

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA**

**EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**



**EFFECTO DE LA TEMPERATURA Y TIEMPO DE SECADO POR  
VENTANA REFRACTANTE EN LAS CARACTERÍSTICAS  
FISICOQUÍMICAS DE ARANDANO EN RODAJAS (*Vaccinium  
corymbosum*)**

**TESIS**

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

**PRESENTADO POR LA BACHILLER:  
YULEYCI CIEZA RIMARACHIN**

**ASESOR  
M.SC. JIMY FRANK OBLITAS CRUZ**


**CAJAMARCA – PERÚ**

**2024**

## CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

1. Investigador: YULEYCI CIEZA RIMARACHIN  
DNI: 71865671  
Escuela Profesional/Unidad UNC: INGENIERÍA DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
2. Asesor: ING. MSC. JIMY FRANK OBLITAS CRUZ  
Facultad/Unidad UNC: CIENCIAS AGRARIAS
3. Grado académico o título profesional  
 Bachiller       Título profesional       Segunda especialidad  
 Maestro       Doctor
4. Tipo de Investigación:  
 Tesis       Trabajo de investigación       Trabajo de suficiencia profesional  
 Trabajo académico
5. Título de Trabajo de Investigación: EFECTO DE LA TEMPERATURA Y TIEMPO DE SECADO POR VENTANA REFRACTANTE EN LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE ARANDANO EN RODAJAS (*Vaccinium corymbosum*)
6. Fecha de evaluación: 01/04/2024
7. Software antiplagio:  TURNITIN       URKUND (ORIGINAL) (\*)
8. Porcentaje de Informe de Similitud: 7%
9. Código Documento: oid:3117:343690964
10. Resultado de la Evaluación de Similitud:  
 APROBADO       PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 02/04/2024

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

<hr/> <b>Jimmy Frank Oblitas Cruz</b> DNI: 40043738



**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 veinte días del mes de marzo 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° 065-2024-FCA-UNC, de fecha 09 de febrero del 2024, con la finalidad de evaluar la sustentación de la TESIS titulada: "EFECTO DE LA TEMPERATURA Y TIEMPO DE SECADO POR VENTANA REFRACTANTE EN LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE ARÁNDANO EN RODAJAS (*Vaccinium corymbosum*)", realizada por la Bachiller YULEYCI CIEZA RIMARACHIN para optar el Título Profesional de INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS.

A las diez horas y quince minutos, de acuerdo a lo establecido en el Reglamento Interno para la Obtención de Título Profesional de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca, el Presidente del Jurado dio por iniciado el Acto de Sustentación, luego de concluida la exposición, los miembros del Jurado procedieron a la formulación de preguntas y posterior deliberación. Acto seguido, el Presidente del Jurado anunció la aprobación por unanimidad, con el calificativo de diecisiete (17); 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 once horas y cinco minutos del mismo día, el Presidente del Jurado dio por concluido el Acto de Sustentación.

Ing. M. Sc. Fanny Lucila Rimarachin Chávez  
PRESIDENTE

M. Cs. John Víctor López Orbegoso  
SECRETARIO

Dr. Rodolfo Raúl Orejuela Chirinos  
VOCAL

Ing. M. Sc. Jimy Frank Oblitas Cruz  
ASESOR

## **Dedicatoria**

Dedico esta tesis a mis padres quienes me brindaron su apoyo y son fuente de inspiración día a día para nunca rendirme ante los obstáculos de la vida. A mis hermanos, a mi novio y a mi dulce Julieta.

## **Agradecimiento**

Agradezco a Dios por haberme dado fuerzas cuando pensé rendirme, por darme salud y sabiduría para seguir escalando en mi vida profesional. Asimismo, a todas aquellas personas e instituciones que han sido parte fundamental de mi crecimiento profesional y desarrollo de esta investigación, a mi familia, a mis docentes por sus conocimientos compartidos, a mi asesor quien siempre me brindó su apoyo, a mis amigos, a la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo por permitirme usar sus laboratorios para el desarrollo de una parte de mi tesis y a la Universidad Nacional de Cajamarca por acogerme en sus aulas durante el desarrollo de mi carrera profesional.

## Índice general

Resumen .....	xi
Abstract.....	xii
INTRODUCCIÓN.....	1
Descripción del problema .....	1
Problema de Investigación .....	2
Justificación .....	2
Objetivos.....	3
Hipótesis .....	3
REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
Antecedentes.....	4
Marco teórico.....	8
Definición de términos básicos .....	26
MATERIALES Y METODOS .....	27
Ubicación.....	27
Materiales .....	28
Metodología.....	29
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	36
Efecto de la temperatura de secado por ventana refractante en las características físicas de arándano.....	36
Análisis de las curvas de secado .....	36
Modelamiento matemático de la curva de secado .....	37
Efecto de la Temperatura y tiempo de secado por ventana refractante en las condiciones físicas. .	39
Efecto en la Difusividad.....	39
Efecto en la actividad de agua (aw).....	42
Efecto en los parámetros de color Cielab .....	45
Efecto de la temperatura de secado por ventana refractante en el contenido de polifenoles de	

arándano.....	51
CONCLUSIONES.....	54
RECOMENDACIONES.....	55
BIBLIOGRAFIA.....	56
ANEXOS.....	62

## Índice de tablas

Tabla 1. Clasificación taxonómica del arándano.....	9
Tabla 2. Valor nutricional del Arándano.....	10
Tabla 3. Ecuaciones utilizadas para el modelamiento de la cinética de secado.....	21
Tabla 4. Niveles y tratamientos de estudio.....	30
Tabla 5. ANOVA para Difusividad.....	39
Tabla 6. ANOVA para aw.....	42
Tabla 7. ANOVA para parámetro L.....	46
Tabla 8. ANOVA para parámetro a.....	46
Tabla 9. ANOVA para parámetro b.....	46
Tabla 10. Datos de calibración de ácido gálico.....	51



## Índice de figuras

Figura 1. Curva de secado típica para un sólido .....	16
Figura 2. Curvas de secado representativas .....	19
Figura 3. Diagrama esquemático de un sistema de secado por ventana refractante .....	23
Figura 4. Ubicación de laboratorio de ingeniería de Alimentos .....	28
Figura 5. Diseño experimental.....	31
Figura 6. Protocolo para la determinación del contenido total de compuestos .....	34
Figura 7. Curva de secado en base al tiempo .....	36
Figura 8. Curva de velocidad de secado en base al peso seco.....	37
Figura 9. Cinética de secado por ventana refractante a 55° C.....	37
Figura 10. Cinética de secado por ventana refractante a 65° C.....	38
Figura 11. Cinética de secado por ventana refractante a 75° C.....	38
Figura 12. Pareto estandarizado para Difusividad.....	40
Figura 13. Efectos individuales en la Difusividad.....	41
Figura 14. Superficie de respuesta para Difusividad.....	42
Figura 15. Pareto estandarizado para $a_w$ .....	43
Figura 16. Efectos principales para el $a_w$ .....	44
Figura 17. Superficie de respuesta para $a_w$ .....	44
Figura 18. Valores de $L^*a^*b^*$ en escala tridimensional.....	45
Figura 19. Efectos principales para $L$ .....	47
Figura 20. Efectos principales para $a$ .....	48
Figura 21. Efectos principales para $b$ .....	48
Figura 22. Superficie de respuesta para $L$ .....	49
Figura 23. Superficie de respuesta para $a$ .....	49

Figura 24. Superficie de respuesta para b .....	50
Figura 25. Curva de optimización.....	51
Figura 26. Curva de Calibración.....	52
Figura 27. Prueba de Tukey para comparación de nivel de Polifenoles.....	53

## Resumen

El presente estudio tuvo como objetivo determinar el efecto de la temperatura y tiempo de secado por ventana refractante en las características fisicoquímicas de arándano en rodajas, para ello se estableció un diseño factorial multinivel 3 x 2 usando los niveles de temperatura de 55°C, 65° C y 75° C y para el tiempo 60 minutos y 120 minutos. Se determinó como variables de salida la actividad de agua, la difusividad, el color CieLab y los polifenoles totales por el método de Folin Ciocalteu. Al evaluar el efecto de la temperatura y tiempo de secado en las características físicas de arándano se determinó que ambos parámetros tienen efecto significativo sobre la difusividad, asimismo solo se encontró que la temperatura tiene efecto significativo para la variable de color L\*, para los demás parámetros evaluados aw y los valores de color a y b no existe efectos significativos. Asimismo, al determinar el efecto de la temperatura de secado por ventana refractante en las características químicas representadas por la concentración de polifenoles totales, se observó que la temperatura no ejerce efecto significativo sobre este valor, esto se realizó en base a prueba de Tukey. Los valores de polifenoles encontrados son mayores a 1700 mg GAE/100g. Por lo que podemos afirmar que las condiciones de secado por ventana refractante son viables para poder aplicarla en este tipo de productos.

Palabras Clave. Arándano, secado por ventana refractante, difusividad, color cielab, polifenoles totales.

## Abstract

The objective of this study was to determine the effect of temperature and drying time through a refracting window on the physicochemical characteristics of sliced blueberries. For this purpose, a 3 x 2 multilevel factorial design was established using the temperature levels of 55°C, 65 ° C and 75° C and for time 60 minutes and 120 minutes. Water activity, diffusivity, CieLab color and total polyphenols were determined as output variables by the Folin Ciocalteu method. When evaluating the effect of temperature and drying time on the physical characteristics of blueberry, it was determined that both parameters have a significant effect on diffusivity. Likewise, it was only found that temperature has a significant effect for the color variable L\*, for the others evaluated parameters aw and color values a and b there are no significant effects. Likewise, when determining the effect of drying temperature through a refracting window on the chemical characteristics represented by the concentration of total polyphenols, it was observed that temperature does not have a significant effect on this value; this was carried out based on the Tukey test. The values of polyphenols found are greater than 1700 mg GAE/100g. Therefore, we can affirm that the refractive window drying conditions are viable to be able to apply it to this type of products.

Keywords. Blueberry, dried through a refracting window, diffusivity, sky color, total polyphenols.

# **Efecto de la temperatura y tiempo de secado por ventana refractante en las características fisicoquímicas de arándano en rodajas (*Vaccinium corymbosum*)**

## **I. INTRODUCCIÓN**

### **1.1 Descripción del problema**

El arándano es la cuarta frutilla de interés económico en el mundo, su consumo responde al interés de los compuestos con capacidad antioxidante y vitaminas que contienen sus frutos y que son benéficos para la salud humana, pues esta baya se puede utilizar para la elaboración de productos procesados, bebidas, productos deshidratados, entre otros. Es así que ya forma parte de la dieta diaria de muchos habitantes de Norteamérica, Europa y Asia. La región sudamericana no es ajena a esta inminente demanda, por lo que muchos países han tomado la iniciativa de incorporar al arándano dentro de sus exportaciones, en el caso de Perú, los primeros envíos datan del año 2010. Solo 6 años después, en 2016, las cifras alcanzaron 28 mil toneladas, donde Estados Unidos y Holanda sumaron más del 70%.

Debido a que el mercado de frutas secas está creciendo de manera exponencial convirtiéndose así en un producto potencialmente rentable para la exportación, es por eso que la presente investigación tiene como objetivo evaluar la temperatura y tiempo de secado por ventana refractante en las características fisicoquímicas de arándano en rodajas (*Vaccinium corymbosum*) variedad azul. Resaltando que el sistema de secado por Ventana Refractante es una alternativa para convertir alimentos de alta actividad de agua tales como frutas y verduras, en productos más estables a las reacciones de deterioro. Este método de secado se caracteriza por usar temperaturas del producto relativamente bajas y tiempos de secado cortos.

### **1.2 Problema de Investigación**

¿Cuáles serán los efectos de la Temperatura y Tiempo de secado por ventana refractante en las características fisicoquímicas de arándano en rodajas (*Vaccinium*

*corymbosum*)?

### **1.3 Justificación**

Hoy en día, una de las principales recomendaciones dietéticas se basa en consumir alimentos ricos en fitoquímicos como polifenoles, curcumina, carotenoides, flavonoides, antocianinas, alcaloides, isotiocianatos, glucósidos, ácidos fenólicos, saponinas, isoflavonas y terpenos, pero es necesario comprender como estos compuestos son afectados por las operaciones de procesamiento como es el secado. Por ello considerando que la calidad de los productos disminuye debido a la sensibilidad al calor, los nutrientes y los cambios adversos en las propiedades fisicoquímicas de la mayoría de las frutas y verduras no proporcionan simultáneamente productos de bajo costo y alta calidad usando métodos tradicionales de secado de alimentos sólidos, como el secado solar, el secado en bandeja con aire caliente, el secado por congelación o el secado en lecho fluidizado, el secado solar y el secado con aire caliente provocan una pérdida importante del color original, del contenido de vitamina C y de la capacidad de rehidratación. En el secado en bandeja, los productos deben secarse de 3 a 5 horas a alta temperatura, mientras que el tiempo de procesamiento en la liofilización varía de 18 a 24 horas. Si bien la liofilización ofrece productos deshidratados con forma, sabor, color y vitaminas preservadas, el costo de esta tecnología es varias veces mayor que el costo asociado al secado con aire caliente. Por tal motivo esta investigación plantea Un método de secado innovador, es el secado con ventana de refractancia (VR) donde se hace uso de la energía térmica del agua, que permite tiempos de proceso más cortos y temperaturas más bajas en el producto, reduciendo daño térmico. Este método permite la deshidratación de alimentos termosensibles como las frutas y presenta la ventaja de reducir las pérdidas de calidad a nivel fisicoquímico y estructural en diversos

alimentos deshidratados.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo general**

- Evaluar el efecto de la temperatura y tiempo de secado por ventana refractante en las características fisicoquímicas en arándano en rodajas (*Vaccinium corymbosum*).

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Determinar el efecto de la temperatura y tiempo de secado por ventana refractante en las características físicas de arándano en rodajas.
- Determinar el efecto de la temperatura de secado por ventana refractante en las características químicas (polifenoles totales) de arándano en rodajas.

## **1.5 Hipótesis**

Existe un efecto positivo de la temperatura y tiempo de secado por Ventana Refractante en las características fisicoquímicas de arándano en rodajas.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Antecedentes

(Franco et al., 2019) desarrollaron un trabajo titulado: Deshidratación de Salmon (Salmon del Atlantico), Carne de Res y Manzana ( ) Usando Ventana Refractante. El objetivo de esta investigación fue estudiar el uso de VR en la deshidratación de salmón, carne de res (magra) y manzanas (Granny Smith) a través del análisis de la difusividad efectiva determinada a través de la prueba de modelo Fick. y el modelo anómalo. Secaron rodajas de salmón, ternera y manzana a 55 y 95 °C, utilizando un proceso de secado convencional o VR. La actividad del agua ( $a_w$ ) midieron periódicamente por secado, y la difusión efectiva ( $D_{eff}$ ) midieron usando la segunda ley de Fick y un modelo anómalo. También midieron los cambios de color ( $\Delta E$ ) y la firmeza. Los resultados que mostraron fue que VR no mejoró la transferencia de masa en salmón y carne de res. Por el contrario, en rodajas de manzana deshidratadas con VR, la  $D_{eff}$  y los tiempos de procesamiento se vieron significativamente afectados ( $p < 0,05$ ), lo que refleja un tiempo de secado reducido necesario para alcanzar una  $a_w$  de 0,6.

También concluyeron que VR es una poderosa herramienta que permite deshidratar frutas utilizando temperaturas de 95 °C y brinda una reducción del 50% en el tiempo de secado. Los datos presentados en su estudio los llevo a concluir que, con base en el cálculo fraccionario, las curvas de secado obtenidas para el salmón, la carne de res y las manzanas deshidratadas mediante el método de secado VR fueron mejor modeladas por un modelo de difusión anómalo que por el modelo de Fick.

(Ocoró-Zamora & Ayala-Aponte, 2013) desarrollaron una investigación titulada Evaluación de la Técnica de Ventana de Refractancia en el secado de pure de Papaya, el propósito de este trabajo fue evaluar los cambios de humedad y volumen durante el secado de rodajas de puré de papaya por Ventana de Refractancia a 80°C y 2, 3 y 4



mm de espesor. Adicionalmente, se determinaron las difusividades a partir de la solución analítica de la segunda ley de Fick. Los resultados mostraron que en 90 min de secado se alcanza contenidos de humedad inferiores al 8% (bs) y cambios netos de volumen de 86,4, 83,2 y 82,7% para rodajas de 2, 3 y 4 mm de espesor, respectivamente. Los valores de difusividad fueron del orden de  $10^{-10}$  m<sup>2</sup>/s.

Concluyeron que Ventana de Refractancia presenta alto potencial como alternativa de conservación de la papaya por alcanzar contenidos de humedad inferiores a 8% (bs) en tiempos cortos de secado (90 min). A menor espesor de muestra el contenido de humedad fue menor y la reducción de volumen mayor.

Un estudio realizado por (Tirado- et al., 2016) con título: Secado de rodajas de fruto del árbol del pan mediante la técnica de Ventana Refractiva , tuvo como objetivo comparar la cinética del secado de rebanadas de fruto del árbol del pan (*Artocarpus communis*) mediante la técnica de Ventana Refractiva (VR) con la de secado en bandeja. Para llegar a cabo este trabajo usaron rodajas de 1 y 2 mm de espesor. El secado con VR lo realizaron con temperatura del baño de agua a 92 °C; y el secado en bandeja a 62 °C y una velocidad del aire de 0,52 m/s. Durante el secado por la técnica de VR, el contenido de humedad llegó a niveles más bajos que el secado en bandejas. De igual manera sucedió con las muestras de 1 mm, las cuales, por tener menor diámetro alcanzaron niveles de humedad inferior que las muestras de 2 mm. Las mayores difusividades se obtuvieron durante el secado por VR en rodajas de 1 y 2 mm con coeficientes de 6,13 y  $3,90 \cdot 10^{-9}$  m<sup>2</sup>/s respectivamente.

Concluyeron que la técnica de secado por VR resultó ser una tecnología de deshidratado más rápida que la de secado convencional en bandeja, por lo que podría considerarse como una tecnología con un alto potencial para el secado de rodajas de frutas y otros alimentos con propiedades similares. La VR presentó alto potencial

como alternativa de conservación de fruto del árbol del pan por alcanzar contenidos de humedad por debajo de 0,3 kg de agua/kg de sólido seco en solo 12 minutos. A menor espesor de muestra el contenido de humedad fue menor y la reducción de volumen mayor. La VR es mucho más rápida y eficiente en el secado del fruto del árbol del pan, lo cual se evidencia en los mayores valores de difusividad con este método. Además, evidenciaron que entre más reducido sea el espesor de la rebanada, la eficiencia energética de la tecnología incrementa.

(Gamboa et al., 2014) realizaron un trabajo titulado Secado de lúcuma (*Pouteria obovata*) empleando la técnica de Ventana Refractante, Este estudio tuvo como objetivo obtener harina de lúcuma utilizando el método de secado por ventana refractante y evaluar el efecto del espesor de la pulpa de lúcuma y el tiempo de secado en la humedad y el color de la harina. Fue utilizado un Diseño Compuesto Central Rotable (DCCR) con el tiempo entre 10 y 50 min y el espesor entre 1 y 3 mm. Se empleó una temperatura fija de 95°C y lámina mylar (polietileno de tereftalato metalizado) como película refractante de 0,1 mm. Determinaron que las condiciones ideales para obtener harina de lúcuma (9,8% de humedad) con esta técnica se da cuando el espesor fue 1,3 mm y con un tiempo de 15 minutos; a estas condiciones la difusividad efectiva del agua es de  $2,53E-7 \text{ m}^2/\text{s}$ .

Como conclusión presentaron que el secado mediante ventana refractante (RW), se basa en la transmisión de la energía térmica de agua caliente que circula en el equipo a través de una película de contacto o polímero conductor que contiene el producto en la superficie de este. Utilizaron una temperatura promedio de 95 °C y determinaron que en un tiempo de 15 minutos y con un espesor de 1,29 mm se logra obtener un 9,82 % de humedad. Determinaron que la muestra en estas condiciones exhibe una difusividad promedio de  $2,534. E-7 \text{ m}^2/\text{s}$  la cual es mayor que las exhibidas por las

muestras secadas en estufa ( $9,75 \text{ E-}10 \text{ m}^2/\text{s}$ ), lo que significa que con la técnica de RW se obtienen velocidades de secado mayores que en los métodos tradicionales. Finalmente, el método de RW no influyó significativamente en el color, demostrándose que este método es ideal para obtener productos deshidratados de mejor calidad.

El trabajo titulado: Efecto del Espesor y Tiempo de Secado por Ventana Refractante en las Características Sensoriales y Humedad de Olluco en Slice (*Ullucus tuberosus*) tuvo como objetivo evaluar el efecto del espesor de slice y tiempo de secado en dos morfotipos (Quello Lisa y Puka Lisa) de olluco (*Ullucus tuberosus*) procedente de Huancavelica. En este estudio utilizaron un diseño compuesto central rotatable con valores mínimos y máximos de espesor (2 – 4 mm) y tiempo (15 – 45 min). Evaluaron la humedad final del producto y sus características sensoriales basadas en parámetros de color ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , C y H). Encontraron efecto significativo del espesor y tiempo de secado en las variables dependientes, en ambos morfotipos estudiados. Los rangos óptimos del espesor: 2,25 mm y 2,45 mm, para Quello Lisa y Puka Lisa, respectivamente; y tiempo de secado por ventana refractante: 51,2 minutos, para ambos morfotipos; que maximizan las características sensoriales y humedad final. Lograron un producto deshidratado estable y apto para su comercialización, como insumo de platos típicos peruanos. (Pari Castro, 2019)

(Ocoró-Zamora & Ayala-Aponte, 2013) realizaron un estudio titulado: características de Secado de Rodajas de Mango utilizando la técnica de ventana refractante, secaron rodajas de mango (1 y 2 mm de espesor) utilizando la técnica de VR con la temperatura del baño de agua fijada a  $92 \text{ }^\circ\text{C}$ . Determinaron la cinética de secado, la actividad del agua y el cambio de color y se compararon con los obtenidos al secar las lonchas en un secador de bandejas a  $62 \text{ }^\circ\text{C}$  y una velocidad del aire de  $0,52 \text{ m/s}$ . A 1 h, contenidos

de humedad de 0,013 (para muestra de 1 mm) y 0,048 (para muestra de 2 mm) kg agua/kg sólido seco para VR, y 0,966 (para muestra de 1 mm) y 3,614 (para muestra de 2 mm) kg agua/ kg de sólido seco para el secado en bandeja y la actividad del agua fue inferior a 0,5 para VR y cercana a 0,97 para el secado en bandeja. El secador de bandejas tardó 4 h en alcanzar resultados similares a los de VR a 1 H. Las muestras secadas por VR exhibieron difusividades de  $4,40 \times 10^{-10}$  (para muestra de 1 mm) y  $1,56 \times 10^{-9}$  (para muestra de 2 mm)  $m^2/s$ , que son mayores que las exhibidas por las muestras secadas al aire,  $2,08 \times 10^{-11}$  (para muestra de 1 mm) y  $6,83 \times 10^{-11}$  (para muestra de 2 mm)  $m^2/s$ . Concluyeron que la técnica de VR tiene un alto potencial para el secado de rodajas de fruta. También muestran en su trabajo que el tiempo de secado requerido para que VR alcanza un contenido de humedad final de 5% se reduce en un factor de 4 (para muestras de 2 mm) u 8 (para muestras de 1 mm) en comparación con el tiempo requerido para secar las muestras en un secador de bandejas a 62 °C. El tiempo de secado es menor y el daño térmico es menor para el secado RW, incluso si se compara RW con el secado al aire a 90 °C. El cambio de color del producto fue similar.

## 2.2 Marco teórico

### 2.2.1 Arándano

El arándano o “blueberry” es un frutal menor perteneciente al género *Vaccinium*, de la familia Ericaceae. Es nativo de Norteamérica, se trata de un arbusto pequeño de 0.2-0.4 m de altura, cuyo nombre científico es *Vaccinium corymbosum*. El fruto del arándano conforma el grupo de las frutas denominadas comercialmente en el ámbito internacional como berries, entre las que además se encuentran la frutilla, frambuesa (roja, negra, púrpura y amarilla), grosella, mora, baby kiwi, cranberry, etc. El fruto del arándano es una baya casi esférica de 7 a 15 mm. De color azul claro a oscuro;

que contiene pequeñas semillas y presenta un sabor agridulce muy característico(Mego & Andrea, 2018)

### **Clasificación botánica**

El arándano, es un fruto carnoso simple, con el pericarpio comestible, es una baya que pertenece a la familia de las Ericáceas del género *Vaccinium*, el cual está formado por docenas de plantas que producen bayas de color oscuro, azuladas o rojizas, ricas en antocianinas y pigmentos vegetales que les confiere su color característico. Derivados de un ovario, con uno o varios carpelos y óvulos y donde por lo general hay muchas semillas en la pulpa. El epicarpio es la cáscara del fruto, mientras que el mesocarpio y endocarpio se fusionaron en varios casos por lo que no resulta fácil distinguirlos en la pulpa. El ovario es siempre superior en estas flores, tienen uno o más carpelos dentro de una cubierta fina y los interiores muy carnosos. (Morales Morales, 2017)

### **Clasificación Taxonómica**

Existen distintas especies de arándanos. La mayor extensión cubierta por este frutal corresponde al arándano de arbusto bajo, que crece de forma silvestre en regiones de Norteamérica, de donde es originario, ocupando zonas frías y con suelos ácidos, taxonómicamente el arándano se clasifica de la siguiente manera(Quispe Ambrocio, 2019).

**Tabla 1**

Clasificación taxonómica del arándano

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida

Orden	Ericales
Familia	Ericales
Subfamilia	Vaccinioideae
Tribu	Vaccinieae
Género	Vaccinium
Especie	Vaccinium corymbosum

**Fuente:**(Quispe Ambrocio, 2019)

### Valor Nutricional del Fruto

Las propiedades nutricionales del arándano son constantemente investigadas y promovidas. El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA por sus siglas en inglés) menciona que el arándano por cada 100 g de fruto aporta 60 kcal, y contiene 2.4 g de fibra dietética, 0.74 g de proteína, 9.96 g de azúcares, 9.7 mg de vitamina C, 0.33 g de grasas y otro valores importantes que se pueden observar en la siguiente tabla.(Ilse, 2015)

**Tabla 2**

Valor nutricional del Arándano (*Vaccinium corymbosum*)

Composición		/100g
Nutriente	Energía	60 kcal
	Proteína	0.74 mg
	Lípidos	0.33 mg
	Carbohidratos	14.49 mg
	Azúcares	0.96 mg
	Fibra Dietética	2.4 mg
	Cenizas	0.21 mg
	agua	84.61 mg
Minerales	Calcio	6.0 mg
	Hierro	0.17 mg
	Magnesio	5.0 mg

	Fosforo	10.0 mg
	Potasio	79.0 mg
	Sodio	6.0 mg
	Zinc	0.11 mg
	<hr/>	
Vitaminas	Vitamina C	9.7 mg
	Tiamina	0.05 mg
	Riboflavina	0.5 mg
	Niacina	0.36 mg
	Vitamina B6	0.4 mg
	Vitamina E	1.0 mg
	<hr/>	
	<b>Fuente:</b> (Ilse, 2015)	

### **Antioxidantes en Arándanos**

Los arándanos proveen más antioxidantes que la mayoría de las otras frutas y que los vegetales. Los arándanos podrían también reducir los procesos inflamatorios de los tejidos ya que contienen fotoquímicos, un tipo de químicos presentes en las frutas y los vegetales que aumentan la fluidez del paso de los nutrientes hacia y desde el interior de las células, investigadores del USDA estudiaron en ratas los efectos del antioxidante llamado pterostilbene presente en los arándanos y descubrieron que el pterostilbene estimula en las células del hígado una proteína receptora que disminuye los niveles altos tanto del colesterol malo como de otras grasas de la sangre. Para reducir el colesterol malo es importante recordar siempre que la mejor forma de combatirlo es combinar la actividad física con una dieta rica en frutas, vegetales y baja en grasas saturadas.(Huamantingo Tello, 2016)

### **Morfología del Arándano**

(Huamantingo Tello, 2016) aclara que, son arbustos que dependiendo de la especie alcanzan alturas que van desde unos pocos centímetros hasta varios metros, sus hojas son simples y caedizas su forma varia de ovalada a lanceolada, se distribuyen en forma alterna a lo largo de la ramilla, los estomas están ubicados exclusivamente en el envés de las hojas. El fruto es una baya redondeada, de 7 a 9 mm de diámetro,

de color negro azulado, cubierta de pruina azul y con un ribete en lo alto a modo de coronita, su carne, de un agradable sabor agridulce, es de color vinoso, y en la parte central contiene diversas semillas.

La altura de la planta del arándano es un arbusto frutal de hoja caduca, que alcanza una altura de 1,5 a 2,5 m. Posee yemas simples florales y vegetativas. Flor o Inflorescencia, racimosa con 5 a 10 flores péndulas, gamopétalas de color blanco o rosado. El fruto, es una baya de forma esférica que puede variar de 1 a 2 cm de diámetro, de color azul intenso y con la epidermis recubierta de una cerocidad característica. El sistema radical del arándano es superficial, fibroso y de poca extensión y está constituido por raicillas muy finas y es moderadamente difícil de tratar en plantas jóvenes. Las hojas del arándano son simples, alternadas, de forma ovalada o lanceolada, sus bordes pueden ser enteros o ligeramente aserrados y pueden presentar cierta pilosidad en el envés, es una especie auto fértil. El tipo más común de inflorescencia en arándanos es un racimo, generalmente axilar, las que se diferencian en las yemas terminales de las ramillas cuando se detiene el crecimiento vegetativo al inicio del otoño. Las flores son gamopétalas de forma de campana. Poseen 8 a 10 estambres insertos en la base de la corola. El ovario es ínfero con 4 a 10 celdas que pueden presentar uno o más óvulos en cada lóbulo. El fruto es una baya de color azul intenso con un tono gris opaco producto de las ceras epicuticulares, estos frutos pueden aparecer temprano o tarde en el verano y su color y tamaño pueden variar según la variedad. La vida productiva de este arbusto es de alrededor de 20 años, sin embargo se ha informado de plantas de más edad que aún presentan un buen nivel de producción.(Huamantingo Tello, 2016)

### **2.2.2 El Secado**

El objetivo fundamental del secado es la extracción del agua, la cual contiene los



sólidos e involucra los procesos de transferencia de calor y masa. Esto se puede dividir en dos procesos simultáneos: transferencia de calor al producto para la evaporación y transferencia de masa húmeda de la superficie del producto hacia el ambiente.(Cervantes Flores, 2020)

### **Secado en Alimentos**

La deshidratación de alimentos constituidos por células vegetales, tales como las frutas, supone una serie de cambios físicos, químicos y sensoriales como consecuencia 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 cambios 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, en lo referente al color, sabor, textura, viscosidad, velocidad de reconstitución, valor nutritivo y estabilidad en el almacenamiento. (Contreras Monzón, 2006)

El grado en que ocurren estos cambios depende de la composición del alimento y de la severidad del método de secado. Las reacciones de oscurecimiento pueden deberse a acciones enzimáticas (por lo que se suele inactivarlas mediante tratamientos de escaldado) o pueden deberse a reacciones no enzimáticas, las cuales se aceleran cuando los alimentos se someten a altas temperaturas y el alimento posee una elevada concentración de grupos reactivos. Otra consecuencia de la

deshidratación de los alimentos es la dificultad que presenta su rehidratación en el caso de que éste sea un objetivo deseado. Las causas son de origen físico y químico, teniendo en cuenta por una parte el encogimiento y daño celular ocasionado, y por otra, la desnaturalización de las proteínas ocasionada por el calor y la concentración de sales. En estas condiciones estas proteínas de las paredes celulares no son capaces de absorber de nuevo el agua tan fácilmente, perdiendo así el tejido la turgencia y alterando la textura que caracteriza a un determinado alimento. La pérdida parcial de componentes volátiles y de sabor es otro efecto de la deshidratación; por esta razón algunos métodos pretenden atrapar y condensar los vapores producidos en el secador y devolverlos al producto seco, aunque un control de la temperatura empleada puede evitar en gran medida la volatilización de estas sustancias (Contreras Monzón, 2006).

### **Cinética y Curvas de secado**

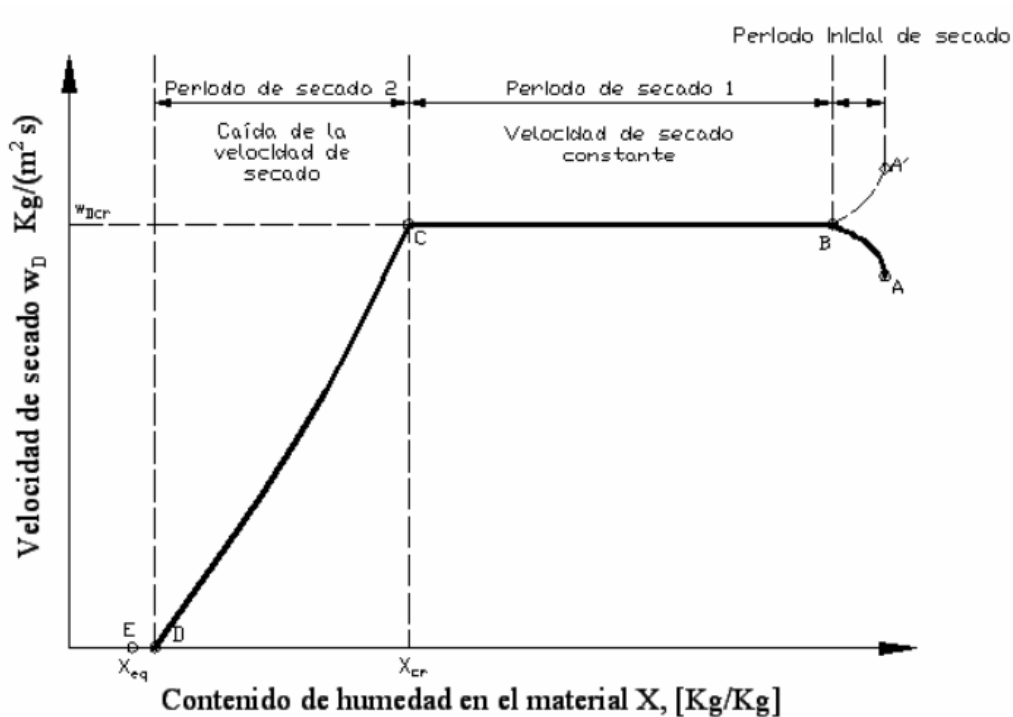
Para cada producto, hay una curva representativa que describe las características de secado de ese producto en condiciones específicas de temperatura, velocidad y presión. Esta curva se conoce como la curva de secado para un producto específico. Las variaciones en la curva ocurrirán principalmente en 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 (Cerron Inga & Junchaya Verastegui, 2019). El proceso de secado se puede dividir en tres períodos:

- (a) Período de tasa de secado constante.
- (b) Primer período de tasa de secado descendente.
- (c) 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 (CH) normalmente cae. El gráfico es lineal al principio, luego se curva y finalmente se nivela. El período de secado a velocidad constante (BC) 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 1**

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



(Cerron Inga & Junchaya Verastegui, 2019)

A medida que se reduce el contenido de humedad, también se reduce la tasa de migración a la superficie. Si el secado se produce a temperaturas demasiado altas, la superficie forma celdas encogidas muy compactas que se sellan entre sí. Esto actúa como una barrera para la migración de humedad y tiende a mantener la 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.

Temperatura del bulbo de red (WBT): WBT es la temperatura de estado estable

que muestra el termómetro cuyo bulbo está cubierto con una mecha húmeda y del cual el agua se evapora en una corriente de aire de alta velocidad. La cantidad de agua evaporada no es lo suficientemente alta como para alterar la temperatura y la humedad de la corriente de aire. El aire se sopla a alta velocidad (mínimo 300 m/min) para provocar la evaporación del agua de la mecha. La evaporación requiere calor latente. Este calor proviene de la superficie del bulbo de vidrio de un termómetro. Entonces la temperatura del bulbo de vidrio disminuye. El calor proviene de la diferencia de temperatura entre  $T_w$  y  $T_a$  (grande). Es el caso de la transferencia simultánea de calor y masa. Este calor es calor latente para el cambio de fase de agua a vapor de agua.

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:

- (a) Movimiento de la humedad dentro del material hacia la superficie.
- (b) 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.

(i) 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.

(ii) 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

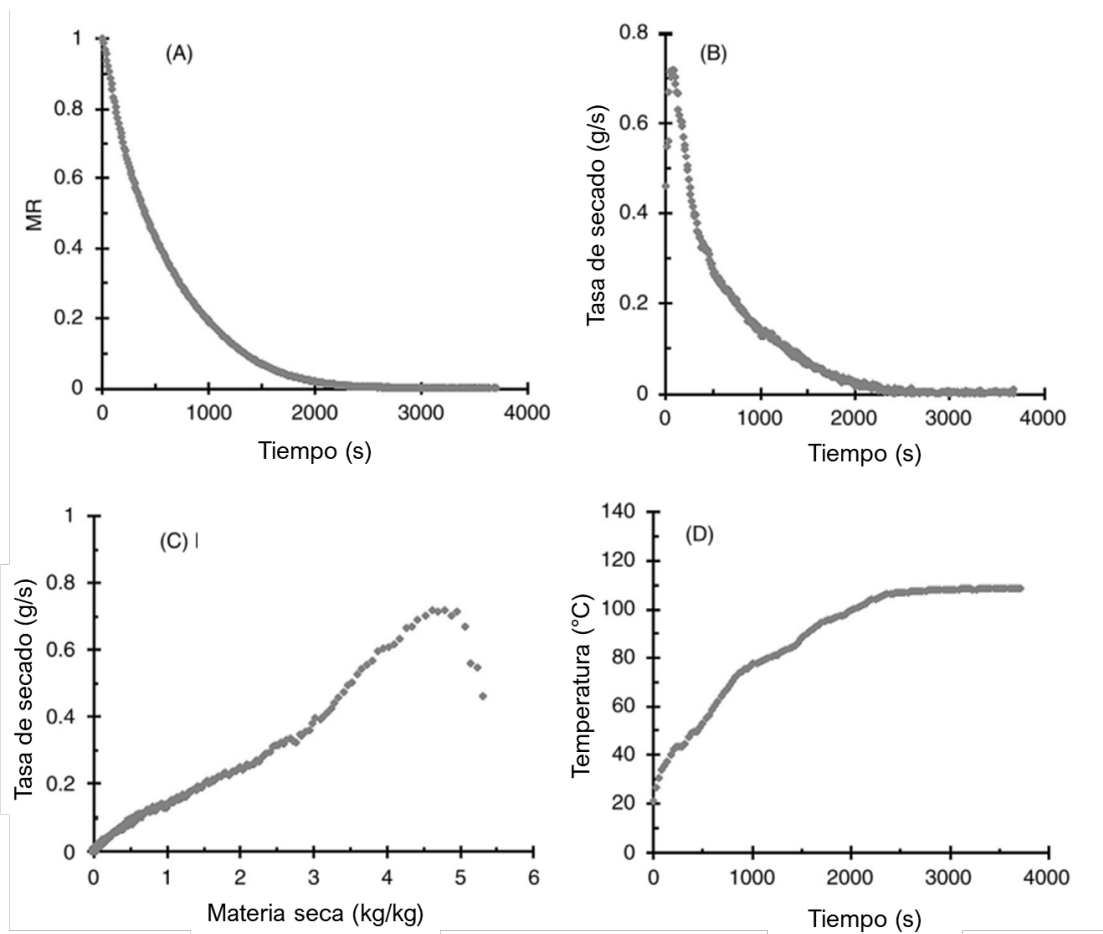
efectos de contracción, es conveniente secar con aire húmedo (Soto Ramos, 2013).

### 2.2.3 Modelamiento matemático de curvas de secado

El modelado del proceso de secado es uno de los aspectos más importantes de la tecnología de secado. Las curvas útiles que describen la cinética de secado, son las siguientes cuatro representaciones: (A) curva de secado, (B) curva de velocidad de secado, (C) curva de Krischer y (D) curva de temperatura.

**Figura 2**

Curvas de secado representativas



(Bennamoun & Li, 2018)

La curva de secado se expresa como el contenido de humedad ( $X$ ) versus el tiempo ( $t$ ) y se obtiene directamente de la pérdida de peso y del tiempo durante el secado. Además, la curva de secado se puede construir como relación de humedad ( $MR$ ) versus tiempo. La  $MR$  se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$MR = \frac{X - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}}$$

Donde  $X_0$  es el contenido de humedad inicial y  $X_{eq}$  es el contenido de humedad de equilibrio.

La curva de velocidad de secado se expresa como velocidad de secado versus tiempo ( $-dX/dt$  versus  $t$ ). Es un diferencial de la curva de secado. Claramente, es mucho más irregular que la curva de secado. La velocidad de secado ( $DR$ ) de las muestras durante la aplicación del proceso de secado se puede determinar de la siguiente manera:

$$DR = \frac{X_{t1} - X_{t2}}{t_2 - t_1}$$

donde  $t_1$  y  $t_2$  son tiempos diferentes durante el secado, y  $X_{t1}$  y  $X_{t2}$  son los contenidos de humedad de las muestras de alimentos en los tiempos  $t_1$  y  $t_2$ .

El estudio de la cinética de secado usa una serie de los modelos matemáticos empíricos que son usados para modelizar el proceso de secado, existen una gran cantidad de modelos, los más usados se muestran en la tabla a continuación:



**Tabla 3**

Ecuaciones utilizadas para el modelamiento de la cinética de secado

<b>Modelo</b>	<b>Ecuación</b>
Newton	$MR = \text{Exp}(-kt)$
Page	$MR = \text{Exp}(-kt^n)$
Page modificado	$MR = \text{Exp}^{[( -kt)^n]}$
Henderson y Pabis	$MR = a \times [\text{Exp}(-kt)]$
Logarítmico	$MR = a \times [\text{Exp}(-kt)] + c$
Thomson	$MR = 1 + at + bt^2$
Fick	$MR = \frac{X - X_e}{X_o - X_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^2} \text{Exp} \left[ -(2n-1)^2 \frac{\pi^2 D_{eff}}{4 \times L^2} \times t \right]$

(El-Mesery et al., 2023)

**Análisis teórico del modelo de Page.**

El modelo reportado como el más usado y el que mejor ajusta a los datos en alimentos, es el modelo de Page (Simpson et al., 2017), representado por la siguiente ecuación:

$$\frac{M - M_{\infty}}{M_0 - M_{\infty}} = \exp(-k \cdot t^n)$$

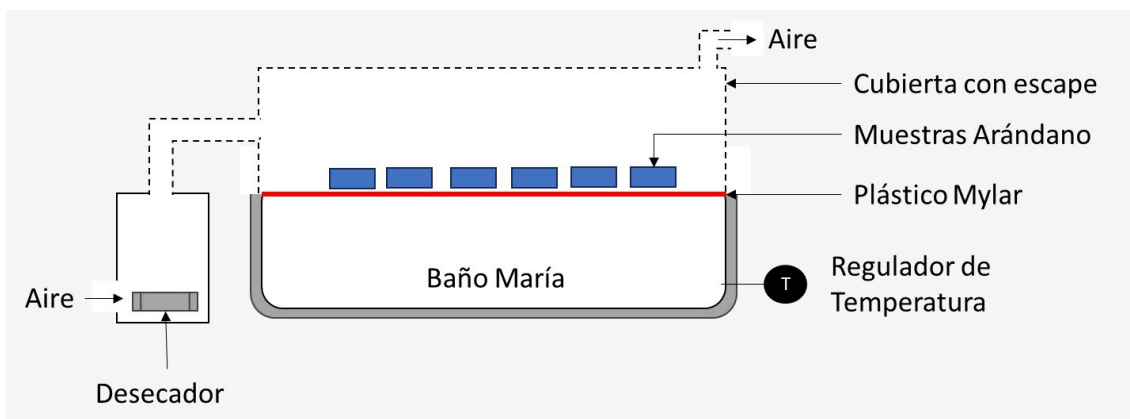
Page utiliza el concepto de difusión anómala y el enfoque de cálculo fraccionario, proporcionaron una interpretación fenomenológica del modelo, donde la velocidad de secado es constante (k) y está asociado con el coeficiente de “difusión” y la geometría de la muestra, mientras que la constante de secado adimensional (n) está relacionado con el “tipo de difusión” y la microestructura de los alimentos.

#### 2.2.4 Secado por Ventana Refractiva

En la deshidratación por Ventana Refractante, intervienen dos materiales sólidos (película y alimento) y dos fluidos (agua y aire) Cuando el agua es puesta sobre una fuente caliente, el calor se dispersa en el agua a través de la convección. Como el calor es absorbido, el agua transmite energía térmica al exterior en tres formas: convección, conducción y una pequeña cantidad es transmitida a través de radiación. (Si la superficie del agua es cubierta por un medio transparente como un plástico, la evaporación y la pérdida de calor asociados, son bloqueados, de esta forma, la película de plástico “refracta” parte del calor y lo regresa al agua impidiendo la transferencia de calor por convección y permitiendo el paso de energía hacia el alimento únicamente por conducción y radiación. La ventana plástica actúa como un espejo que refleja la energía térmica. Pero cuando un material húmedo se pone sobre la superficie plástica, el agua en la material crea un “ventana” que permite el paso de la energía térmica. Por un breve momento el material recibe energía por radiación, conducción y convección, proporcionando una transferencia de calor excepcionalmente eficiente. Sin embargo, después de pocos minutos, el material se seca, se cierra la ventana de infrarrojos y la conducción sigue siendo el único medio de transferencia de calor. Finalmente, la energía llega al alimento y genera la evaporación del agua que lo constituye.(Quispe Talla & Castro Vicente, 2017)

**Figura 3**

Diagrama esquemático de un sistema de secado por ventana refractante



El esquema básico de un sistema por ventana refractante se muestra en la Figura 3, idealmente, este mecanismo implica una "ventana" a través de la cual se produce la transferencia de calor y masa. Esta ventana permite el paso de energía térmica a través del material húmedo colocado sobre la superficie de la membrana plástica (Asimwe et al., 2022).

En el proceso de secado por ventana refractante menos de la mitad de la radiación térmica total llega al material alimenticio esparcido sobre la película. El calor se transfiere directamente a las moléculas de agua y las temperaturas del producto pueden alcanzar hasta 74 °C , a medida que el producto pierde humedad, la "ventana" de secado se "refracta" nuevamente en la fuente de agua calentada, particularmente con un aumento en el índice de refracción que da como resultado que la radiación térmica se refleje nuevamente en el agua (Zotarelli et al., 2015).

### 2.2.5 Actividad de agua

El concepto de actividad del agua ( $a_w$ ) es la expresión más útil de la disponibilidad de agua para el crecimiento microbiano y la actividad enzimática. La actividad del agua es sólo uno de los factores ambientales que

influyen en el crecimiento de los hongos. Su crecimiento y supervivencia estarán influenciados por la temperatura, la concentración de iones de hidrógeno, las concentraciones de oxígeno y dióxido de carbono y la presencia de conservantes. Cuando cualquiera de estos factores es subóptimo, el efecto inhibitor de la  $a_w$  reducida tiende a potenciarse. Los niveles de  $a_w$  correspondientes a una variedad de contenidos de humedad de los alimentos se pueden representar gráficamente para proporcionar una isoterma de sorción de agua. Esta isoterma es útil, no sólo para mostrar a que contenidos de humedad se alcanzan ciertos niveles deseables o indeseables de  $a_w$ , sino también para indicar que significado tendrán los pequeños cambios en el contenido de humedad en términos de  $a_w$ . Por lo tanto, es una guía útil para la vida útil de los alimentos mantenidos a temperaturas moderadas y conservados sólo mediante  $a_w$  reducida (Abdullah et al., 2000).

#### **2.2.6 Espacio del color Cielab**

El color es el primer atributo de calidad de los alimentos evaluado por los consumidores, por lo tanto, es un componente importante de la calidad de los alimentos relevante para la aceptación en el mercado. Se requiere una medición rápida y objetiva del color de los alimentos en el control de calidad para la clasificación comercial de productos (León et al., 2006). Los espacios instrumentales se utilizan para instrumentos de color. Muchos de los espacios instrumentales están estandarizados por la Commission Internationale d'Eclairage (CIE) bajo una serie de condiciones estándar (iluminantes, observadores y espectros metodológicos).

El espacio de color CIE  $XYZ$  es uno de los primeros espacios de color definidos matemáticamente creado por CIE en 1931 basado en la percepción fisiológica de la luz. En  $XYZ$  En el espacio, un conjunto de tres funciones de combinación de colores, denominadas colectivamente observador estándar, están relacionadas

con los conos rojo, verde y azul del ojo. *El espacio de color XYZ* se propuso para resolver el problema de que no es posible estimular un solo tipo de cono y no se utiliza ningún componente para describir el brillo percibido. En este espacio, *Y* significa luminosidad, mientras que *X* y *Z* son dos componentes virtuales principales que parecen curvas de conos sensibles al rojo y al azul. Sin embargo, *XYZ* no representa la gradación de color de forma uniforme. Por este motivo, dos espacios de color, CIE 1976 ( $L^* a^* b^*$ ) o llamado CIELAB y CIE 1976 ( $L^* u^* v^*$ ) o llamado CIELUV, que son la transformación no lineal de *XYZ*, fueron presentados y adoptados en muchos instrumentos de medición de color. En la medición del color de los alimentos, el espacio de color  $L^* a^* b^*$  es el más utilizado debido a la distribución uniforme de los colores y a que es perceptualmente uniforme, es decir, la distancia euclidiana entre dos colores diferentes corresponde aproximadamente a la diferencia de color percibido por el ojo humano (Sant'Anna et al., 2013).

Dentro del espacio CIELAB se definen 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. Además, los valores de la diferencia total de color ( $\Delta E^*$ ), el croma ( $C^*_{ab}$ ) y el tono ( $h_{ab}$ ) proporcionan información valiosa (García-Marino et al., 2013).

### 2.3 Definición de términos básicos

**Actividad de agua:** La actividad de agua es una medida de la disponibilidad de agua en los alimentos para el crecimiento microbiano. Se define como la relación entre presión de vapor de agua de un alimento y la presión de vapor del agua pura en condiciones idénticas de temperatura y presión.

**Arándano:** Planta de la familia de las ericáceas, de 20 a 50 cm de altura, con ramas angulosas, hojas alternas, aovadas y aserradas, flores solitarias, axilares, de color blanco verdoso o rosado, y por frutos bayas negruzcas o azuladas, dulces y comestibles.

**Color:** Es una cualidad organoléptica de los alimentos y se aprecia por medio del sentido físico de la vista. También suele ser considerado un factor psicológico de apreciación y un criterio para elegir un producto alimenticio; incluso en los productos de origen vegetal se relaciona con la posibilidad de elegir la maduración y su idoneidad.

**Difusividad:** Cantidad de calor que, normalmente, pasa por una unidad de superficie en la unidad de tiempo, dividida por el producto del calor específico, la densidad y el gradiente de temperatura.

**Humedad:** El contenido de humedad es una magnitud que expresa la cantidad de agua en un material sólido y se puede representar en términos de una base de masa seca o de una base de masa húmeda.

**Polifenoles:** Son compuestos hidrosolubles, y constituyen uno de los grupos más importantes de pigmentos vegetales.

**Secado:** El secado es un método de conservación de alimentos consistente en extraer el agua de estos, lo que inhibe la proliferación de microorganismos y dificulta la putrefacción.

**Temperatura:** La temperatura es una medida que se utiliza para hacer referencia a la cantidad de calor que irradia un objeto o ambiente.

**Tiempo:** Una magnitud de carácter físico que se emplea para realizar la medición de lo que dura algo que es susceptible de cambio.

**Ventana Refractante:** Es un método novedoso 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.

### III. MATERIALES Y METODOS

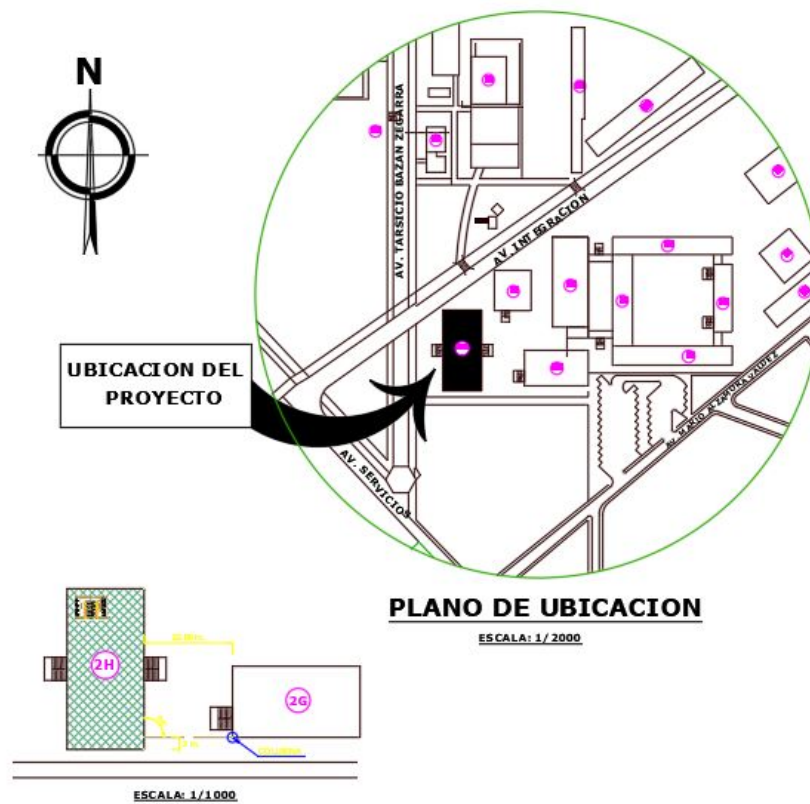
#### 3.1 Ubicación

El presente trabajo de investigación se desarrolló en el departamento de Cajamarca, en las instalaciones de la Universidad Nacional de Cajamarca- Escuela académico Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias en el laboratorio de Ingeniería de los Alimentos. Coordenadas: 7°10'01" S 78°29'44" O / -7°166943, -78.495427, altitud: 2750 msnm, temperatura: 15°C, precipitación: 11%, humedad: 73%.

La ubicación se muestra en la Figura 4.

**Figura 4**

Ubicación de laboratorio de ingeniería de Alimentos.



### 3.2 Materiales

**3.2.1 Material biológico.** Arándano de la variedad Viloxo de la zona de Cajamarca, seleccionado y clasificado, en estado de madurez fisiológica.

#### 3.2.2 Equipos

- Baño María
- Secador
- Colorímetro
- Espectrofotómetro
- Aqualab
- Balanza analítica
- Vernier



- Pipetas
- Tubos de ensayo

### **3.2.3 Materiales**

- Mesa
- Cuchillos
- Pinzas de acero inoxidable
- Bolsa siploc
- Mylar
- Bisturí
- Papel toalla
- Alcohol
- Papel aluminio
- Lavavajilla
- Jabón líquido
- Hipoclorito de sodio

### **3.2.4 Reactivos**

- Folin Cicalteu
- NaOH 0,30 M
- Ácido Gálico

## **3.3 Metodología**

### **3.3.1 Tipo de investigación**

La presente investigación es de tipo experimental en el que se busca la relación de causa y efecto entre dos variables a partir de la manipulación de la variable

independiente y el efecto sobre las variables dependientes.

### 3.3.2 Variables

- **Variables Independientes:** Tiempo, Temperatura.
- **Variables dependientes:**  $a_w$ , Color CieLab, Difusividad, Compuestos fenólicos.

### 3.3.3 Niveles y Tratamientos de estudio

En esta investigación el procedimiento fue realizado de acuerdo con la metodología establecida aplicando un diseño factorial multinivel 3 x 2.

- **Temperatura d secado**

T1 = 55 °C; T2 = 65 °C; T3 = 75°C

- **Tiempo de secado**

Ti1= 60 min; Ti2 = 120 min

**Tabla 4**

Niveles y tratamientos de estudio

<b>Temperatura de Secado (°C)</b>	<b>Tiempo de secado(min)</b>
-1 (55)	-1 (60)
0 (65)	-1 (60)
1 (75)	-1 (60)
-1 (55)	1 (120)
0 (65)	1 (120)
1 (75)	1 (120)

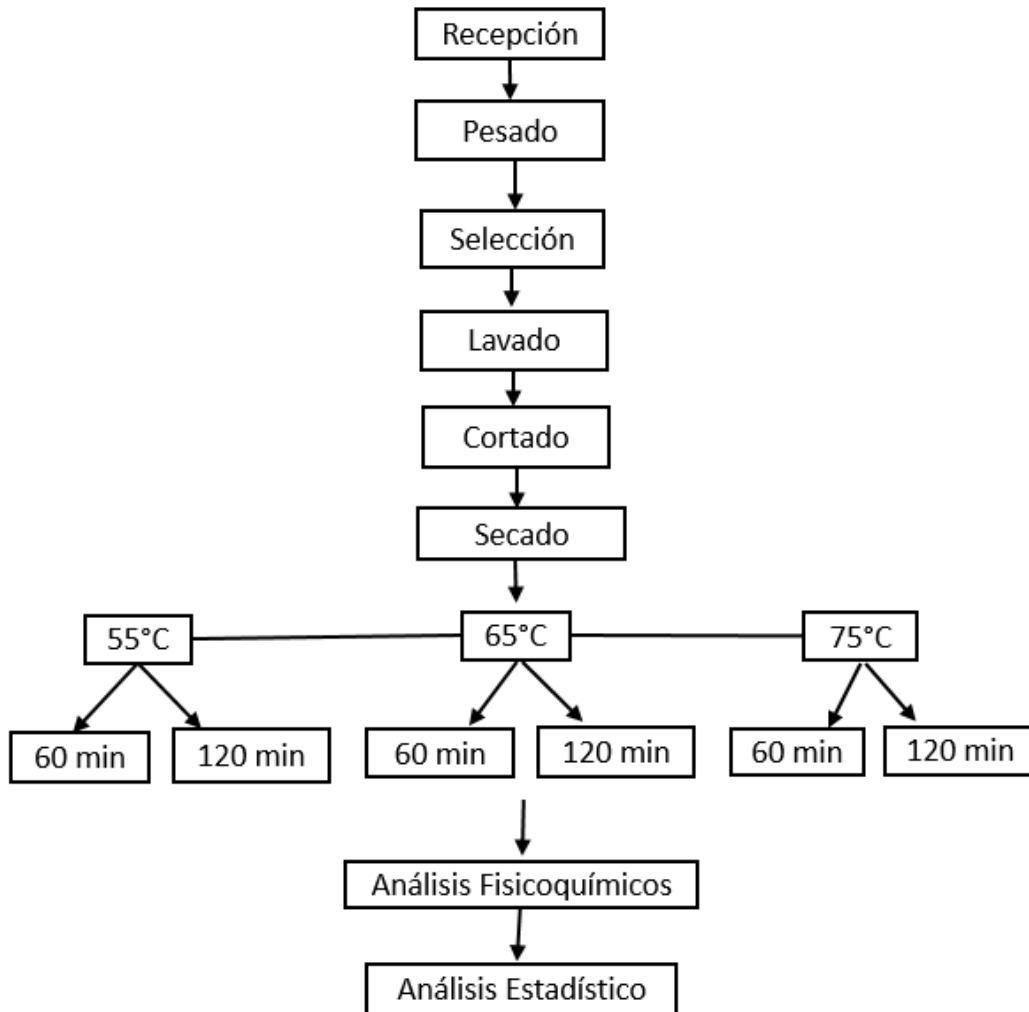
De la misma forma se evaluó el efecto de la temperatura usando como variable a los polifenoles totales en base a las temperaturas de secado.

### 3.3.4 Diseño experimental, arreglo de los tratamientos

La figura 5 muestra el diseño seguido en la presente investigación.

**Figura 5**

Diseño experimental



#### **Procedimientos (descripción de los procesos experimentales)**

- **Recepción de la materia prima.** Se recibió los arándanos en estado de madurez fisiológica.
- **Pesado.** Se realizó al momento de recibir la materia prima, la cantidad

utilizada fue 4 kg.

- **Selección.** La selección la de materia prima (arándanos) es importante para la eliminación de impurezas, materias extrañas, granos picados, enmohecidos, entre otros.
- **Lavado.** Se lavó el arándano con abundante agua y un poco de solución desinfectante (hipoclorito de sodio).
- **Cortado.** Se realizó con un vernier, el espesor de las rodajas fue de 2 mm.
- **Secado.** Se llevó a cabo en la ventana refractante adaptado al baño maría, siguiendo la secuencia de tiempo y temperatura ya plasmado en la metodología. Se utilizó la velocidad constante de 1m/s. El plástico utilizado fue lámina mylar (polietileno de tereftalato) de 0,1 mm.
- **Análisis fisicoquímico y Estadístico**

Este se realizó de la siguiente manera:

- **Recolección de datos de color:** Se utilizó la técnica de colorimetría, en el sistema Cielab, usando un equipo Konika Minolta. La medición del color se llevó a cabo antes, durante y al final del secado de las muestras de arándano en rodajas. En el secado por ventana refractante se tuvo 6 tratamientos, para la obtención de los datos del color se preparó 12 muestras por cada tratamiento sumando un total de 72 muestras para los 6 tratamientos de secado.
- **Determinación de Humedad:** Se determinó a través del método gravimétrico en una estufa a 130°C, hasta obtener un peso constante (método AOAC 925.10)
- **Determinación de difusividad.** Se utilizó el enfoque analítico desarrollado por (Dincer & Dost, 1995) , que además de determinar el coeficiente de difusividad efectiva ( $m^2/s$ ), permite obtener el

coeficiente de transferencia de masa.

○ **Modelamiento del secado**

Previo al modelado matemático se determinó la razón de humedad MR

$$MR = \frac{X - X_e}{X_o - X_e}$$

Donde:

**X** = Humedad en base seca a cada tiempo (Kg agua/Kg b.s.)

**X<sub>o</sub>** = Humedad inicial (Kg agua/Kg b.s.)

**X<sub>e</sub>** = Humedad en equilibrio (Kg agua/Kg b.s.)

Posteriormente se acoplaron los datos y el ajuste realizado a las curvas de secado se graficó en función de la relación de humedad adimensional (MR) y se ajustó al modelo empírico de Page (Carvalho et al., 2022), la cual se muestra a continuación:

$$MR_t = \exp(-k \cdot t^n)$$

Donde la velocidad de secado es constante (*k*) y está asociado con el coeficiente de “difusión” y la geometría de la muestra, mientras que la constante de secado adimensional (*n*) está relacionado con el tipo de difusión.

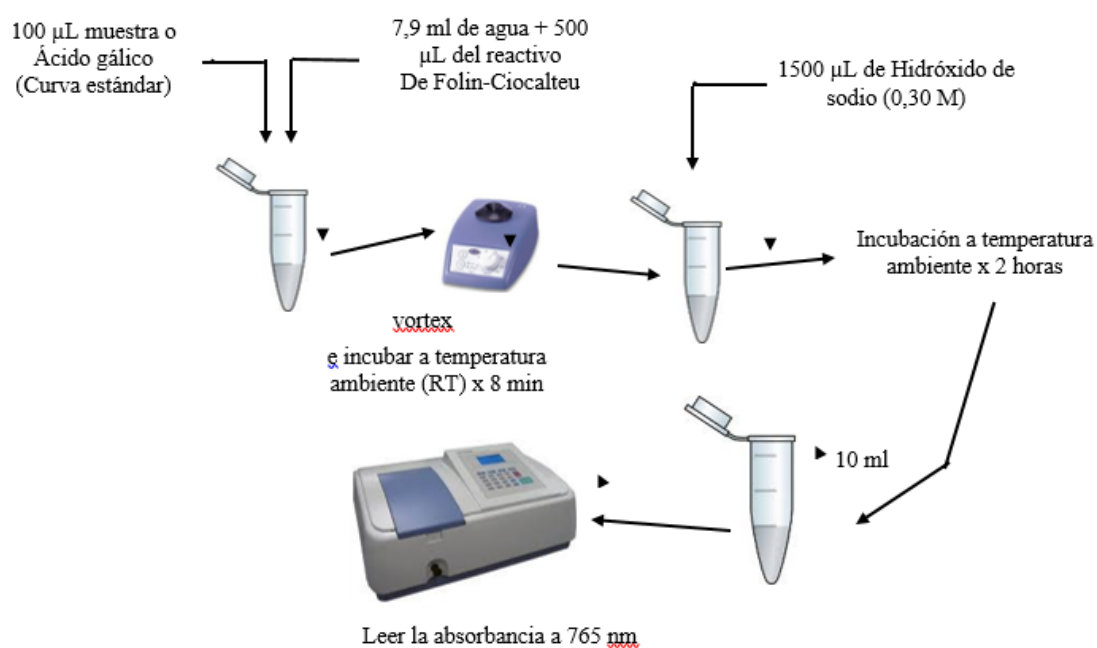
○ **Determinación de Contenido total de compuestos fenólicos.** El contenido total de compuestos fenólicos (TPC) se determinó mediante el reactivo fenol Foli-Ciocalteu, primero se preparó la solución stock del estándar de ácido gálico siguiendo el protocolo mostrado en la

Figura 6 establecido de acuerdo al método de reducción del reactivo Folin-Ciocalteu modificado de (Magalhães et al., 2010),.

La curva de la calibración del estándar de ácido gálico se preparó en las concentraciones de 0, 20, 50, 100, 250, 500 mg/L, la absorbancia se midió a 765 nm, utilizando un espectrofotómetro UV/VIS. Se tomó 100  $\mu$ l del extracto obtenido, se adicionó 7,9 ml de agua ultrapura y 500  $\mu$ l de Folin-Ciocalteu, se dejó encubar aislado de la luz durante 8 minutos a temperatura ambiente, luego se adiciono 1500  $\mu$ l de NaOH 0,30 M y se deja encubar por dos horas, terminada la incubación se realizó la lectura en el espectrofotómetro UV/VIS a 765 nm los resultados se expresaron como mg equivalentes de ácido gálico (GAE)/100 g.

### Figura 6

Protocolo para la determinación del contenido total de compuestos fenólicos (TPC)



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

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

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Efecto de la temperatura de secado por ventana refractante en las características físicas de arándano.

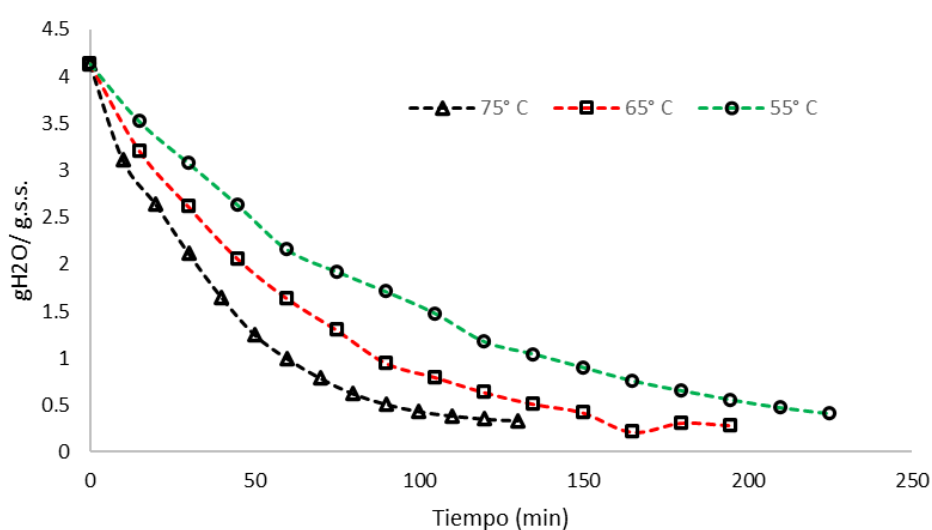
#### 4.1.1 Análisis de las curvas de secado

Las muestras de arándano presentaron una humedad inicial de 4.14 g H<sub>2</sub>O/gms, la cual estuvo dentro de los valores referenciales para frutos frescos de arándanos (Liu et al., 2021). La figura 7 y figura 8 muestran las curvas cinéticas de secado experimentales obtenidas para cada temperatura de secado.

Como se observa en las curvas de secado la temperatura de 75° C originó un descenso más rápido de la humedad en el producto, observándose claramente las etapas de aceleración y velocidad constante en el secado por ventana refractante.

**Figura 7**

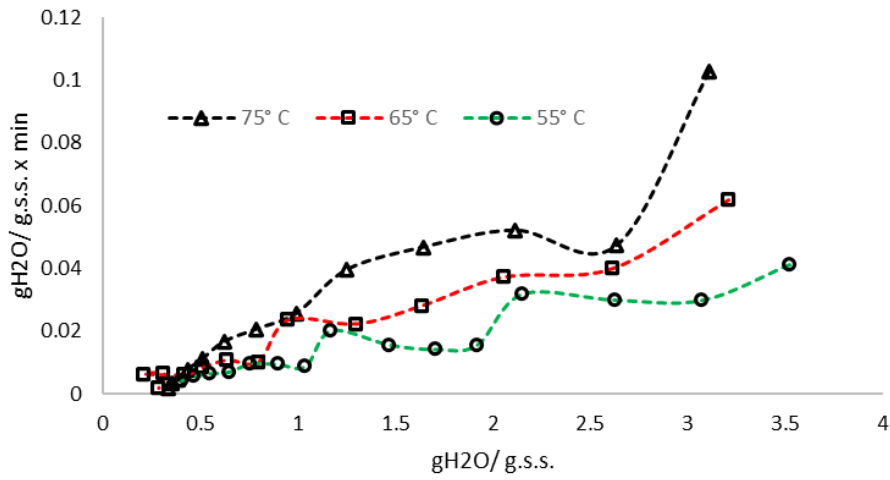
Curva de secado en base al tiempo





**Figura 8**

Curva de velocidad de secado en base al peso seco

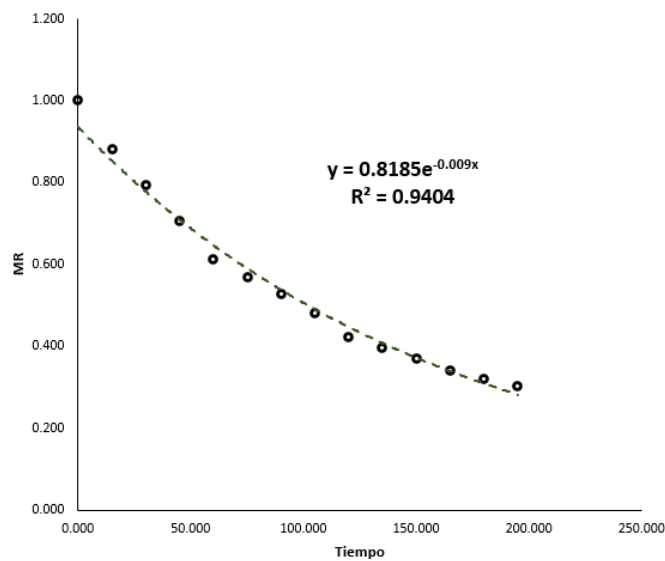


#### 4.1.2 Modelamiento matemático de la curva de secado

A partir de los resultados evaluados en las tres temperaturas se realizó un ajuste matemático a las curvas de secado con el modelo empírico de Page (Rurush et al., 2022), este modelo ya ha sido utilizado ampliamente en diversos estudios para ajustar las curvas de secado.

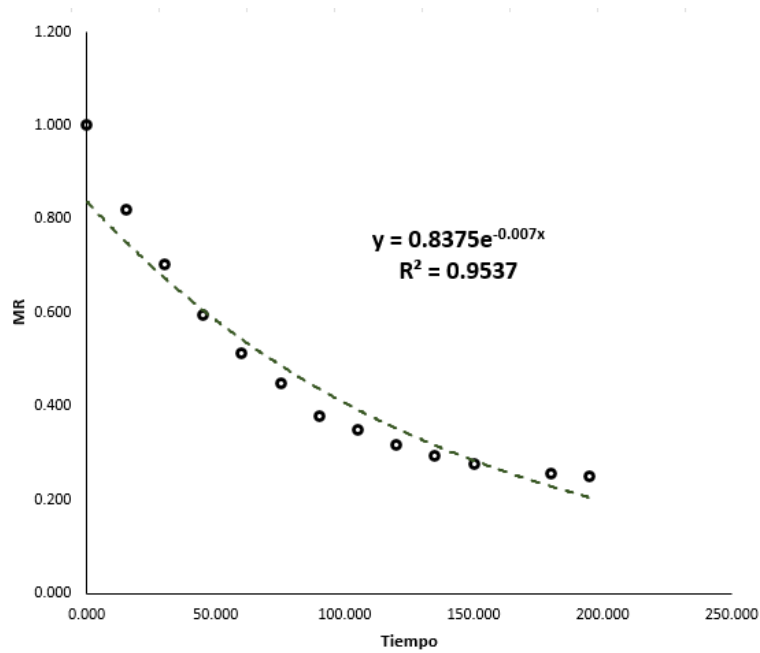
**Figura 9**

Cinética de secado por ventana refractante a 55° C



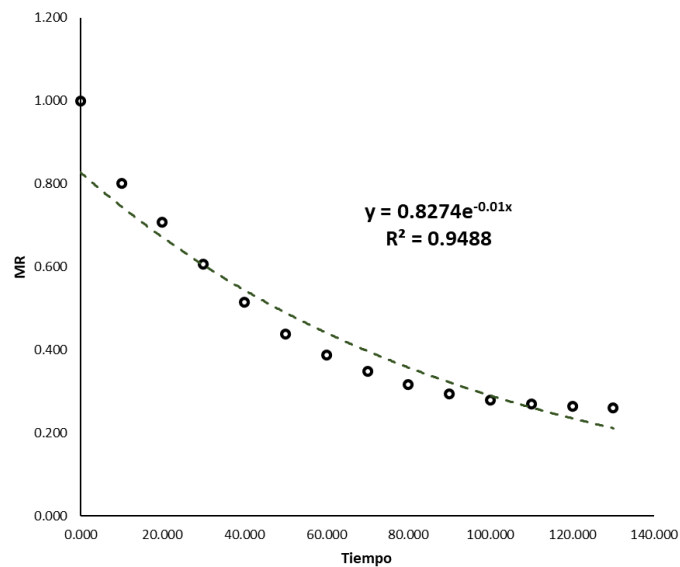
**Figura 10**

Cinética de secado por ventana refractante a 65° C



**Figura 11**

Cinética de secado por ventana refractante a 75° C



Se pueden observar similitudes en el comportamiento de las curvas de secado entre las condiciones estudiadas, pero de acuerdo con el valor de R<sup>2</sup>, todas superiores a 0.9 las 3 temperaturas estudiadas se ajustan al modelo de Page de una manera

representativa. El uso de la ecuación de Page ha sido reportada por autores como el que más se ajusta. (Torregroza-Espinosa et al., 2014).

El uso de ecuaciones matemáticas es necesario para la simulación de la cinética de transferencia de materia (agua) que ocurre durante la operación unitaria del secado, asimismo Vega-Gálvez et al. (2009) manifiesta que el ajuste a modelos cinéticos de secado ayuda en el diseño posterior de secadores, asegurando que el escalado de la tecnología logre los mismos valores estimados que en el proceso de prueba experimental a nivel laboratorio. Considerando el secado por ventana refractante de arándanos es necesario entender el proceso de secado a distintas temperaturas para que puedan ser implementados en el sector tecnológico y que apunten a evitar la destrucción de los polifenoles en este proceso.

## 4.2 Efecto de la Temperatura y tiempo de secado por ventana refractante en las condiciones físicas.

### 4.2.1 Efecto en la Difusividad

De acuerdo a lo mostrado en la Tabla 5, los factores principales (Temperatura y tiempo) y su interacción obtuvieron valores de  $P < 0.05$  por lo tanto, todos estos factores tienen un efecto significativo en la difusividad.

**Tabla 5**

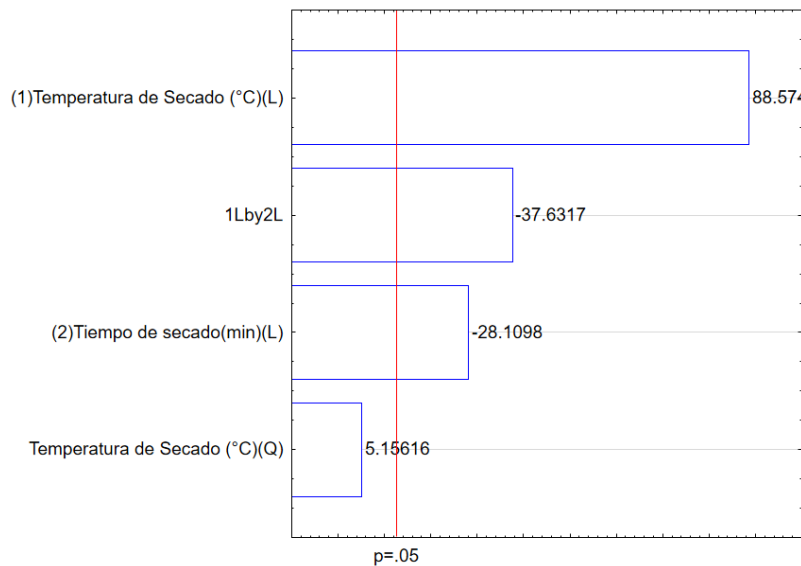
ANOVA para Difusividad

	<b>SS</b>	<b>dF</b>	<b>MS</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
(1)Temperatura de Secado (°C)(L)	0.000000	1	0.000000	7845.515	<b>0.007187</b>
Temperatura de Secado (°C)(Q)	0.000000	1	0.000000	26.586	0.121954
(2)Tiempo de secado(min)(L)	0.000000	1	0.000000	790.161	<b>0.022638</b>
1L by 2L	0.000000	1	0.000000	1416.147	0.016913
Error	0.000000	1	0.000000		
Total SS	0.000000	5			

Asimismo, al graficar los efectos estandarizados mostrados en la Figura 12, observamos que la temperatura es aquel factor que tiene el mayor efecto en la difusividad, seguido por la interacción de la temperatura y tiempo. La Figura 13 muestra los efectos individuales donde este resultado muestra que la difusividad efectiva aumenta cuando la temperatura es más alta y debido a que la muestra se deshidrata la difusividad tiende a disminuir. Este efecto, mencionado por (Ochoa-Martínez 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.

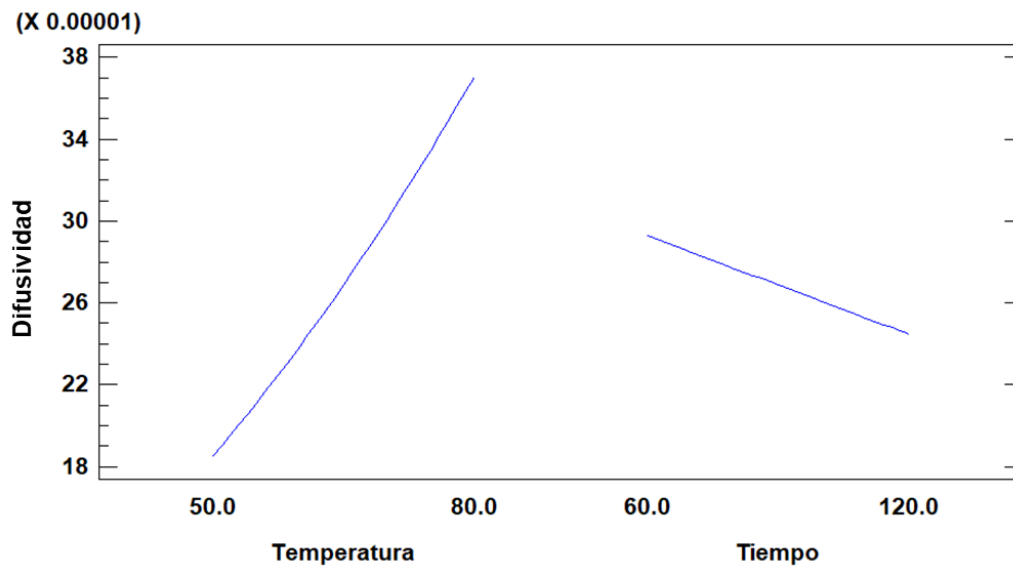
**Figura 12**

Pareto estandarizado para Difusividad



**Figura 13**

Efectos individuales en la Difusividad

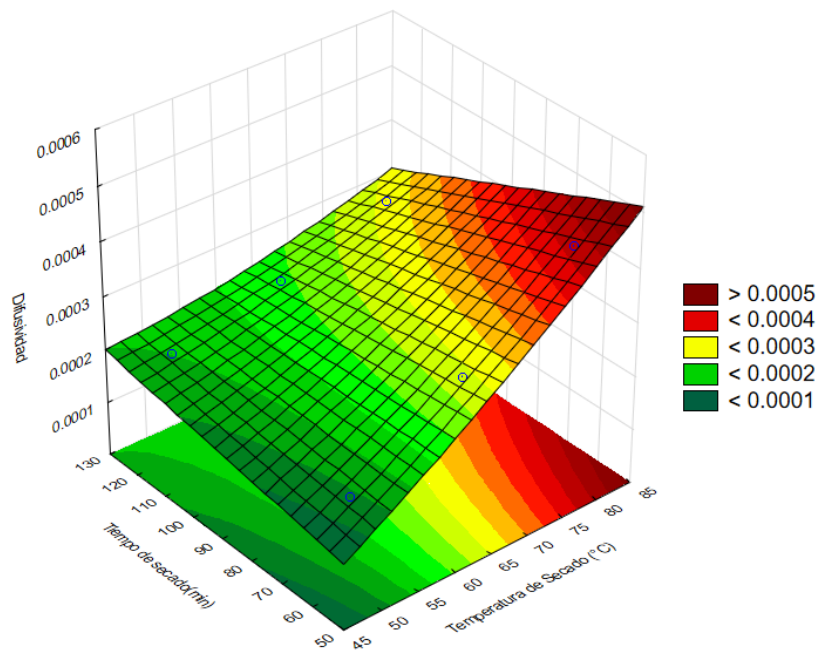


La figura 14 muestra la superficie de respuesta estimada en el cálculo de los efectos de la temperatura y tiempo sobre la difusividad de las muestras, se observa que el ajuste fue adecuado y la ecuación que lo representa es:

$$\text{Difusividad} = -0.000397661 + 0.00000865829*T + 0.00000488924*t + 4.15511E-8*T^2 - 8.754E-8*T*t \quad (R^2=0.92)$$

**Figura 14**

Superficie de respuesta para Difusividad



#### 4.2.2 Efecto en la actividad de agua ( $a_w$ )

La actividad del agua es de suma importancia en los estudios de secado porque determina la calidad de un producto y su seguridad sanitaria; los secados de ventana refractante en este estudio llegaron a valores de 0.65, pero ni la temperatura ni el tiempo lograron ser significativos, esto podemos observarlo en la Tabla 6.

**Tabla 6**

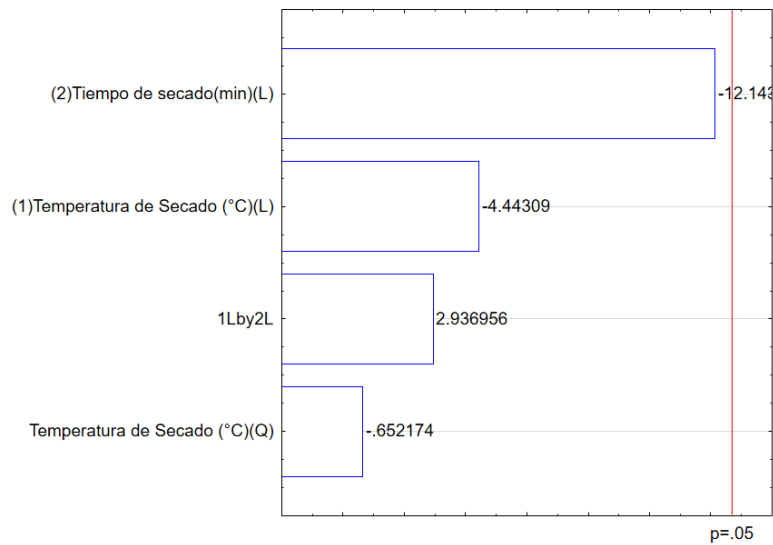
ANOVA para  $a_w$

	SS	dF	MS	F	p
(1)Temperatura de Secado (°C)(L)	0.003481	1	0.003481	19.7410	0.140935
Temperatura de Secado (°C)(Q)	0.000075	1	0.000075	0.4253	0.632096
(2)Tiempo de secado(min)(L)	0.026004	1	0.026004	147.4716	0.052305
1L by 2L	0.001521	1	0.001521	8.6257	0.208924
Error	0.000176	1	0.000176		
Total SS	0.031258	5			

Si bien no existe significancia al observar el gráfico de Pareto estandarizado (Figura 15), podemos darnos cuenta de que el tiempo tiene mayor efecto que la temperatura. Estos valores fueron aún altos por el método de análisis realizado que tuvo como objetivo medir el impacto del tiempo.

**Figura 15**

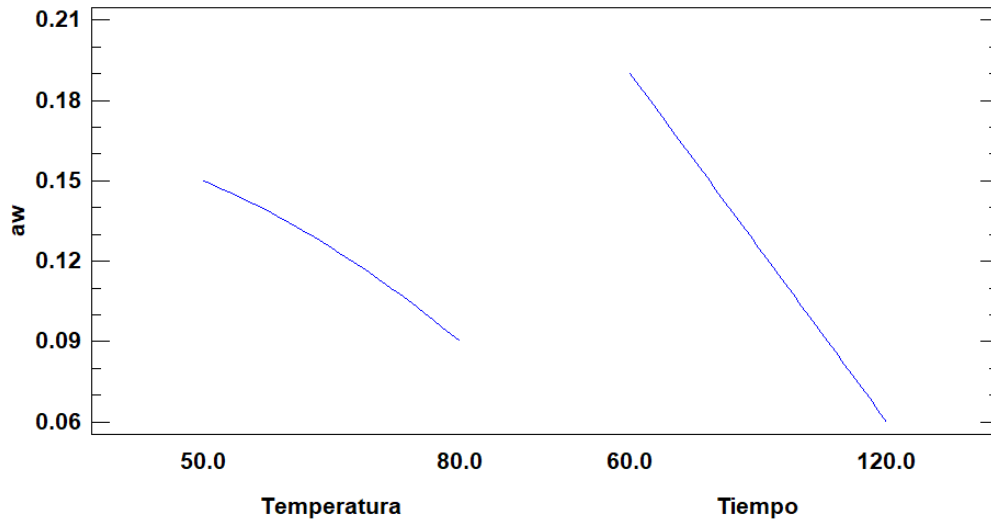
Pareto estandarizado para aw



De la misma forma se observa el comportamiento reportado por varias investigaciones de que tanto el aw se reduce con mayor velocidad a temperaturas altas y mientras avanza el tiempo, tal como se observa en la Figura 16.

**Figura 16**

Efectos principales para el aw



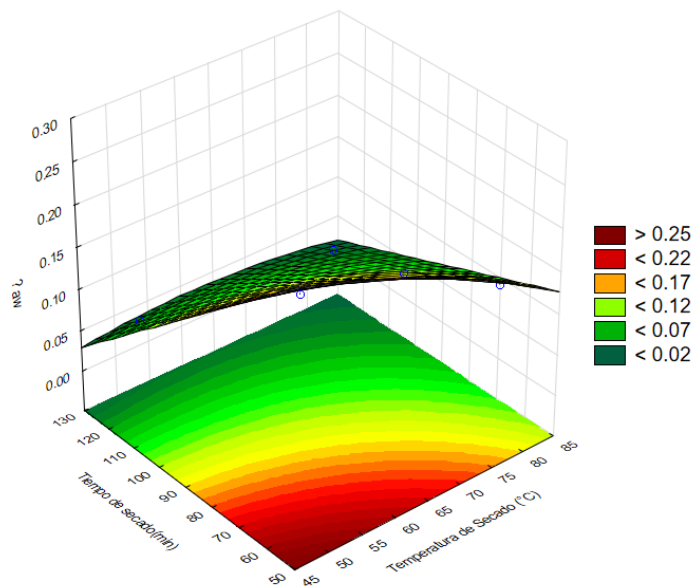
De igual forma el ajuste de datos fue adecuado al modelo de superficie generado,

el cual se muestra en la Figura 17 y cuya ecuación ajustada es:

$$aw = 0.616111 - 0.00311111*T - 0.00505556*t - 0.0000222222*T^2 + 0.0000444444*T*t \quad (R^2=0.91)$$

**Figura 17**

Superficie de respuesta para aw



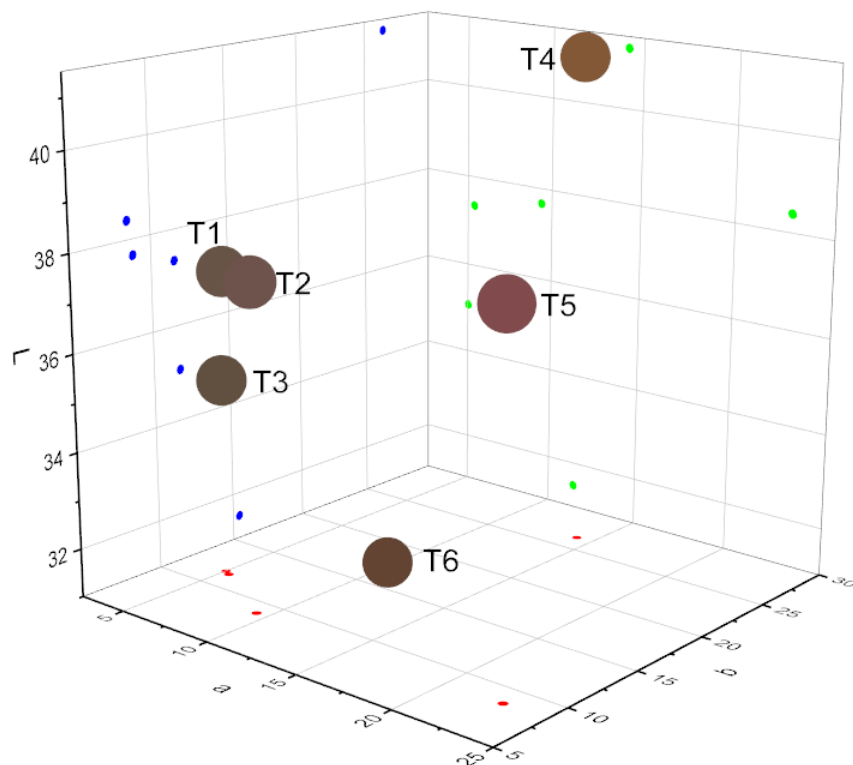


### 4.2.3 Efecto en los parámetros de color Cielab

El color de cualquier alimento está influenciado por varios factores, como los atributos del alimento y sus métodos de procesamiento, empaque y condiciones de almacenamiento. Por ello se evaluó los efectos del secado por ventana refractante en este atributo que está estrechamente relacionado a la calidad del producto. La figura 18 muestra claramente que los 6 tratamientos evaluados dieron un color distinto, y tal como se observa sus coordenadas en la escala tridimensional CieLAB son diferentes, por lo que se analizó la influencia de Temperatura y tiempo por cada atributo de color.

**Figura 18**

Valores de L\*a\*b\* en escala tridimensional



La tabla 7, 8 y 9 muestran los ANOVA para cada uno de los parámetros del espacio CieLAB, donde se puede distinguir que solamente se logró la

significancia estadística de la temperatura sobre el parámetro L (0 = negro, 100 = blanco) el cual midió la luminosidad. Los demás parámetros no tuvieron influencia ni del tiempo ni de la temperatura.

**Tabla 7**

ANOVA para parámetro L

	SS	dF	MS	F	p
(1)Temperatura de Secado (°C)(L)	36.34080	1	36.34080	358.2303	<b>0.033604</b>
Temperatura de Secado (°C)(Q)	4.00978	1	4.00978	39.5265	0.100418
(2)Tiempo de secado(min)(L)	0.17911	1	0.17911	1.7656	0.410715
1L by 2L	14.02503	1	14.02503	138.2520	0.054013
Error	0.10145	1	0.10145		
Total SS	54.65616	5			

**Tabla 8**

ANOVA para parámetro a\*

	SS	dF	MS	F	p
(1)Temperatura de Secado (°C)(L)	2.3256	1	2.3256	0.20329	0.730340
Temperatura de Secado (°C)(Q)	67.6084	1	67.6084	5.90981	0.248443
(2)Tiempo de secado(min)(L)	137.4093	1	137.4093	12.01127	0.178833
1L by 2L	1.3650	1	1.3650	0.11932	0.788265
Error	11.4400	1	11.4400		
Total SS	220.1483	5			

**Tabla 9**

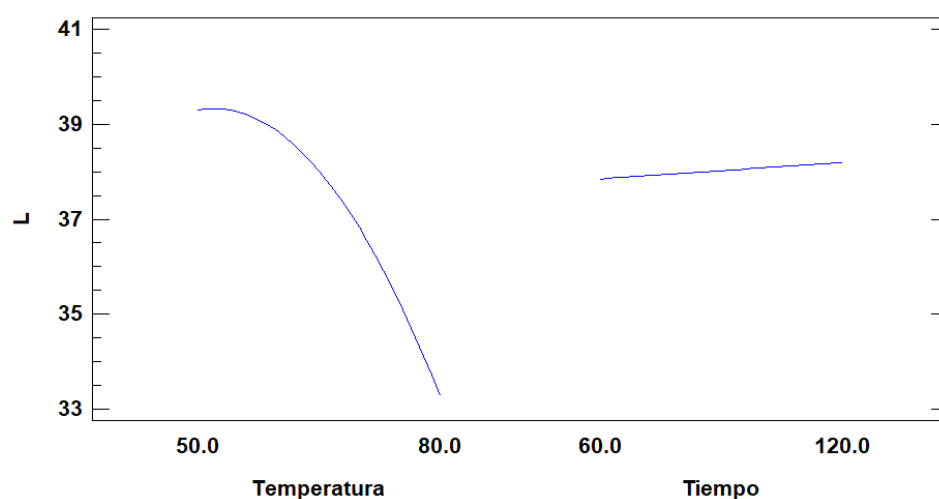
ANOVA para parámetro b

	SS	dF	MS	F	p
(1)Temperatura de Secado (°C)(L)	29.2140	1	29.21403	0.938877	0.510036
Temperatura de Secado (°C)(Q)	75.8524	1	75.85241	2.437735	0.362654
(2)Tiempo de secado(min)(L)	56.3858	1	56.38579	1.812119	0.406746
1L by 2L	31.3787	1	31.37867	1.008444	0.498662
Error	31.1159	1	31.11593		
Total SS	223.9468	5			

Para lograr evaluar los efectos principales observamos su comportamiento en las Figuras 19, 20 y 21, donde el valor L disminuye significativamente de acuerdo a como avanza la temperatura, esto representa colores más oscuros. Para los parámetros a y b el tiempo muestra un efecto importante llevando a valores amarillo-rojizos mientras avanza el tiempo. Estudios muestran que dependiendo del método de secado y de la composición inicial del producto, los valores de colores pueden variar en múltiples rangos (Alibas & Köksal, 2014). Asimismo, (Hernández Salueña et al., 2019) comenta que la evolución del color representa rutas de color características y específicas en el espacio de color CIELAB, lo cual puede mostrar reacciones como la oxidación de algunos compuestos, lo cual es demostrable en base a la pérdida de humedad del producto y concentración de algunos solutos en las muestras.

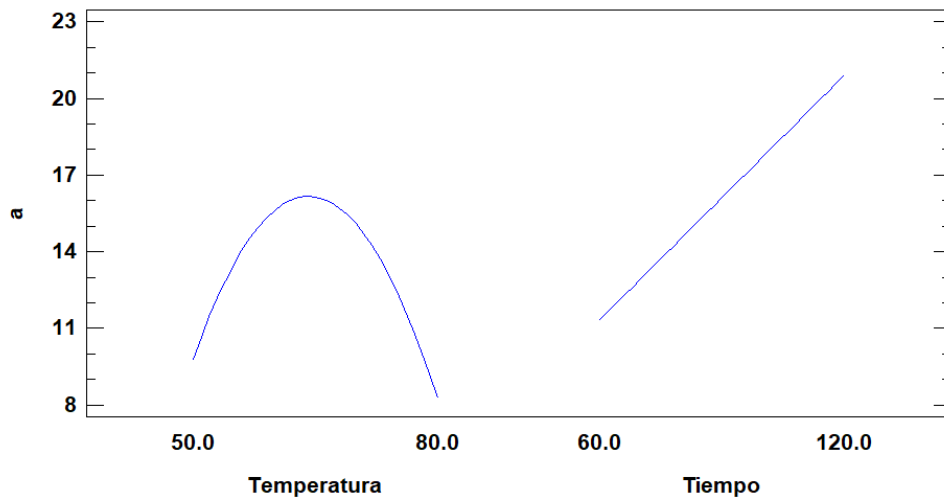
**Figura 19**

Efectos principales para L



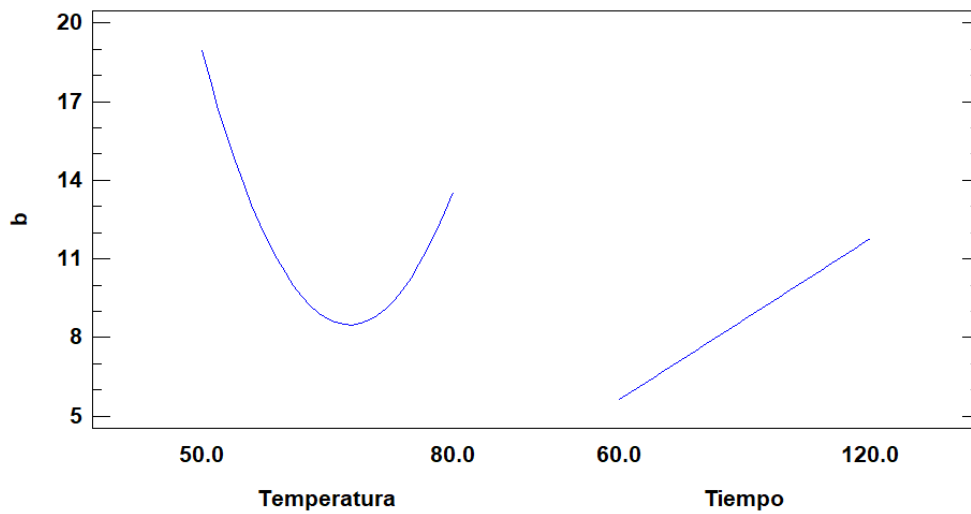
**Figura 20**

Efectos principales para a



**Figura 21**

Efectos principales para b



Se muestra las superficies de respuesta para los parámetros de la escala de color CielAB donde se observa el indicado ajuste a los valores experimentales, sus ecuaciones son:

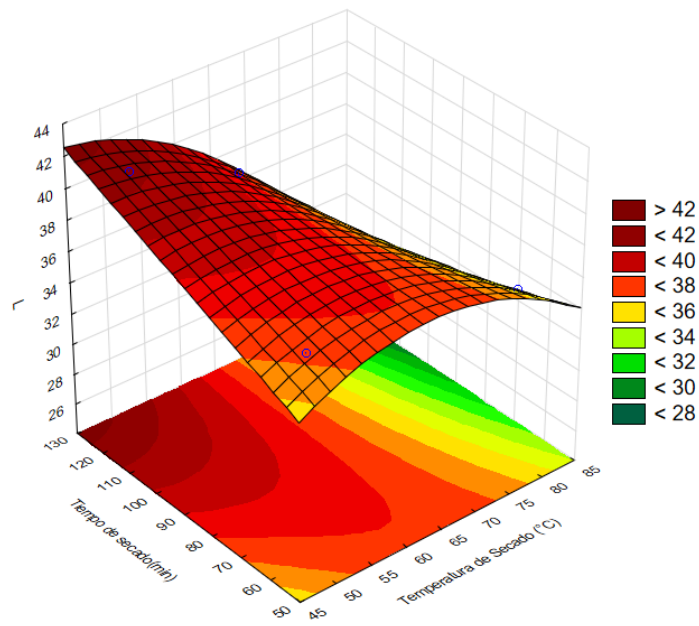
$$L = -6.3158 + 1.1747*T + 0.2763*t - 0.0077*T^2 - 0.00416*T*t \quad (R^2=0.98)$$

$$a = -136.228 + 4.1809*T + 0.2436*t - 0.03166*T^2 - 0.001294*T*t \quad (R^2=0.95)$$

$$b = 116.404 - 3.9764*T + 0.50661*t + 0.03351*T^2 - 0.006222*T*t \quad (R^2=0.86)$$

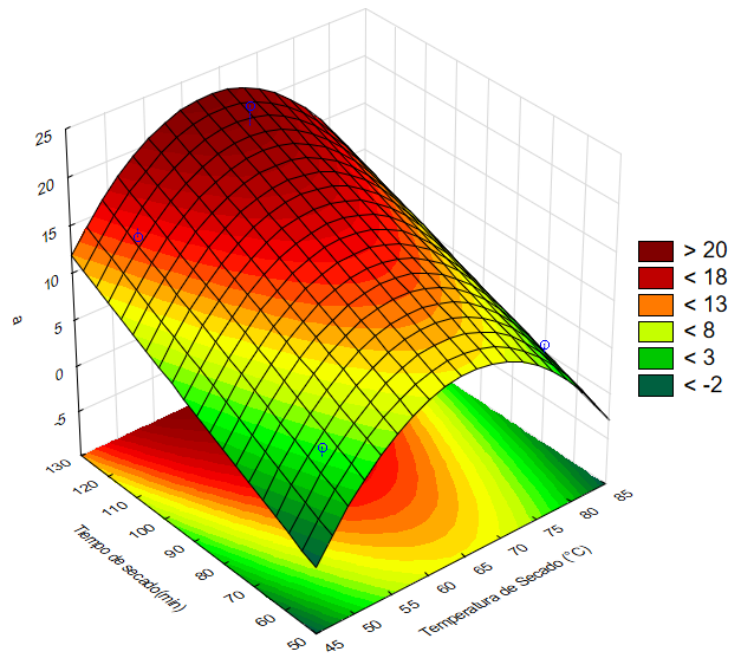
**Figura 22**

Superficie de respuesta para L



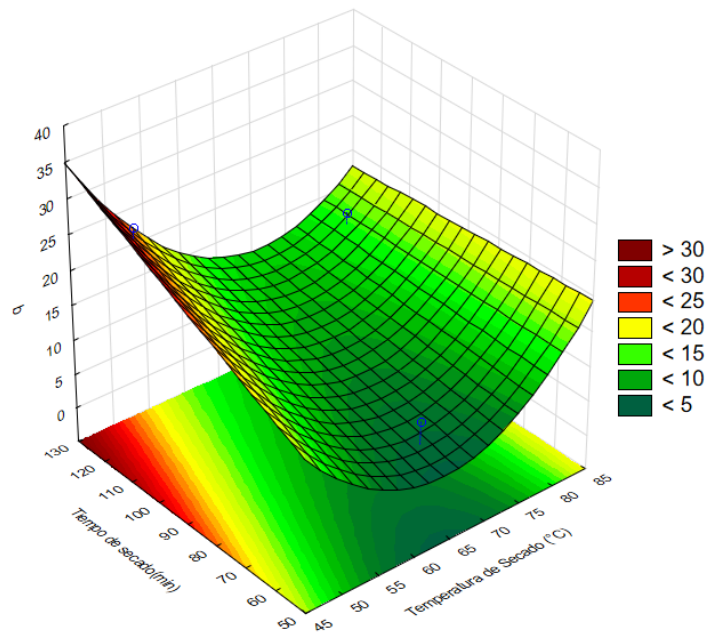
**Figura 23**

Superficie de respuesta para a\*



**Figura 24**

Superficie de respuesta para  $b^*$

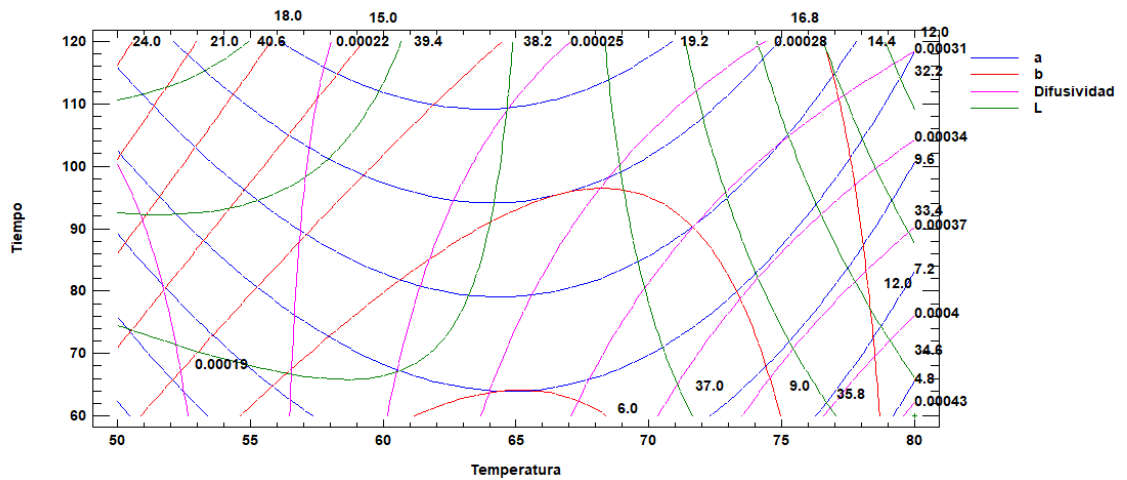


Tener las ecuaciones permite optimizar las características de la tecnología del secado, tal como menciona Vuarant (2014) que para alcanzar las mejores condiciones de un alimento deshidratado es fundamental la optimización de la operación de deshidratación, para conseguir no solamente la máxima eficiencia sino también determinadas características en el producto final relacionadas con la calidad nutritiva y funcional, la calidad sensorial y el control de parámetros que aseguren su conservación.

Los valores óptimos para lograr un color más claro, el cual es el deseable en el secado, fue a temperatura de 75°C y tiempos cortos, llegando a obtener un valor óptimo en la escala de  $L^*a^*b^*$  de 34.945, 4.02625 y 13.2733 respectivamente. Además de maximizar la difusividad en un valor óptimo de 0.000434446. La figura 25 representa las curvas de optimización.

**Figura 25.**

Curva de optimización



#### 4.2.4 Efecto de la temperatura de secado por ventana refractante en el contenido de polifenoles de arándano.

La lectura de la curva del ácido gálico se realizó en un espectrofotómetro UV-Vis a 765 nm de longitud de onda ( $\lambda$ ), expresado en absorbancia (UA). Los datos obtenidos para la curva de calibración se muestran en la Tabla 10.

**Tabla 10**

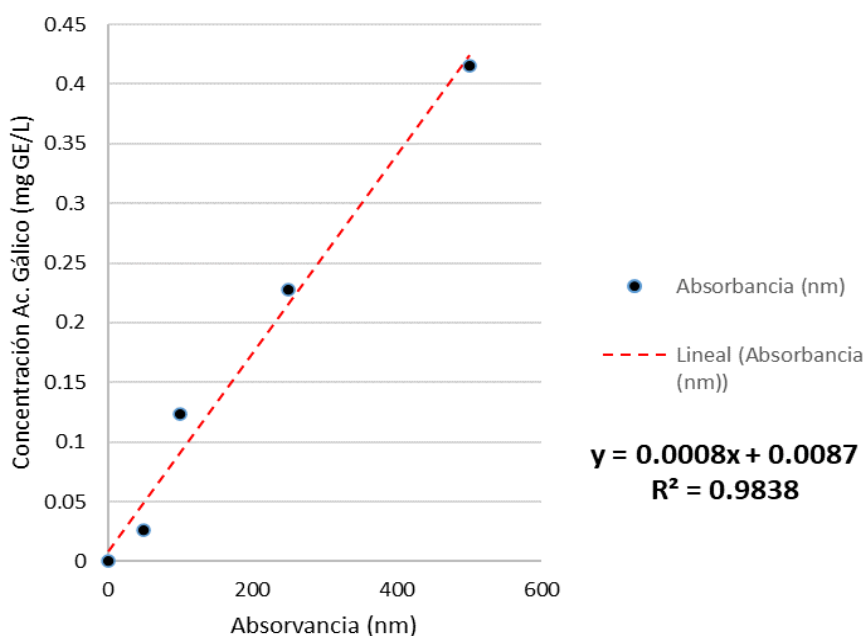
Datos de calibración de ácido gálico

concentración (mg/L)	Absorbancia (nm)
0	0
50	0.026
100	0.123
250	0.228
500	0.415

Asimismo, se muestra la curva de calibración ajustada de ácido gálico en el rango de concentraciones de 0 a 500 mg/L que responde a la ecuación  $Y = 0.0008x + 0.0087$  con un coeficiente de determinación  $R^2$  de 0.9838.

**Figura 26**

Curva de Calibración



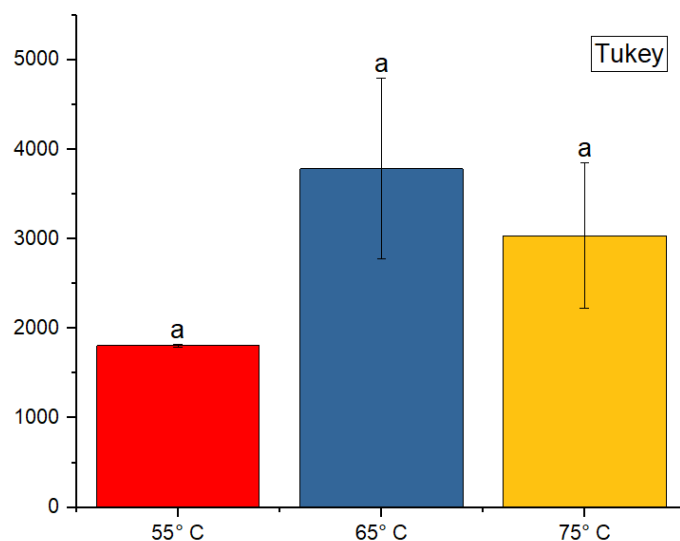
El principal indicador para determinar polifenoles totales es el ácido gálico, la figura 27 muestra los valores obtenidos para las muestras evaluadas a las 3 temperaturas de trabajo, como se observa a la prueba de comparación múltiple de Tukey no existe diferencia significativa ( $p > 0.05$ ) por lo que podemos afirmar que las concentraciones de polifenoles totales expresados con ácido gálico en las 3 muestras no presentan cambios significativos.

Los valores promedio de arándanos deshidratados es de 1011.5 mg GAE/100g (Anticona Barreto et al., 2016), mientras que en los valores obtenidos en la presente investigación son mayores a 1700 mg GAE/100g, lo cual puede deberse al proceso de secado por ventana refractante que tiene un proceso menos agresivo que el secado por aire forzado.



**Figura 27**

Prueba de Tukey para comparación de nivel de Polifenoles



Si bien no se distinguió un cambio significativo por efecto de la temperatura, si se observa valores distintos, esto puede deberse a que el ácido gálico (ácido 3,4,5-trihidroxibenzoico) puede no ser el principal compuesto polifenólico en los arándanos de la variedad Viloxi, ya que en este rubro también están los isoflavonoides, antocianinas, flavonoles, flavanonas y flavonas.

## V. CONCLUSIONES

- Se determinó que la temperatura (55°C, 65°C y 75°C) y tiempo (60 min y 120 min) de secado tienen efecto significativo sobre la difusividad, asimismo solo se encontró que la temperatura tiene efecto significativo para la variable de color L\*, para los demás parámetros evaluados aw y los valores de color a y b no existen efectos significativos. Los valores óptimos para lograr un color más claro fueron a temperatura de 75°C y tiempo de 60 min.
- Se observó que la temperatura de secado no ejerce efecto significativo en la determinación de los polifenoles totales, esto se realizó en base a prueba de Tukey. Los valores de polifenoles totales son mayores a 1700 mg GAE/100g.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Se debe aumentar el número de variables a estudiar para una mayor comprensión del proceso de secado por ventana refractante, se debe evaluar el espesor del material a secar, la velocidad del aire interno en el secador y nivel de potencia antioxidante.
- Se debería ampliar el análisis de este tipo de secado por ventana refractante a modelos matemáticos diversos, así como generar análisis del tipo curvas de adsorción y desorción.

## VII. BIBLIOGRAFIA

- Abdullah, N., Nawawi, A., & Othman, I. (2000). Fungal spoilage of starch-based foods in relation to its water activity (aw). *Journal of Stored Products Research*, 36(1), 47-54. [https://doi.org/10.1016/S0022-474X\(99\)00026-0](https://doi.org/10.1016/S0022-474X(99)00026-0)
- Alibas, I., & Köksal, N. (2014). Convective, vacuum and microwave drying kinetics of mallow leaves and comparison of color and ascorbic acid values of three drying methods. *Food Science and Technology*, 34, 358-364. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612014005000033>
- Anticona Barreto, M., Frígola Cánoves, A. M., & Esteve Mas, M. J. (2016). Determinación de polifenoles totales en arándanos y productos derivados. *UCV - SCIENTIA*, 8(1), 13-21.
- Asiimwe, A., Kigozi, J. B., Baidhe, E., & Muyonga, J. H. (2022). Optimization of refractance window drying conditions for passion fruit puree. *LWT*, 154, 112742. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112742>
- Bennamoun, L., & Li, J. (2018). Chapter 2 - Drying Process of Food: Fundamental Aspects and Mathematical Modeling. En A. M. Grumezescu & A. M. Holban (Eds.), *Natural and Artificial Flavoring Agents and Food Dyes* (pp. 29-82). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811518-3.00002-8>
- Carvalho, M. S., Corrêa, P. C., Silva, G. N., Lopes, L. M., & Sousa, A. H. D. (2022). KINETICS AND MATHEMATICAL MODELING OF THE DRYING PROCESS OF MACAÚBA ALMONDS<sup/>. *Revista Caatinga*, 35, 199-205. <https://doi.org/10.1590/1983-21252022v35n120rc>
- 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.

- Cervantes Flores, A. H. (2020). *Estado del arte de las técnicas de secado de piña en el mundo*. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/16936>
- 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>
- Dincer, I., & Dost, S. (1995). An Analytical Model for Moisture Diffusion in Solid Objects During Drying. *Drying Technology*, 13(1-2), 425-435. <https://doi.org/10.1080/07373939508916962>
- El-Mesery, H. S., Qenawy, M., Hu, Z., & Alshaer, W. G. (2023). Evaluation of infrared drying for okra: Mathematical modelling, moisture diffusivity, energy activity and quality attributes. *Case Studies in Thermal Engineering*, 50, 103451. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2023.103451>
- Franco, S., Jaques, A., Pinto, M., Fardella, M., Valencia, P., Núñez, H., Ramírez, C., & Simpson, R. (2019). Dehydration of salmon (Atlantic salmon), beef, and apple (Granny Smith) using Refractance window<sup>TM</sup>: Effect on diffusion behavior, texture, and color changes. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 52, 8-16. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.12.001>
- Gamboa, D., Ibáñez, D., Meléndez, M., Paredes, E., & Siche, R. (2014). Secado de lúcuma (*Pouteria obovata*) empleando la técnica de Ventana Refractante<sup>TM</sup>. *Scientia Agropecuaria*, 5(2), 103-108. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2014.02.05>
- García-Marino, M., Escudero-Gilete, M. L., Heredia, F. J., Escribano-Bailón, M. T., & Rivas-Gonzalo, J. C. (2013). Color-copigmentation study by tristimulus

- colorimetry (CIELAB) in red wines obtained from Tempranillo and Graciano varieties. *Food Research International*, 51(1), 123-131.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.11.035>
- Guadalupe Pacahuala, N. J. (2014). Estabilidad de antocianinas en láminas de fruta de saúco (*sambucus peruvianus* h.b.k.) Y melocotón (*prumus persica* l. Batsch) a diferentes temperaturas de secado. *Universidad Nacional del Centro del Perú*.  
<http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/1947>
- Hernández Salueña, B., Sáenz Gamasa, C., Diñeiro Rubial, J. M., & Alberdi Odriozola, C. (2019). CIELAB color paths during meat shelf life. *Meat Science*, 157, 107889.  
<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.107889>
- Huamantingo Tello, J. A. (2016). *Evaluación del crecimiento de plantines de dos variedades de arándano (Vaccinium corymbosum l.) en tres pisos altitudinales a condiciones de vivero en Abancay—Apurímac*.
- Ilse, F. M. (2015). *Caracterización físico-química y sistema de producción del arándano (Vaccinum myrtilus L.) en Jalisco*.  
<http://repositorio.cucba.udg.mx:8080/xmlui/handle/123456789/5901>
- León, K., Mery, D., Pedreschi, F., & León, J. (2006). Color measurement in L\*a\*b\* units from RGB digital images. *Food Research International*, 39(10), 1084-1091.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2006.03.006>
- Liu, Z.-L., Xie, L., Zielinska, M., Pan, Z., Wang, J., Deng, L.-Z., Wang, H., & Xiao, H.-W. (2021). Pulsed vacuum drying enhances drying of blueberry by altering micro-, ultrastructure and water status and distribution. *LWT*, 142, 111013.  
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111013>
- Magalhães, L. M., Santos, F., Segundo, M. A., Reis, S., & Lima, J. L. F. C. (2010). Rapid microplate high-throughput methodology for assessment of Folin-Ciocalteu

- reducing capacity. *Talanta*, 83(2), 441-447.  
<https://doi.org/10.1016/j.talanta.2010.09.042>
- Mego, S. C., & Andrea, L. (2018). Evaluación del tiempo de vida útil del arándano (*vaccinium corymbosum*) fresco variedad azul, almacenado en atmósfera modificada. *Repositorio Institucional - USS*.  
<http://repositorio.uss.edu.pe//handle/20.500.12802/5467>
- Morales Morales, M. (2017). *Evaluación de la rentabilidad de la aplicación de biopelículas en arándano (Vaccinium ashei Reade), para prolongar la vida de anaquel*. <https://rinacional.tecnm.mx/jspui/handle/TecNM/634>
- 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>
- Ocoró-Zamora, M. U., & Ayala-Aponte, A. A. (2013). INFLUENCE OF THICKNESS ON THE DRYING OF PAPAYA PUREE (*Carica papaya* L.) THROUGH REFRACTANCE WINDOW™ TECHNOLOGY. *DYNA*, 80(182), Article 182.
- Pari Castro, M. (2019). “EFECTO DEL ESPESOR Y TIEMPO DE SECADO POR VENTANA REFRACTANTE EN LAS CARACTERÍSTICAS SENSORIALES Y HUMEDAD DE OLLUCO EN SLICE (*Ullucus tuberosus*)”.  
<http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/3902>
- Quispe Ambrocio, A. C. (2019). *Auxinas y citoquinina en la micro propagación de arándano (vaccinium corymbosum L.) de las variedades biloxi y misty en Arequipa*. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/10987>
- Quispe Talla, A. N., & Castro Vicente, N. R. (2017). Secado de durazno (*Prunus pérsica*) empleando la técnica de Ventana Refractante. *Universidad Nacional Santiago*

- Antúnez de Mayolo*. <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/2274>
- Raghavi, L. M., Moses, J. A., & Anandharamakrishnan, C. (2018). Refractance window drying of foods: A review. *Journal of Food Engineering*, 222, 267-275. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.11.032>
- Rurush, E., Alvarado, M., Palacios, P., Flores, Y., Rojas, M. L., & Miano, A. C. (2022). Drying kinetics of blueberry pulp and mass transfer parameters: Effect of hot air and refractance window drying at different temperatures. *Journal of Food Engineering*, 320, 110929. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110929>
- Sant'Anna, V., Gurak, P. D., Ferreira Marczak, L. D., & Tessaro, I. C. (2013). Tracking bioactive compounds with colour changes in foods – A review. *Dyes and Pigments*, 98(3), 601-608. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2013.04.011>
- Simpson, R., Ramírez, C., Nuñez, H., Jaques, A., & Almonacid, S. (2017). Understanding the success of Page's model and related empirical equations in fitting experimental data of diffusion phenomena in food matrices. *Trends in Food Science & Technology*, 62, 194-201. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.01.003>
- 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>
- Tirado-, D. F., Acevedo-Correa, D., & Montero-Castillo, P. M. (2016). Secado de rodajas de fruto del árbol del pan mediante la técnica de Ventana Refractiva®. *TecnoLógicas*. <https://repositorio.itm.edu.co/handle/20.500.12622/982>
- Torregroza-Espinosa, A. M., Montes-Montes, E. J., Ávila-Gómez, A. E., & Remolina-López, J. F. (2014). Kinetic modelling of drying of three varieties of yucca industrial. *DYNA*, 81(186), Article 186. <https://doi.org/10.15446/dyna.v81n186.39923>



- Vega-Gálvez, A., Lemus-Mondaca, R., Tello-Ireland, C., Miranda, M., & Yagnam, F. (2009). Kinetic Study of Convective Drying of Blueberry Variety O'neil (Vaccinium corymbosum L.). *Chilean journal of agricultural research*, 69(2), 171-178. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392009000200006>
- Vuarant, C. O. (2014). *Optimización del proceso de secado de arándanos por infrarrojos*. [Http://purl.org/dc/dc/mitype/Text, Universitat Politècnica de València]. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=93088>
- 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>

## **ANEXOS**

**Anexo 1.** Curvas para determinación de Difusividad

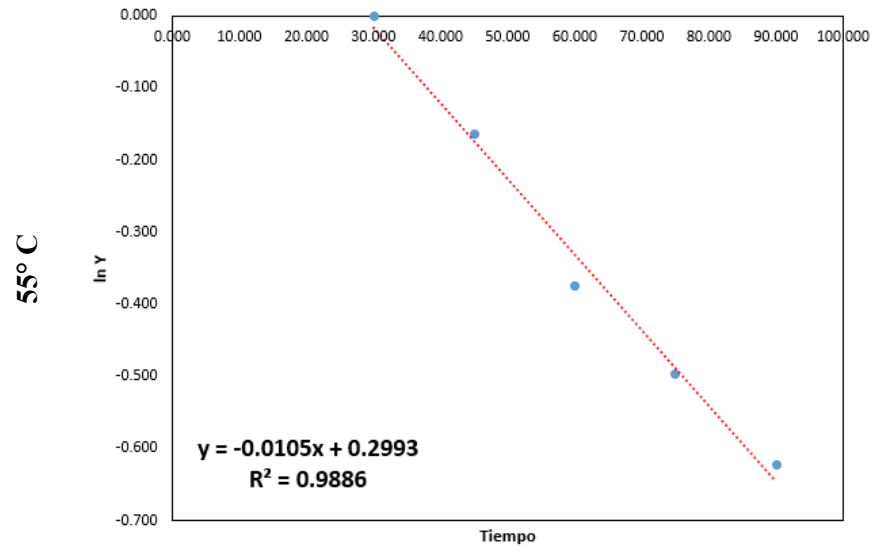
**Anexo 2.** Datos de cálculos de Polifenoles en base efecto de temperatura.

**Anexo 3** – Oficio de autorización de uso de laboratorio de UNPRG

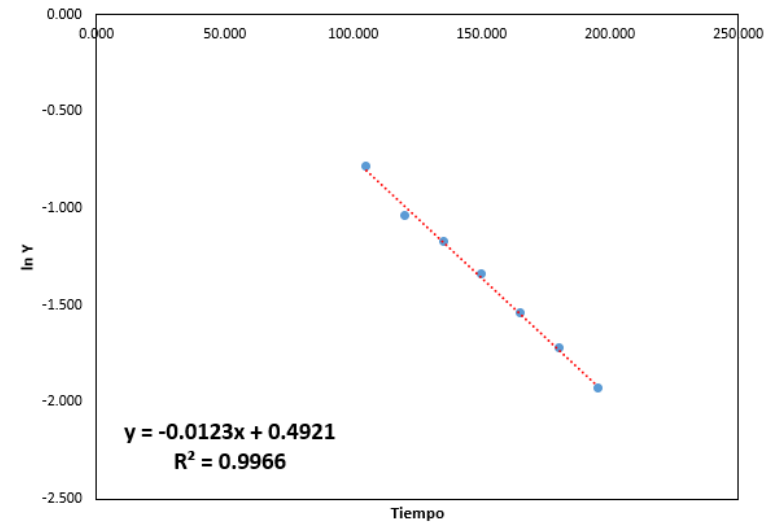
**Anexo 4** – Imágenes de parte experimental de la tesis

## Anexo 01. Curvas para determinación de Difusividad

**0 -60 minutos**

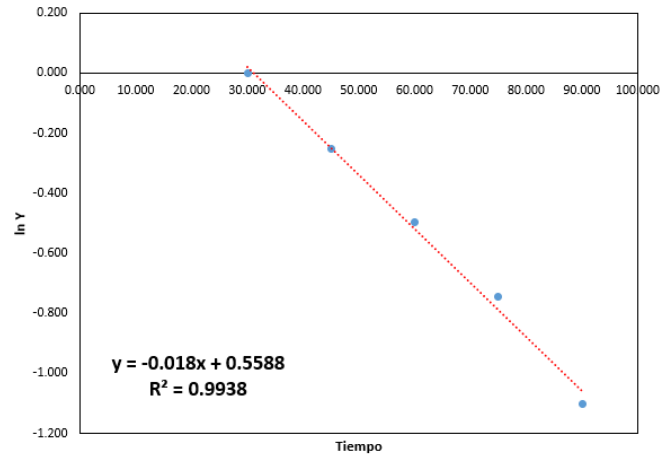


**60 minutos – 120 minutos**

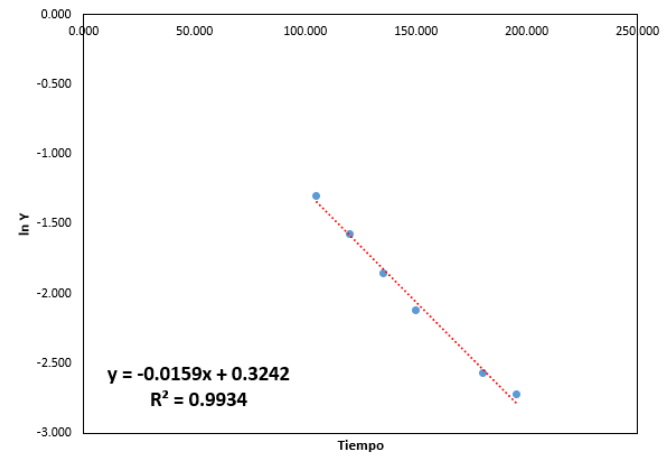


65° C

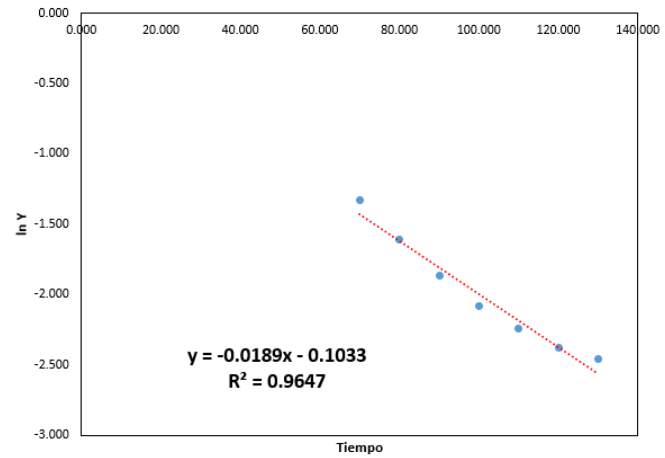
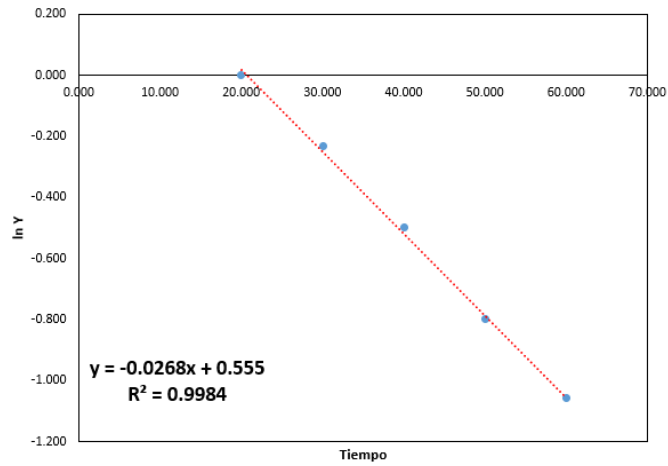
0 -60 minutos



60 minutos – 120 minutos



75° C



## Anexo 2

Datos de cálculos de Polifenoles en base efecto de temperatura.

ID	repetición	Abs 765nm	Concentración de Polifenoles Totales ( mg GE/L)	Concentración de Polifenoles Totales [mg GE/100 g DW]
AR-55-0	1	0.077	89.985	1799.70
	2	0.076	88.816	1776.32
	3	0.079	92.322	1846.44
AR-65-0	1	0.106	124.5	2490.00
	2	0.105	122.71	2454.20
	3	0.134	156.6	3132.00
AR-75-0	1	0.121	141.4	2828
	2	0.075	87.648	1752.96
	3	0.112	136.2	2724

Anexo 3 – Oficio de autorización de uso de laboratorio de UNPRG



**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA E INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**  
**DECANATO**



Calle Juan XXIII N° 391 LAMBAYEQUE - PERÚ

Ciudad Universitaria Teléf. 074 283633

Lambayeque, 12 de junio de 2023.

**OFICIO N° 232-2023-D-FIQIA.**

Señora

**Dr. NOEMI LEÓN ROQUE.**

**Docente Investigador - FIQIA**

Presente.-

**Ref.: Oficio S/N° 2023-FCA-UNC.**

**Asunto.: Uso de Laboratorio de Investigación.**

Me dirijo a usted para saludarla cordialmente y, en atención al documento citado en referencia, hacer de su conocimiento que este despacho autoriza el uso de laboratorio de investigación para que los Bachilleres de la Universidad de Cajamarca: **CIEZA RIMARACHÍN, YULEYCI (DNI 71865671), VITÓN GONZÁLES, ALEXA NICOL (DNI 72654109)** realicen los análisis respectivos para el desarrollo de la tesis, bajo la conducción de su persona en las fechas del **12 al 16 junio del 2023**, para el uso del ambiente y equipamiento respectivo.

Por lo que informo a Ud. a fin de que realice las coordinaciones respectivas con el responsable de Laboratorio de Investigación, para la atención a lo requerido.

Agradeciendo por la atención al presente, sin otro particular me despido de Usted.

Atentamente,

Firmado digitalmente por:  
MONTEZA ARBULU CESAR  
AUGUSTO FIR 10681280 hard  
Motivo: Soy el autor del  
documento  
Fecha: 13/06/2023 09:41:40-0500

**Dr. CESAR AUGUSTO MONTEZA ARBULÙ**  
**DECANO**

Incl.: Oficio S/N-2023-FCA-UNC

c.c.: Archivo

CMA/mts.

## Anexo 4 – Imágenes de parte experimental de la tesis

Muestras de arándano para l proceso de secado



Preparación de las muestras para determinación de polifenoles



Arándano + reactivos para determinación polifenoles



Espectrofotómetro para la lectura de polifenoles



Añadición de reactivos a las muestras de arándano para determinación de polifenoles



Pesado de muestras de arándano

