

**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 (*Cucurbita ficifolia* Bouché) EN BASE A LA  
TEMPERATURA Y VELOCIDAD DEL AIRE”**

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

**PRESENTADO POR LA BACHILLER:  
EDITH KATHLEAN DIAZ VENTURA**

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

**CAJAMARCA – PERÚ**


**2024**

## CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

1. Investigador:  
EDITH KATHLEAN DIAZ VENTURA  
DNI: 44104521  
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:  
**DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE SECADO POR VENTANA REFRACTANTE DE  
(*Curcubita ficifolia* Bouché) EN BASE A LA TEMPERATURA Y VELOCIDAD DE AIRE**  
Fecha de evaluación: 02/09/2024
  6. Software antiplagio:  TURNITIN     URKUND (OURIGINAL) (\*)
  7. Porcentaje de Informe de Similitud: 12%
  8. Código Documento: 3117:377649479
  9. Resultado de la Evaluación de Similitud: 12%
- APROBADO     PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 03/09/2024

*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° 180-2024-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 (*Cucurbita ficifolia* Bouché) EN BASE A LA TEMPERATURA Y VELOCIDAD DEL AIRE**”, realizada por la Bachiller EDITH KATHLEAN DIAZ VENTURA para optar el Título Profesional de **INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**.

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

A las diecisiete 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 Rimarachín Chávez  
PRESIDENTE

Dr. José Gerardo Salhuana Granados  
SECRETARIO

Ing. Mtr. Max Edwin Sangay Terrones  
VOCAL

Dr. Jimmy Frank Oblitas Cruz  
ASESOR

## **DEDICATORIA**

Esta tesis se la dedico a Dios quien supo guiarme por el buen camino, por darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin desfallecer en el intento.

A mi madre que supo formarme con buenos sentimientos, consejos y valores lo cual me ayudado para ser la persona que por hoy soy y seguir con coraje para enfrentar la vida, ahora sé que desde el cielo me ilumina para seguir adelante con mis proyectos.

También se la dedico a mi familia mi hija Amira quien es mi orgullo, mi mayor motivo para nunca rendirme y así poder llegar a ser un ejemplo para ella.

A mí hermana y mis queridas amigas que siempre están conmigo apoyándome y dándome ánimos para seguir: Fanny, Cecilia, Consuelo, Mirella.

## **AGRADECIMIENTO**

Antes de todo, agradezco a Dios por darme siempre fuerza para continuar en momentos difíciles, por guiarme en el camino con prudencia y darme sabiduría para mejorar día a día, gracias a mi madre que sé, que me siempre me cuida desde donde este y a mi pequeña, quien me inspira, me levanta, me anima.

Así mismo quiero agradecer a mi Universidad, por haberme permitido formarme en ella, quiero agradecer sinceramente a mi asesor de tesis el Ing. M.sc. Jimy Frank Oblitas Cruz, su esfuerzo, su apoyo, su dedicación, sus conocimientos, su motivación, han sido fundamentales para mi formación y lograr este proceso. Así mismo quiero agradecer a todas las personas que fueron partícipes ya sea de manera directa o indirecta, gracias a todos porque fueron responsables de realizar su pequeño aporte para poder llegar a la culminación de este proceso.

Este es un momento muy especial, que lo recordare en el tiempo espero perdure en las personas a quienes agradecí, las que me ayudaron me animaron en mi proyecto de tesis a todos les agradezco con todo mi ser.

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
ÍNDICE GENERAL .....	vi
ÍNDICE DE TABLAS .....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	ix
RESUMEN .....	xi
ABSTRAC.....	xii
I. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Descripción del problema .....	1
1.2 Formulación del problema .....	2
1.3 Justificación .....	2
1.4 Objetivos.....	3
1.4.1 Objetivo General.....	3
1.4.2 Objetivos Específicos .....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1 Antecedentes.....	4
2.2 MARCO TEORICO .....	7
2.2.1 Calabaza .....	7
2.2.1.1 Clasificación Taxanómica .....	8
2.2.1.2 Composición Nutricional y Usos de la Calabaza .....	8
2.2.1.3 Nombres Comunes .....	9
2.2.1.4 Morfología.....	9
2.2.2 Secado .....	10
2.2.2.1 Secado de Alimentos .....	10
2.2.2.2 Curvas de Velocidad de Secado .....	11
2.2.2.3 Secado por Ventana Refractante (VR) .....	13
2.2.2.4 Ventajas .....	15
2.2.2.5 Determinación de color .....	15
2.3 Determinación de la Difusividad .....	16
2.4 Definición de Términos .....	17
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	18
3.1 Ubicación .....	18
3.2 Materiales e insumos.....	18
3.2.1 Materia prima .....	18
3.2.2 Equipos de laboratorio .....	18

3.2.3	Materiales .....	19
3.2.4	Materiales de escritorio .....	19
3.2.5	Otros .....	19
3.3	Metodología .....	19
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	24
4.1	Resultados de las Curvas de secado .....	24
4.1.1	Análisis de las curvas de secado .....	24
4.2	Difusividad .....	27
4.2.1	Efectos de la Difusividad .....	27
4.3	Resultados de Velocidad de secado .....	30
4.4	Resultados de los parámetros de sistema de color (CIELAB) .....	32
4.4.1	Análisis Para L* .....	32
4.5	Análisis Para a* .....	35
4.6	Análisis Para b* .....	37
V.	CONCLUSIONES .....	40
VI.	RECOMENDACIONES .....	41
	BIBLIOGRAFÍA .....	42
	ANEXOS .....	47

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Factores críticos de comparación entre Ventana Refractiva y Convección .....	4
Tabla 2: Composición Nutricional de Chiclayo (Cucúrbita ficifolia Bouché).....	8
Tabla 3: Factores, variables independientes y niveles.....	20
Tabla 4: Análisis de Varianza (ANOVA) para Difusividad.....	28
Tabla 5: Análisis de Varianza (ANOVA) para Velocidad de secado.....	30
Tabla 6: Análisis de Varianza para (ANOVA) para L* .....	33
Tabla 7: Análisis de Varianza (ANOVA) para a* .....	35
Tabla 8: Análisis de Varianza (ANOVA) para b* .....	37



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Chiclayo ( <i>Cucúrbita ficifolia</i> Bouché).....	7
Figura 2: Curva de secado típica para un sólido (velocidad de secado frente a humedad libre) .....	12
Figura 3: Transferencia de energía térmica del sistema de secado Ventana de Refractancia .....	15
Figura 4: Croquis del desarrollo del proyecto de tesis .....	18
Figura 5: Croquis experimental. ....	21
Figura 6: Curva de secado en base al tiempo de Chiclayo ( <i>Cucurbita ficifolia</i> Bouché) a Velocidad (1m/s) y Temperaturas de 50 °C, 60°C, 70°C.....	24
Figura 7: Curva de Velocidad de secado en base al peso seco de Chiclayo ( <i>Cucurbita ficifolia</i> Bouché) a Velocidad (1m/s) y Temperaturas de 50°C, 60 °C y 70°C.....	24
Figura 8: Curva de secado en base al tiempo de Chiclayo ( <i>Cucurbita ficifolia</i> Bouché) a Velocidad (2m/s) y Temperaturas de 50 °C, 60°C, 70°C.....	25
Figura 9: Curva de Velocidad de secado en base al peso seco de Chiclayo ( <i>Cucurbita ficifolia</i> Bouché) a Velocidad (2m/s) y Temperaturas de 50°C, 60 °C y 70°C.....	25
Figura 10: Curva de secado en base al tiempo de Chiclayo ( <i>Cucurbita ficifolia</i> Bouché) a Velocidad (3m/s) y Temperaturas de 50 °C, 60°C, 70°C.....	26
Figura 11: Curva de Velocidad de secado en base al peso seco de Chiclayo ( <i>Cucurbita ficifolia</i> Bouché) a Velocidad (3 m/s) y Temperaturas de 50°C, 60 °C y 70°C.....	26
Figura 12: Pareto estandarizado para Difusividad.....	28
Figura 13: Efectos individuales en la Difusividad.....	29
Figura 14: Superficie de respuesta para Difusividad.....	29
Figura 15: Pareto estandarizado para la Velocidad de Secado.....	31
Figura 16: Efectos individuales en la Velocidad de Secado.....	31
Figura 17: Superficie de respuesta para Velocidad de Secado.....	32
Figura 18: Pareto estandarizado para $L^*$ .....	33
Figura 19: Efectos individuales para $L^*$ .....	34
Figura 20: Superficie de respuesta para $L^*$ .....	34
Figura 21: Pareto estandarizado para $a^*$ .....	35
Figura 22: Efectos individuales para $a^*$ .....	36
Figura 23: Superficie de respuesta para $a^*$ .....	36
Figura 24: Pareto estandarizado para $b^*$ .....	37

Figura 25: Efectos individuales para $b^*$ .....	38
Figura 26: Superficie de respuesta para $b^*$ .....	38

## RESUMEN

Esta investigación se realizó en Laboratorio de Bioingeniería y Fermentaciones Industriales de la Escuela Académica Profesional de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de Cajamarca, teniendo como objetivo determinar los parámetros de secado por ventana refractante de Chiclayo (*Cucurbita ficifolia* Bouché) en base a la temperatura y velocidad del aire. Las muestras de Chiclayo tienen corte tipo cuadrado, lado de 2 cm, espesor de 5cm colocado en el equipo de ventana refractante. En esta investigación se analizó la temperatura y Velocidad de aire, donde cada tratamiento tiene tres niveles: temperatura (50°C, 60°C, 70°), velocidad de aire (1m/s, 2m/s, 3m/s), con cada uno de estos tratamientos se desarrolló un diseño factorial completo del tipo 3<sup>2</sup>, tuvimos 9 tratamientos y se preparó 17 muestras por cada tratamiento para la obtención de datos sumando un total de 153 muestras logrando evaluar: La difusividad, velocidad de secado y el color. Posteriormente se realizó el tratamiento estadístico mediante el análisis de varianza (ANOVA) y la obtención de las curvas de secado con valores  $P < 0.05$ , asimismo se obtuvo que solo la temperatura tiene efecto significativo directamente proporcional con respecto a la difusividad; Además se realizó una regresión de mínimos cuadrados obteniendo un  $R^2 = 94.483\%$  en la Velocidad de Secado donde se obtuvo efectos estandarizados a un nivel de 0.05 con respecto a la temperatura teniendo efecto significativo. Asimismo, en cuanto al color no se encontraron dentro de los rangos reportados en alimentos en los parámetros de color ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ). Por lo tanto, no se encontró efecto significativo de (temperatura y la velocidad de aire).

**Palabras claves:** Chiclayo, ventana refractante, secado, difusividad.

## ABSTRACT

This research was carried out in the Bioengineering and Industrial Fermentation Laboratory of the Professional Academic School of Food Industries of the National University of Cajamarca, with the objective of determining the drying parameters by refractive window of Chiclayo (*Cucurbita ficifolia* bouche) based on the temperature and air speed. The Chiclayo samples have a square cut, 2 cm side, 5 cm thickness placed in the refracting window equipment. In this research, the temperature and air speed were analyzed, where each treatment has three levels: temperature (50°C, 60°C, 70°), air speed (1m/s, 2m/s, 3m/s), With each of these treatments, a complete factorial design of the 3<sup>2</sup> type was developed, we had 9 treatments and 17 samples were prepared for each treatment to obtain data, adding a total of 153 samples, managing to evaluate: Diffusivity, drying speed and the color. Subsequently, the statistical treatment was carried out through analysis of variance (ANOVA) and obtaining drying curves with values  $P < 0.05$ . It was also obtained that only temperature has a significant effect directly proportional to diffusivity; In addition, a least squares regression was carried out obtaining an  $R^2 = 94.483\%$  in the Drying Speed where standardized effects were obtained at a level of 0.05 with respect to temperature having a significant effect. Likewise, regarding color, they were not found within the ranges reported in foods in the color parameters ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ). Therefore, no significant effect of (temperature and air speed) was found.

Keywords: Chiclayo, refracting window, drying, diffusivity.

## I. INTRODUCCIÓN

La industria de alimentos busca más opciones para el aprovechamiento y preservación de raíces y tubérculos, es por eso hay diferentes estudios de diferentes tipos de secado como del estudio que se desarrollara en esta investigación sobre Ventana refractante es una tecnología emergente. Este es un método de secado que emplea temperaturas cercanas al punto de ebullición del agua y tiempos cortos de secado, lo que permite reducir los tiempos de producción y así aumentar la retención de nutrientes y disminuir los efectos negativos en las características del producto final.

Sin embargo, cuando las frutas y vegetales son sujetos a un proceso de secado se presentan cambios fisicoquímicos, biológicos y bioquímicos en los mismos, lo que acarrea que la calidad de los productos deshidratados se vea reducida y además generan altos costos energéticos en el proceso. Por lo tanto, la ciencia busca crear nuevas tecnologías más eficientes con el propósito de optimizar dichos costos y mejorar la calidad de los productos terminados.

Para esta investigación se utilizó el Chiclayo (*Cucurbita ficifolia* Bouché). Este tubérculo es la menos cultivada de las especies comerciales de cucurbita, no es difícil encontrarla en las zonas altas (1000 a 3000 m s. n. m.) y templadas del continente americano. Esta facilidad se debe en parte a su probada resistencia a varios virus que afectan a otras especies afines. Con este proceso de secado por evaporación del agua de una materia húmeda (sólida o líquida). Se busca la conservación para el aprovechamiento y conservación de este tubérculo y determinar cómo afecta los parámetros de secado por ventana refractante.

### 1.1 Descripción del problema

La presente investigación en la industria de alimentos es por la búsqueda constante de alternativas para el aprovechamiento y conservación de frutas y verduras, siendo los métodos de secado la mejor opción para lograr este objetivo y para obtener productos deshidratados con alta retención de nutrientes y óptima calidad fisicoquímica y estructural.

Un sistema óptimo de secado para la conservación de productos hortofrutícolas debe ser rentable, con menores tiempos de secado, bajo consumo energético y con el mínimo daño al producto (Sagar et al., 2010).

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. La humedad se presenta como una solución líquida dentro del sólido es decir; en la microestructura del mismo. Cuando un sólido húmedo es sometido a secado térmico, dos procesos ocurrirán simultáneamente.

1. Habrá transferencia de energía (comúnmente como calor) de los alrededores para evaporar la humedad de la superficie.
2. Habrá transferencia de la humedad interna hacia la superficie del sólido.

La velocidad a la cual el secado es realizado está determinada por la velocidad a la cual los dos procesos mencionados anteriormente, se llevan a cabo. La transferencia de energía, en forma de calor, de los alrededores hacia el sólido húmedo puede ocurrir como resultado de convección, conducción y/o radiación.

## **1.2 Formulación del problema**

¿Cuáles son los parámetros de secado en base a la temperatura y velocidad de aire por ventana refractante del Chiclayo (*Cucurbita ficifolia* Bouché) en el proceso de secado?

## **1.3 Justificación**

En la actualidad se está tomando conciencia de la importancia de alimentarse de forma equilibrada, con productos de calidad, donde las frutas y vegetales presentan importantes beneficios para la salud, aunque su consumo en fresco presenta inconvenientes, es por ellos se analizó la deshidratación a través de la tecnología de Ventana refractiva, con este método se buscará determinar los parámetros de secado de Chiclayo (*Cucurbita ficifolia* Bouché) en base a la temperatura y velocidad del aire y así obtener datos que permita verificar que el producto sigue manteniendo sus características con excelente color y alta retención de micronutrientes.

Con este método de secado de Ventana Refractante que es una alternativa relativamente simple, barata y se puede aplicar a diversos productos. La investigación busca proporcionar información útil sobre el deshidratado de los alimentos, de tal forma que los investigadores tanto de los sectores académicos e industriales aprovechen los resultados de este trabajo y puedan disminuir esfuerzos y recursos buscando las mejores condiciones para alargar la vida de los alimentos disminuyendo la actividad del agua, reduciendo la actividad microbiológica, minimizar los cambios físicos y químicos del producto sobre todo el producto final durante su almacenamiento.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo General**

Determinar los parámetros de secado por ventana refractante de Chiclayo (*Cucurbita ficifolia* Bouché) en base a la temperatura y velocidad del aire.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Determinar los parámetros de secado por ventana refractante de Chiclayo *Cucurbita ficifolia* Bouché en base a la temperatura.
- Determinar los parámetros de secado por ventana refractante de Chiclayo *Cucurbita ficifolia* Bouché en base a la velocidad del aire.

## **1.5 Hipótesis**

Existe un efecto positivo de las características fisicoquímicas en Chiclayo *Cucurbita ficifolia* Bouché sobre los parámetros a 60 grados Celsius y a una velocidad de secado de 0.011 (mg H<sub>2</sub>O) / (mm<sup>2</sup>x min). En el proceso de secado de ventana refractante.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Antecedentes.

Rosero (2018), *comparación de técnicas de secado ventana refractiva y convección forzada en frutas tropicales*, tesis de posgrado para obtener el título profesional de maestro de la carrera de ingeniería de la Universidad Pontificia Bolivariana. Tuvo como objetivo principal evaluar la comparación los métodos de secado por ventana refractiva y convección forzada en frutas tropicales, los factores de diseño y de proceso. Así mismo realizar una metodología de trabajo para el secado de frutas por ventana refractiva.

Se llegó a la conclusión que el secado por ventana refractiva es una tecnología de deshidratación de cuarta generación que acorta tiempos de secado, donde el producto sigue manteniendo sus características sensoriales en respecto a otras técnicas de secado como la de convección forzada, no obstante, es mejor emplearla para secar líquidos y pulpas para producir polvos y concentrados y con muchas investigaciones se podría lograr tener más avances en esta tema para optimizar procesos a escala industrial, para así conseguir mejoras en el producto y la sostenibilidad (Rosero, 2018).

*Tabla 1: Factores críticos de comparación entre Ventana Refractiva y Convección*

	<b>VR</b>	<b>CF</b>
Mango	Estado: Pulpa	Estado: Fruta cortada
	Espesor: 3 mm	Espesor: 5 mm
	T°: 90°C	T°: 70°C
	Tiempo: 120 min	Tiempo: 360 min
Papaya	Estado: Pulpa	Estado: Fruta cortada
	Espesor: 2 mm	Espesor: 20 mm
	T°: 90°C	T°: 70°C
	Tiempo: 90 min	Tiempo: 800 min
Guayaba	Estado: Pulpa	Estado: Fruta cortada
	Espesor: 3 mm	Espesor: 5 mm
	T°: 90°C	T°: 70°C
	Tiempo: 120 min	Tiempo: 540 min

FUENTE: Rosero (2018).



Quispe, et al. (2017), esta investigación fue desarrollada en el valle del Callejón de Huaylas las provincias de Yungay y Carhuaz, región de Anchas, país de Perú, en el proceso de secado con duraznos en ventana refractante usando una temperatura de 60 grados Celsius en un tiempo de 4 horas, obteniendo una velocidad de secado de  $0.011 \text{ (mg H}_2\text{O) / (mm}^2 \times \text{min)}$ . La curva de secado que mostró en su gráfica pudo permitir tener un durazno deshidratado de humedad intermedia con 40.43 por ciento de humedad, 59.57 por ciento de materia seca, 57.36 por ciento de azúcar, acidez de 0.68 % de ácido málico, 2.47 por ciento de azúcares reductores y una carga microbiana menor de 1.32 UFC/g. por resultado pudo mantener sus características, tecnológica, nutricional, funcional y sensorialmente

Peralta (2016), la presente investigación se desarrolló en la ciudad de Trujillo, departamento de la libertad, país Perú. Con el objetivo de determinar el efecto de la temperatura y tiempo de secado por ventana refractante en las características fisicoquímicas y contenido de *Capsaicina* de pasta de páprika deshidratada (*Capsicum annuum, l.*). La investigación inicio con la obtención de páprikas frescos, en estado óptimo, transformada en una pasta para luego tratarlo con el método de secado por ventana refractante a tres temperaturas (85, 90, 95°C) y tres tiempos (100, 120, 140 min), obteniéndose 9 tratamientos, los cuales se realizaron por triplicado, para luego proceder a evaluar las características fisicoquímicas y el contenido de *Capsaicina* de todos los tratamientos realizados a la pasta, encontrándose el pH más alto (3.83) a menor temperatura (85°C) y menor tiempo (100 min); mayor acidez (0.57%) a una mayor temperatura (95°C) y un menor tiempo (100 min); el porcentaje de humedad disminuyó proporcionalmente a la temperatura y el tiempo de los tratamientos, consiguiendo la menor humedad que fue (5.37%) a mayor temperatura (95°C) y mayor tiempo (140 min); al mismo modo los °brix disminuyeron drásticamente en todas la temperaturas y tiempos, teniendo de los 1.2 °brix iniciales, obteniendo la media más alta (0.67 °brix) el tratamiento de 95°C y 120 min. Asimismo el contenido de *Capsaicina* más alto se obtuvo a una temperatura de 95°C y un tiempo de 140 min.

Montalvo, et al., (2020), *efecto de la temperatura de proceso y el espesor de las láminas en el secado por ventana refractiva en batata blanca (ipomoea batatas l.) sobre la cinética de secado y propiedades físicas*. Tesis de pregrado para obtener el título profesional de Ingeniero de Alimentos de la carrera de ingeniería de Universidad De Córdoba. Teniendo como objetivo estimar el efecto de la temperatura y el espesor de las muestras la cinética de secado y propiedades físicas en el secado por Ventana Refractiva para la evaluación de los parámetros cinéticos por medio de la aplicación del modelo de la solución 22 analítica de la segunda ley de Fick para la transferencia de humedad no estacionaria unidimensional en lámina infinita, y el comportamiento de las propiedades físicas.

Que tiene por conclusión: El encogimiento, densidad aparente y porosidad fueron afectados por la temperatura significativamente, sin embargo, solo el espesor afectó el encogimiento de las

láminas. El encogimiento disminuyó con el aumento de la temperatura e incrementó con el aumento del espesor de las láminas, registrándose valores de encogimiento promedio de hasta 47.48%, La difusividad efectiva de la humedad presentó valores entre  $8.67 \times 10^{-5}$  y  $52.8 \times 10^{-5}$   $m^2 \cdot s^{-1}$

Padilla, et al., (2021), *evaluación del contenido de humedad y cambios de color en el ají dulce (Capsicum annum) durante el secado por ventana refractiva*. Tesis de pregrado para obtener el título profesional de Ingeniero de Alimentos de la carrera de ingeniería de Universidad De Córdoba. Con el propósito de estudiar el sistema de Ventana de Refractancia en el proceso de deshidratación de Ají dulce en sus dos estados de madurez utilizando aceite comestible como fluido calefactor, evaluando el efecto de la temperatura del aceite, sobre las propiedades fisicoquímicas (humedad, difusividad, y color). Se encontró en los parámetros de secado por ventana refractiva, evidencias que los valores de difusividad efectiva aumentan al incrementar la temperatura de secado. Concluyendo que los cambios de color aumentan con la temperatura de secado y son pronunciados en las muestras de ají maduro debido a los azúcares presentes en estas. Así mismo la temperatura de secado afectó significativamente en los parámetros de color  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  evidenciadas en los de ajíes.

Pari (2019), *efecto del espesor y tiempo de secado por ventana refractante en las características sensoriales y humedad de olluco en slice (Ullucus tuberosus)* Tesis de pregrado para obtener el título profesional de Ingeniero Agroindustrial en la carrera de Ingeniería Agroindustrial de Universidad Nacional de Huancavelica, con el objetivo de obtener rangos óptimos del espesor y tiempo de secado por ventana refractante que maximicen las características sensoriales y Humedad final de morfotipos de olluco (*Ullucus tuberosus*) en slice.

Llegando a la conclusión que los rangos óptimos del espesor y tiempo de secado por ventana refractante donde maximizan las características sensoriales y humedad final de dos morfotipos de olluco (*Ullucus tuberosus*) en slice, fueron: espesor de 2,25 mm y un tiempo de 51,2 minutos (Quello Lisa) y 2,45 mm y un tiempo de 51,5 minutos (Puka Lisa). Así mismo el tiempo de secado tiene efectos significativos en la humedad final, luminosidad,  $a^*$ ,  $b^*$  y tono del olluco (*Ullucus tuberosus*) morfotipo Puka Lisa en slice del secado por ventana refractante.

Hincapie et al., (2010), en su investigación nos informa sobre el efecto de la temperatura de secado sobre las propiedades funcionales de la fibra dietaria en la citropulpa, tomando 5 temperaturas diferentes (40, 45, 50, 55 y 60°C) y una velocidad constante de 3 m/s; teniendo como resultados que a 50°C se conservan mejor las propiedades funcionales de la fibra dietaria con 19,75 horas para lograr una humedad de 0,12 kg agua/kg Muestra Seca.

## 2.2 MARCO TEORICO

### 2.2.1 Calabaza

Esta investigación nos indica que el género cucúrbita es originario solo de las Américas, esta afirmación se encuentra basada en evidencia geográfica botánica y relaciones huésped-parásito, sugiere que el sur y el centro de México son el centro de origen. Teniendo presente que la mayoría de las especies parecen ser nativas de México, algunas como *Chiclayo* (*Cucurbita ficifolia* Bouché), son nativas de América del Sur (Nuez, 2000).

El registro arqueológico es escaso, excepto en Perú donde abundan pedazos y fragmentos de semillas que datan del 5000-6000 a.C. se encuentran a lo largo de la costa central y norte. Si bien *Chiclayo* (*Cucurbita ficifolia* Bouché) no se cultiva en esta región de tierras bajas, el comercio entre las culturas andinas y las costeras evidentemente se practicaba ampliamente (Cohen, 1977)

*Chiclayo* (*Cucurbita ficifolia* Bouché) se trae de las tierras altas y se vende en las zonas costeras mercados, como en Trujillo (Figura 1). Como la región costera es árida, los restos de plantas antiguas están bien conservados. Sitios arqueológicos en los bosques nubosos muy húmedos tienen menos probabilidades de contener plantas macro material. No hay ningún cambio aparente hacia un tamaño de semilla más pequeño en los estratos arqueológicos anteriores, lo que sugiere que los importados la calabaza siempre fue una especie domesticada.

*Figura 1: Chiclayo (Cucúrbita ficifolia Bouché)*



*Fuente: Producción y protección vegetal No 26. FAO*

### 2.2.1.1 Clasificación Taxanómica

Cronquist (1981), Refiere que la clasificación taxonómica del cultivo de calabaza es como sigue:

**REINO:** Plantae

**DIVISIÓN:** Magnoliophyta

**CLASE:** Magnoliopsida

**SUB CLASE:** Rosidae

**ORDEN:** Cucurbitales

**FAMILIA:** Cucurbitaceae

**GENERO:** Cucúrbita

**ESPECIE:** (*Cucúrbita ficifolia Bouché*)

### 2.2.1.2 Composición Nutricional y Usos de la Calabaza

Según esta investigación señala que el valor nutricional se encuentra en todas partes de la calabaza, pero especialmente las semillas dan un gran aporte en cuanto a proteínas y aceites mientras que los frutos tiernos, las flores, y los frutos maduros dan aportes esenciales como el calcio, fósforo y el ácido ascórbico en comparación con la leche y los huevos su contenido es similar en aporte nutricional. La composición nutricional y mineral de la Chiclayo (*Cucurbita ficifolia Bouché*) (Suárez, 2016).

Tabla 2: Composición Nutricional de Chiclayo (*Cucúrbita ficifolia Bouché*)

<b>Nutriente</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor por 100g</b>
Agua	G	91,60
Energía	Kcal	26,00
Energía	Kj	109,00
Proteína	G	1,00
Lípido	G	0,10
Minerales	G	0,80
Carbohidrato	G	6,50
Fibras	G	0,50
Azúcares	G	2,76
<b>minerales</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor por 100 g</b>
Calcio, Ca	Mg	21,00

Hierro, Fe	Mg	0,80
Magnesio, Mg	Mg	12,00
Fosforo, P	Mg	44,00
Potasio, K	Mg	340,00
Sodio, Na	Mg	1,00
Zinc, Zn	Mg	0,32
Cobre, Cu	Mg	0,13
Manganeso, Mn	Mg <sup>2</sup>	0,13

Fuente: USDA, 2014

### 2.2.1.3 Nombres Comunes

SIOVM (2007), nos indica que en náhuatl: chilacayote (México, Guatemala). En castellano: lacayote (Perú, Bolivia, Argentina), zambo (Ecuador), chiverri (Honduras, Costa Rica), victoria, auyama (Colombia); alcayota, cayote (Chile). En ingles: fig leaf squash, fig leaved gourd, malabaar gourd.

### 2.2.1.4 Morfología

Nos menciona que la morfología del Chiclayo (*Cucurbita ficifolia* Bouché). Es una hierba trepadora rastrera anual con un tallo largo acanalado o cilíndrico, con una superficie pilosa y cilios. Se arrastra por el suelo, llegando a más de tres metros de la base del árbol. Las hojas son grandes, además esta cubiertas de pelos, un poco angulosas según la especie, pecíolos largos. Es una planta dioica y monosexual, en la que las primeras flores aparecen como flores masculinas amarillas, después las flores femeninas tienen óvulos débiles y son polinizadas por insectos. La almendra, plana y redonda, a menudo de diferentes tamaños y rayas, se encuentra en la cavidad central del fruto y es de color negro o marrón oscuro (Giner, 2015).

Nos indica que estas plantas crecen de forma abundante, el Chiclayo (*Cucurbita ficifolia* Bouché) requiere suelos húmedos y clima templado; prefiere condiciones de día largo, aunque en regiones cálidas se la cultiva todo el año. No es resistente a las heladas en el primer año de vida. Principalmente en zonas altas con temperatura media anual de 13.7 °C y con alturas de 2300 a 2500 msnm y el ciclo de cultivo dura siete meses. Mientras que a temperaturas de 18.9 °C y a una altura de 1500 msnm el ciclo de cultivo es de cinco meses (Valdez, 1994).

## **2.2.2 Secado**

Según (Torregrosa, 2013) nos indica que el secado está definido como un proceso simultáneo de transferencia de calor y de masa entre el producto y el aire de secado, consiste en la remoción de humedad excesiva contenida en el producto por medio de la evaporación.

El proceso de secado se da en la mayoría de los casos, de un sólido, semisólido o líquido, así como una de las formas más rentables para la conservación de alimentos de todas las variedades (Jangam et al., 2010; Varzakas & Tzia, 2014). Con el proceso de secado se buscan nuevas vías y posibilidades de agregar valor a diversos productos de corta vida útil, mediante este proceso de secado se busca un medio eficaz para garantizar un adecuado suministro alimenticio (Sabarez, 2020).

En el proceso de conservación del secado se elimina agua del alimento a un nivel donde inhibe o minimiza el crecimiento microbiano, reacciones enzimáticas y otras reacciones adversas que ocasiona el deterioro (Law et al., 2014; Varzakas & Tzia, 2014), en el producto final se agrega valor a los productos alimenticios debido a algunas características especiales que solo están presentes o se manifiestan en forma seca, como sabor, textura, color, valor medicinal, etc. y minimiza o elimina el desperdicio de alimentos (Law et al., 2014; Sinha et al., 2010).

### **2.2.2.1 Secado de Alimentos**

El Proceso de secado de alimentos constituidos por células vegetales, tales como las frutas, conlleva una serie de cambios físicos, químicos y sensoriales por efecto del estrés térmico e hídrico al que se ve sometido el tejido vegetal, de morfología compleja, durante todo el proceso. La ruptura y la degradación de la lámina media, la separación y ruptura de las paredes celulares, la lisis del citoplasma, la pérdida de la funcionalidad de la membrana y el colapso estructural de las células pueden ocasionar variaciones fisicoquímicos, tales como la cristalización de la celulosa, despolimerización y solubilización de pectinas, desnaturalización de proteínas, cambios en los sólidos solubles y en la capacidad de rehidratación, encogimiento, así como cambios en las propiedades mecánicas relacionadas con la textura. Los cambios químicos contribuyen a la calidad final tanto de los productos deshidratados como de sus equivalentes reconstituidos, acerca del color, sabor, textura, viscosidad, velocidad de reconstitución, valor nutritivo y estabilidad en el almacenamiento (Contreras, 2016).

### 2.2.2.2 Curvas de Velocidad de Secado

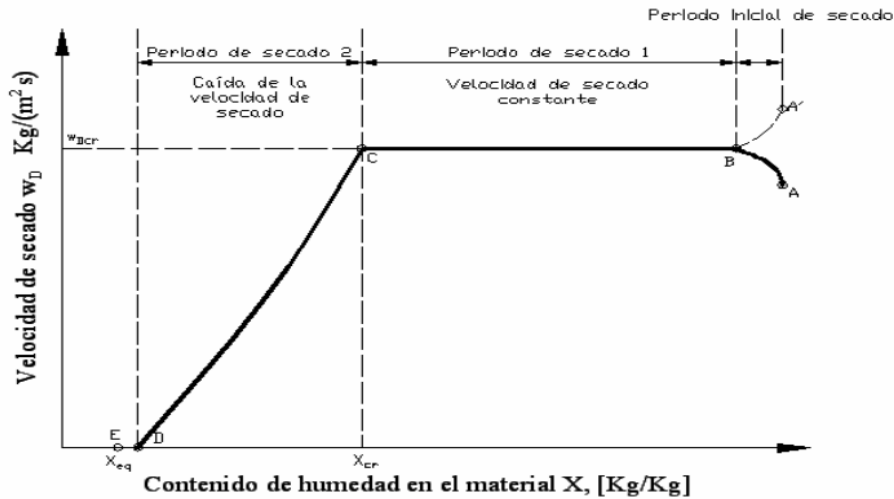
Para cada producto tiene una curva representativa que describe las características de secado de ese producto en condiciones específicas de temperatura, velocidad y presión. Esta curva se conoce como la curva de secado para un producto específico. Las variaciones en la curva ocurrirán principalmente en relación con la temperatura y la velocidad del portador. La curva es extremadamente valiosa para comprender el comportamiento inusual asociado con el secado de cada producto único (Cerrón et al., 2019).

En la figura N° 2 se ve el proceso de secado se puede dividir en tres períodos:

- Período de tasa de secado constante.
- Primer período de tasa de secado descendente.
- Segundo período de tasa decreciente.

Período de tasa de secado constante. En un período de tasa de secado constante, el material o la masa de material contiene mucha agua que existe en la superficie líquida que se seca de manera similar a un cuerpo de agua de cara abierta. La difusión de la humedad desde el interior de la gota mantiene las condiciones de saturación de la superficie y mientras esto dure, la evaporación tiene lugar a un ritmo constante. Cuando un sólido se seca en condiciones de secado constantes, el contenido de humedad normalmente cae. El gráfico es lineal al principio, luego se curva y finalmente se nivela. El período de secado a velocidad constante continuará hasta que aparezca humedad libre en la superficie, la velocidad de eliminación de humedad será entonces progresivamente menor. En CMC, la velocidad de secado cesa y permanece constante. Durante el período de velocidad constante, la humedad del interior migra a la superficie por varios medios y se vaporiza (Guadalupe Pacahuala, 2014).

Figura 2: Curva de secado típica para un sólido (velocidad de secado frente a humedad libre)



Fuente: (Strumillo y Kudra, 1986)

A medida que se reduce el contenido de humedad, también se reduce la tasa de migración a la superficie, humedad sellada en su interior. Esta condición se conoce como "endurecimiento de la caja".

El período de velocidad constante se caracteriza por un secado independiente del contenido de humedad. Durante este período, el sólido está tan húmedo que queda una película continua de agua sobre toda la superficie de secado, y esta agua actúa para disminuir la velocidad de secado. La temperatura de la superficie mojada alcanza la temperatura de bulbo húmedo.

Periodos de tasa decreciente. El periodo de velocidad constante termina cuando la velocidad de migración del agua desde el interior de la superficie se vuelve menor que la velocidad de evaporación desde la superficie. El período posterior al punto crítico se denomina "período de tasa decreciente". Después de este punto, la temperatura de la superficie aumenta y la velocidad de secado disminuye rápidamente. El periodo de velocidad decreciente lleva mucho más tiempo que el periodo de velocidad constante, aunque la eliminación de humedad puede ser mucho menor. La velocidad de secado se aproxima a cero en algún contenido de humedad de equilibrio. El secado en periodo de velocidad decreciente implica dos procesos:

- ✦ Movimiento de la humedad dentro del material hacia la superficie.
- ✦ Eliminación de la humedad de la superficie.



El método utilizado para estimar las tasas de secado y los tiempos de secado en el periodo de tasa decreciente depende de si el sólido es poroso o no poroso. En un material no poroso, una vez que no hay humedad superficial, además, el secado puede ocurrir solo a una velocidad gobernada por la difusión de la humedad a granel a la superficie. En un material poroso, aparece otro mecanismo y el secado tiene lugar en la mayor parte del sólido en lugar de en la superficie.

- Primer periodo de tasa de secado decreciente: el contenido de humedad al final del periodo de tasa constante (punto c), es el contenido de humedad crítico. En este punto, la superficie del sólido ya no está saturada y la velocidad de secado disminuye con la disminución del contenido de humedad. En el punto C, la película de humedad de la superficie se evapora por completo y, con la disminución adicional del contenido de humedad, la tasa de secado se controla mediante la tasa de movimiento de la humedad a través del sólido.
- Segundo periodo de tasa de secado descendente: el periodo C a D representa condiciones en las que la tasa de secado es en gran medida independiente de las condiciones fuera del sólido. La transferencia de humedad puede deberse a cualquier combinación de difusión de líquido, movimiento capilar y difusión de vapor.

Efecto de la contracción: un factor que a menudo afecta en gran medida la velocidad de secado es la contracción del sólido a medida que se elimina la humedad. Los sólidos rígidos no se contraen apreciablemente, pero los materiales coloidales y fibrosos sí se contraen. El efecto más grave es el desarrollo de una capa dura en la superficie que es impermeable al flujo de líquido o vapor de humedad y reduce la velocidad de secado. En muchos materiales, si el secado se produce a una temperatura demasiado alta, se forma en la superficie una capa de células encogidas y compactas, que se sellan entre sí, que presenta una barrera para la migración de la humedad. Otro efecto de la contracción es hacer que los materiales se deformen y cambien su estructura. A veces, para disminuir estos efectos de contracción, es conveniente secar con aire húmedo (Soto Ramos, 2013).

### **2.2.2.3 Secado por Ventana Refractante (VR)**

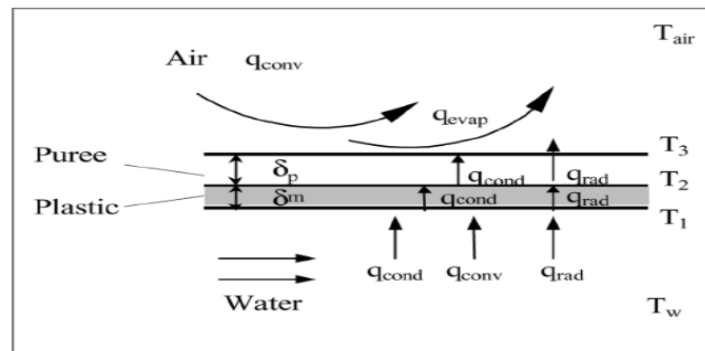
Secado de Ventana Refractante es un procedimiento donde utiliza agua caliente por debajo del punto de ebullición y se ejecuta a presión atmosférica. La energía térmica del agua caliente que circula se transfiere al producto fresco a través

de una interfaz plástica que es relativamente transparente a la radiación infrarroja. Los productos, como jugo, purés, suspensiones y frutas, se esparcen sobre la banda transportadora plástica que se mueve mientras su superficie inferior está en contacto con agua caliente. El agua caliente se recircula, mejorando la eficacia térmica del sistema. El uso 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 et al., 2007).

En la figura N° 3 muestra el proceso de secado por Ventana Refractancia donde se presentan los tres tipos de transferencia de calor: conducción ( $q_{Cond}$ ), convección ( $q_{conv}$ ) y radiación ( $q_{rad}$ ). La Figura 3 muestra el proceso por el cual el calor se transfiere del agua caliente al producto. El agua caliente traslada la energía térmica a la banda transportadora plástica delgada en donde la transmisión infrarroja a una longitud de onda se empareja al espectro de absorción para el agua, esto permite tener un secado más rápido (Smith, 1994). La banda plástica debe ser delgada, ya que un material plástico grueso con la conductividad térmica baja, brinda una resistencia más alta para transferir energía térmica. La transferencia infrarroja es más fuerte cuando la interfaz plástica está en íntimo contacto con el agua sobre un lado y un material de humedad alta en el otro lado. En el momento que un producto con alto contenido de humedad se extiende sobre la banda, la refracción en la interfaz de producto plástico se minimiza, permitiendo que la energía térmica radiante atraviese el plástico y llegue al producto (Abonyi et al., 2001).

En la última fase del secado, la transferencia de calor por conducción es la predominante y la tasa de transferencia de calor al producto es más lenta a medida que el producto se seca. La sección de enfriamiento de la descarga del secador se destina a reducir la temperatura del producto, preferiblemente por debajo de la temperatura de transición vítrea del producto, para facilitar el retiro del producto.

Figura 3: Transferencia de energía térmica del sistema de secado Ventana de Refractancia



Fuente: Ortiz (2014)

#### 2.2.2.4 Ventajas

- Fácil de operar
- El costo es más bajo, en comparación con otros métodos de secado.
- Bajos costo de mantenimiento de los equipos
- Los riesgos de contaminación son muy leves.
- El tiempo de secado es muy, corto apenas unos minutos.

Conserva aproximadamente el 94% de las características del producto (vitaminas, color, aroma, sabor, etc.) (Abonyi et al., 1999)

#### 2.2.2.5 Determinación de color

El color es uno de los parámetros más importantes debido a que está al ser el primer contacto del consumidor causa en su mayoría la aceptación o rechazo del producto, esto concuerda con que “el color de los alimentos es generalmente, un indicador de madurez o descomposición” y por lo tanto está directamente relacionado con la inocuidad, seguridad, durabilidad y agrado al mismo, todo esto implica a las propiedades fisicoquímicas y sensoriales del alimento (Martínez, et al., 2015). Por lo cual, se han establecido métodos para la determinación de color para todo alimento, tales como el sensorial e instrumental.

En el procedimiento sensorial, la medición estricta está fundada en hacer uso de un panel de evaluadores entrenados, siguiendo la Norma IRAM 20022: 2004 y utilizando referencias. El método instrumental consiste en el uso de técnicas en las cuales se mide la reflectancia o transmitancia de la muestra. Se utilizan

instrumentos conocidos como espectrofotómetros o colorímetros triestímulos.

En este método se utiliza la investigación del modelo CIELAB, donde se define un índice psicométrico de luminosidad ( $L^*$ ) y dos coordenadas de color ( $a^*$  y  $b^*$ ). El índice  $L^*$  está relacionado con la luminosidad; según esta propiedad, cada color puede considerarse como equivalente a un miembro de la escala de grises, es decir, entre el negro ( $L^*=0$ ) y el blanco ( $L^*=100$ ). La coordenada  $a^*$  tiene valores negativos para los colores verdosos y valores positivos para los colores rojizos. La coordenada  $b^*$  tiene valores positivos para los colores amarillentos y valores negativos para los colores azulados.

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

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

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

### 2.3 Determinación de la Difusividad

La Difusividad, se asume que las condiciones de secado son relativamente constantes en el tiempo y que dichas propiedades son independientes de estas. Donde los mecanismos de transporte de humedad durante el proceso de secado se pueden modelar matemáticamente a partir de la segunda ley de Fick (MGHAZLI et al., 2017). Si la difusión ocurre en tres dimensiones está gobernada por la ecuación:

$$\frac{\partial M}{\partial t} = Deff \left( \frac{\partial^2 M}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 M}{\partial z^2} \right)$$

Donde,  $M$  es el contenido de humedad,  $t$  es el tiempo  $x$ ,  $y$  y  $z$  son coordenadas espaciales y  $Deff$  es el coeficiente de difusión efectiva.

Para la estimación de difusividad efectivo se puede estimar por medio de los datos experimentales. Por lo regular se propone un comportamiento tipo Arrhenius para este coeficiente respecto a la temperatura del aire. Sin embargo, también se ha observado que se puede modelar expresándolo en función de la temperatura de partícula y del contenido de humedad. (Kiranoudis et al., 1995).

El origen de la difusión es la agitación térmica. La difusión se activa térmicamente y el coeficiente de difusión se calcula tradicionalmente mediante el uso de la ley de Arrhenius (KOUKOUCH et al., 2017).

$$Def = D_0 \exp \left[ \frac{E_a}{R(T_A + 273.15)} \right]$$

Donde R es la constante universal de los gases ( $8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ).

*Def* : Difusividad efectiva ( $\text{m}^2 / \text{s}$ )

*D0* : Factor de Arrhenius ( $\text{m}^2 / \text{s}$ )

*Ea* : Energía de activación ( $\text{kJ} / \text{mol}$ )

*T* : Temperatura ( $^{\circ}\text{K}$ )

Cuando la temperatura del aire tiende a infinito la difusividad se acerca al factor pre-exponencial,  $D_0$ . Por otra parte, la energía de activación,  $E_a$ , se define como la energía mínima por encima de la cual se lleva a cabo la difusión del agua en la partícula (Hii y col., 2009).

#### 2.4 Definición de Términos

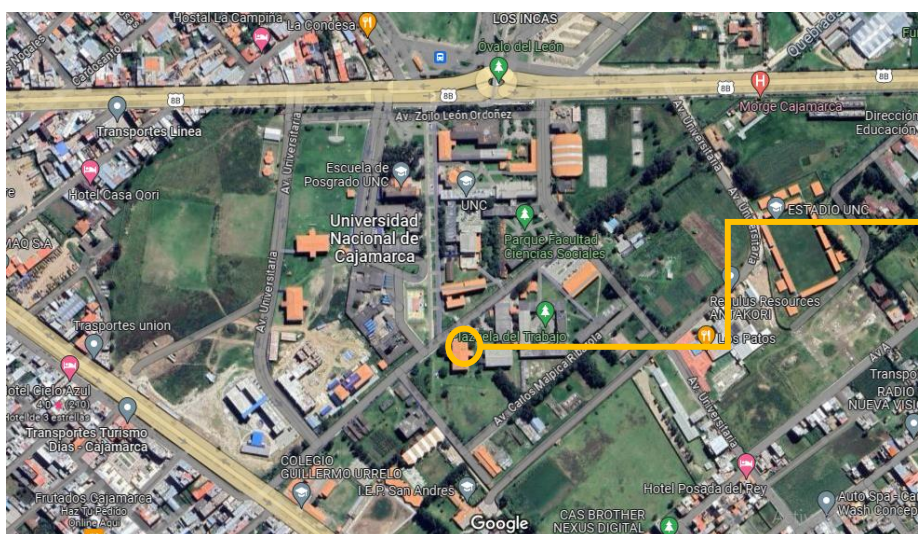
- ✓ **Color.-** Es una cualidad organoléptica de los alimentos y se aprecia por medio del sentido físico de la vista. También se considera un factor psicológico de apreciación y un criterio para elegir un producto alimenticio.
- ✓ **Difusividad.-** Es el coeficiente que expresa la aptitud de un material al paso de vapor de agua, se expresa en permios, donde se define como la cantidad de vapor de agua que se puede transmitir a través de la entidad de superficie de este material de un espesor unitario.
- ✓ **Temperatura.-** Es una medida que se utiliza para hacer referencia a la cantidad de calor que irradia un objeto sólido, líquido, gaseoso o del ambiente. Cuanto mayor es la velocidad de las partículas, mayor es la temperatura y viceversa.
- ✓ **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 de deshidratación de alimentos sólidos, líquidos o en forma de puré. Con esta tecnología los alimentos han sido deshidratados en periodos cortos de tiempo, obteniéndose productos con excelente color y alta retención de micronutrientes.
- ✓ **Velocidad de secado.-** se define como la cantidad de humedad que de un sólido se elimina por unidad de tiempo y área.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Ubicación

Este trabajo de investigación se realizó en el edificio 2H del Laboratorio de Bioingeniería y Fermentaciones Industriales de la Escuela Académica Profesional de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de Cajamarca, situado en la Av. Atahualpa 1050, Km.03 carretera a baños del inca del departamento de Cajamarca, Perú.

Figura 4: Croquis del desarrollo del proyecto de tesis



Laboratorio  
de Industrias  
Alimentarias

Fuente: (Google, s.f.)

#### 3.2 Materiales e insumos

##### 3.2.1 Materia prima

- ❖ Chiclayo (*Cucurbita ficifolia* Bouché)

##### 3.2.2 Equipos de laboratorio

- ❖ Balanza analítica PRECISA modelo LX 220 SCS
- ❖ Baño maría (MEMMERT)
- ❖ Secador Pol-Eko Aparatura (LLA – 1000M) samwin ac-dc adaptor
- ❖ Colorímetro (SADT) COLORIMETER SC50
- ❖ Vernier (CALIPER)
- ❖ Anemómetro (CR2032) 3vol TS Lithium
- ❖ Ventilador
- ❖ Estufa (POL – EKO) APARATURA

### **3.2.3 Materiales**

- ❖ Pinzas de acero inoxidable
- ❖ Bowls de acero inoxidable
- ❖ Moldes de acero inoxidable
- ❖ Bolsa ziploc
- ❖ Bolsas lisas Poliamida/Polietileno (PA/PE)
- ❖ Film Mylar
- ❖ Tabla de picar
- ❖ Mesa de acero inoxidable
- ❖ Licuadora
- ❖ Cuchillo de acero inoxidable

### **3.2.4 Materiales de escritorio**

- ❖ Laptop
- ❖ Papel bond
- ❖ Lapicero y/o lápiz
- ❖ Libreta de apuntes

### **3.2.5 Otros**

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

## **3.3 Metodología**

### **3.3.1 Tipo de investigación**

Esta investigación será de tipo experimental, en el que se indaga la relación de causa y efecto entre dos variables a partir de la manejo de las variables independientes y el efecto sobre las variables dependientes (Arias et al., 2022), siendo examinada de

manera cuantitativa en sus respectivas unidades de estudio.

### 3.3.2 Variables del estudio

#### ❖ Variables independientes

- Temperatura (50°C,60°C,70°C)
- Velocidad de aire (1m/s,2m/s,3m/s)

#### ❖ Variables dependientes

- Difusividad
- Velocidad de secado
- Color (Instrumental)  $L^* a^* b^*$

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

Los factores de este estudio que se analizará son dos y cada uno tiene tres niveles, se mostrara en siguiente tabla.

#### ❖ Temperatura de secado

A1 = 50°C; A2 = 60°C; A3 =70°C

#### ❖ Velocidad de aire

B1 = 1 m/s; B2 = 2m/s; B3 = 3m/s

*Tabla 3: Factores, variables independientes y niveles*

<b>FACTOR</b>	<b>VARIABLES INDEPENDIENTES</b>	<b>NIVELES</b>
A	Temperatura	A1:50°C
		A2:60°C
		A3:70°C
B	Velocidad del aire	B1:1 m/s
		B2:2 m/s
		B3:3 m/s

Fuente: Adaptado de (Andrés 2006)



### 3.3.3 Diseño de la investigación

La investigación que se va a realizar, se halla en el diseño factorial, cuyo procedimiento será realizada de acuerdo a metodologías establecidas.

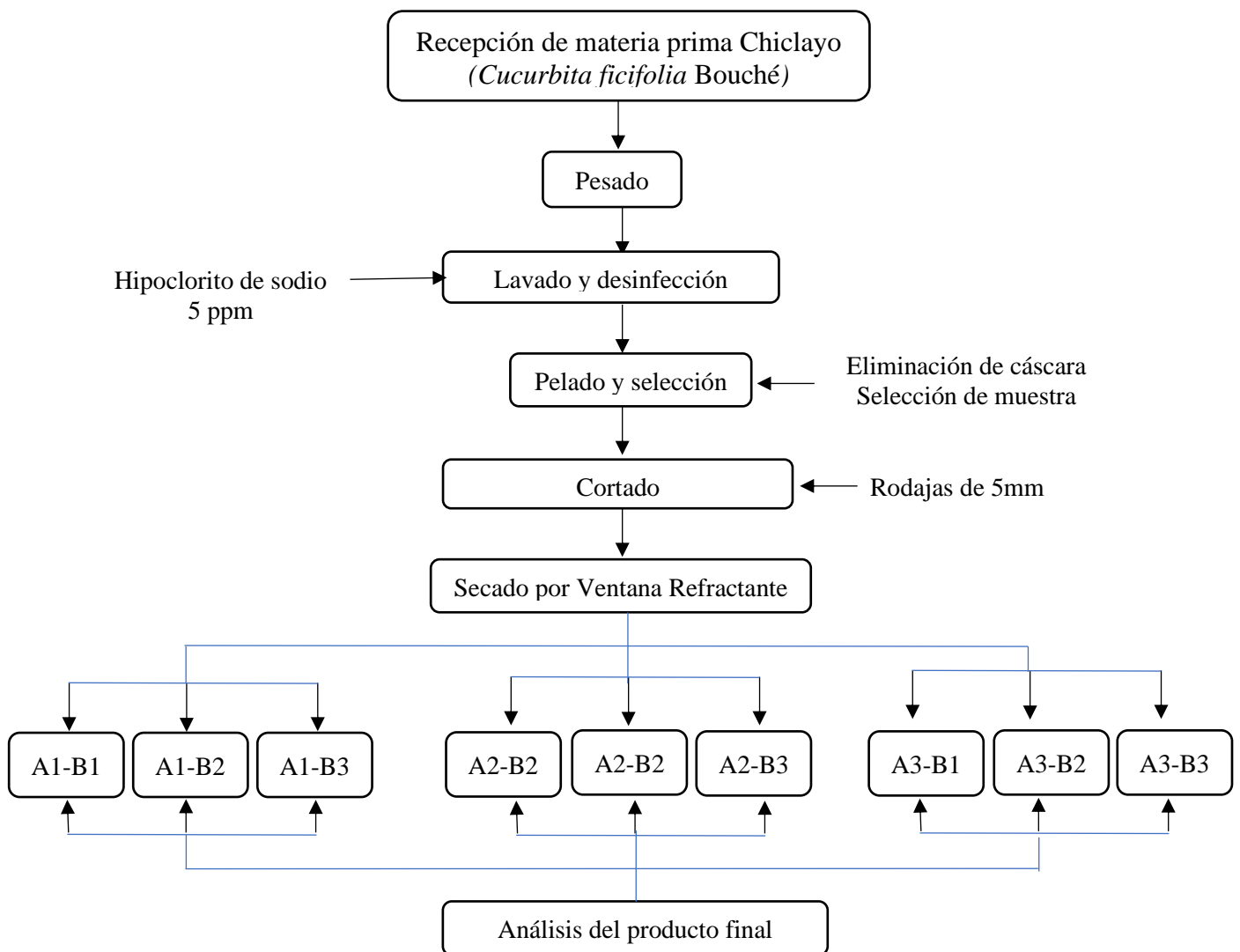
### 3.3.4 Población y muestra

Chiclayo (*Cucurbita ficifolia* Bouché)

### 3.3.5 Diseño experimental, arreglos de los tratamientos

Se tendrá en cuenta la siguiente representación simbólica para la identificación de los procesos necesarios para el proceso de secado por medio de la técnica de Ventana refractante. Se utilizará un diseño factorial completo del tipo  $3^2$ . La figura 5 muestra el diseño seguido en la presente investigación.

Figura 5: Croquis experimental.



Fuente: Adaptado de (Maritza Jacqueline, 2020)

### 3.3.6 Procedimientos

✓ **Recepción de materia prima**

Se utilizó el Chiclayo (*Cucurbita ficifolia* Bouché), obtenidas en estado de maduración comercial. En estado óptimo sin presentar enfermedades propias de su cultivo. El Chiclayo (*Cucurbita ficifolia* Bouché) fue trasladado hasta el laboratorio de Bioingeniería y Fermentaciones Industriales.

✓ **Pesado.**

Se realizó este procedimiento al momento de recibir la materia prima con el fin de estimar costos.

✓ **Lavado y desinfectado.**

En esta etapa se lavó el Chiclayo (*Cucurbita ficifolia* Bouché) con abundante agua para eliminar la tierra e impurezas impregnadas y luego se sumergió en una solución de agua clorada para su desinfección.

✓ **Pelado y selección.**

Se procedió a retirar la carcasa, se seleccionó la pulpa del Chiclayo (*Cucurbita ficifolia* Bouché), eliminando las semillas e impurezas, materias extrañas.

✓ **Cortado**

Esta etapa se utilizó un Vernier del Chiclayo (*Cucurbita ficifolia* Bouché) para tener medir en forma de cuadrado con medidas 2x2 – 5mm espesor y se realizó los cortes con un bisturí buscando que sean uniformes u homogéneas para someterlos al secado todas las muestras con una sola medida.

✓ **Secado por ventana refractante**

El secado del Chiclayo (*Cucurbita ficifolia* Bouché) se llevó a cabo en la ventana refractante adaptado al baño maría, siguiendo la secuencia de temperatura y velocidad de aire ya plasmado en la metodología. Se utilizó tres temperaturas (50°C, 60°C, 70°C) y tres velocidades (1m/s, 2m/s, 3m/s). El plástico utilizado fue lámina mylar (polietileno de tereftalato) de 0,1 mm. Para cada tratamiento se utilizó 3 muestras colocándolas en el secador, para luego tomar datos y determinar la pérdida de peso de las muestras cada 30min, hasta alcanzar peso constante.

✓ **Análisis del producto final**

Este análisis se realizó de la siguiente manera:

- **Recolección de datos de color:** Para obtener estos datos se utilizó la técnica de colorimetría en el sistema Cielab, usando un equipo Konika Minolta. La medición del color del Chiclayo (*Cucurbita ficifolia* Bouché) se realizó antes,

durante y al final del proceso de secado. En el secado por Ventana Refractante tuvimos 9 tratamientos y se preparó 3 muestras por cada tratamiento para la obtención de datos del color sumando un total de 27 muestras.

- **Determinación de Humedad:** Primeramente colocó la muestra de 2cm de diámetro en la placa Petri para luego pesarla en la balanza analítica, se tomó nota del peso para luego ser colocado en la estufa a temperatura de 90°C por 24 horas manteniendo peso constante en la muestra se mantiene cerrada la estufa durante ese tiempo, posteriormente se retiró la muestra y se tomó el peso fina, luego determinar mediante la fórmula y posteriormente para realizar las cinéticas de humedad.

$$\text{Porcentaje de Humedad \%} = \frac{M. Inicial - M. Final}{M. inicial}$$

**M.inicial**=masa inicial de la muestra

**M.final**=masa final de la muestra

- **Determinación de difusividad.** Para la Difusividad se utilizó El origen de la difusión es la agitación térmica. La difusión se activa térmicamente y el coeficiente de difusión se calcula tradicionalmente mediante el uso de la ley de Arrhenius

$$Def = D_0 \exp \left[ \frac{E_a}{R(T_A + 273.15)} \right]$$

Donde R es la constante universal de los gases (8.314 J · mol<sup>-1</sup> · K<sup>-1</sup>).

*Def* : Difusividad efectiva (m<sup>2</sup> / s)

*D0* : Factor de Arrhenius (m<sup>2</sup> / s)

*Ea* : Energía de activación (kJ / mol)

*T* : Temperatura (°K)

Los datos obtenidos con los pesos y tiempos se ingresaron al Excel durante toda la investigación. (Anexo 7, Modelo matemático)

### 6.3.7 Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos

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

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Resultados de las Curvas de secado

#### 4.1.1 Análisis de las curvas de secado

Las variaciones en la curva ocurrirán principalmente en relación con la temperatura y la velocidad del aire. La curva es extremadamente valiosa para comprender el comportamiento inusual asociado con el secado de cada producto único (Cerrón et al., 2019).

Se muestra en la **figura 6** y **figura 7** las curvas de secado del Chiclayo (*Cucurbita ficifolia* Bouché) en base al tiempo y peso respectivamente, con Velocidad de (1m/s) a temperaturas de (50, 60, 70°C), observando las etapas de aceleración y velocidad de secado por ventana refractante, vemos que a mayor temperatura el descenso de la humedad es más rápida de 50 a 70°C, lo cual pudo ser afectado por variaciones externas del proceso. Asimismo los resultados concuerdan con Padilla, et al., (2021), en su tesis muestra que el tiempo de secado aplicado a su producto se redujo cuando la temperatura de secado se incrementó de 100 a 120°C. Se evidencia en las figuras y podemos afirmar que una temperatura de 60°C se logra un menor tiempo de secado.

Figura 6: Curva de secado en base al tiempo de Chiclayo (*Cucurbita ficifolia* Bouché) a Velocidad (1m/s) y Temperaturas de 50 °C, 60°C, 70°C

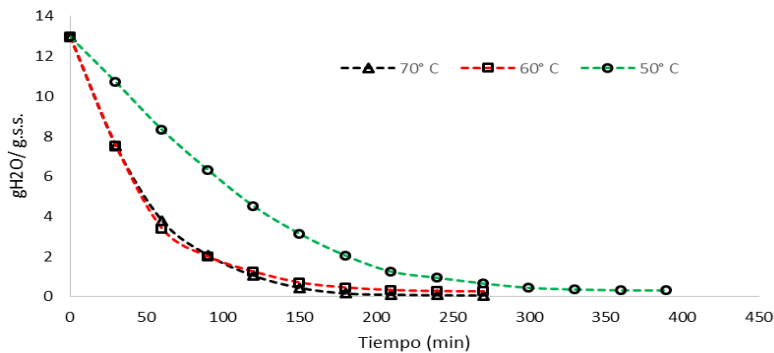
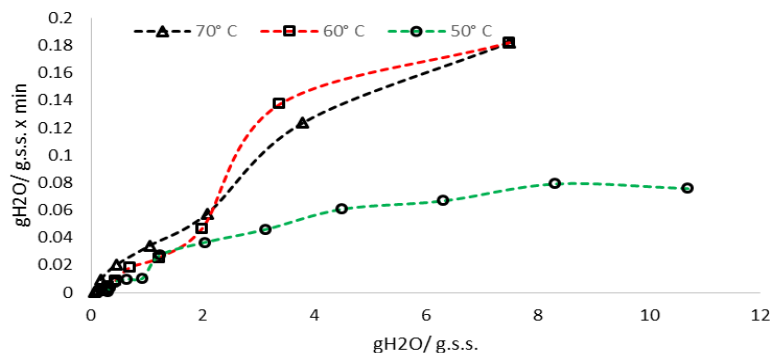


Figura 7: Curva de Velocidad de secado en base al peso seco de Chiclayo (*Cucurbita ficifolia* Bouché) a Velocidad (1m/s) y Temperaturas de 50°C, 60 °C y 70°C



Se observa en las curvas de secado en la **figura 8** y **figura 9** del Chiclayo (*Cucurbita ficifolia* Bouché) a Velocidad (2m/s), para cada temperatura aplicada de (50, 60, 70°C), podemos analizar que la cinética es influenciada por la temperatura, a 50°C el tiempo de secado fueron mayores con comparación con la temperatura de 60 y 70°C. Los resultados concuerdan con Rosero (2018) en datos obtenidos en su investigación muestra lo rangos usados que oscilan entre 40°C y 80°C, donde, demostrando que a 60°C no presentaron cambios significativos en la muestra. También se observa en las figuras las etapas de aceleración y velocidad constante.

Figura 8: Curva de secado en base al tiempo de Chiclayo (*Cucurbita ficifolia* Bouché) a Velocidad (2m/s) y Temperaturas de 50 °C, 60°C, 70°C

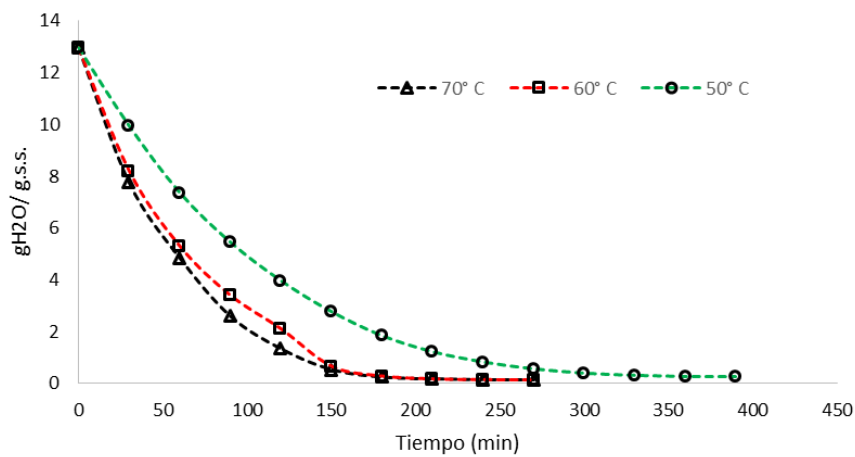
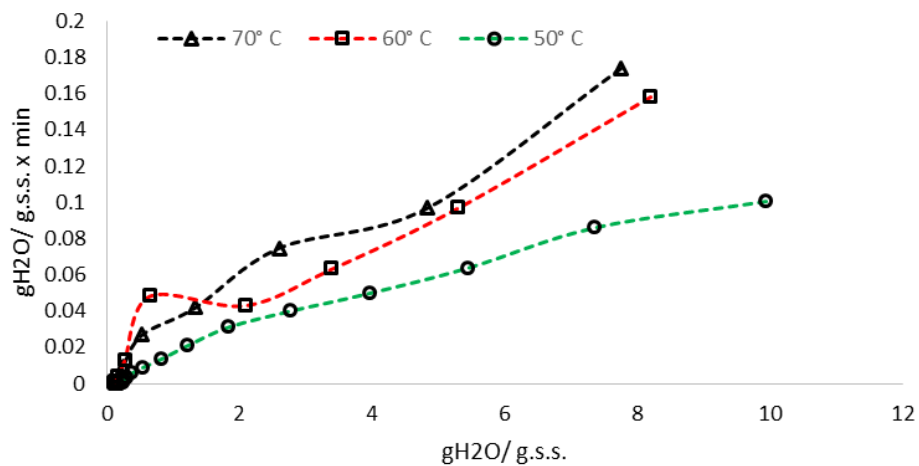


Figura 9: Curva de Velocidad de secado en base al peso seco de Chiclayo (*Cucurbita ficifolia* Bouché) a Velocidad (2m/s) y Temperaturas de 50°C, 60 °C y 70°C



Se observa en las **figura 10** y **figura 11** las curvas de secado del Chiclayo (*Cucurbita ficifolia* Bouché) a Velocidad (3m/s) y temperaturas de (50, 60 y 70°C). También se observa las etapas de aceleración y velocidad de secado por ventana refractante. En los resultados muestra que a mayor temperatura y a mayor velocidad disminuye el tiempo de secado. Según Carranza (2012) en su investigación muestra que al aumentar la temperatura de 40°C a 60°C y a mayor velocidad de 5.08m/s a 9.65m/s disminuye en el tiempo de secado porque al aumentar el flujo de aire circulante aumenta la transferencia de calor y de masa.

Figura 10: Curva de secado en base al tiempo de Chiclayo (*Cucurbita ficifolia* Bouché) a Velocidad (3m/s) y Temperaturas de 50 °C, 60°C, 70°C

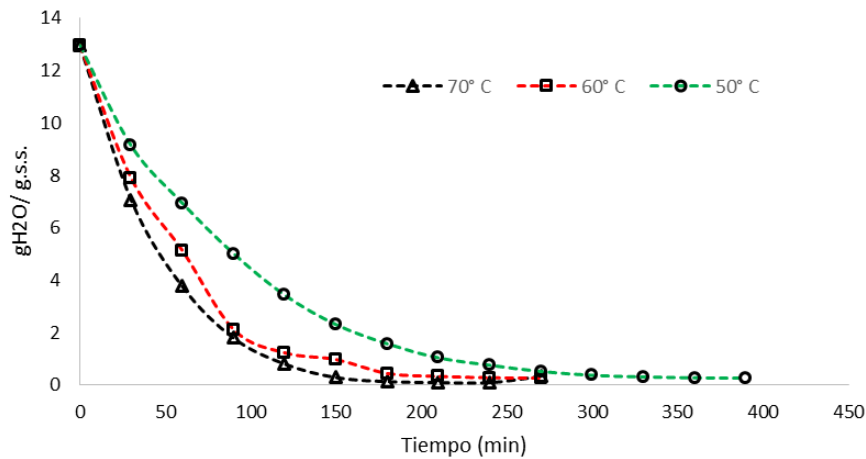
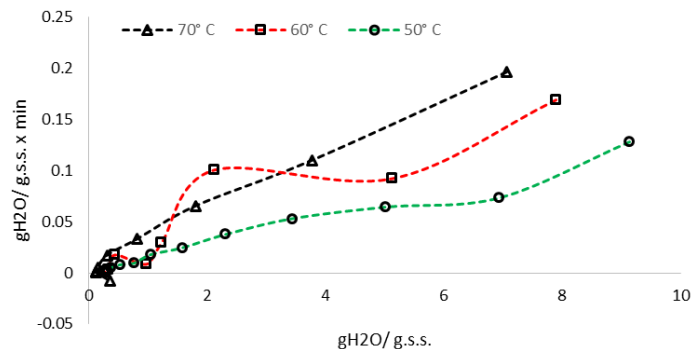


Figura 11: Curva de Velocidad de secado en base al peso seco de Chiclayo (*Cucurbita ficifolia* Bouché) a Velocidad (3 m/s) y Temperaturas de 50°C, 60 °C y 70°C



Se evidencia en todas las curvas de secado que a mayor temperatura y a una velocidad mayor, la reducción de los tiempos de secado son más rápida, en la Figura 11 podemos decir que a una temperatura de 70°C y a una velocidad (3m/s) el tiempo de secado es más rápido, sin embargo en la Figura 06 muestra que a una temperatura de 50°C y una velocidad (1m/s), es más lento el tiempo de secado lo cual nos muestra el efecto que tiene la Temperatura y Velocidad del Aire por ventana refractante en las condiciones físicas. Se corrobora en un estudio la influencia de la temperatura y la velocidad de aire sobre el proceso de secado. Según (Torregroza. E. et. at., 2014). Al aumentar la temperatura y la velocidad del aire se disminuye significativamente el tiempo de secado. Según Peralta (2016) ratifica en su investigación que a mayor temperatura (95°C) y mayor tiempo (140 min), disminuyeron drásticamente en todas la temperaturas y tiempos en el proceso de secado. A su vez (Diamante y Munro 1991,1993; Singh et al. 2006; Doymaz 2010; Singh y Pandey 2012; Dos Santos et al. 2012). Muestra resultados de acortamientos considerables en el tiempo de secado en comparación a otros métodos de secado tales como el solar y el aire caliente, los cuales acarrear tiempos largos de proceso.

## **4.2 Difusividad**

### **4.2.1 Efectos de la Difusividad**

La difusividad térmica indica la rapidez con la que el calor se propaga a través de un alimento durante el calentamiento o enfriamiento (S. Rahman & Al-Saidi, 2009) y es el resultado del ratio entre la conductividad térmica, densidad y calor específico (Erdogdu, 2008).

En la **Tabla 4** vemos que en el análisis de varianza la Difusividad se ve influenciada significativamente por la temperatura ya que se obtuvieron valores ( $p < 0,05$ ) donde ( $p=0.0190$ ), mientras la interaccionar de la temperatura con la velocidad de aire no logra influir significativamente ( $p > 0,05$ ) con valores de ( $p= 0.6016$ ), igualmente la velocidad de aire no tiene efecto significativo sobre la Difusividad. Según (Lin Law et. al. 2016) indica que las Difusividad aumenta con la temperatura, esto debido a que a altas temperaturas de secado proporciona un alto flujo de energía externa.

Tabla 4: Análisis de Varianza (ANOVA) para Difusividad

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Velocidad de aire	0.00000283085	1	0.00000283085	0.25	<b>0.6530</b>
B:Temperatura	0.000245293	1	0.000245293	21.44	<b>0.0190</b>
AA	4.32295E-7	1	4.32295E-7	0.04	0.8583
AB	0.00000386929	1	0.00000386929	0.34	<b>0.6016</b>
BB	0.00000400775	1	0.00000400775	0.35	0.5955
Error total	0.0000343147	3	0.0000114382		
Total (corr.)	0.000290748	8			

De la misma manera en la **Figura 12** se muestra los efectos estandarizados, donde podemos observar que la temperatura es el factor que tiene mayor efecto significativo de tipo positivo con respecto a la Difusividad. Mientras que la velocidad de aire no tiene efecto significativo, seguido por la interacción de la temperatura y la velocidad de aire tiene efecto inverso con la Difusividad. Según (Kaya et al., 2009) observa que al aumento de la temperatura de secado se obtiene valores de difusividad mayores. **La Figura 13**, muestra los efectos individuales donde conforme aumenta la temperatura, aumenta la Difusividad de manera proporcional y debido a que la muestra se deshidrata la difusividad tiende a disminuir. Este efecto mencionado por (OchoaMartínez et al., 2012), puede explicarse por el hecho de que aunque la porosidad aumenta a medida que se elimina el agua de la muestra, la porción se encoge y en consecuencia, es más difícil que el agua se difunda, asimismo se observa que con la velocidad de aire, la Difusividad no es significativa de acuerdo a la norma.

Figura 12: Pareto estandarizado para Difusividad

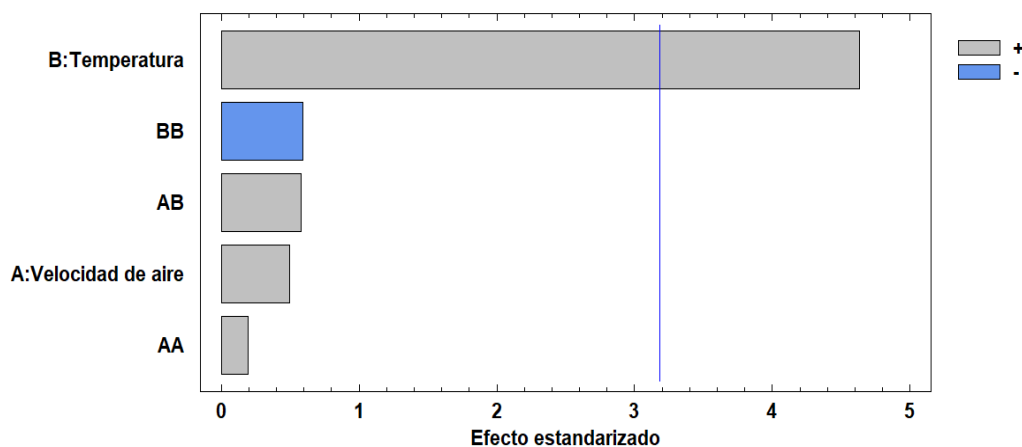
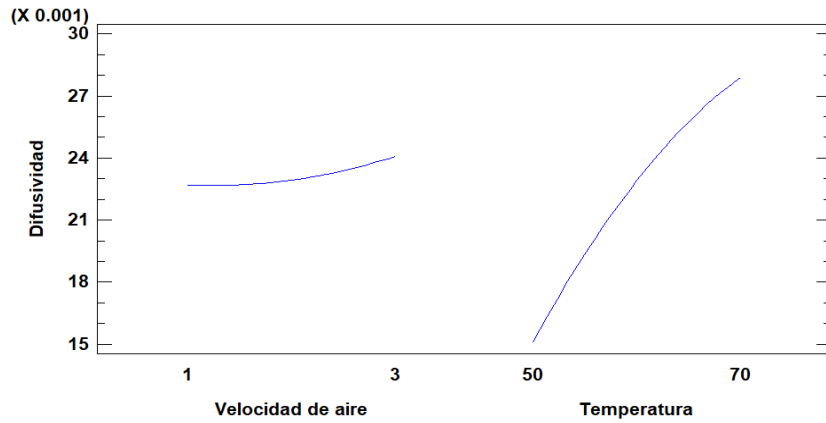




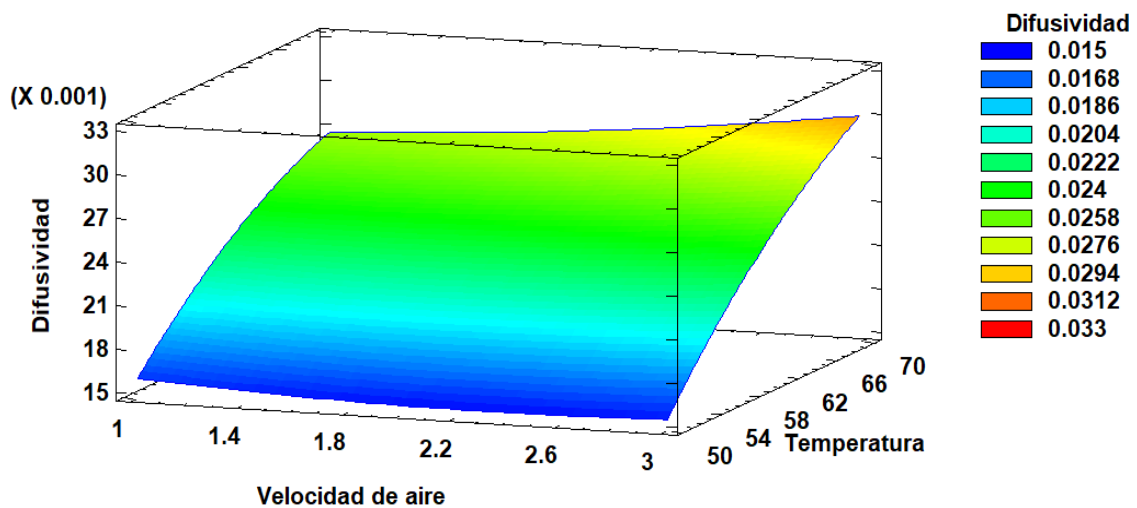
Figura 13: Efectos individuales en la Difusividad



Además en la **figura 14**, se muestra la superficie de respuesta considerando en el cálculo de los efectos de la temperatura y velocidad de aires sobre la difusividad de las muestras tratadas, donde la ecuación que lo representa es:

$$\text{Difusividad} = -0.0541098 - 0.00707393 * \text{Velocidad de aire} + 0.00214139 * \text{Temperatura} + 0.000464917 * \text{Velocidad de aire}^2 + 0.0000983525 * \text{Velocidad de aire} * \text{Temperatura} - 0.0000141558 * \text{Temperatura}^2$$

Figura 14: Superficie de respuesta para Difusividad



### 4.3 Resultados de Velocidad de secado

Se entiende por velocidad de secado a los puntos de humedad que se extraen en una unidad de tiempo bajo condiciones constantes.

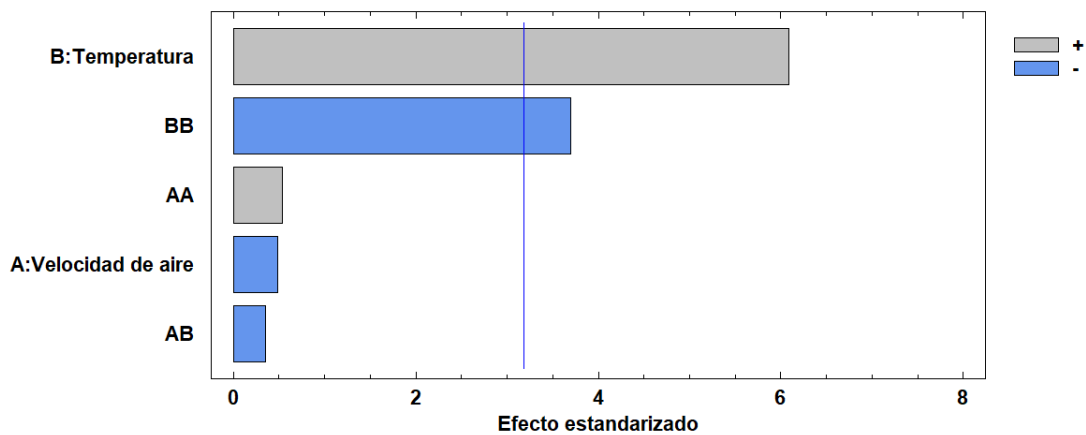
Los resultados de análisis de varianza que nos muestra en la **Tabla 5**, son los factores principales (Temperatura y Velocidad de Aire), que en la temperatura se obtuvieron valores ( $P < 0.05$ ), donde ( $p=0.0089$ ) por consiguiente la temperatura tiene efecto significativo directamente proporcional con respecto a la velocidad de secado, mientras que la velocidad de aire no tiene efecto significativo ya que se obtuvo un valor de ( $P=0.6621$ ). Asimismo, según Torregrosa, A. (2013) estudio de secado en yuca a la temperatura de  $70^{\circ}\text{C}$  y velocidad  $1\text{ m/s}$ , se genera una velocidad de  $0,0124865\text{ Kg H}_2\text{O/Kg m.seca.min}$ , que resulta significativamente superior a la velocidad de secado alcanzada a una temperatura de  $45^{\circ}\text{C}$  a la misma velocidad que es de  $0,0059418\text{ Kg H}_2\text{O/Kg m.seca.min}$ . Según Salamanca et al., (2009). Afirman que mediante un incremento térmico en la técnica de ventana refractante aumenta la velocidad de secado.

*Tabla 5: Análisis de Varianza (ANOVA) para Velocidad de secado*

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:Velocidad de aire	3.75E-7	1	3.75E-7	0.23	<b>0.6621</b>
B:Temperatura	0.000059535	1	0.000059535	37.04	<b>0.0089</b>
AA	4.67222E-7	1	4.67222E-7	0.29	0.6272
AB	2.025E-7	1	2.025E-7	0.13	<b>0.7461</b>
BB	0.0000220006	1	0.0000220006	13.69	0.0343
Error total	0.00000482194	3	0.00000160731		
Total (corr.)	0.0000874022	8			

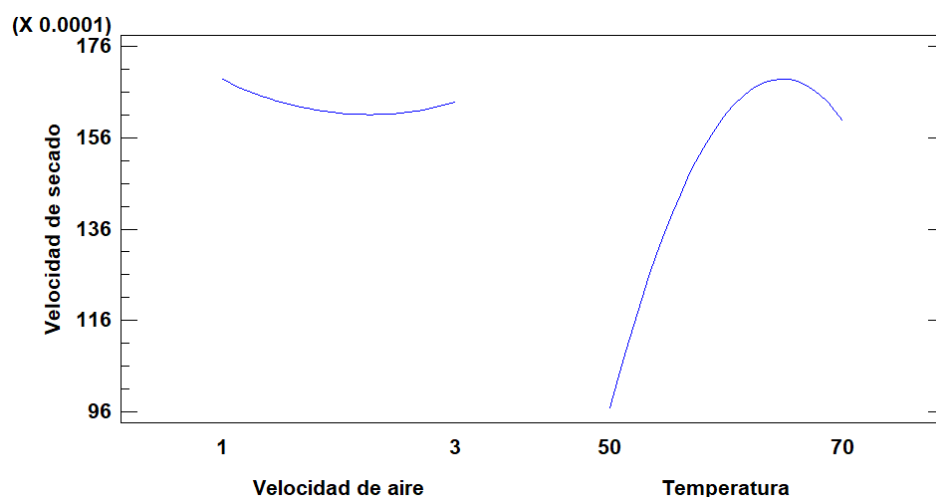
De igual manera en la **Figura 15**, se representa los efectos estandarizados a un nivel de ( $P < 0.05$ ). En la, podemos contemplar que la temperatura sobrepasa la línea azul, esto indica que es el factor que tiene mayor efecto significativo de tipo positivo con respecto a la velocidad de secado, de la misma manera Doymaz, (2009). Indica que al elevar la temperatura aumentar la velocidad de secado la cual es significativa. Mientras que la velocidad de aire no tiene efecto significativo. Así mismo la interacción de la temperatura y la velocidad de aire tienen efecto inverso con la velocidad de secado.

Figura 15: Pareto estandarizado para la Velocidad de Secado



Además en la **Figura 16**, Se observa los efectos individuales de la velocidad de aire y la temperatura la cual nos muestra que conforme aumenta la temperatura aumenta la velocidad de secado, en cambio con la velocidad de aire podemos observar una leve disminución de la velocidad de secado esto indica que no es significativa. De forma similar (Zhu y Jiang 2014) menciona en los resultados obtenidos en VR que a medida que la temperatura del proceso aumenta, la velocidad de secado también lo hace esto se debe a que cuando el gradiente de temperatura entre el medio calefactor (agua caliente) y las láminas es mayor, las velocidades de transferencia de humedad y calor en el proceso se elevan, acortando los tiempos de secado.

Figura 16: Efectos individuales en la Velocidad de Secado

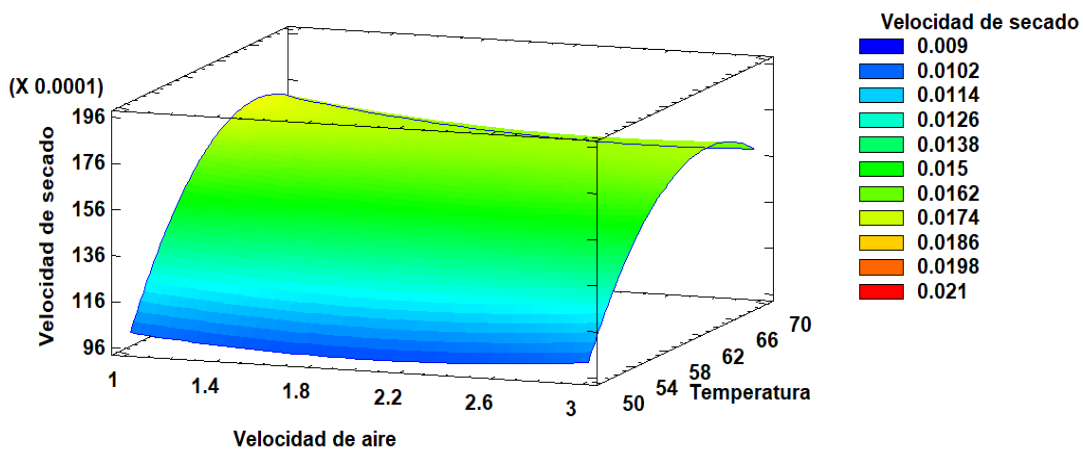


En la **figura 17**, se muestra la superficie de respuesta considerado en el cálculo de los efectos de la temperatura y velocidad de aires sobre la Velocidad de Secado de las muestras tratadas. La ecuación que lo representa es:

### Modelo Matemático

$$\text{Velocidad de secado} = -0.122422 - 0.000833333 \cdot \text{Velocidad de aire} + 0.00434 \cdot \text{Temperatura} + 0.000483333 \cdot \text{Velocidad de aire}^2 - 0.0000225 \cdot \text{Velocidad de aire} \cdot \text{Temperatura} - 0.0000331667 \cdot \text{Temperatura}^2$$

*Figura 17: Superficie de respuesta para Velocidad de Secado*



## 4.4 Resultados de los parámetros de sistema de color (CIELAB)

Para medir el color en los alimentos se ha demostrado que la inspección visual es inadecuada por ser subjetiva. Utilizando métodos basados en la reflectancia o transmisión de la luz se obtienen medidas físicas y rápidas que pueden ser relacionadas con propiedades químicas o la percepción visual de atributos. Por tanto el análisis del color reflejado (Espacio CIELAB) es uno de los sistemas más utilizado para la evaluación del color en los alimentos, (Pau, 2016). Además se debe tener en cuenta que si bien la caracterización del color se logra mediante las coordenadas de  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ , Donde  $L^*$  corresponde a la coordenada de luminosidad,  $a^*$  (+rojos,-verdes) y  $b^*$  (+amarillo,-azul).

### 4.4.1 Análisis Para $L^*$

Sistema de medición de Hunter. Las medición de color en la industria alimentaria se realizan frecuentemente por el sistema Hunter ( $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ), donde  $L^*$  es una medida de brillo/blancura que varía de 0 a 100 (negro si  $L^* = 0$ ; blanco si  $L^* = 100$ ) (Segura et al., 2017).

Se puede observar en la **Tabla 6**, los factores principales (Temperatura y Velocidad de Aire), se obtuvieron valores mayores a ( $P > 0.05$ ) por consiguiente la temperatura y velocidad de aire no tiene efecto significativo con respecto a  $L^*$ , sin embargo la velocidad de aire tiene más efecto sobre  $L^*$  con una valor de ( $p=0.507$ ) y la temperatura con una valor de ( $p=0.9889$ ). Siendo así (Alibas & Köksal, 2014) muestran que dependiendo del método de secado y de la composición inicial del producto, los valores de colores pueden o no variar en múltiples rangos.

*Tabla 6: Análisis de Varianza para (ANOVA) para  $L^*$*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Velocidad de aire	11.3163	1	11.3163	0.47	<b>0.5407</b>
B:Temperatura	0.0054	1	0.0054	0.00	<b>0.9889</b>
AA	8.68056	1	8.68056	0.36	0.5891
AB	0.4761	1	0.4761	0.02	<b>0.8967</b>
BB	78.2084	1	78.2084	3.27	0.1681
Error total	71.6587	3	23.8862		
Total (corr.)	170.345	8			

Agregado a lo anterior al graficar, se representa los efectos estandarizados a un nivel de ( $P > 0.05$ ). En la **Figura 18**, podemos contemplar que ni la temperatura, ni la velocidad de aire sobrepasa la línea azul, esto indica que no tienen efecto significativo con respecto a la velocidad de secado. La **Figura 19**, podremos decir que la velocidad de aire aumenta, tiene más efecto sobre  $L^*$ , pero no encuentra una representación matemática.

*Figura 18: Pareto estandarizado para  $L^*$*

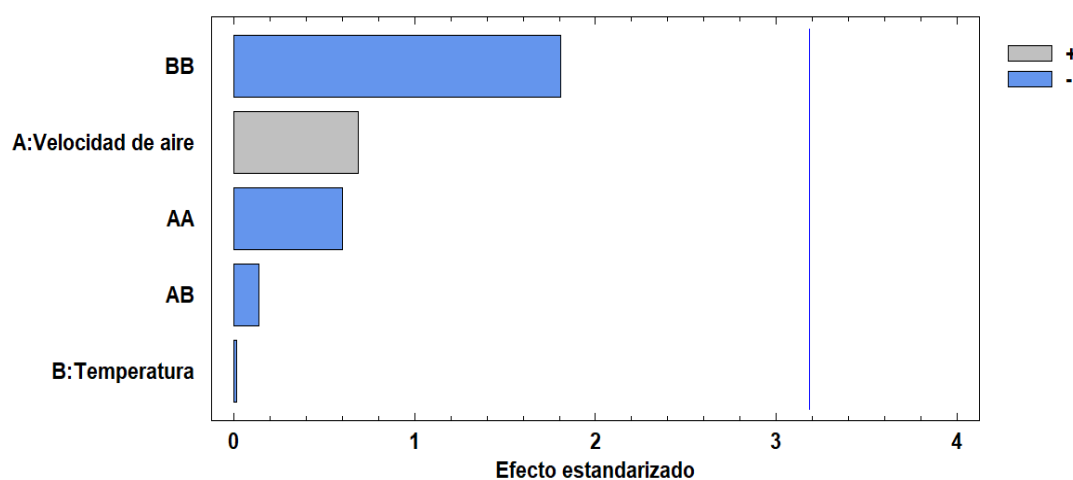
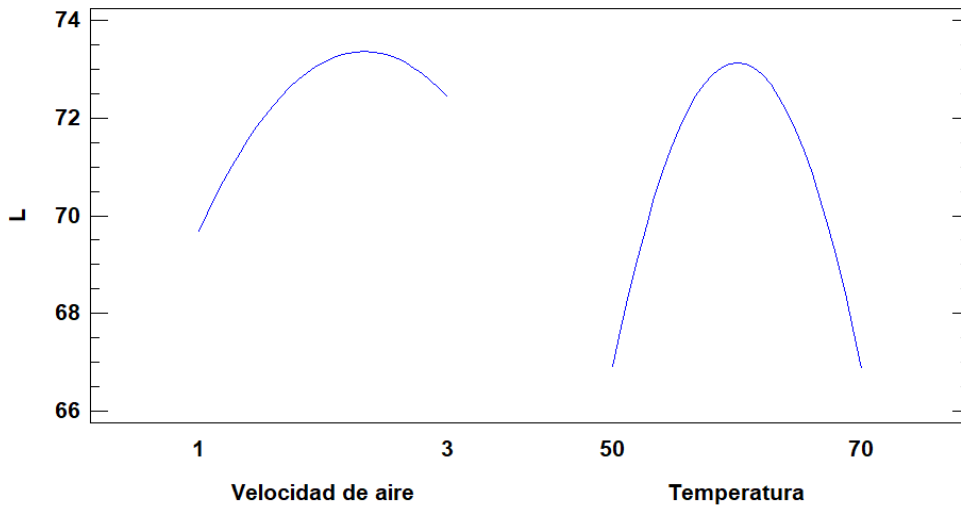


Figura 19: Efectos individuales para L\*

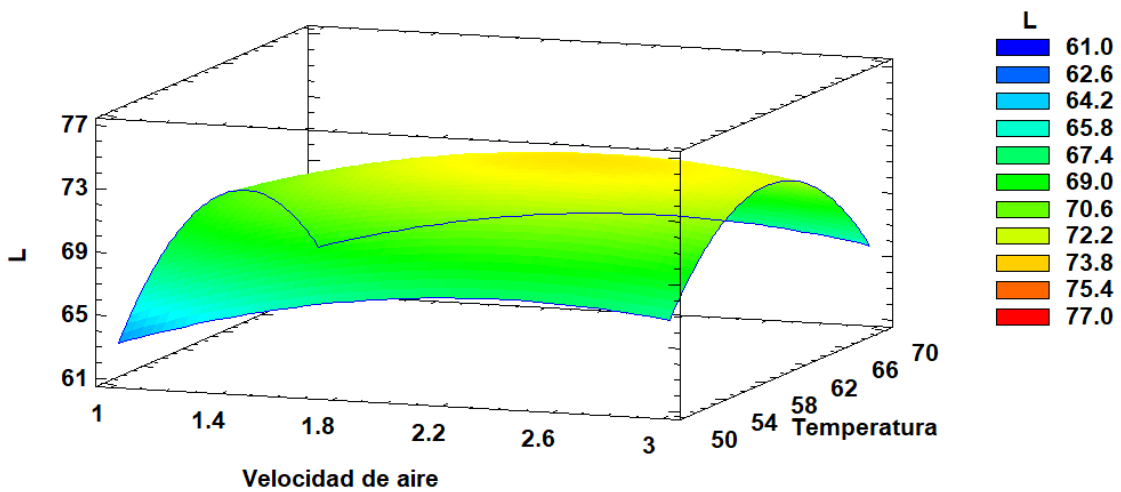


En la **figura 20**, se muestra la superficie de respuesta considerado en el cálculo de los efectos de la temperatura y velocidad de aires sobre L\*.

**Modelo Matemático**

$$L = -167.018 + 11.7767 * \text{Velocidad de aire} + 7.57 * \text{Temperatura} - 2.08333 * \text{Velocidad de aire}^2 - 0.0345 * \text{Velocidad de aire} * \text{Temperatura} - 0.0625333 * \text{Temperatura}^2$$

Figura 20: Superficie de respuesta para L\*



#### 4.5 Análisis Para $a^*$

Para  $a^*$  es un indicador de colores verde y rojo (que tanto es verde y que tanto es rojo) que varía de  $-a^*$  y  $+a^*$  ( $-a^*$  = verde,  $+a^*$  = rojo).

En la **Tabla 7** se muestra el análisis de varianza de la superficie respuesta del parámetro  $a^*$ , y se puede observar que, no existe un efecto significativo en el parámetro  $a^*$  ( $p > 0,05$ ).

*Tabla 7: Análisis de Varianza (ANOVA) para  $a^*$*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Velocidad de aire	5.80167	1	5.80167	0.22	<b>0.6740</b>
B:Temperatura	1.28807	1	1.28807	0.05	<b>0.8408</b>
AA	13.5547	1	13.5547	0.50	0.5290
AB	1.05062	1	1.05062	0.04	<b>0.8560</b>
BB	0.0470222	1	0.0470222	0.00	0.9693
Error total	80.6948	3	26.8983		
Total (corr.)	102.437	8			

Los resultados generales obtenidos de parámetro  $a^*$  se representa en la **figura 21**. Dan a notar los efectos estandarizados a un nivel de  $a^*$  mayores de ( $p > 0,05$ ), donde se puede observar que ni la temperatura con ( $p=0.8408$ ), ni la velocidad de aire con valor de ( $p=0.6740$ ) tienen efecto significativo con respecto al parámetro  $a^*$ , .La **Figura 22**, podremos observar si bien la velocidad de aire aumenta no es significativa, pero tiene más efecto sobre  $a^*$ , no encuentra una representación matemática. Asimismo, (Hernández Salueña et al., 2019) menciona que la evolución del color representa rutas de color características y específicas en el espacio de color CIELAB.

*Figura 21: Pareto estandarizado para  $a^*$*

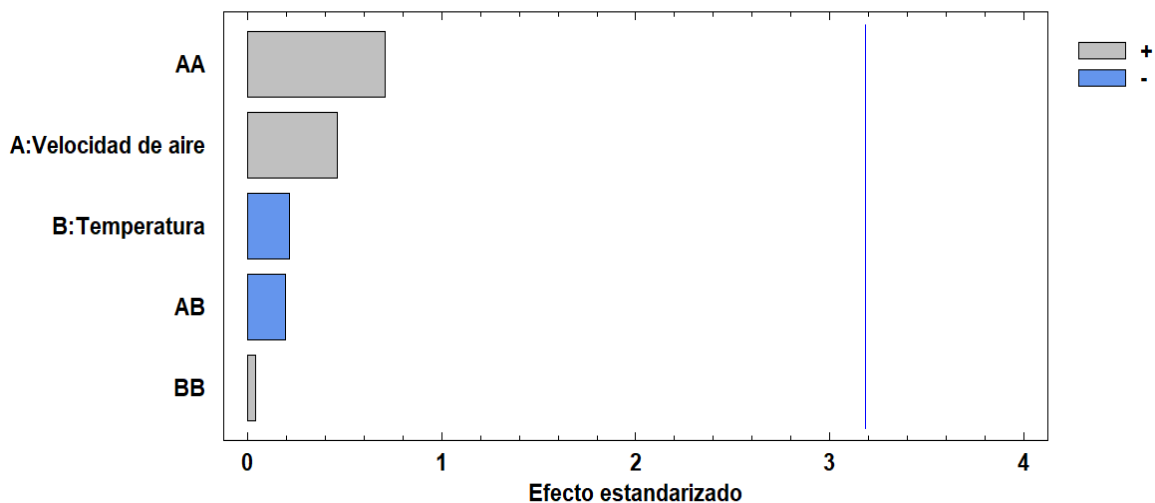
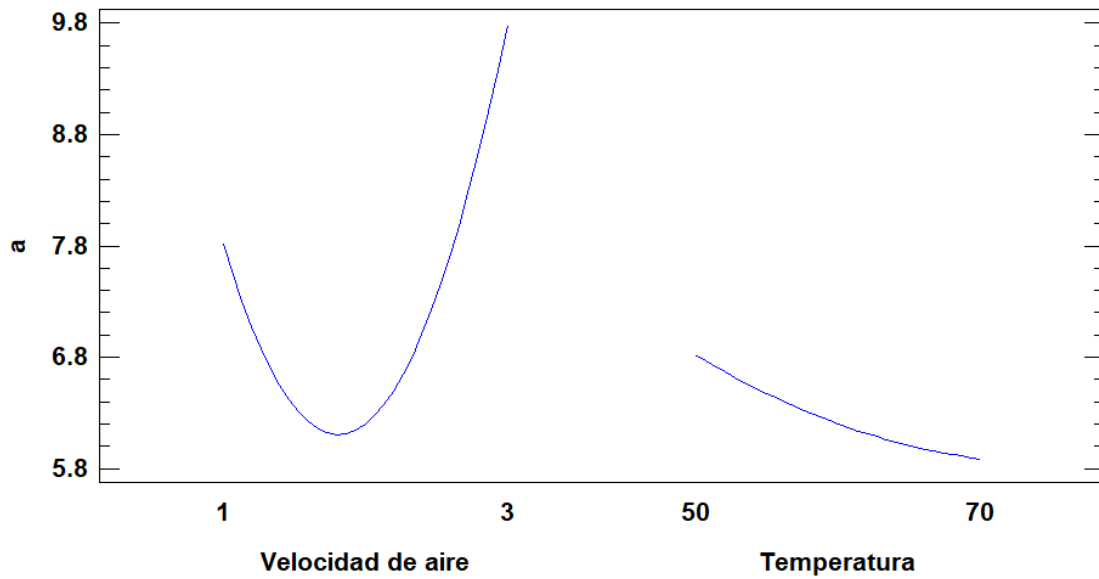


Figura 22: Efectos individuales para  $a^*$

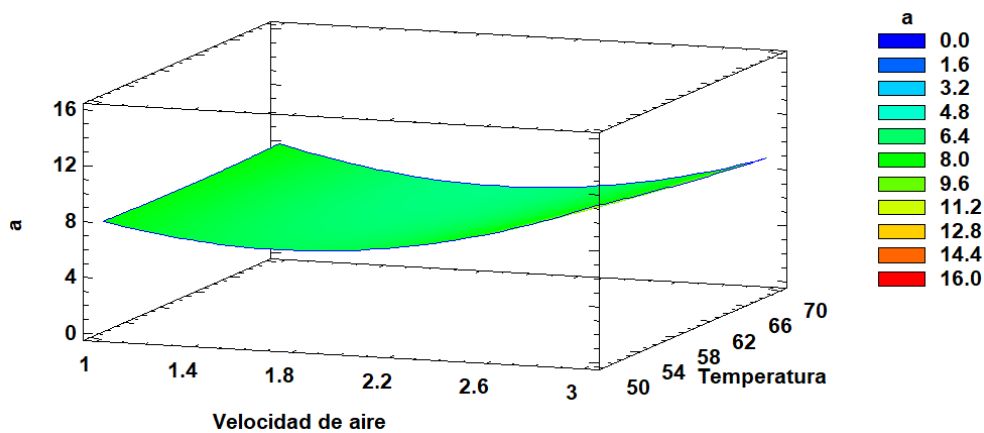


Así mismo al obtener el grafico de superficie de respuesta como se muestra en la **figura 23**, se considerado el cálculo de los efectos de la temperatura y velocidad de aires sobre  $a^*$ . La ecuación que lo representa es:

**Modelo Matemático**

$$a = 16.7944 - 6.355 \cdot \text{Velocidad de aire} - 0.127833 \cdot \text{Temperatura} + 2.60333 \cdot \text{Velocidad de aire}^2 - 0.05125 \cdot \text{Velocidad de aire} \cdot \text{Temperatura} + 0.00153333 \cdot \text{Temperatura}^2$$

Figura 23: Superficie de respuesta para  $a^*$





#### 4.6 Análisis Para $b^*$

Para  $b^*$  es un indicador de colores de azul al amarillo que varía de  $-b^*$  y  $+b^*$  ( $-b^*$  = azul,  $+b^*$  = amarillo)

En la **Tabla 8**, se muestra el análisis de varianza de la superficie respuesta del parámetro  $b^*$ , y se puede observar que no existe un efecto significativo ( $p > 0,05$ ), del término lineal de velocidad de aire con ( $p=0.4997$ ) y temperatura con ( $p=07901$ ), lo que indica que, el modelo no se ajusta a los datos del parámetro  $b^*$ .

*Tabla 8: Análisis de Varianza (ANOVA) para  $b^*$*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Velocidad de aire	63.5702	1	63.5702	0.59	<b>0.4997</b>
B:Temperatura	9.17607	1	9.17607	0.08	<b>0.7901</b>
AA	57.0668	1	57.0668	0.53	0.5207
AB	11.6964	1	11.6964	0.11	<b>0.7642</b>
BB	30.1606	1	30.1606	0.28	0.6345
Error total	325.468	3	108.489		
Total (corr.)	497.138	8			

Los resultados obtenidos de parámetro  $b^*$  se representa en la **figura 24**. Se logra observar los efectos estandarizados a un nivel mayor de ( $p > 0,05$ ), donde se puede deducir que ni la temperatura, ni la velocidad de aire tienen efecto significativo con respecto al parámetro  $b^*$ , .La **Figura 25**, podremos observar que la velocidad de aire aumenta pero no es significativa, aun así tiene más efecto que la temperatura sobre  $b^*$ , donde no encuentra una representación matemática.

*Figura 24: Pareto estandarizado para  $b^*$*

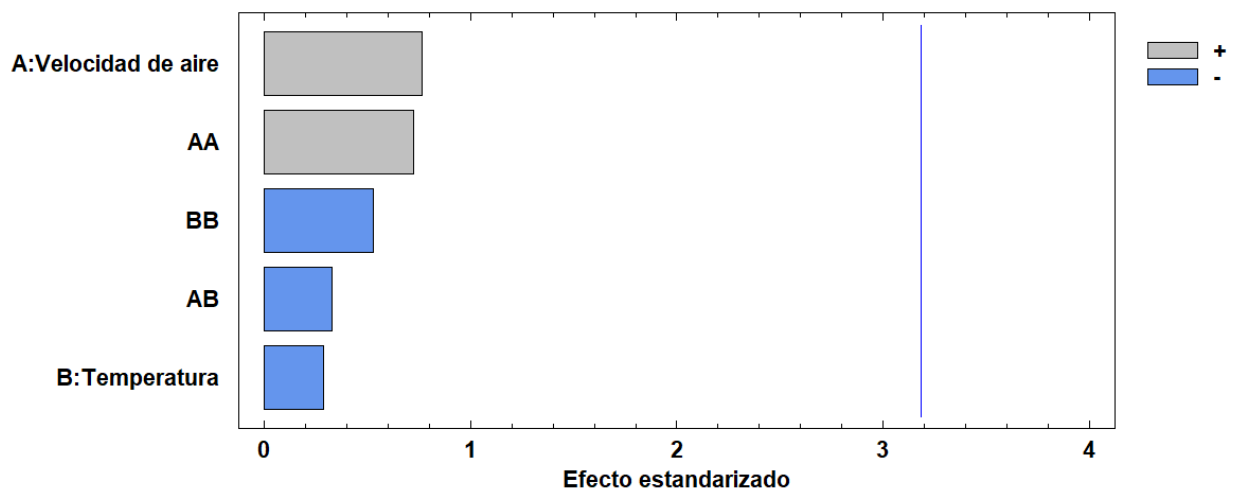
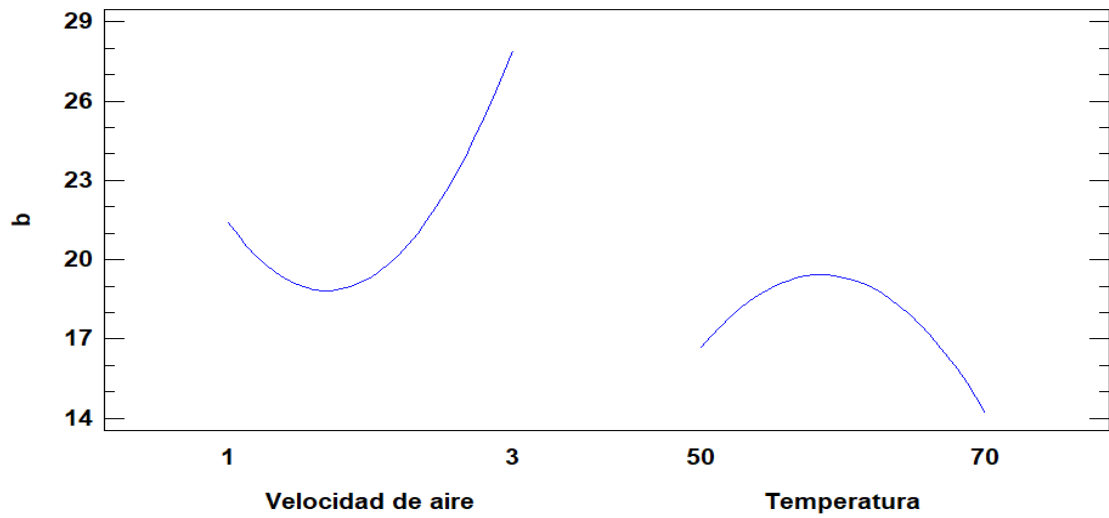


Figura 25: Efectos individuales para  $b^*$

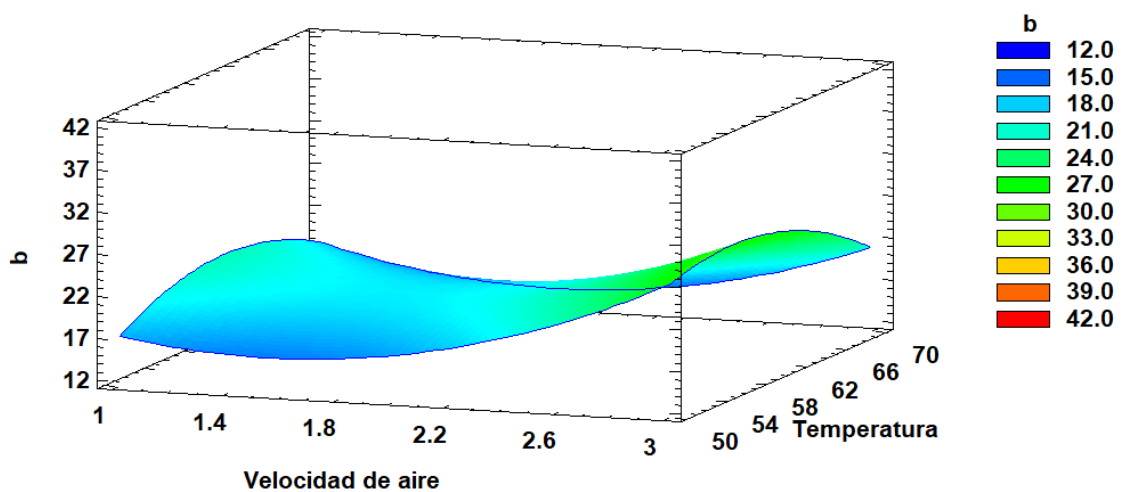


De igual manera al obtener el grafico de superficie de respuesta como se muestra en la **figura 26**, se considerado el cálculo de los efectos de la temperatura y velocidad de aires sobre  $b^*$ . La ecuación que lo representa es:

### Modelo Matemático

$$b = -118.721 - 7.85167 * \text{Velocidad de aire} + 4.87833 * \text{Temperatura} + 5.34167 * \text{Velocidad de aire}^2 - 0.171 * \text{Velocidad de aire} * \text{Temperatura} - 0.0388333 * \text{Temperatura}^2$$

Figura 26: Superficie de respuesta para  $b^*$



El análisis de color (Espacio CIELAB) que las coordenadas de  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ , en los datos obtenidos se logra observar que los efectos estandarizados ésta a un nivel de ( $p>0,05$ ), deduciendo que ni la temperatura, ni la velocidad de aire tienen efecto significativo en cuanto al color, a su vez se observa que hay una ligera variación por la velocidad de aire pero no es significativa. Los valores del parámetro  $L^*$  está en (0.541 – 0.9889), mientras que el parámetro  $a^*$  lo hizo en (0.674 – 0.8408) y el parámetro  $b^*$  en (0.499 – 0.7901). La cual muestra que no tiene efecto significativo. Con esto se puede obtener las ecuaciones que permite optimizar las características de la tecnología del secado en cuanto al color, así como menciona Vuarant (2014), de modo que se pueda alcanzar las mejores condiciones de un alimento deshidratado ya que esto es fundamental para la optimización de la operación de deshidratación. Así mismo (Ferreira et al., 2000) corrobora que los estudios sobre los parámetros de color son muy importantes, ya que el primer contacto del consumidor con un producto es por medio de una presentación visual, donde el color y la apariencia resaltan.

## V. CONCLUSIONES

Al término de la investigación mediante las consideraciones del estudio demostrado empíricamente se concluye:

- Se determinó que la temperatura (50°C, 60°C y 70°C) de secado por Ventana Refractante de Chiclayo (*Cucurbita ficifolia* Bouché), influye significativamente en los parámetros de la Difusividad ( $p < 0,05$ ) con valores de ( $p=0.0190$ ) nos muestra que a mayor temperatura, mayor energía cinética de las moléculas por lo que aumentará la probabilidad de que las colisiones sean productivas y aumente la velocidad de difusión, en la Velocidad de secado ( $p < 0,05$ ) con valores de ( $P=0.0089$ ) podemos decir que al aumentar el flujo de aire, aumenta la tasa de secado y disminuyen las irregularidades de humedad y temperatura en la capa del producto. En cuanto al parámetro del color no tuvo efecto significativo por la temperatura ya que a temperaturas más altas son las del azul y otros colores más fríos la cual no altera el color del producto. A su vez se demostró en la cinética de secado que a mayor temperatura disminuye el tiempo de secado.
- Se logró determinar en los datos obtenidos que la velocidad de aire (1m/s, 2m/s, 3m/s), de secado por Ventana de Refractante de Chiclayo (*Cucurbita ficifolia* Bouché) no tiene efecto significativo en las variables de Difusividad, Velocidad de secado y tampoco en cuanto al color en las coordenadas ( $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ), ya que ésta a un nivel de ( $p > 0,05$ ) la cual ninguna tiene efecto significativo, pero podemos decir con los datos obtenidos que a mayor velocidad de aire es más rápido el secado de las muestras.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Evaluar el estado de madurez del producto y del lugar donde proviene el alimento.
- Evaluar el efecto de la temperatura sobre el encogimiento y la porosidad de las láminas de la Curcubita.
- Se recomienda para futuras investigaciones realizar una comparación con otras técnicas de secado para ver el comportamiento y poder deducir cual es la técnica de secado que mantiene la estructura del producto.
- Evaluar los valores nutricionales del producto en el proceso de secado por ventana refractante.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abonyi, J., & Edwards, C. (1999). *Evaluación de la eficiencia energética y la conservación de la calidad para el refractance ventana del sistema de secado TM*. Pullman, Washington DC: U S. Washington State University.
- Abonyi, B., Tang, J., and Edwards, C.G.(1999) Evaluation of energy efficiency and quality retention for the Refractance Window™ drying system. Research Report, Washington State University, Pullman WA. Department of Biological Systems Engineering, Department of Food Science and Human Nutrition.
- Abonyi, B., Feng, H., Tang, J., Edwards, C., Chew, B., Mattinson, D., & Fellman, J. (2001). Quality Retention in Strawberry and Carrot Purees Dried with Refractance Window™ System. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb09452.x>
- Adriana. R., (2006). Efecto de la velocidad del aire y la temperatura sobre la textura y el color de dos tipos de fruta deshidratadas en un túnel con aire caliente. Universidad de La Salle, Bogotá.
- Antonio-Estrada, C., Sánchez-Hernández, M. A., & Alcántar-Vázquez, J. P. (2018). Caracterización parcial del chilacayote (*Cucurbita ficifolia* Bouché), como alternativa de uso industrial para la región Cañada de Oaxaca. *Temas de Ciencia y Tecnología*, 22(66), 3-12.
- A. M. Torregroza-Espinosa, Ing. Agroindustrial en el año 2008 de la Universidad de Sucre, Colombia; MSc. en Ciencias Agroalimentarias en el año 2013 de la Universidad de Córdoba, Colombia. Docente de la Universidad de Sucre, Programa Ingeniería Agroindustrial.
- Cohen, M. N. (1977). Population pressure and the origins of agriculture: an archaeological example from the coast of Peru. In: C. A. Reed (ed.). *Origins of agriculture*. Mouton, The Hague. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20113341079>.
- Contreras Monzón, C. I. (2006, marzo 10). *Influencia del método de secado en parámetros de calidad relacionados con la estructura y el color de manzana y fresa deshidratadas*. <https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/1932>.
- de Lima, M. M., Tribuzi, G., de Souza, J. A. R., de Souza, I. G., Laurindo, J. B., & Carciofi, B. A. M. (2016). Vacuum impregnation and drying of calcium-fortified pineapple snacks. *{LWT} - Food Science and Technology*, 72, 501–509. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2016.05.016>

- Pau Talens, O. (2016, setiembre 09). Evaluación del color y tolerancia de color en alimentos a través del espacio CIELAB - *Universitat Politècnica de València*  
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/83392/talens%20-%20evaluaci%C3%B3n%20del%20color%20y%20tolerancia%20de%20color%20en%20alimentos%20a%20trav%C3%A9s%20del%20espacio%20cielab.pdf?squence=1>
- Cronquist, A. (1981). “An integrated system of classification of flowering plants”. Columbia University Press, Nueva York.
- Cerron Inga, S. A., & Junchaya Verastegui, J. A. (2019). Influencia de la temperatura del aire en la velocidad de secado de quinua germinada en un secador de bandejas. *Universidad Nacional del Centro del Perú*.  
<http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/5682>
- Giner, A.; Aguilar. (2015). “Calabaza cultivos y hortalizas al aire libre”. Serie agricultura. Centro de Experiencias de Cajamar en Paiporta p- 626.
- Guadalupe Pacahuala, N. J. (2014). Estabilidad de antocianinas en láminas de fruta de saúco (*sambucus peruvianus* h.b.k.) Y melocotón (*prunus persica* l. Batsch) a diferentes temperaturas de secado. *Universidad Nacional del Centro del Perú*.  
<http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/1947>
- Hincapie, G., Omaña, M., Hincapie, C., Airas, Z., & Velez, L. (2010). Efecto de la temperatura de secado sobre las propiedades funcionales de la fibra dietaria presente en la citropulpa. *Revista Lasallista de Investigación*, 7(2), 85–93
- Jangam, S. V., Law, C. L., & Mujumdar, A. S. (2010). *Drying of foods, vegetables and fruits*. Published in Singapore.
- Law, C., Chen, H., & Mujumdar, A. (2014). *Food technologies: drying*.
- Lira, R., Eguiarte, L., Montes, S., Zizumbo-Villarreal, D., Marín, P. C. G., & Quesada, M. (2016). *Homo sapiens–Cucurbita interaction in mesoamerica: domestication, dissemination, and diversification*. In *Ethnobotany of Mexico* (pp. 389-401). Springer, New York, NY.
- María, P., & Julieth, S. (2021) *Evaluación Del Contenido De Humedad Y Cambios De Color En El Aji Dulce (Capsicum Annum) Durante El Secado Por Ventana Refractiva* [Tesis de pregrado para obtener el título profesional de Ingeniero de Alimentos de la carrera de ingeniería de Universidad De Córdoba].

- Martínez, J., y Santos, L., (2015). Efecto Del Procesamiento Térmico Sobre El Color Superficial Del Pimentón Rojo (*Capsicum Annuum*) Variedad “Nataly, Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, (13). 104.
- Montalvo, H., & Padilla, C. (2020) - *Efecto de la temperatura de proceso y el espesor de las láminas en el secado por ventana refractiva en batata blanca (ipomoea batatas l.) sobre la cinética de secado y propiedades físicas*. [Tesis de pregrado. Universidad De Córdoba].
- Nuez, F. (2000). Colección de semillas de calabaza del centro de conservación y mejora de la agrobiodiversidad valenciana. Ministerio de ciencia y tecnología, España.
- NEE, M. (1990). The domestication of Cucurbita (cucurbitaceous, economic botany 44 (suppl.).
- Nindo, C., & Tang, J. (2007). Refractance Window dehydration technology: a novel contact drying method.
- Ochoa-Martínez, C. I., Quintero, P. T., Ayala, A. A., & Ortiz, M. J. (2012). Drying characteristics of mango slices using the Refractance Window™ technique. *Journal of Food Engineering*, 109(1), 69-75. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.09.032>
- Padilla, et al. (2021) *Evaluación del contenido de humedad y cambios de color en el ají dulce (capsicum annum) durante el secado por ventana refractiva*. [Tesis de pregrado para obtener el título profesional de Ingeniero de Alimentos de la carrera de ingeniería de Universidad De Córdoba].
- Peralta, L. (2016). Efecto de la temperatura y tiempo de secado por ventana Refractante en las características fisicoquímicas y Contenido de capsaicina de pasta de paprika deshidratada (*capsicum annum, l.*). [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/20399/Peralta\\_DL\\_C.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/20399/Peralta_DL_C.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Quispe, A. Y Castro, N. (2017). Secado de durazno (*Prunus pérsica*) empleando la técnica de Ventana Refractante. Ramadan, M. (2011). Bioactive phytochemicals, nutritional value, and functional properties of cape gooseberry (*Physalis peruviana*). [https://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/2274/T033\\_3167](https://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/2274/T033_3167)



- Rosero, I. (2018). Comparación de Técnicas de Secado Ventana Refractante y Convención Forzada en Frutas Tropicales. Maestría en diseño y Gestión de Procesos Industriales, Universidad Pontificia Bolivariana.
- Sagar, V., & Suresh, K. (2010). *Recent advances in drying and dehydration of fruits and vegetables: a review*. International Journal of Food Science & Technology. 47(1), 15-26.
- Sahagun, F. B. 1956. Historia General de las Cosas de Nueva Espatia. Tom. 1, Lib. 1, Cap. 21:13. A. M. Garibay K. Editorial Forma, Mexico City.
- Schmidhofer, T. (1994). Métodos analíticos. Tecnología e higiene de la carne. Zaragoza: Acribia SA
- Sinha, N., Hui, Y. H., Evranuz, E. Ö., Siddiq, M., & Ahmed, J. (2010). Handbook of vegetables and vegetable processing. John Wiley & Sons.
- Sistema de Información de Organismos Vivos y Modificados (SIOVM). Proyecto GEF-CIBIOGEM de Bioseguridad. CONABIO “Fig leaf squash”. [http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/bioseguridad/pdf/20833\\_especie.pdf](http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/bioseguridad/pdf/20833_especie.pdf). (Febrero, 2007).
- Soto Ramos, R. (2013). Influencia de la temperatura en la cinética de secado, difusividad efectiva y calidad de láminas de frutas. Universidad Nacional del Centro del Perú. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/2674>
- Suarez, E.A. (2016). Efecto del sistema de producción en la maduración fisiológica de Cucurbita moschata var. Bolo Verde. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial.
- Sulis, E. (2018). Evaluación de porta injertos de calabazas sobre adaptabilidad y rendimiento de chilacayote (Cucurbita ficifolia); santa rosa tesis de grado. Universidad Rafael Landívar (Vol. 10, Issue 2).
- Thomas C. Andres (2006) ORIGIN, MORPHOLOGICAL VARIATION, AND USES OF, THE MOUNTAIN SQUASH
- Torregrosa, A. (2013). Determinación De La Influencia De La Temperatura Y Velocidad Del Aire Sobre Las Cinéticas De Secado De Tres Variedades De Yuca Procesadas En La Planta Instalada En La Vereda Los Algarrobos. Maestría en Ciencias Agroalimentarias con Énfasis en Ingeniería, Universidad De Córdoba,

Montería-Córdoba.

- Varzakas, T., & Tzia, C. (2014). Food Engineering Handbook, Two Volume Set (Vol. 31). CRC Press.
- Virgen-Navarro, L., Herrera-López, EJ, Espinosa-Andrews, H., Guatemala-Morales, GM, Corona-González, RI, Arriola-Guevara E. ESTIMACIÓN DEL COEFICIENTE DE DIFUSIVIDAD DURANTE EL TOSTADO DE CAFÉ EN UN LECHO FUENTE UTILIZANDO UN MODELO DIFUSO. Revista Mexicana de Ingeniería Química [en línea]. 2016, 15(2), 513-524[fecha de Consulta 8 de Julio de 2024]. Revista de Ciencias Sociales y Humanidades (1998). Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62046829018>
- Xue, K. (2004). Optimización del secado por aire caliente de pera (variedad blanquilla). Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.
- Zotarelli, M. F., Carciofi, B. A. M., & Laurindo, J. B. (2015). Effect of process variables on the drying rate of mango pulp by Refractance Window. Food Research International, 69, 410-417. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.01.013>.
- Zurita. M (2012) Estudio Comparativo de la Deshidratación del Pimiento Paprika (*Capsicum annuum*) por secado convencional y con túnel de plástico con orificios en el fondo agrícola cerro prieto S.A.C [Tesis de pregrado para obtener el título profesional de Ingeniero de Alimentos de la carrera de ingeniería en la Universidad Nacional de Trujillo].

## ANEXOS

### ANEXOS 1: Organización de Variables

VARIABLES		DEFINICIÓN		DIMENSIÓN (Fórmula)	INDICADOR
		CONCEPTUAL	OPERACIONAL		
INDEPENDIENTE	TEMPERATURA	La temperatura es una magnitud escalar que se define como la cantidad de energía cinética de las partículas de una masa gaseosa, líquida o sólida. Cuanto mayor es la velocidad de las partículas, mayor es la temperatura y viceversa. (Coluccio, 2022)	Temperatura adecuado para el correcto deshidratado de los alimentos	$Q=mc\Delta t.$	°C
	VELOCIDAD DE AIRE	Velocidad es proporcional a la diferencia de temperaturas y a las propiedades del sistema de transferencia caracterizado por su coeficiente de transmisión de calor	La <b>velocidad del aire</b> es fundamental a la hora de evaluar el rendimiento de un sistema con flujo de <b>aire</b>	$dw/dt=KgA\Delta W$	(m/s).
DEPENDIENTE	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.	Es un índice que expresa la velocidad de cambio y flujo de temperaturas, en un material hasta que alcanza el equilibrio térmico.	$Deff = D_0 \exp \left[ \frac{E_a}{R(T_A + 273.15)} \right]$	(m/s).
	VELOCIDAD DE SECADO	El concepto de velocidad de secado Se entiende que son los puntos de humedad que se extraen en una unidad de tiempo, generalmente una hora. Así se habla de una extracción de húmeda	Disminución de la humedad de un sólido por unidad de tiempo	velocidad de secado	(m/s).
	COLOR	El color de los alimentos está determinado por tres tipos de sustancias: pigmentos naturales, productos de una reacción o aditivos alimentarios(colorantes). (Ines, 2024)	Es utilizado para correlacionar los valores numéricos de color consistentemente con la percepción visual humana	color	CIE-L*a*b

**ANEXOS 2: Cuadro de datos recolectados**

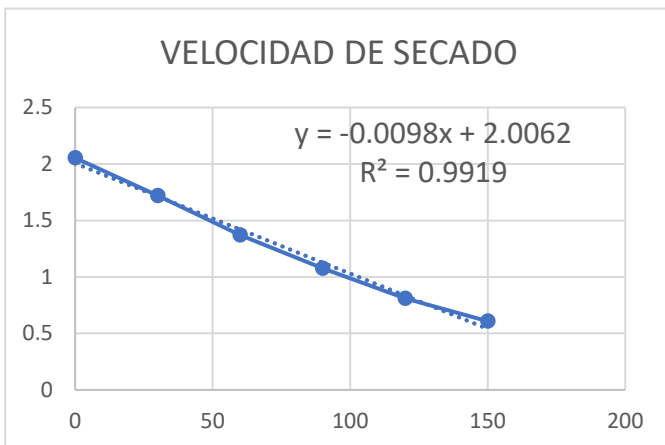
ESPESOR 0.5 cm - DIAMETRO 2X2																	
CUADRO DE DATOS - MUESTRAS DE PRUEBAS A 50°C						CUADRO DE DATOS - MUESTRAS DE PRUEBAS A 60°C						CUADRO DE DATOS - MUESTRAS DE PRUEBAS A 70°C					
VEL. AIRE 3m/s		VEL. AIRE 2m/s		VEL. AIRE 1m/s		VEL. AIRE 3m/s		VEL. AIRE 2m/s		VEL. AIRE 1m/s		VEL. AIRE 3m/s		VEL. AIRE 2m/s		VEL. AIRE 1m/s	
TIEMPO	PESO	TIEMPO	PESO	TIEMPO	PESO	TIEMPO	PESO	TIEMPO	PESO	TIEMPO	PESO	TIEMPO	PESO	TIEMPO	PESO	TIEMPO	PESO
0	2.0541	0	2.0337	0	2.0541	0	2.0118	0	2.1802	0	2.0730	0	2.1042	0	2.0365	0	2.0914
30	1.7204	30	1.5948	30	1.7204	30	1.4958	30	1.6907	30	1.7041	30	1.5708	30	1.5831	30	1.7210
60	1.3715	60	1.2192	60	1.3715	60	1.1728	60	1.2911	60	1.3583	60	1.2524	60	1.2076	60	1.3835
90	1.0772	90	0.9406	90	1.0772	90	0.9058	90	1.0013	90	1.0794	90	0.9659	90	0.9252	90	1.1001
120	0.8097	120	0.7234	120	0.8097	120	0.6846	120	0.7703	120	0.8174	120	0.7310	120	0.7008	120	0.8228
150	0.6078	150	0.5493	150	0.6078	150	0.5105	150	0.5819	150	0.6090	150	0.5546	150	0.5167	150	0.6226
180	0.4475	180	0.4139	180	0.4475	180	0.4041	180	0.4467	180	0.4485	180	0.4340	180	0.3858	180	0.4591
210	0.3292	210	0.3233	210	0.3292	210	0.3145	210	0.3554	210	0.3323	210	0.3380	210	0.3011	210	0.3376
240	0.2844	240	0.2653	240	0.2844	240	0.2633	240	0.2944	240	0.2846	240	0.2828	240	0.2470	240	0.2911
270	0.2428	270	0.2267	270	0.2428	270	0.2219	270	0.2462	270	0.2386	270	0.2343	270	0.2105	270	0.2425
300	0.2104	300	0.2020	300	0.2104	300	0.2003	300	0.2230	300	0.2113	300	0.2057	300	0.1904	300	0.2138
330	0.1982	330	0.1899	330	0.1982	330	0.1897	330	0.2112	330	0.1986	330	0.1936	330	0.1824	330	0.1998
360	0.1916	360	0.1834	360	0.1916	360	0.1839	360	0.2063	360	0.1918	360	0.1872	360	0.1798	360	0.1937
390	0.1915	390	0.1821	390	0.1915	390	0.1812	390	0.2060	390	0.1915	390	0.1842	390	0.1789	390	0.1930

**ANEXOS 3: Tabla de datos obtenidos de las Variables**

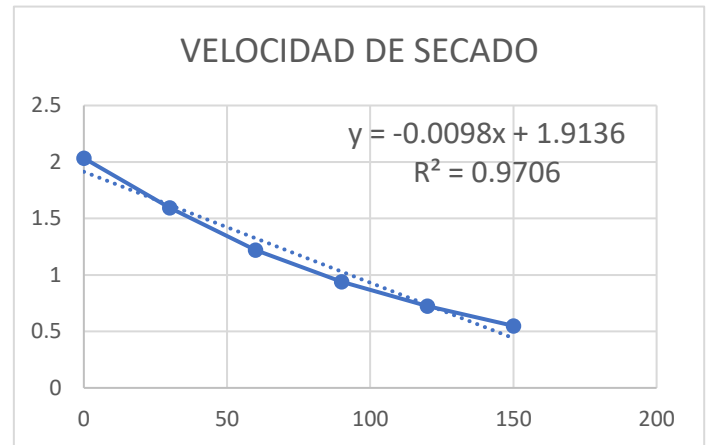
VELOCIDAD DE AIRE	T°	DIFUSIVIDAD	VELOCIDAD DE SECADO
1 m/s	50	0.0155415 m/s	0.0098g/min
2 m/s	50	0.0157223 m/s	0.0098g/min
3 m/s	50	0.0150170 m/s	0.0104g/min
1 m/s	60	0.0212544 m/s	0.0181g/min
2 m/s	60	0.0259643 m/s	0.015g/min
3 m/s	60	0.0224906 m/s	0.0163g/min
1 m/s	70	0.0284865 m/s	0.0161g/min
2 m/s	70	0.0242617 m/s	0.017g/min
3 m/s	70	0.0318961 m/s	0.0158g/min

**ANEXOS 4: Graficas de velocidad de secado**

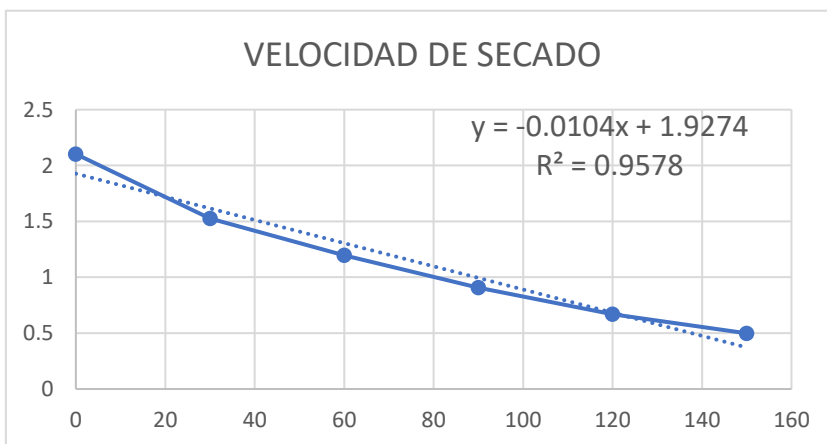
VELOCIDAD DE SECADO  
(VEL. 1m/l - 50°)



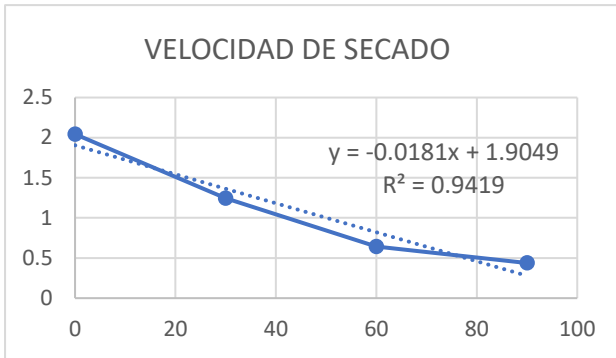
VELOCIDAD DE SECADO  
(VEL. 2m/l - 50°)



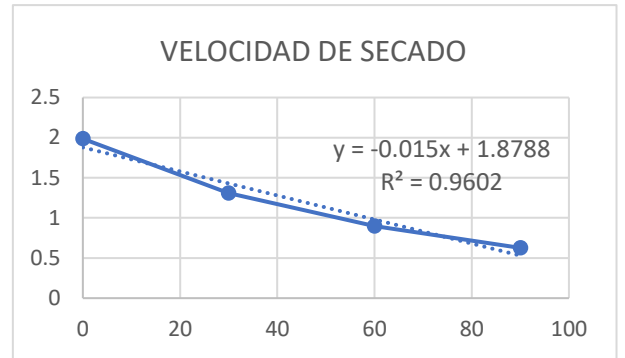
VELOCIDAD DE SECADO  
(VEL. 3m/l - 50°)



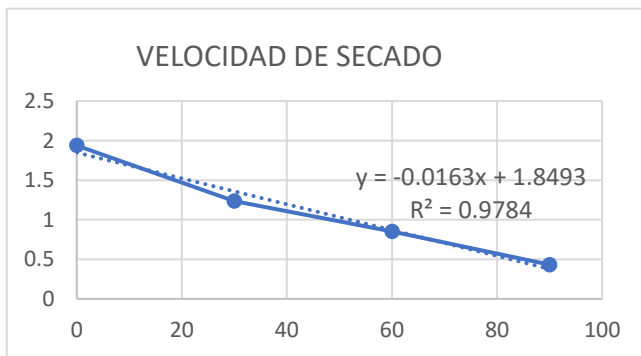
VELOCIDAD DE SECADO  
(VEL. 1m/l - 60°)



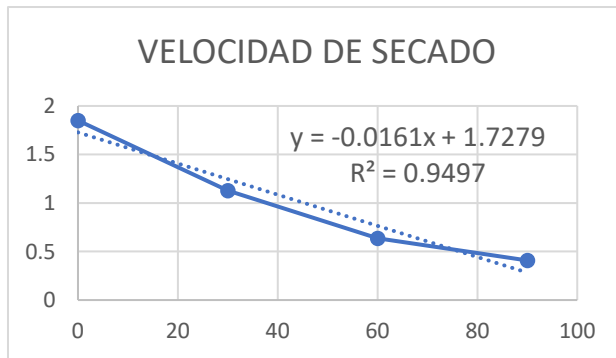
VELOCIDAD DE SECADO  
(VEL. 2m/l - 60°)



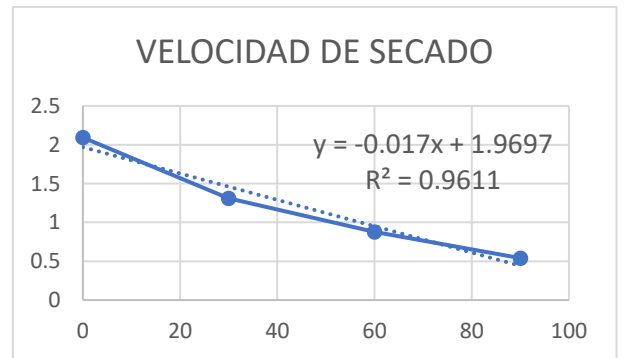
VELOCIDAD DE SECADO (VEL. 3m/l  
- 60°)



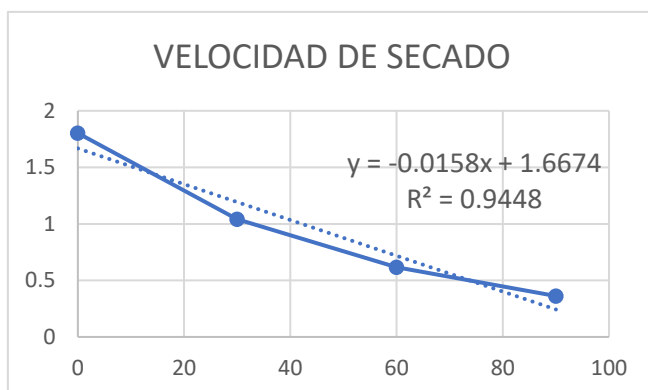
VELOCIDAD DE SECADO  
(VEL. 1m/l - 70°)



VELOCIDAD DE SECADO  
(VEL. 2m/l - 70°)

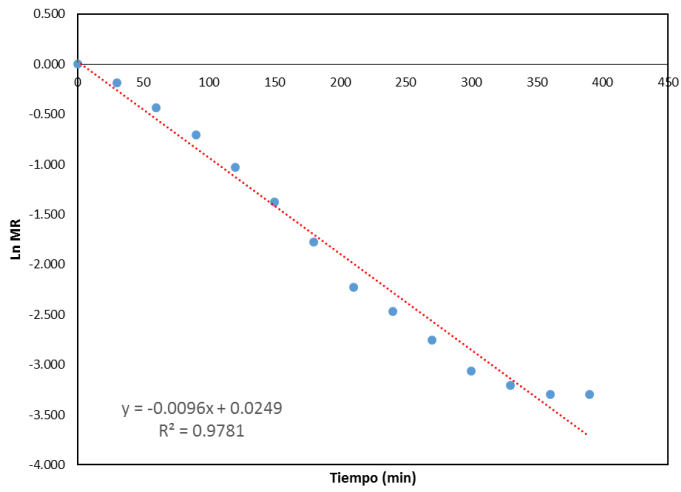


VELOCIDAD DE SECADO (VEL. 3m/l - 70°)

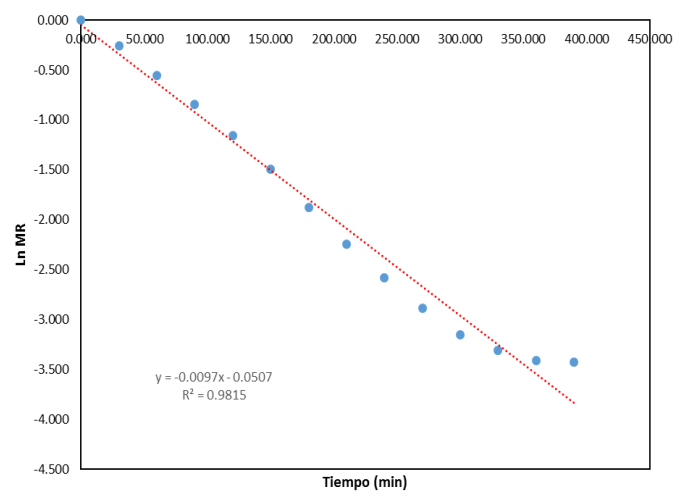


## ANEXOS 5: Graficas de Difusividad

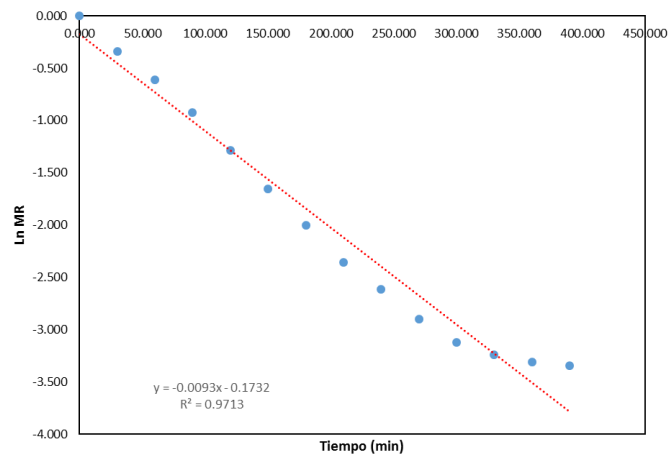
DIFUSIVIDAD (VEL. 1m/l - 50°)



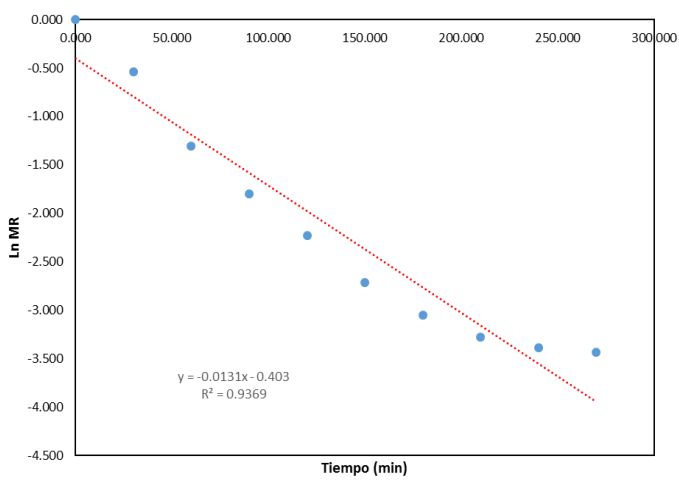
DIFUSIVIDAD (VEL. 2m/l - 50°)



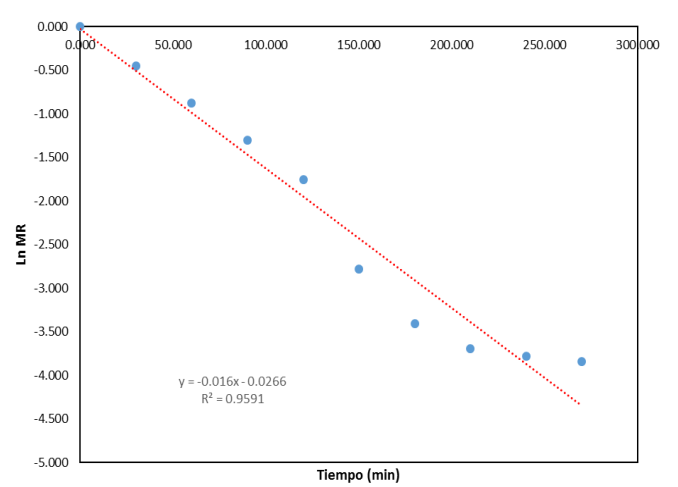
DIFUSIVIDAD (VEL. 3m/l - 50°)



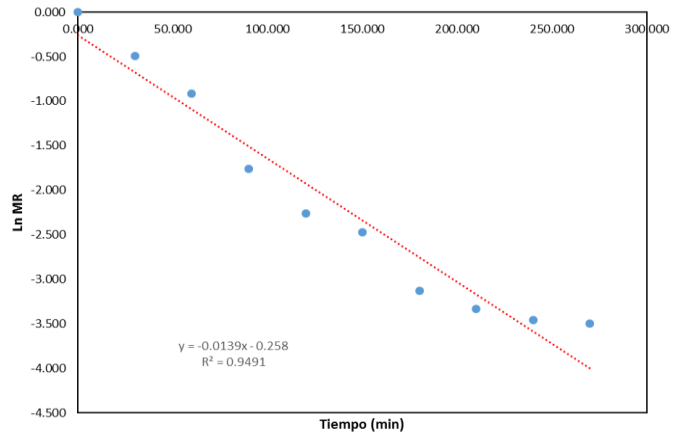
DIFUSIVIDAD (VEL. 1m/l - 60°)



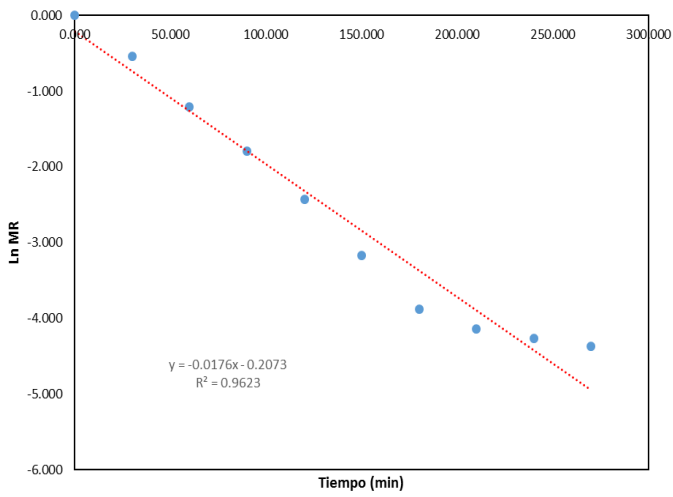
DIFUSIVIDAD (VEL. 2m/l - 60°)



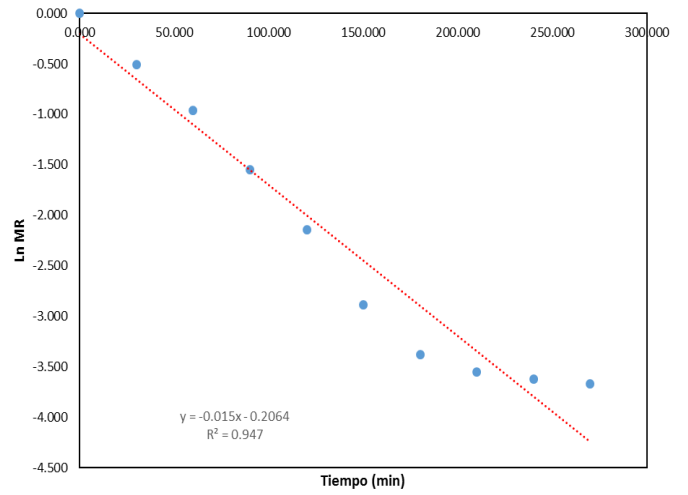
DIFUSIVIDAD (VEL. 3m/l - 60°)



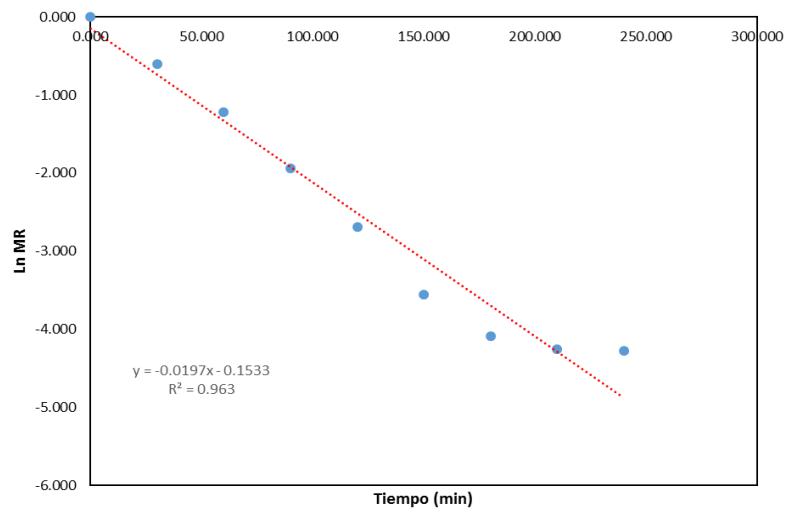
DIFUSIVIDAD (VEL. 1m/l - 70°)



DIFUSIVIDAD (VEL. 2m/l - 70°)



DIFUSIVIDAD (VEL. 3m/l - 70°)





**ANEXOS 6: Tabla de datos recolectados de Color a diferentes temperaturas**

TEMPERATURA		50°C													
VELOCIDAD DE AIRE	TIEMPO	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390
1	L	51.71	63.09	66.24	73.36	66.38	73.67	72.29	67.60	75.85	73.99	71.32	65.54	61.32	61.25
2	L	66.37	58.60	63.54	70.76	64.51	75.14	75.12	75.95	79.34	79.70	67.34	72.51	71.23	67.65
3	L	65.89	67.23	69.77	70.48	74.84	74.06	74.58	78.08	75.41	64.00	69.93	61.00	70.93	67.69

1	a	1.00	0.97	1.63	2.37	3.70	2.62	2.34	11.54	4.56	7.81	7.47	10.22	10.16	10.88
2	a	1.00	1.57	2.17	2.05	1.76	3.62	3.32	5.78	2.54	3.29	6.41	3.29	9.04	5.78
3	a	1.84	1.42	2.05	1.93	3.82	2.32	4.46	3.59	6.32	13.77	6.96	10.80	7.07	8.99

1	b	3.75	4.56	5.04	6.68	18.20	10.53	10.34	30.27	20.30	20.55	21.53	23.34	18.60	22.74
2	b	4.41	3.06	4.48	11.06	9.95	11.60	15.98	21.95	14.99	14.19	16.19	12.32	24.57	15.31
3	b	5.51	5.57	4.69	6.01	15.87	15.26	18.32	16.41	20.95	33.30	19.60	17.00	18.38	22.66

TEMPERATURA		60°C									
VELOCIDAD DE AIRE	TIEMPO	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270
1	L	65.74	70.35	73.40	76.47	74.05	76.07	81.18	77.47	77.01	70.97
2	L	66.46	70.62	74.94	77.88	79.31	79.95	74.16	71.70	79.27	76.58
3	L	60.23	68.98	75.96	70.55	77.81	68.36	76.98	69.36	72.57	67.71

1	a	1.49	1.86	1.87	4.02	3.95	4.14	3.35	2.65	5.39	3.43
2	a	1.70	1.55	1.96	2.67	2.39	4.55	7.22	6.58	6.03	5.21
3	a	0.91	1.86	2.45	4.16	3.20	7.09	5.64	8.30	5.93	15.16

1	b	3.32	3.40	5.00	14.07	16.09	15.01	14.80	14.10	17.31	12.37
2	b	5.31	4.76	11.51	14.19	14.18	18.75	20.62	22.20	17.22	17.38
3	b	5.60	7.25	10.88	16.42	12.76	18.32	22.00	23.22	18.00	38.90

TEMPERATURA		70°C									
VELOCIDAD DE AIRE	TIEMPO	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270
1	L	56.86	73.37	68.84	71.28	76.25	77.69	68.90	69.01	64.33	70.22
2	L	60.78	66.85	73.12	81.04	76.54	77.36	79.83	76.74	62.69	63.52
3	L	61.31	60.23	75.81	77.38	78.00	68.28	73.14	72.76	69.39	

1	a	1.24	1.77	3.95	2.65	5.26	6.24	7.37	7.81	9.45	5.85
2	a	1.35	1.74	2.05	2.48	3.16	3.88	4.44	5.31	7.91	10.62
3	a	1.31	1.75	1.90	2.59	3.54	5.73	4.08	6.58	5.51	

1	b	3.80	5.73	17.76	10.46	17.23	18.35	17.44	20.05	21.35	21.27
2	b	4.37	5.79	10.12	13.40	13.18	17.18	17.18	21.97	17.51	24.69
3	b	4.23	4.03	8.98	12.29	15.81	20.73	14.24	21.75	14.43	

### ANEXOS 7: Modelo matemático

Datos a Ingresar		$MR_t = \frac{M_t - M_\infty}{M_0 - M_\infty}$						$X_{weq}$	0.12		
TIEMPO	PESO	$MR_t$	$\Delta M$	$x_w$	$X_w$	$Y = dX_w/dt$	$\ln MR_t$				
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		Humedad Total			
0	1.8502	1.000	0.000	0.928	12.963	0.000	0.000	P.INICIAL	4.6051	Hbh	0.9284
30	1.1269	0.582	-0.391	0.882	7.505	0.182	-0.541	P.FINAL	0.3298	HBS	12.9633
60	0.6359	0.298	-0.656	0.792	3.799	0.124	-1.210				
90	0.4082	0.167	-0.779	0.675	2.081	0.057	-1.792	Datos a colocar	Espesor	0.5	cm
120	0.2722	0.088	-0.853	0.513	1.054	0.034	-2.431		L	2	cm
150	0.1925	0.042	-0.896	0.312	0.453	0.020	-3.172				
180	0.1556	0.021	-0.916	0.148	0.174	0.009	-3.884	Datos calculados	Pendiente	-0.0175719	
210	0.1476	0.016	-0.920	0.102	0.114	0.002	-4.138		Difusividad	2.85E-02	cm <sup>2</sup> /min
240	0.1444	0.014	-0.922	0.082	0.090	0.001	-4.261				
270	0.1420	0.013	-0.923	0.067	0.072	0.001	-4.365				
300	0.2104	0.052	-0.886	0.370	0.588	-0.017	-2.952				
330	0.1982	0.045	-0.893	0.331	0.496	0.003	-3.097				
360	0.1916	0.041	-0.896	0.308	0.446	0.002	-3.185				
390	0.1915	0.041	-0.896	0.308	0.445	0.000	-3.186				

## ANEXOS 8: Equipo utilizados para deshidratación por ventana refractante

### COLORIMETRO



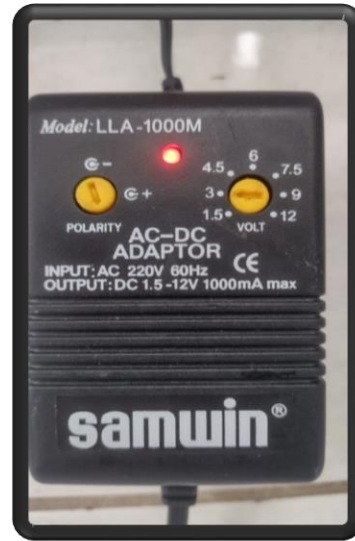
### EQUIPO DE VENTANA REFRACTANTE



**BALANZA ANALITICA**



**ADAPTADOR REGULABLE**



**ANEMOMETRO (mide la velocidad)**



**AQUALAB**



## ESTUFA



## ANEXOS 4: FOTOS DEL PROCESO Y RESULTADOS



