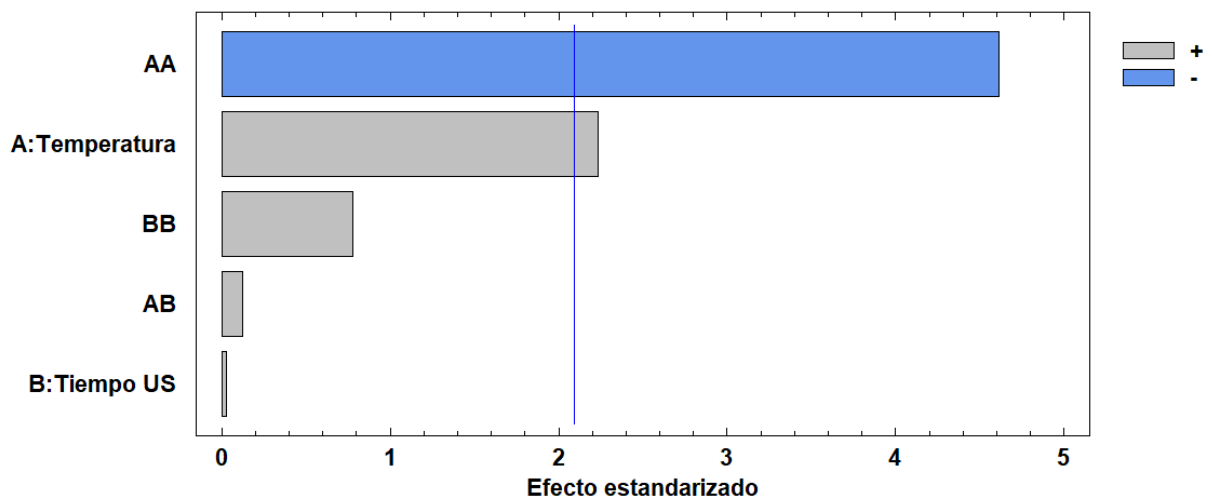
#### 4.4.Efecto del pretratamiento con Ultrasonido y Temperatura por ventana refractante en la dureza

De acuerdo con los datos mostrados en la tabla 9, de los factores principales (Temperatura y Tiempo de Ultrasonido) el factor que obtuvo un valor de  $P < 0.05$ , fue la temperatura, por lo tanto, ese factor tiene un efecto significativo directamente proporcional a la dureza, mientras que el efecto del tiempo de ultrasonido es casi irrelevante, al igual que Baeza Boronat (2018), donde nos menciona en su resultado que no existen diferencias significativas entre los valores de dureza al aplicar las diferentes temperaturas y potencia de ultrasonidos.

Tabla 9 Análisis de varianza para la dureza

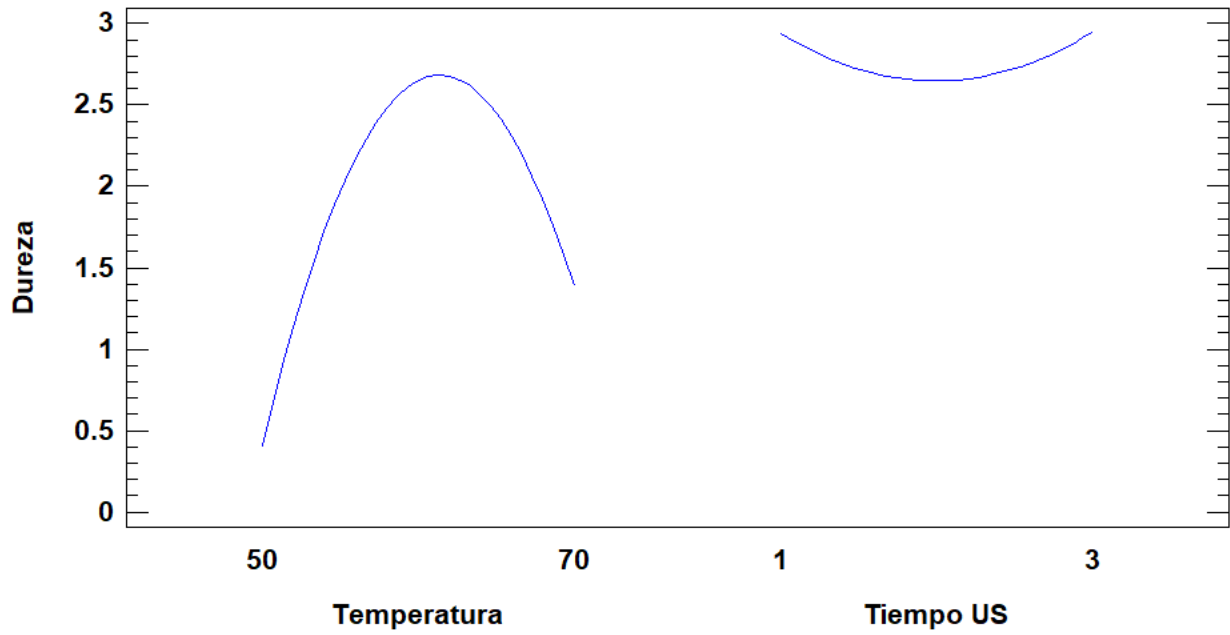
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Temperatura	4.30222	1	4.30222	4.98	<b>0.0378</b>
B: Tiempo US	0.000672222	1	0.000672222	0.00	0.9780
AA	18.375	1	18.375	21.28	<b>0.0002</b>
AB	0.012675	1	0.012675	0.01	0.9048
BB	0.52215	1	0.52215	0.60	0.4464
bloques	0.9542	2	0.4771	0.55	0.5845
Error total	16.4069	19	0.863524		
Total (corr.)	40.5739	26			

Figura 31 Pareto estandarizado para dureza



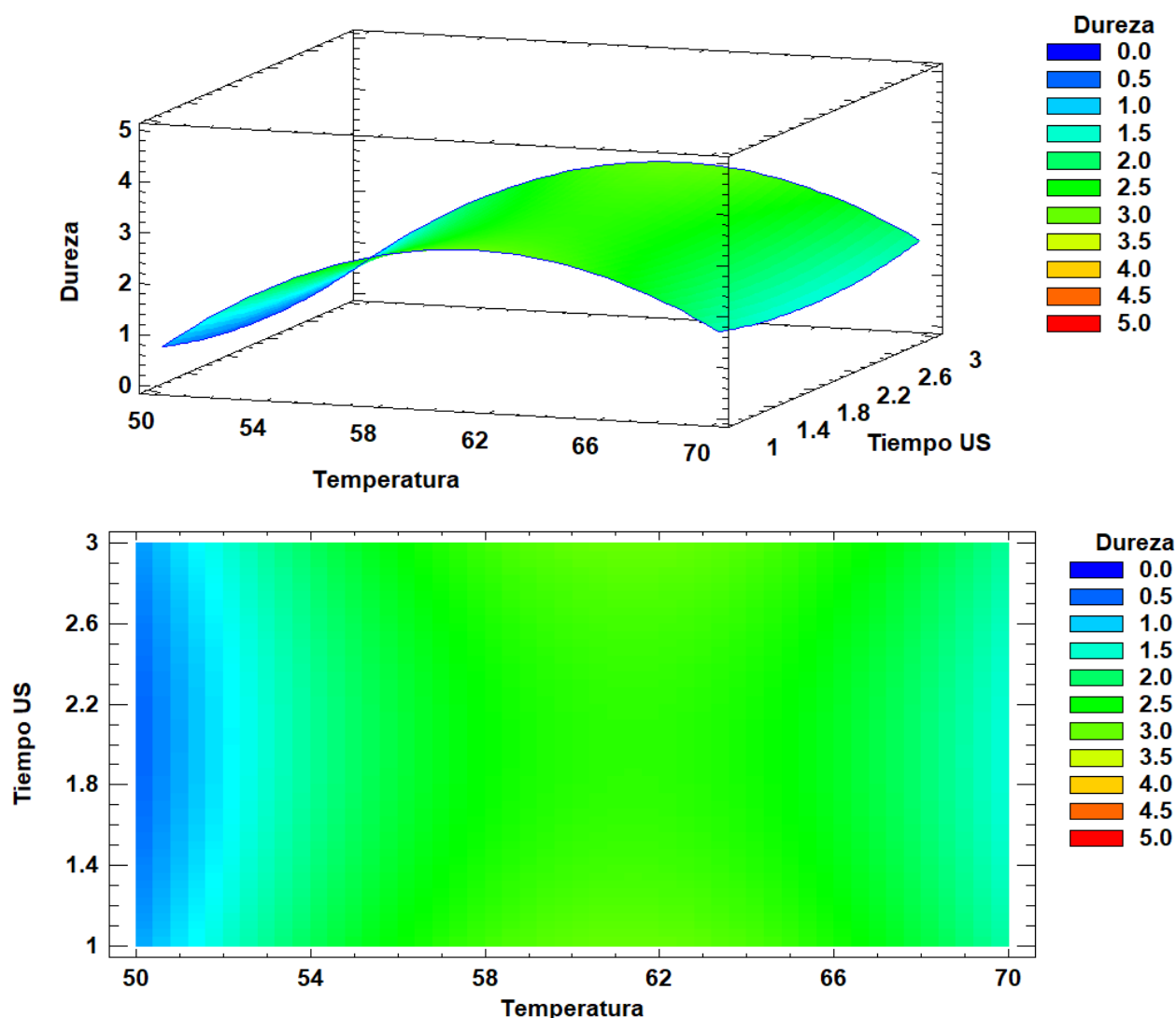
Al graficar los efectos estandarizados mostrados en la figura 31, observamos que el factor con mayor efecto significativo es la temperatura, mostrando que el ultrasonido no tiene significancia alguna sobre la dureza.

Figura 32 Efectos individuales en la dureza



La figura 32 se muestran los efectos individuales de temperatura y tiempo de ultrasonido donde se observa que al aumentar la temperatura aumenta la dureza y el tiempo de aplicación de ultrasonido no causa ningún efecto sobre la dureza.

Figura 33 Superficie de respuesta



La figura 33 muestra la superficie de respuesta estimada en el cálculo de los efectos de la temperatura y tiempo de ultrasonido sobre la textura (dureza), su punto óptimo es de 3.5 observando que temperaturas altas y la aplicación de ultrasonido no tiene efecto significativo y la ecuación que lo representa es:

$$\text{Dureza} = -61.7278 + 2.14239 \times T - 1.36889 \times t^{\text{US}} - 0.0175 \times T^2 + 0.00325 \times T^{\circ} \times t^{\text{US}} + 0.295 \times \text{Tiempo} \times t^{\text{US}2}$$

## **CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1. CONCLUSIONES**

Se logro determinar el efecto del ultrasonido expuesto a diferentes tiempos, que a mayor tiempo de ultrasonido existe efecto significativo sobre la velocidad de secado, el color valor en  $a^*$  y  $b^*$ , y textura (dureza), sin embargo, no mostro efecto significativo sobre la difusividad y color valor en  $L^*$ .

Se logro determinar el efecto de la temperatura por ventana refractante, que a la temperatura de  $60^{\circ}\text{C}$  se tiene un mayor efecto significativos sobre la velocidad de secado, difusividad, textura (dureza) y color valor  $b^*$ . Sin embargo, la temperatura no causo ningún efecto significativo sobre el valor  $L^*$  y  $a^*$ .



## **5.2.RECOMENDACIONES**

- Evaluar el efecto del ultrasonido y temperatura por ventana refractante en las características microbiológicas y reológicas en rodajas de yacón.
- Evaluar y comparar la conservación de rodajas de yacón tras la aplicación de ultrasonido y temperatura.

## CAPITULO VI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- AOAC: Official Methods of Analysis. (1990). Honey. In *Association of official Analytical chemists* (Vol. 1, Issue Volume 1).  
<https://doi.org/10.1201/9781003354116-6>
- Baeza Boronat, A. (2018). *Influencia de la temperatura y la aplicación de ultrasonidos en la cinética de secado y en la calidad final del champiñón*. 1–50.
- Campo Vera, Y., Gelvez Ordoñez, V., & Ayala Aponte, A. (2018). Ultrasonido en el procesamiento (homogenización, extracción y secado) de alimentos. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 16(1), 102–113.  
[https://doi.org/10.18684/bsaa\(16\)102-113](https://doi.org/10.18684/bsaa(16)102-113)
- Cuatin, L. M. J. M. E. H. (2019). Influencia Del Método De Secado Sobre La Obtención De Mortiño (*Vaccinium Floribundum* Kunth) Deshidratado Y En Polvo. *Trabajo de Grado Presentado Como Requisito Para Optar Al Título de Ingeniera de Alimentos*, 1–62.
- Delgado, J. O. (2012). Aplicación del Ultrasonido en la Industria de los Alimentos. *Publicaciones e Investigación*, 6. <https://doi.org/10.22490/25394088.1098>
- Díaz Ávala, A. L. (2020). Efecto de la deshidratación osmótica y ultrasonido como pretratamiento en el secado de batata morada (*Ipomoea batatas* L.) en un secador tipo túnel. *Tesis*, 1–68.
- Falconi, D. V., & Lobo, L. R. (2009). Acciones Promisorias Banco de Germoplasma de la SUDIRGEB - INIA. *Inia*, 1, 98.  
[http://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/inia/104/3/INIA-Acciones...Banco\\_de\\_Germoplasma.pdf](http://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/inia/104/3/INIA-Acciones...Banco_de_Germoplasma.pdf)
- García Ledesma, L. A. (2018). Evaluación de la aplicación del método de ventana refractiva en la deshidratación de pulpa de mango (*Mangifera indica* L.). *Ingeniería y Región*, 20, 46–51. <https://doi.org/10.25054/22161325.1934>
- Gómez, J., & López, A. (2009). Aplicaciones del ultrasonido en el tratamiento de alimentos. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 3–1, 59–73.
- Gutiérrez Vargas, L., & Vaca Jerez, S. M. (2011). Evaluación del uso de recubrimientos lipídicos, poliméricos y refrigeración para prolongar la vida útil del Yacón

- (*Smallantus Sonchifolius*). *Universidad de La Salle*.  
<http://repository.lasalle.edu.co/handle/10185/16038>
- Ibarz, A., & Barbosa, G. (2005). Operaciones unitarias en la ingeniería de alimentos. In *Mundi-Prensa*.
- Leiton, Y. M. (2012). Evaluación del método de secado por ventana de refractancia en pulpa de guayaba (*Psidium guajava*). *Maestria En Ingenieria de Alimentos*, 1–97.
- Manrique, I., Parraga, A., & Hermann, M. (2003). Principios y procesamiento. *Jarabe de Yacón: Principios y Procesamiento*, 3–40.
- Mercedes Inés, M. B. (2022). Revisión bibliográfica de técnicas utilizadas para la conservación de frutas y vegetales mediante procesos de osmodeshidratación y ultrasonido. *Universidad Nacional de Chimborazo*, 1–62.
- NC-ISO 5492. (2020). Norma Cubana ISO 5492:2002. *Evaluación Sensorial. Vocabulario, July*, 1–23.
- Orlando Guerrero, I. J., Ruiz, U., Loeza Corte, J. M., & Hernández Paxtián, Z. J. (2023). Procedure to Obtain Linear Models of Kinetics of Colors in Fruits. *Computacion y Sistemas*, 27(1), 99–106. <https://doi.org/10.13053/CyS-27-1-4242>
- Ortiz Jerez, M. J., Sánchez, A. F., & Zapata Montoya, J. E. (2022). Drying kinetics and sensory characteristics of dehydrated pumpkin seeds (*Cucurbita moschata*) obtained by refractance window drying. *Heliyon*, 8(10).  
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10947>
- Parzanese, M. (2018). Tecnologías para la Industria Alimentaria Ultrasonidos. In *Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (Argentina) ficha 19 ultrasonido Parzanese, Téc. Magali* (pp. 1–9).
- Perez Rodriguez, C. V. (2019). Efecto del tiempo de exposición al ultrasonido y la temperatura en las propiedades fisicoquímicas, contenido de vitamina C y microbiológicas de la pulpa de zarzamora (*Rubus floribundus* Kunth). *Tesis Para Obtener El Titulo Profesionas de: Ingeniería En Industrias Alimentarias*, 1–86.  
[http://www.gonzalezcabeza.com/documentos/CRECIMIENTO\\_MICROBIANO.pdf](http://www.gonzalezcabeza.com/documentos/CRECIMIENTO_MICROBIANO.pdf)
- Robles Ozuna, L. E., & Ochoa Martínez, L. A. (2012). Disponible en:  
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81325441002>. *Revista Iberoamericana de*

*Tecnología Postcosecha*, 13(2), 109–122.

- Saavedra Davila, J. E. (2022). Combinación de Tecnologías de Ultrasonido y flujo marangoni en el Proceso de secado de corazón de piña y el mecanismo de interacción de su estructura. *Escuela de Posgrado y Estudios Continuos*, 1–75.
- Santisteban, K. D. P. (2022). Evaluación de la frecuencia y tiempo de exposición al ultrasonido para incorporar hierro y ácido ascórbico en camote ( Ipomoea batatas ) ”. *Tesis Alimentarias, Ingeniero de Industrias*, 55.
- Seminario, J., Valderrama, M., & Manrique, I. (2003). Yacon\_Fundamentos. *El, Fundamentos Para Un, Aprovechamiento D E Promisorio, Recurso*.
- Spinei Mariana, O. M. (2021). The influence of osmotic treatment assisted by ultrasound on the physico-chemical characteristics of blueberries (Vaccinium myrtillus L.). *Ultrasonics*, 110(May 2020), 106298.  
<https://doi.org/10.1016/j.ultras.2020.106298>
- Treybal, R. E. (1973). Transfer operations. *Journal of the Franklin Institute*, 296(1), 71.  
[https://doi.org/10.1016/0016-0032\(73\)90241-x](https://doi.org/10.1016/0016-0032(73)90241-x)
- Ulloa, J. A., Rosas, P., Ramírez J.C., & Ragel, B. E. (2013). Ultrasonido: aplicaciones en el campo de los alimentos. *Revista Fuente Nueva Época Año*, 4(14), 1.

## CAPITULO VII. ANEXOS

### ANEXO 1: Materia prima

Yacón



### ANEXO 2: Instrumentos


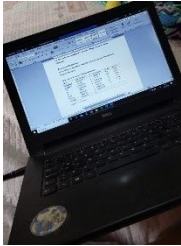
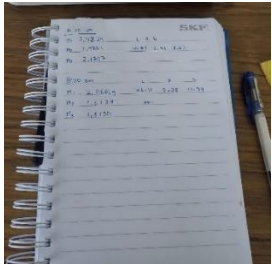
Cuchillo  
Cuter  
Tabla de picar  
Regla  
Pinza  
Calibre







ANEXO 3: Equipos

<p>Ultrasonido marca Ultrasonic Cleaner modelo 010S</p> 	<p>Ventana refractiva marca MEMMERT</p> 	<p>Texturometro marca a BROOKFIELD CT3</p> 
<p>Balanza Digital analítica marca PRECISA modelo LX 220 SCS</p> 	<p>Colorímetro marca SADT colorimeter SC50</p> 	<p>Estufa</p> 

ANEXO 4: Materiales de Escritorio

<p>Papel Plumón indeleble Bolígrafo</p> 	<p>Laptop</p> 	<p>Libreta</p> 
---	---	--

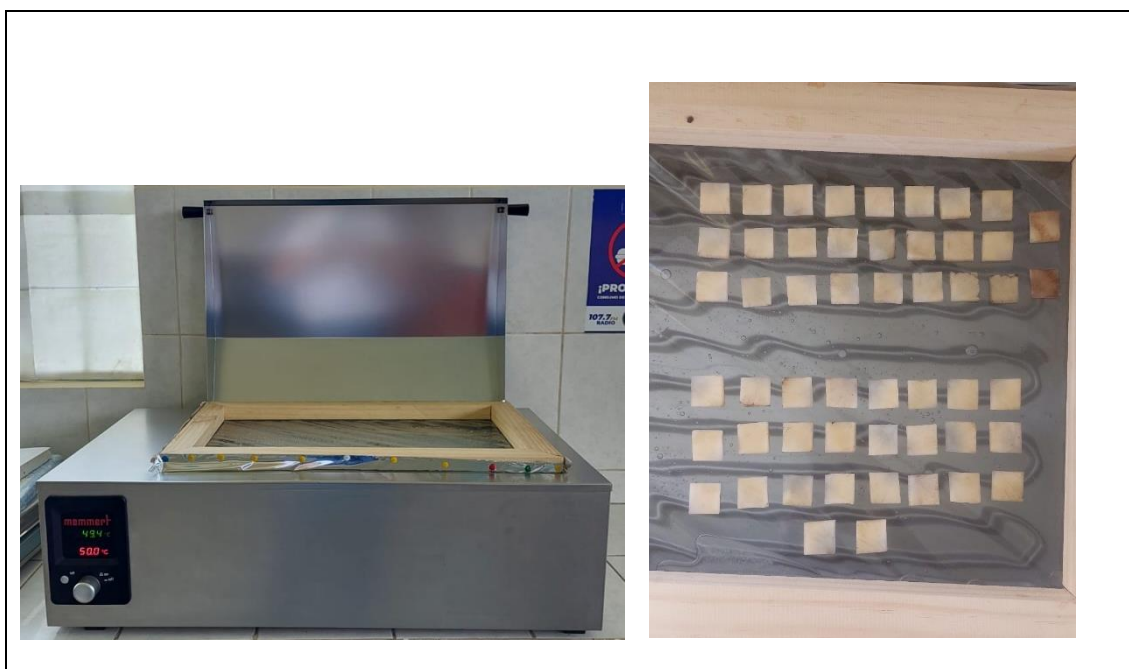
## ANEXO 5: Otros materiales

Indumentaria	Papel toalla	Alcohol
<p data-bbox="595 315 940 353">Jabón líquido antibacterial</p> 	<p data-bbox="1027 331 1297 369">Hipoclorito de sodio</p> <p data-bbox="1086 405 1238 443">Lavavajilla</p> 	 

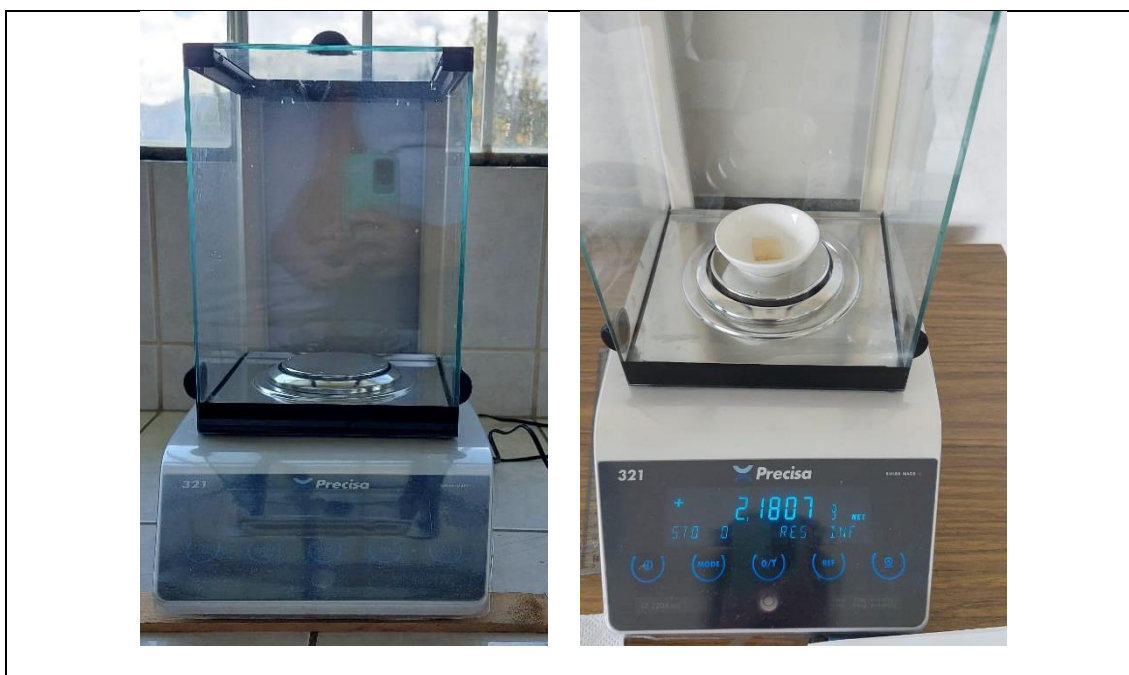
## ANEXO 6: Aplicación de Ultrasonido



## ANEXO 7: Aplicación de temperatura por Ventana Refractante



## ANEXO 8: Pesado de muestra





## ANEXO 9: Medida de color



## ANEXO 10: Medición de dureza



ANEXO 11 Modelo matemático

$$MR_t = \frac{M_t - M_\infty}{M_0 - M_\infty}$$

$$X_{weq} = 0.12$$

Datos a Ingresar							
TIEMPO	PESO	MR <sub>t</sub>	ΔM	x <sub>w</sub>	X <sub>w</sub>	Y = dX <sub>w</sub> /dt	Ln MR <sub>t</sub>
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	6.089	1.000	0.000	0.805	4.135	0.000	0.000
15.000	5.359	0.878	-0.120	0.779	3.520	0.041	-0.130
30.000	4.830	0.789	-0.207	0.754	3.073	0.030	-0.237
45.000	4.299	0.700	-0.294	0.724	2.626	0.030	-0.356
60.000	3.736	0.606	-0.386	0.683	2.150	0.032	-0.501
75.000	3.459	0.559	-0.432	0.657	1.917	0.016	-0.581
90.000	3.207	0.517	-0.473	0.630	1.705	0.014	-0.659
105.000	2.931	0.471	-0.519	0.595	1.472	0.016	-0.753
120.000	2.573	0.411	-0.577	0.539	1.170	0.020	-0.889
135.000	2.417	0.385	-0.603	0.509	1.038	0.009	-0.955
150.000	2.248	0.357	-0.631	0.473	0.896	0.009	-1.031
165.000	2.079	0.328	-0.659	0.430	0.753	0.010	-1.114
180.000	1.954	0.307	-0.679	0.393	0.648	0.007	-1.180
195.000	1.838	0.288	-0.698	0.355	0.550	0.006	-1.245

Humedad Total			
P.INICIAL	8.1713	Hbh	0.8053
P.FINAL	1.5913	HBS	4.1350

Datos a colocar		Espesor	0.4	cm
		L	0.2	cm

Datos calculados		Pendiente	-0.00639	
		Difusividad	1.04E-04	cm <sup>2</sup> /min

ANEXO 12 Análisis producto final.

T°	t'	DIFUSIVIDAD	COLOR			VELOCIDAD DE SECADO	TEXTURA DUREZA
			L	a	b		
50	1	8.84E-03	54.94	7.68	20.46	0.0078	0.58
50	2	9.37E-03	54.27	5.63	17.65	0.0068	0.69
50	3	9.91E-03	50.23	6.71	22.07	0.0083	0.55
60	1	1.23E-02	56.54	7.29	17.84	0.0093	3.13
60	2	1.37E-02	63.83	7.94	19.91	0.0100	2.30
60	3	1.39E-02	62.53	7.27	16.52	0.0098	3.10
70	1	1.61E-02	53.18	3.93	20.13	0.0105	1.60
70	2	1.25E-02	57.11	8.39	28.03	0.0155	1.45
70	3	1.22E-02	54.59	8.15	27.88	0.0156	1.70