

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



T E S I S

**“EFECTOS DE LA VELOCIDAD DEL AIRE Y TEMPERATURA DE SECADO POR
VENTANA REFRACTANTE SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y
NUTRICIONALES EN AGUAYMANTO (*Physalis peruviana* L)”**

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

**PRESENTADO POR LA BACHILLER:
ALEXA NICOL VITÓN GONZÁLES**

**ASESOR:
Dr. JIMY OBLITAS CRUZ**

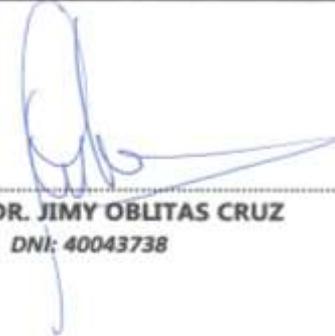
CAJAMARCA – PERÚ

2025

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

1. Investigador:
Alexa Nicol Vitón Gonzáles
DNI: N° 72654109
Escuela Profesional/Unidad UNC:
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
2. Asesor:
Dr. Jimmy Oblitas Cruz
Facultad/Unidad UNC:
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
3. Grado académico o título profesional
 Bachiller Título profesional Segunda especialidad
 Maestro Doctor
4. Tipo de Investigación:
 Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional
 Trabajo académico
5. Título de Trabajo de Investigación:
6. **EFFECTOS DE LA VELOCIDAD DEL AIRE Y TEMPERATURA DE SECADO POR VENTANA REFRACTANTE SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y NUTRICIONALES EN AGUAYMANTO (*Physalis peruviana* L)**
7. Fecha de evaluación: 09/05/2025
8. Software antiplagio: TURNITIN URKUND (ORIGINAL) (*)
9. Porcentaje de Informe de Similitud: 12%
10. Código Documento: oid: 3117:457281930
11. Resultado de la Evaluación de Similitud:
 APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 09/05/2025

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

..... DR. JIMY 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 veintisiete días del mes de enero del año dos mil veinticinco, se reunieron en el ambiente 2H - 204 de la Facultad de Ciencias Agrarias, los miembros del Jurado, designados según **Resolución de Consejo de Facultad N° 528-2024-FCA-UNC, de fecha 16 de octubre del 2024**, con la finalidad de evaluar la sustentación de la TESIS titulada: **"EFECTOS DE LA VELOCIDAD DEL AIRE Y TEMPERATURA DE SECADO POR VENTANA REFRACTANTE SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y NUTRICIONALES EN AGUAYMANTO (*Physalis peruviana* L.)"**, realizada por la Bachiller **ALEXA NICOL VITÓN GONZÁLES** para optar el Título Profesional de **INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**.

A las nueve horas y seis 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 diez horas y cero minutos del mismo día, el Presidente del Jurado dio por concluido el Acto de Sustentación.

Ing. M. Sc. Fanny Lucía Rimarachín Chávez
PRESIDENTE

Ing. Mtr. Max Edwin Sangay Terrones
SECRETARIO

Dr. Rodolfo Raúl Orejuela Chirinos
VOCAL

Dr. Jimmy Frank Oblitas Gruz
ASESOR

Dedicatoria

Dedico esta tesis principalmente a mi madre Bertha Gonzáles que día a día me ha apoyado en cada paso que doy, dándome consejos, cariño y fuerzas para poder seguir con mis metas y sueños, que con su ejemplo de mujer, amiga, madre y profesional, me impulsa a seguir adelante. A mi padre, familia y amigos que me apoyan por verme crecer profesionalmente. A mi pequeño Zeus el cual me llena de cariño incondicional y en especial a mi abuelita Zulema Gonzáles en el cielo a quien le prometí que me vería con mi título profesional.

Agradecimiento

Agradecer a Dios por siempre estar cuidando de mí, por darme las fuerzas para seguir adelante en los momentos difíciles, por ayudarme a ver caminos cuando no veía salidas y por ponerme personas buenas en mi vida, por darme enseñanzas de vida para mejorar y principalmente por darme salud. A sí mismo a todas aquellas personas que me han acompañado a lo largo de mi vida y sobre todo en mi crecimiento profesional. A mi asesor Jimmy por los conocimientos, guía y apoyo para el desarrollo de esta tesis, a mi compañera Yuleyci por el apoyo y esfuerzo en el desarrollo de la tesis. A la Universidad Nacional de Cajamarca en la cual me he formado profesionalmente, así mismo a los docentes y especialmente a la directora Fanny por la facilitación de laboratorios para la realización de la tesis. Para finalizar agradecer a la Universidad Pedro Ruiz Gallo quien apoyó brindándome sus laboratorios y conocimientos para complementación de mi tesis.

Índice General

I.	Introducción.....	1
1.1.	Descripción del problema	1
1.2.	Formulación del problema	2
1.4.	Objetivos	3
1.4.1.	Objetivo General.	3
1.4.2.	Específicos.	3
1.5.	Hipótesis	3
II.	Revisión De Literatura.....	4
2.1.	Antecedentes	4
2.2.	Bases teóricas	6
2.2.1.	Descripción De Fruto.	6
2.2.2.	Taxonomía.....	8
2.2.3.	Composición Nutricional.	8
2.2.4.	Composición Físicoquímica.....	12
2.3.	Secado.....	12
2.4.	Cinética De Secado	13
2.4.1.	Velocidad De Secado.	13
2.4.2.	Fases Del Secado.....	14
2.4.3.	Modelos Matemáticos Para Curvas De Secado.	16
2.4.3.1.	Modelo De Page.	19
2.4.4.	Secado Por Ventana Refractante (VR).....	19
2.4.5.	Espacio Del Color Cielab.....	22
2.4.6.	Actividad De Agua.	25
2.5.	Términos Básicos.....	26
III.	Materiales Y Métodos	27
3.1.	Ubicación.....	28
3.2.	Materiales.....	28
3.2.1.	Material Biológico.	28
3.2.2.	Equipos.....	28
3.2.3.	Materiales.....	29
3.2.4.	Material De Escritorio.	30
3.2.5.	Otros.	30

3.3.	Metodología.....	30
3.3.1.	Tipo De Investigación.....	30
3.3.2.	Variables.	31
3.3.2.1.	Independientes.	31
3.3.2.2.	Dependientes.	31
3.3.3.	Factores, Variables (Independientes), Niveles Y Tratamientos En Estudio.	31
3.3.4.	Diseño De La Investigación.	32
3.3.5.	Población Y Muestra.....	32
3.3.6.	Croquis Del Experimento.	32
3.3.7.	Descripción Del Proceso.....	33
3.3.7.1.	Recepción De Materia Prima.....	34
3.3.7.2.	Selección.	34
3.3.7.3.	Lavado Y Desinfectado.	34
3.3.7.4.	Cortado.....	34
3.3.7.5.	Pulpeado.	34
3.3.7.6.	Secado Por Ventana Refractiva.....	34
3.3.7.7.	Análisis Físicoquímicos Y Estadísticos.	35
3.3.8.	Técnicas De Procesamiento Y Análisis De Datos Obtenidos.....	37
IV.	Resultados Y Discusión.....	37
4.1.	Efecto De La Velocidad Del Aire De Secado Por Ventana Refractante Sobre Las Propiedades Físicas Y Nutricionales En Aguaymanto	38
4.1.1.	Análisis De Las Curvas De Secado.	38
4.1.2.	Modelamiento Matemático De La Curva De Secado.....	43
4.2.	Efecto De Velocidad De Aire Y Temperatura De Secado En Ventana Refractante En Las Condiciones Físicas.....	49
4.2.1.	Efecto en La Difusividad.	49
4.2.2.	Efecto En La Actividad De Agua (aw).	52
4.2.3.	Efecto En Los Parámetros Del Color Cielab.	56
4.2.4.	Efecto en los Polifenoles. La lectura de la curva del ácido gálico se realizó en un espectrofotómetro UV-Vis a 765 nm de longitud de onda (λ), expresado en absorbancia (UA). Los datos obtenidos para la curva de calibración se muestran en la Tabla 12.66	
4.3.	Optimización.....	69
V.	Conclusiones	70
VI.	Recomendaciones	71

VII. Bibliografía	72
VIII. ANEXOS	79
Anexo 1. Curvas para determinación de Difusividad.....	79
Anexo 2. Datos de cálculos de Polifenoles.....	79
Anexo 3. Oficio de autorización de uso de laboratorio de UNPRG.....	79
Anexo 4. Imágenes de parte experimental de la tesis	79

Índice De Tablas

Tabla 1	Clasificación taxonómica de aguaymanto (<i>Physalis peruviana</i> L.)	8
Tabla 2	Composición nutricional de <i>Physalis peruviana</i> L. por 100 g de producto	10
Tabla 3	Vitaminas presentes en aguaymanto	11
Tabla 4	Reportes de la composición fisicoquímica de <i>Physalis peruviana</i> L. por 100g de fruto	12
Tabla 5	Modelos matemáticos para la predicción de curvas de secado	18
Tabla 6	Factores, variables independientes y niveles	31
Tabla 7	ANOVA para difusividad	49
Tabla 8	ANOVA para a_w	53
Tabla 9	ANOVA para L^*	57
Tabla 10	ANOVA para a^*	57
Tabla 11	ANOVA para b^*	58
Tabla 12	Datos de calibración de ácido gálico	66

Índice De Figuras

Figura 1 Physalis peruviana en el cáliz abierto.....	7
Figura 2 Curva convencional de secado.....	14
Figura 3 Fases del secado	16
Figura 4 Curvas de secado representativas	17
Figura 5 Transferencia de energía térmica del sistema de secado Ventana de Refractancia.....	22
Figura 6 Espacio de color Cielab.....	24
Figura 7 Croquis del desarrollo del proyecto de tesis	28
Figura 8 Croquis experimental.....	33
Figura 9 Protocolo para la determinación del contenido total de compuestos fenólicos	37
Figura 10 Curva de secado en base al tiempo	39
Figura 11 Curva de velocidad de secado en relación al peso seco	39
Figura 12 Curva de secado en base al tiempo	40
Figura 13 Curva de velocidad de secado en relación al peso seco	41
Figura 14 Curva de secado en base al tiempo	42
Figura 15	42
Figura 16 Cinética de secado por ventana refractante a 55°C y velocidad del aire de 1.5m/s.....	44
Figura 17 Cinética de secado por ventana refractante a 65°C y velocidad del aire de 1.5m/s.....	44
Figura 18 Cinética de secado por ventana refractante a 75°C y velocidad del aire de 1.5m/s.....	44
Figura 19 Cinética de secado por ventana refractante a 55°C y velocidad del aire de 2m/s.....	45
Figura 20 Cinética de secado por ventana refractante a 65°C y velocidad del aire de 2m/s.....	45
Figura 21 Cinética de secado por ventana refractante a 75°C y velocidad del aire de 2m/s.....	46
Figura 22 Cinética de secado por ventana refractante a 55°C y velocidad del aire de 2.5m/s.....	46

Figura 23	Cinética de secado por ventana refractante a 65°C y velocidad del aire de 2.5m/s.....	47
Figura 24	Cinética de secado por ventana refractante a 75°C y velocidad del aire de 2.5m/s.....	47
Figura 25	Pareto estandarizado para la difusividad	51
Figura 26	Efectos individuales para la difusividad.....	51
Figura 27	Superficie de respuesta para la difusividad	52
Figura 28	Pareto estandarizado para a_w.....	54
Figura 29	Efectos individuales para la a_w.....	55
Figura 30	Superficie de respuesta para la a_w	56
Figura 31	Efectos principales para L^*	59
Figura 32	Superficie de respuesta para L^*	60
Figura 33	Efectos principales para a^*.....	60
Figura 34	Superficie de respuesta para a^*	62
Figura 35	Efectos principales para b^*	63
Figura 36	Superficie de respuesta para b^*	64
Figura 37	Curva de calibración	67
Figura 38	Pareto estandarizado de polifenoles	68
Figura 39	Superficie de respuesta para los polifenoles.....	68
Figura 40	Optimización de Temperatura y Velocidad de aire	70

Resumen

El aguaymanto en la actualidad es una de las berries con más demanda en nuestro país, es por eso que se busca recurrir a tecnologías emergentes, para desarrollarlas y probar la efectividad en alimentos para futuros procesos, buscando así mejorar la calidad de los alimentos, reducir costos de producción y aumentar vida útil, por tal motivo el presente trabajo tiene como objetivo; evaluar los efectos de la velocidad del aire y temperatura en secado por ventana refractante sobre las propiedades físicas y nutricionales en aguaymanto (*Physalis peruviana L.*), la metodología de la investigación fue de tipo experimental, en el que se buscaba la relación de causa y efecto entre las dos variables a partir de la manipulación de las variables independientes (Va y T) y el efecto sobre las variables dependientes: Color, Actividad de agua (aw), Humedad, Difusividad, Polifenoles totales. Las velocidades de aire aplicadas fueron de: 1.5, 2, y 2.5 m/s, en combinación de temperaturas de 55°, 65° y 75° C, donde se obtuvieron tiempos de secado de 130, 125 y 120 minutos respectivamente. Los factores principales como Va y T y su interacción obtuvo resultado que la temperatura tiene valores de $P = 0,0038 < 0.05$ y $P = 0.0163 < 0.05$, por lo tanto muestran un efecto significativo sobre la difusividad y actividad de agua respectivamente. También se determinó que la velocidad de aire aplicado en el secado por ventana refractante muestra valores de $P = 0.1205$, $P = 0.1398$ son mayores a 0.05 por lo tanto, no presenta efecto significativo en algunas de las variables dependientes, concluyendo así que la tecnología de VR contribuye a mantener la calidad física y nutricional de la fruta deshidratada.

Palabras clave. Aguaymanto, secado por ventana refractante, difusividad, actividad de agua, color y polifenoles totales.

Abstract

The aguaymanto is currently one of the berries with more demand in our country, that is why we seek to resort to emerging technologies, to develop them and test their effectiveness in foods for future processes, thus seeking to improve food quality, reduce production costs and increase shelf life, for this reason the present work has as objective; evaluate the effects of air speed and temperature in drying by refractive window on the physical and nutritional properties in aguaymanto (*Physalis peruviana* L.), the research methodology was experimental, in which the cause and effect relationship between the two variables was sought from the manipulation of the independent variables (Va and T) and the effect on the dependent variables: Color, Water Activity (a_w), Humidity, Diffusivity, Total polyphenols. The applied air velocities were: 1.5, 2, and 2.5 m/s, in combination of temperatures of 55°, 65° and 75° C, where drying times of 130, 125 and 120 were obtained respectively. The main factors such as Va and T and their interaction obtained results that the temperature has values of $P = 0.0038 < 0.05$ and $P = 0.0163 < 0.05$, therefore showing a significant effect on water diffusivity and activity respectively. It was also determined that the applied air speed in refractory window drying shows values of $P = 0.1205$, $P = 0.1398$ are greater than 0.05 therefore, it does not present a significant effect on some of the dependent variables, thus concluding that VR technology contributes to maintaining the physical and nutritional quality of dehydrated fruit.

Keywords. Aguaymanto, refractive window drying, diffusivity, water activity, color and total polyphenols.

Efectos De La Velocidad Del Aire Y Temperatura De Secado Por Ventana Refractante Sobre Las Propiedades Físicas Y Nutricionales En Aguaymanto (*Physalis Peruviana L*)

I. Introducción

1.1. Descripción del problema

El aguaymanto es una fruta nativa que está destacando y sobresaliendo en el mercado local, nacional y extranjero debido a su gran aporte nutricional; el aguaymanto es un alimento indispensable para nuestra salud y bienestar, por su aporte de fibra, vitaminas, minerales y sustancias de acción antioxidante (vitamina C, vitamina E, β -caroteno, licopeno, luteína, flavonoides, antocianinas, etc.), teniendo así una gran aceptación por parte de los consumidores. En Sudamérica, el Perú es uno de los más grandes exportadores, un análisis de estudio de mercado del Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI), reportó que en el año 2022 exportó 372 toneladas de aguaymanto deshidratado.

Diversos estudios como Quispe y Castro (2017), investigaron la metodología de secado por ventana refractante, ante la problemática de tiempos largos de secado y poca conservación de los valores nutricionales en durazno, teniendo como resultado tiempos cortos y la conservación de sus propiedades nutricionales del mismo.

Debido al crecimiento de demanda de frutas deshidratadas, convierten a esta fruta en un producto exponencialmente rentable para la exportación, es así que la presente investigación tiene como objetivo evaluar la velocidad del aire y temperatura de secado por medio del secado en ventana refractante (VR) sobre las propiedades físicas y nutricionales en aguaymanto (*Physalis peruviana L.*).

1.2. Formulación del problema

¿Cuáles serán los efectos de la velocidad del aire y temperatura sobre las propiedades físicas y nutricionales en aguaymanto (*Physalis peruviana L.*) en el proceso de secado por ventana refractante?

1.3. Justificación

En los últimos años los consumidores han desarrollado nuevas tendencias por la ingesta de productos saludables y una alimentación equilibrada. Frutas como el aguaymanto, alimento rico en polifenoles, antocianinas, carotenoides, flavonoides, vitaminas y minerales, lo hacen de mucha demanda a nivel mundial, sin embargo su consumo en fresco presenta muchos inconvenientes como: la disponibilidad estacional, la peresibilidad, etc. Es por estas problemáticas que se busca implementar técnicas tecnológicas como el deshidratado, y así prolongar vida útil y darle un valor agregado.

En la actualidad se cuenta con tecnologías de secado las cuales emplean diferentes transferencias de calor como: secado por corriente de aire caliente, secado solar, congelación o liofilización. Estas tecnologías presentan diferentes cambios fisicoquímicos no deseables en los alimentos como: cambio de color propio, pérdida del contenido de vitaminas. También tiempos y costos de producción altos.

Por estas problemáticas es que se estudiará el método emergente de secado por ventana refractante, en el cual se hace uso de agua térmica recirculante, en tiempos y temperaturas menores, reduciendo los daños fisicoquímicos de la fruta.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General. Evaluar los efectos de la velocidad del aire y temperatura en secado por ventana refractante sobre las propiedades físicas y nutricionales en aguaymanto (*Physalis peruviana L.*).

1.4.2. Específicos.

- Evaluar el efecto de la velocidad del aire de secado por ventana refractante en las características físicas y nutricionales en aguaymanto (*Physalis peruviana L.*)
- Evaluar el efecto de la temperatura de secado por ventana refractante en las características físicas y nutricionales en aguaymanto (*Physalis peruviana L.*).

1.5. Hipótesis

Si existe efecto sobre las propiedades físicas y nutricionales en aguaymanto (*Physalis peruviana L.*) en el proceso de secado de ventana refractante por efecto de la velocidad del aire y temperatura.

II. Revisión De Literatura

2.1. Antecedentes

Quispe y Castro (2017) desarrollaron una investigación en la comunidad de Miski de Carhuaz, provincia de Carhuaz, región de Áncas, país de Perú, en donde utilizaron como estudio duraznos de descarte provenientes del Callejón de Huaylas de la comunidad de Miski de Carhuaz, para el posterior secado en ventana refractiva, donde nos mencionan que los parámetros de deshidratación del durazno mediante el uso de ventana refractante sin usar temperaturas mayores de 60°C son las siguientes: Humedad de sólido inicial: 5.214 (mg H₂O/mg ss), Velocidad de secado constante: 0.011 (mg H₂O) / (mm² x min), Humedad Crítica: 2.23 mg H₂O/mg ss, Humedad de Equilibrio: 0.85 mg / mg ss. Teniendo como valores de la cinética de deshidratación: velocidad de secado de 0.011 (mg H₂O) / (mm² x min), en el cual se mantiene sus características, tecnológica, nutricional, funcional y sensorialmente. Los parámetros óptimos para la deshidratación en ventana refractante fueron temperatura de 60 grados Celsius en un tiempo de 4 horas, las dimensiones del sólido para la deshidratación mediante la ventana refractante son de largo 40 mm, ancho 15 mm y 3mm de espesor. Las curvas de secado en su gráfica permitieron 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. concluyendo que aprovecharon los duraznos de descarte sin valor comercial en cantidades de 2 Kilogramos, 8 por ciento de 25 kilogramos que representa en promedio 36 unidades que deshidratadas tiene un gran valor comercial.

Pari (2019) desarrolló una investigación en la ciudad Acobamba, región de Huancavelica, país de Perú que 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. Se utilizó un diseño compuesto central rotatable con valores

mínimos y máximos de espesor (2 – 4 mm) y tiempo (15 – 45 min). Evaluando la humedad final del producto y sus características sensoriales basadas en parámetros de color (L^* , a^* , b^* , C y H). Encontrando un 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; maximizando sus características sensoriales y humedad final. Llegó a la conclusión que es un producto deshidratado estable y apto para su comercialización.

Peralta (2016) desarrolló una investigación en la ciudad de Trujillo, departamento de la libertad, país Perú, que tuvo como objetivo determinar el efecto de la temperatura y tiempo de secado por ventana refractante en las características fisicoquímicas y contenido de Capsaicina de pasta de pprika deshidratada (*Capsicum annum*, l.). La investigación inicio con la obtención de pprikas frescos, en estado óptimo, convertidas en pasta, la cual fue tratada con el método de secado por ventana refractante a tres temperaturas (85, 90, 95C) y tres tiempos (100, 120, 140 min), obteniendo 9 tratamientos, los cuales realizaron por triplicado. Evaluaron las características fisicoquímicas y el contenido de Capsaicina de todos los tratamientos realizados a la pasta, encontraron 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, obtuvieron que la menor humedad fue (5.37%) a (95C) y mayor tiempo (140 min); asimismo los brix disminuyeron drásticamente en todas la temperaturas y tiempos, teniendo de los 1.2 brix iniciales, a la media más alta de (0.67 brix) a 95C y 120 min. Llegaron a la conclusión que el contenido de Capsaicina más alto que se obtuvo fue a una temperatura de 95C y un tiempo de 140 min.

Hernández (2020) desarrolló una investigación en la ciudad Ciénaga de Oro, departamento de Córdoba, país de Colombia, que tuvo como objetivo determinar la influencia de la temperatura de secado en la humedad y color en el ñame criollo (*Dioscorea alata*) por la técnica de ventana refractiva. Seleccionaron ñames criollos procedentes del mercado público del municipio de Ciénaga de Oro (Córdoba) de acuerdo con su variedad, tamaño, peso, grosor uniforme, ausencia de daños físicos y biológicos. Utilizaron un diseño completamente al azar con tres niveles del factor Temperatura: (70, 80, 90) °C y tres repeticiones. Sus muestras fueron adecuadas a láminas con dimensiones de 3,5 cm largo x 3,5 cm ancho y 3,5 mm de espesor, para posteriormente ser secadas por ventana refractiva a temperatura de 70°, 80° y 90 °C. Midieron el color por colorímetro Color Flex EZ y la humedad por el método de estufa a 105 °C. Encontraron que, en el secado por ventana refractiva, las temperaturas estudiadas tuvieron diferencia significativa ($p < 0,05$) sobre la humedad, los parámetros L^* , a^* , b^* y ΔE^* los valores no fueron significativamente diferentes. La difusividad efectiva de la humedad obtuvo valores entre $2,83 \times 10^{-8}$ y $6,05 \times 10^{-8}$ m^2/s , la energía de activación (E_a) fue de 39,6 kJ/mol. Finalmente llegaron a la conclusión que el secado por ventana refractiva conserva el color comparado con el secado por aire caliente.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Descripción De Fruto. Pertenece a la familia de las Solanáceas y al género *Physalis*. Cuenta con más de ochenta variedades que se encuentran en estado silvestre y que se caracterizan porque sus frutos están encerrados dentro de un cáliz o capacho (Velezmoro, 2004).

Es una baya jugosa en forma de globo u ovoide (Figura 1) que contiene unas 100 a 300 semillas. Su estructura interna es similar a la de un tomate en

miniatura (Asociación Macroregional de Productores para la Exportación, 2008).

El fruto mide entre 1,25 y 2,5 cm de diámetro, de forma redonda, que varía del color amarillo a naranja, de sabor agridulce, con un peso que puede oscilar entre 4 y 10 g, tiene buenos contenidos de vitamina A y C. (Asociación Regional de Exportadores, 2008).

Figura 1

Physalis peruviana en el cáliz abierto



Nota: Adaptado de *Physalis peruviana en el cáliz abierto*,

Ramadan, 2011.

2.2.2. Taxonomía. La clasificación botánica del fruto *Physalis peruviana* L. se encuentra definida en la siguiente tabla 1.

Tabla 1

Clasificación taxonómica de aguaymanto (Physalis peruviana L.)

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Asteridae
Orden	Scrophulariales
Familia	Solanaceae
Género	Physalis
Especie	Physalis peruviana L.
Nombre común	Aguaymanto

Nota: Adaptado Clasificación taxonómica de aguaymanto (*Physalis peruviana* L.), Aparcana y Villarreal, 2014.

2.2.3. Composición Nutricional. El aguaymanto contiene valores nutricionales muy altos como: vitamina A, vitamina C, fibra, proteína, potasio, fósforo, hierro y zinc (Restrepo, 2008). Después del agua, los carbohidratos son los compuestos más presentes en mayor proporción en la pulpa, (Brito, 2002) vale destacar

también los azúcares, la fruta contiene 15% de sólidos solubles (principalmente azúcares) y su alto nivel de fructosa hace que sea muy útil para personas con diabetes. El nivel de fósforo es muy alto y su alto contenido de fibra dietética permite que la pectina de fruta actúe como un regulador intestinal, a continuación, se muestra la composición nutricional del aguaymanto en la tabla 2.

Tabla 2*Composición nutricional de Physalis peruviana L. por 100 g de producto*

Parámetro nutricional	Rango
Humedad	79,8 – 85,5 %
Proteína	0,3 – 1,5 g
Grasa	0,15 – 0,5 g
Carbohidratos	11,0 – 19,
Fibra	0,4 – 4,9 g
Cenizas	0,7 – 1,0 g
Carotenos	16
Tiamina	0,1 - 0,18 mg
Riboflavina	0,03 – 0,18 mg
Niacina	0,8 - 1,7 mg
Vitamina C	20 – 43 mg
Potasio	210 – 467 mg
Magnesio	7 – 19 mg
Calcio	2 – 28 mg
Fosforo	27 – 55,3 mg
Hierro	0,3 – 1,2 mg
Zinc	0,28 – 0,40 mg

Nota: Adaptado Composición nutricional de *Physalis peruviana L.* por 100 g de producto, Aparcana y Villarreal, 2014.

El aguaymanto es un fruto rico en vitaminas tales como Vit. A, C, B1 y B2. En la tabla 3 muestra las cantidades expresadas en miligramos de cada vitamina presente en el aguaymanto mencionado por Gutiérrez (2011).

Tabla 3

Vitaminas presentes en aguaymanto

Fruto	Vitaminas (mg)				
	A	B1	B2	Niacina	C
Aguaymanto	243	0,10	0,03	1,70	43,0

Nota: Adaptado Vitaminas presentes en aguaymanto, Gutiérrez, 2011.

2.2.4. Composición Fisicoquímica. Varias investigaciones reportan la caracterización fisicoquímica del aguaymanto (*Physalis Peruviana L.*) (Tabla 4).

Tabla 4

Reportes de la composición fisicoquímica de Physalis peruviana L. por 100g de fruto

Parámetro fisicoquímico	(Mendoza et al., 2012)	(Martín et al., 2010)	(Márquez et al., 2009)	(Restrepo et al., 2009)
Actividad de agua (Aw)	0,998	0,998	-----	-----
Acidez %	2	2,05	2, 4	2,1
°Brix	13	14,3	12,5	13,8
Densidad (Kg/m ³)	1,1031	1,038	-----	-----
Ph	3,72	3,39	3,56	3.39

Nota: Adaptado Reportes de la composición fisicoquímica de Physalis peruviana L. por 100g de fruto, Aparcana y Villarreal, 2014.

2.3. Secado

El secado es el proceso por el cual el agua se elimina de la estructura del alimento para detener o reducir el crecimiento de microorganismos perjudiciales para el alimento, así como ciertas reacciones químicas. Además de la conservación, el secado ayuda a la reducción de espacio en cuanto al envasado del producto. La eliminación de agua de los alimentos se

consigue principalmente utilizando aire caliente en la superficie del producto y la lleva hacia el exterior.

El secado de alimentos es una operación unitaria compleja. Los cambios físicos y químicos del alimento durante una operación de secado pueden potenciar ciertas características deseadas de los productos, pero de igual forma tienden a disminuir sus propiedades físicas como: el color y especialmente sus propiedades nutricionales como vitaminas.

La transmisión de calor ocurre en el interior del alimento que está relacionada con el gradiente de temperatura existente en la superficie. Cuando se le proporciona al agua suficiente energía para su evaporación, el vapor producido se transporta desde la superficie de la capa húmeda en el interior del producto hacia la superficie de éste. El gradiente de presión de vapor existente entre la superficie del agua en el interior y el aire exterior al alimento, es el que provoca la difusión del vapor de agua hacia la superficie de éste.

2.4. Cinética De Secado

La cinética de secado está directamente relacionada entre la variación del contenido de agua del producto con la cantidad de evaporación de agua extraída con el tiempo. Sin embargo; influyen varios factores como la humedad del aire de secado, el contenido de agua del producto a secar, las dimensiones y el equipo utilizado para secar.

2.4.1. Velocidad De Secado. Se define como la pérdida de humedad de un sólido húmedo en la unidad del tiempo, trabajado en condiciones de secado constantes como temperatura, presión, humedad y velocidad.

La velocidad de secado es definida como la cantidad eliminada de humedad de un sólido que se extrae por unidad del tiempo y del área. Esta definición es la comúnmente utilizada por los investigadores en temas de

secado teniendo una ecuación fundamental para el diseño de secadores. Treybal (2007)

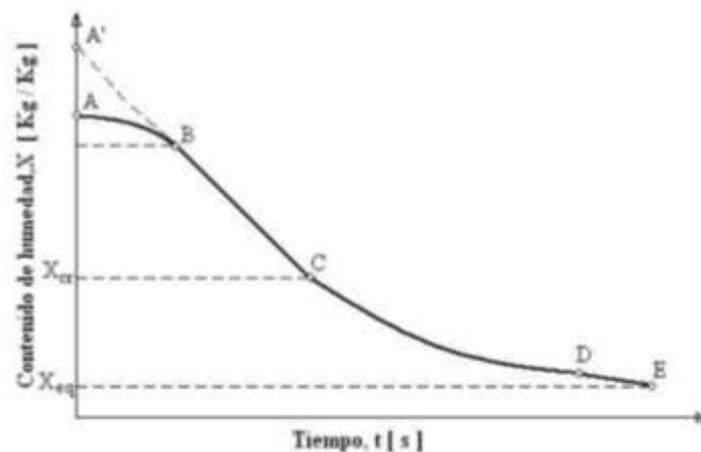
$$N = \frac{S \cdot \Delta X}{A \cdot \Delta t}$$

Dónde: N, es la velocidad de secado de un sólido ($\text{Kg}/\text{m}^2 \cdot \text{S}$). S, es la masa de solido seco (Kg). ΔX , es el cambio del contenido de humedad del solido (Kg de agua/Kg de solido seco). A, es el área de la superficie sobre la cual el aire fluye y también se da la transferencia de masa. (m^2). Δt , es tiempo en el que se manifiesta el cambio de contenido de humedad del sólido (S).

Para llevar a cabo un estudio y análisis de secado es necesario tener las curvas de velocidad de secado en el contenido de humedad del sólido.

Figura 2

Curva convencional de secado



2.4.2. Fases Del Secado. El proceso de secado se puede dividir en 3 (calentamiento, secado de velocidad constante, secado de velocidad descendiente)

Calentamiento: es un periodo de estabilización en el que se tratan de equilibrar las condiciones de la superficie del sólido y el aire de secado. Al iniciar el producto se encuentra a temperatura ambiente, en otras palabras, a una baja presión de vapor, existiendo una baja velocidad de transferencia de masa. Por otro lado, hay una gran diferencia de temperaturas entre el aire y el producto, lo que provoca que la transferencia de calor sea alta. (Potter y Hotchkiss, 1995).

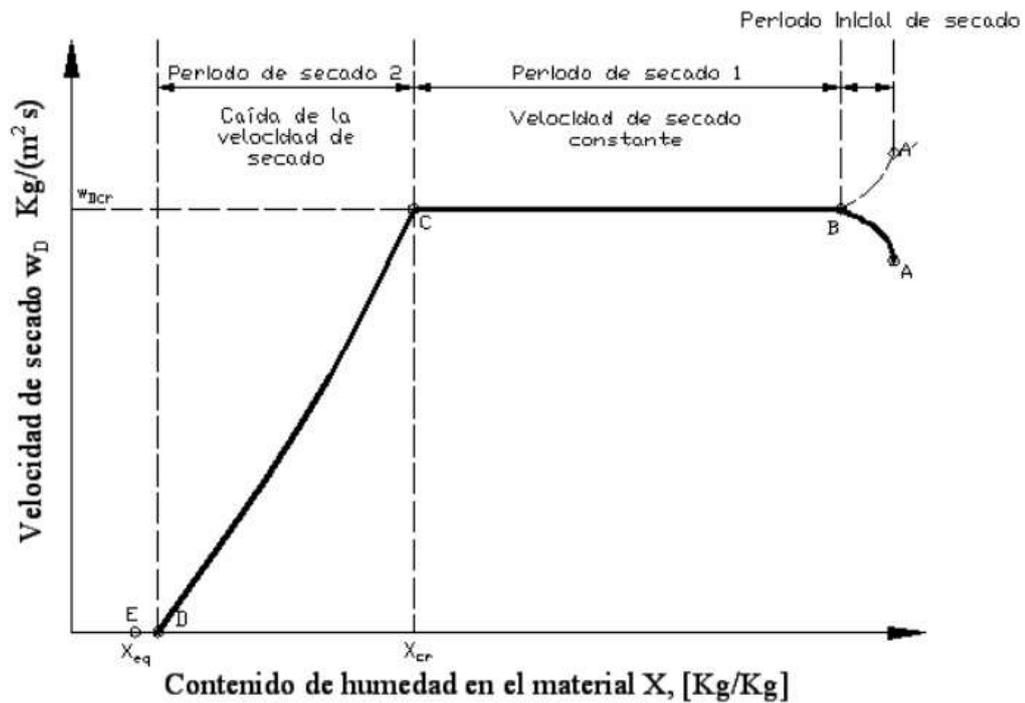
Secado de velocidad constante: en esta etapa la velocidad depende de las condiciones externas, se mantiene constante ya que el contenido líquido desde el interior es igual a la capacidad de vaporización de la superficie que se usa totalmente y manteniéndose saturada. El proceso que ocurre es el desplazamiento de vapor hacia la superficie saturada hacia la capa de aire estático y luego hasta la corriente de aire principal. En esta fase la transferencia de calor se equilibra con las transferencias de masa. (Brennan et al., 1998). Este periodo perdura hasta que haya una migración de líquido desde el interior, ya que es el principal mecanismo de transporte de masa del flujo capilar del agua. El mecanismo del flujo interno no afecta la velocidad de secado en este periodo, la variante imponente en la velocidad del secado es la velocidad del aire, ya que, si la velocidad del aire de secado es mayor, mayor será la velocidad de secado. (Potter y Hotchkiss, 1995)

Secado de velocidad descendiente: esta fase inicia cuando se llega a alcanzar la humedad crítica, ahora la zona de vaporización se traspa al interior del producto, la reducción del espacio de vaporización provoca que el proceso descienda. En esta fase la temperatura de la superficie se eleva hasta

aproximarse a la temperatura de bulbo seco del aire, en otras palabras, hasta obtener el producto seco. (Potter y Hotchkiss, 1995).

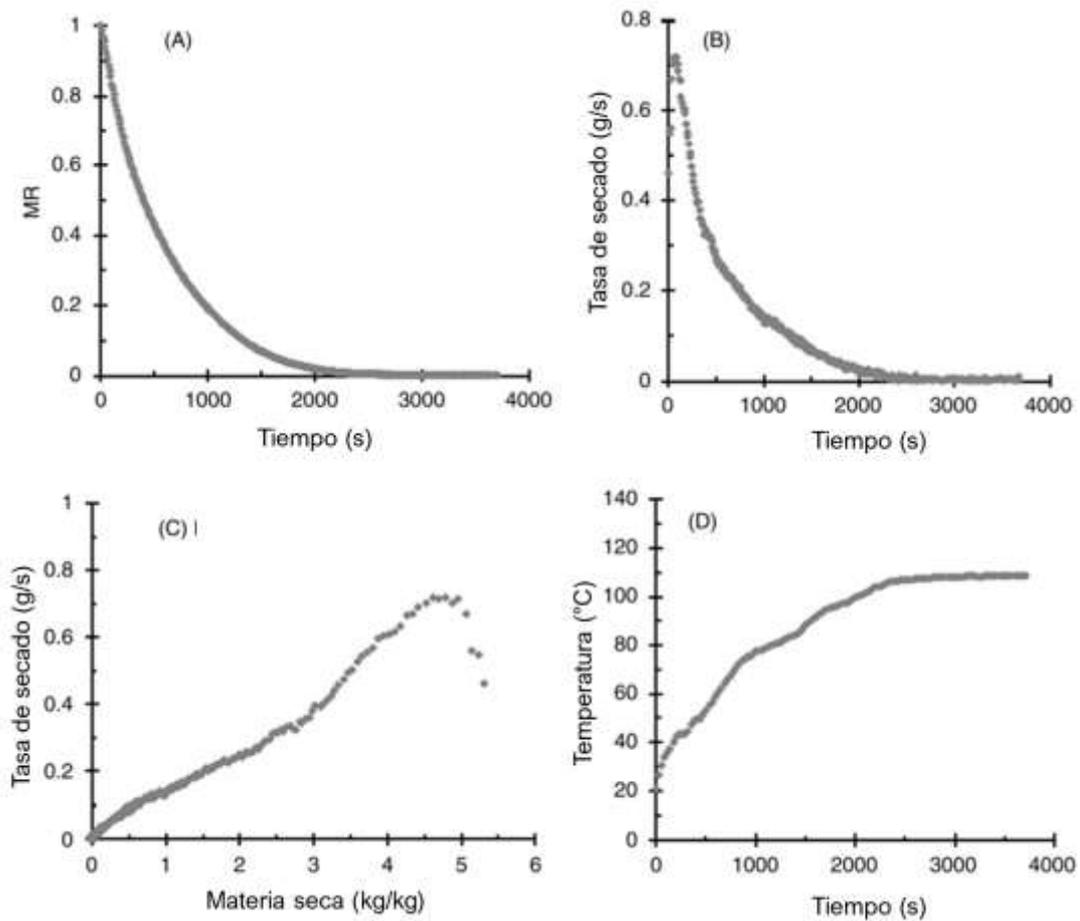
Figura 3

Fases del secado



Nota: Adaptado Fases del secado, Cerron y Junchaya, 2019.

2.4.3. Modelos Matemáticos Para Curvas De Secado. La generación de curvas del proceso de secado es muy importante en las tecnologías de secado ya que nos muestran a detalle la cinética del secado, representadas por: (A) curva de secado, (B) curva de velocidad del secado, (C) curva Krischer y (D) curva de temperatura. (Cieza, 2024)

Figura 4*Curvas de secado representativas*

Nota: Adaptado *Curvas de secado representativas*, Bennamoun y Li, 2018.

Las curvas de secado es una relación entre el contenido de humedad (X) y el tiempo (t), se obtiene de la pérdida del peso y el tiempo en el proceso de secado. También tenemos que la curva de secado se puede aplicar con la de relación de la humedad y el tiempo. La RM se calcula con 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 en equilibrio.

La curva de velocidad de secado se expresa como la velocidad del secado con relación al tiempo ($-dX/dt$ versus t), siendo más irregular que la curva de secado. La velocidad de secado (DR) se puede obtener con la siguiente ecuación:

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

Donde t_1 y t_2 son tiempos diferentes en el secado, y X_{t_1} y X_{t_2} son los contenidos de humedad en cada uno de los tiempos t_1 y t_2 .

En el estudio de la cinética de secado encontramos una gran variedad de modelos matemáticos los cuales sirven como modelo para realizar un proceso de secado. Entre los más usados tenemos los que se muestran a continuación:

Tabla 5

Modelos matemáticos para la predicción de curvas de secado

Nombre del modelo	Expresión	Referencias
Page	$X_R = \exp(-kt^n)$	Park et al. (2002)

Newton	$XR=\exp(-kt)$	Ayensu. (1997)
Henderson & Pabis	$XR=a \exp(-kt)$	Henderson y Pabis (1961)
Logarítmico	$XR=a \exp(-kt)+c$	Yaldiz y Ertekin (2001)
Wang & Singh	$XR=1+at+bt^2$	Wang y Singh (1978)
Midilli et al.	$XR=a \exp(-kt^n)+bt$	Midilli et al.(2002)

Nota: Adaptado Modelos matemáticos para la predicción de curvas de secado, Cerron y Junchaya, 2019.

2.4.3.1. Modelo De Page. La ecuación de page es una de las más exitosas en cuanto a la aplicación de datos de alimentos, usada para describir la migración de agua a lo largo del proceso de estos. (Simpson et al., 2017), representó al modelo 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 fraccionando, proporcionando 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. (Cieza, 2024)

2.4.4. Secado Por Ventana Refractante (VR). Secado de Ventana Refractante es un sistema que utiliza agua caliente por debajo del punto de ebullición y se realiza a presión atmosférica. La energía térmica del agua caliente que circula

se transfiere al producto fresco a través de una interfaz plástica que es relativamente transparente a la radiación infrarroja. Los productos, como jugo, purés, suspensiones y frutas, se extienden 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 empleo de agua caliente como medio que transfiere el calor y la temperatura justo debajo del punto de ebullición hace de éste, un equipo de características únicas en métodos de secados (Nindo y Tang, 2007).

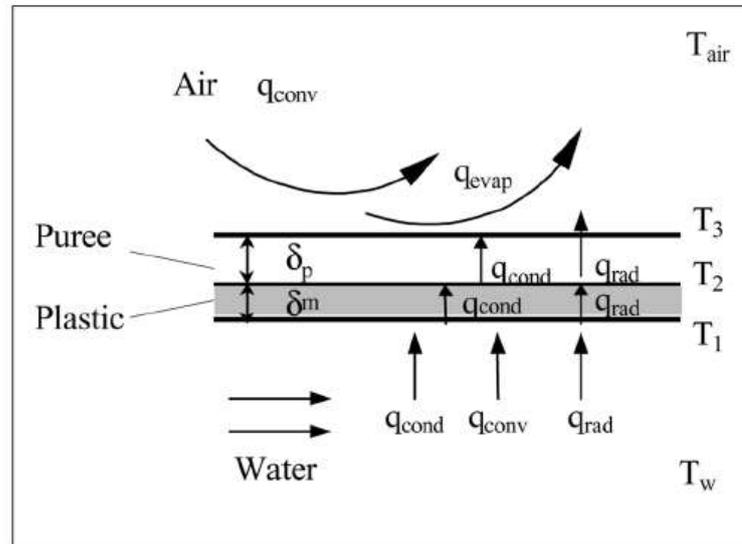
Durante el secado por VR se presentan los tres tipos de transferencia de calor: conducción (q_{Cond}), convección (q_{conv}) y radiación (q_{rad}). La Figura 6 muestra el proceso por el cual el calor se transfiere del agua caliente al producto. El agua caliente transfiere la energía térmica a la banda transportadora plástica delgada en la cual la transmisión es infrarroja a una longitud de onda se empareja al espectro de absorción para el agua, facilitando un secado más rápido (Smith, 1994). La banda plástica debe ser delgada, porque un material plástico grueso con la conductividad térmica baja, proporciona 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. Cuando 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 cuando el producto está casi seco, 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 5

Transferencia de energía térmica del sistema de secado Ventana Refractante



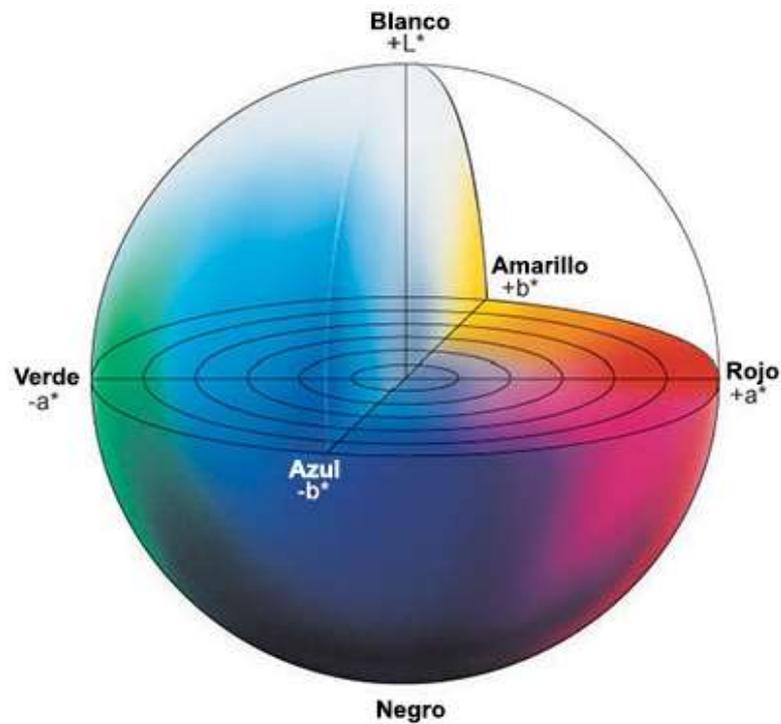
Nota: Adaptado Transferencia de energía térmica del sistema de secado Ventana de Refractancia, Nindo y Tang, 2007.

2.4.5. Espacio Del Color Cielab. Es espacio de color Cielab actualmente es uno de los espacios más utilizados para evaluar el color en los alimentos, ya que es capaz de correlacionar los valores numéricos consistentemente a la percepción visual humana.

El color es una de las principales características de calidad en los alimentos ante los consumidores, es por eso que en operaciones realizadas en alimentos se busca medir con exactitud la variación de esta característica, para luego tener su clasificación comercial.

El espacio de color CIELAB (figura 7), es un sistema cartesiano formado por 3 ejes, un eje vertical (L^*) y dos ejes horizontales (a^* y b^*). El

eje vertical L^* , representa la medida de luminosidad de un color variando desde cero para un negro hasta 100 para un blanco. El eje horizontal a^* , representa una medida del contenido de rojo o de verde de un color. Si un color tiene rojo, a^* será positiva, mientras que, si un color tiene verde, a^* será negativa. El eje horizontal b^* , perpendicular al eje a^* , representa una medida del contenido de amarillo o de azul de un color. Valores positivos de b^* indican contenido de amarillo, mientras valores negativos de b^* indican contenido de azul. (Talens, 2017)

Figura 6*Espacio de color Cielab*

Para describir el color en un alimento se debe basar en 3 atributos del color: luminosidad, tonalidad y pureza. La luminosidad es una sensación visual en la cual una superficie emite más o menos luz, el tono es la sensación visual en la cual una superficie parece similar a uno, o a proporciones de dos, de los colores como rojo, naranja amarillo, verde, azul y púrpura; y la pureza es la sensación visual donde la superficie parece mostrar más o menos tonalidad.

Talens (2017) nos menciona que en el espacio de color CIELAB, la luminosidad viene descrita por el eje vertical L^* , la tonalidad por el contorno de la esfera y la pureza por el radio desde el centro al exterior de la esfera; dichos valores se obtienen de las siguientes ecuaciones.

$$\text{Luminosidad} = L^*$$

$$\text{Tonalidad} = h^* = \arctg \frac{b^*}{a^*}$$

$$\text{Pureza} = C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$$

2.4.6. Actividad De Agua. Se define como el agua disponible que contienen los alimentos, con la que llevan a cabo diferentes funciones. Cabe resaltar que el agua en los alimentos está presente de dos formas; agua libre y agua ligada. El agua libre es aquella que se encuentra disponible; y el agua ligada es aquella que se encuentra unida a la estructura del alimento.

Las principales propiedades coligativas, reológicas y de textura de un alimento son definidas por el contenido de agua libre que posee el alimento; incluyendo también en sus reacciones físicas, químicas enzimáticas y microbiológicas. Es en base a este valor empírico que se puede predecir la vida útil del alimento.

Arévalo, 2017 nos menciona que Termodinámicamente la fungicidad es una medida de la tendencia de un líquido a escaparse de una solución; en virtud de que el vapor de agua se comporta aproximadamente como un gas ideal, se puede emplear la presión de vapor en lugar de la fugacidad.

P	%Hre
Aw:	
P _o	100

El contenido de aw en los alimentos puede ser representado gráficamente por medio de isotermas de sorción de agua, mediante estos se puede observar los cambios del contenido de humedad en términos de aw.

Las isotermas de sorción son útiles ya que gracias a ellos podemos tener una guía para la conservación de alimentos a ciertas temperaturas.

2.5. Definición de Términos Básicos

- **Aguaymanto:** pequeña baya de color naranja amarillento, planta herbácea perteneciente a la familia Solanaceae, rica en vitaminas A y C, y antioxidante, oriunda de los andes peruanos.
- **Secado:** método de extracción de la humedad o evaporación de un cuerpo mojado, mediante la aplicación de aire o calor.
- **Ventana refractante:** es una técnica que utiliza la energía infrarroja del agua como medio de convección de calor para el deshidratado de alimentos.
- **Actividad de agua:** es la presión parcial de vapor de agua en una sustancia dividido por el estado estándar parcial de presión de vapor de agua.
- **Velocidad del aire:** es uno de los parámetros que se sirven para los cálculos de la sensación térmica, obtenido del movimiento horizontal de la tierra.
- **Temperatura:** es una magnitud referida a la noción de calor o frío, presente en el ambiente o la cantidad de energía presente en un cuerpo.
- **Humedad:** es una magnitud en la cual se expresa la cantidad de agua presente en un alimento o material.

- Difusividad: es la propiedad específica de un material para representar la cantidad de conducción de calor en condiciones no estacionarias, describiendo lo rápido que reacciona el material a la temperatura.
- Polifenoles: grupo de sustancias presentes en los alimentos con una alta cantidad de grupo fenol en su estructura y capacidad antioxidante.
- Color: característica organoléptica presente en los alimentos, la cual se aprecia por medio de la sensación producida por los rayos luminosos que impresionan los órganos visuales y los cuales dependen de la longitud de onda.

III. Materiales Y Métodos

3.1. Ubicación

El presente trabajo de investigación fue realizado en el 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 del departamento de Cajamarca, Perú.

Figura 7

Croquis del desarrollo del proyecto de tesis



3.2. Materiales.

3.2.1. Material Biológico. Aguaymanto de la zona de Cajamarca, seleccionado y clasificado, en estado de madurez fisiológica.

3.2.2. Equipos.

- Balanza analítica

- Colorímetro
- Anemómetro
- Aqualab
- Vernier
- Baño maría
- Ventilador
- Secador Pol-Eko Aparatura
- Rotador serológico
- Espectrofotómetro
- Ultrasonido

3.2.3. Materiales.

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

- Marco de madera
- Vernier

3.2.4. Material De Escritorio.

- Cámara fotográfica
- Computadora portátil
- Útiles de escritorio

3.2.5. Otros.

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

3.3. Metodología

3.3.1. Tipo De Investigación. Esta 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 las variables independientes y el efecto sobre las variables dependientes (Arias et al., 2022), siendo verificada de manera cuantitativa en sus respectivas unidades de estudio.

3.3.2. Variables.

3.3.2.1. *Independientes.*

- Velocidad del aire (V_a)
- Temperatura (T)

3.3.2.2. *Dependientes.*

- Color
- Actividad de agua (a_w)
- Humedad
- Difusividad
- Polifenoles totales

3.3.3. Factores, Variables (Independientes), Niveles Y Tratamientos En Estudio.

De acuerdo al arreglo factorial experimental, los factores en estudio son dos y cada uno de ellos tiene tres niveles, los cuales se muestran en la tabla 6.

Tabla 6

Factores, variables independientes y niveles

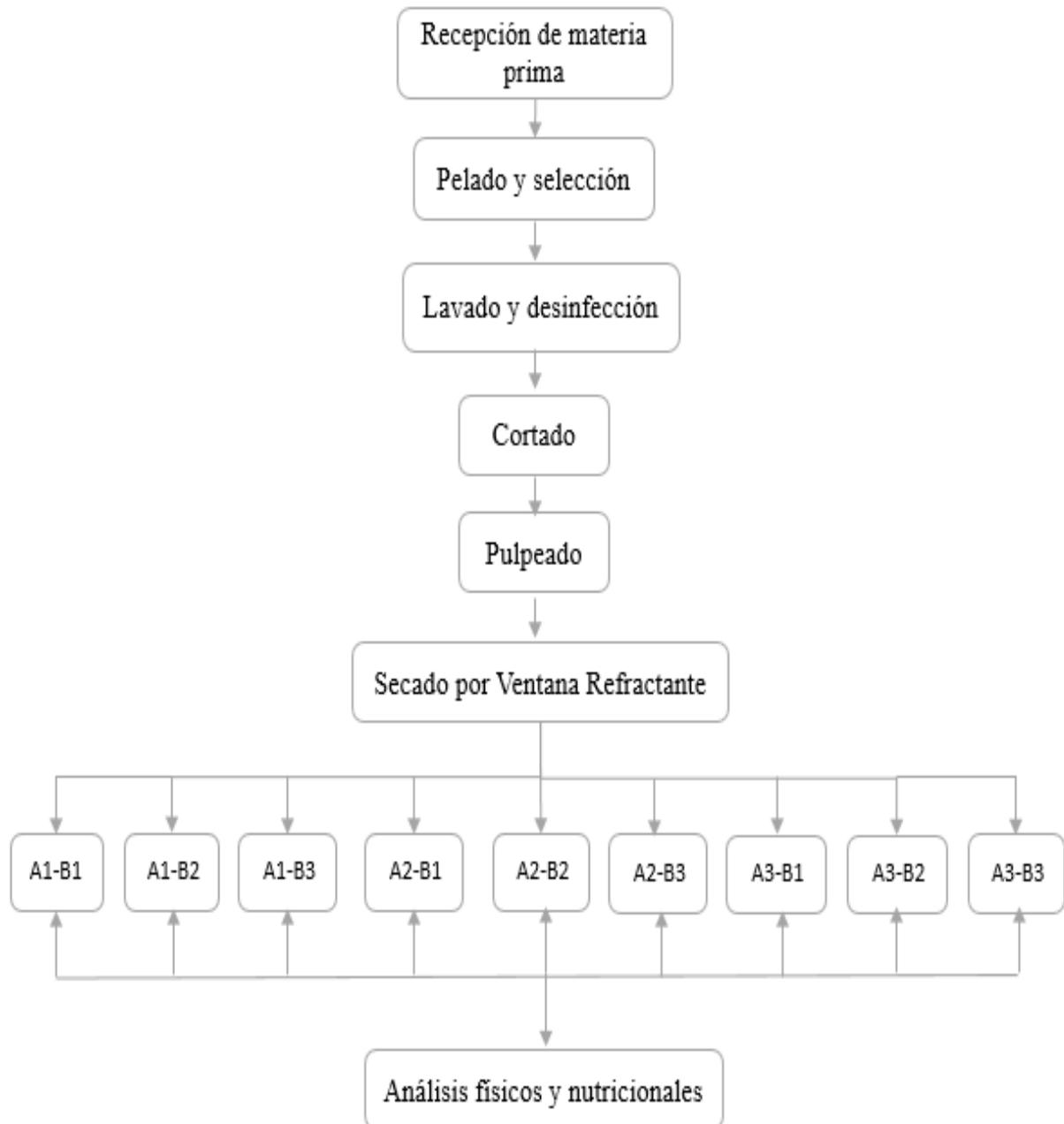
FACTOR	VARIABLES INDEPENDIENTES	NIVELES
A	Velocidad del aire	A1: 1.5 m/s A2: 2 m/s

		A3: 2.5 m/s
		B1: 55°C
B	Temperatura	B2: 65°C
		B3: 75°C

3.3.4. Diseño De La Investigación. La investigación se ubica en el diseño experimental, cuyo procedimiento fue realizado de acuerdo a metodologías establecidas, aplicando un diseño factorial 3x3.

3.3.5. Población Y Muestra. Aguaymanto (*Physalis peruviana L.*).

3.3.6. Croquis Del Experimento. El croquis del experimento, se muestra en la figura 7, consiste en: recepción de materia prima, selección, lavado y desinfectado, cortado, pulpeado, secado por ventana refractante, análisis físicos y estadísticos.

Figura 8*Croquis experimental*

3.3.7. Descripción Del Proceso.

- 3.3.7.1. *Recepción De Materia Prima.*** Se emplearon frutos de aguaymanto (*Physalis peruviana L.*), adquiridas en estado de maduración comercial. Sin presentar daños por insectos o enfermedades propias del cultivo. Los frutos fueron trasladados hasta el laboratorio de Bioingeniería y Fermentaciones Industriales.
- 3.3.7.2. *Selección.*** Los frutos de aguaymanto (*Physalis peruviana L.*), fueron extraídos de su cáliz o capacho y seleccionados. Los frutos que se encontraron en buen estado de madurez comercial, y no presentaron daños químicos o físicos, libres de daños mecánicos, fueron apartados para la utilización del proyecto experimental.
- 3.3.7.3. *Lavado Y Desinfectado.*** Los aguaymantos seleccionados fueron lavados con abundante agua para eliminar la tierra impregnada, y luego se sumergieron en una solución de agua clorada a 100 ppm, para su desinfección.
- 3.3.7.4. *Cortado.*** Cada uno de los aguaymantos será cortado mediante un bisturí.
- 3.3.7.5. *Pulpeado.*** los aguaymantos luego de ser cortados, mediante la ayuda de un mortero son estrujados hasta obtener una pasta ligera y homogénea. luego se tomaron muestras de 3x3mm.
- 3.3.7.6. *Secado Por Ventana Refractiva.*** El secado de los aguaymantos se llevó a cabo en la ventana refractante adaptando el baño maría, siguiendo la secuencia de temperatura de 55°, 65° y 75° regulados por el mismo equipo. La velocidad de aire se proporciona mediante un ventilador a velocidades de 1.5, 2 y 2.5 m/s, establecido en la metodología ya plasmada. El plástico utilizado fue lámina mylar (polietileno de tereftalato) de 0,1 mm.

3.3.7.7. Análisis Fisicoquímicos Y Estadísticos. 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.
- Determinación de Humedad: Se determinó 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 y 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_o = Humedad inicial (Kg agua/Kg b.s.)

X_e = 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:

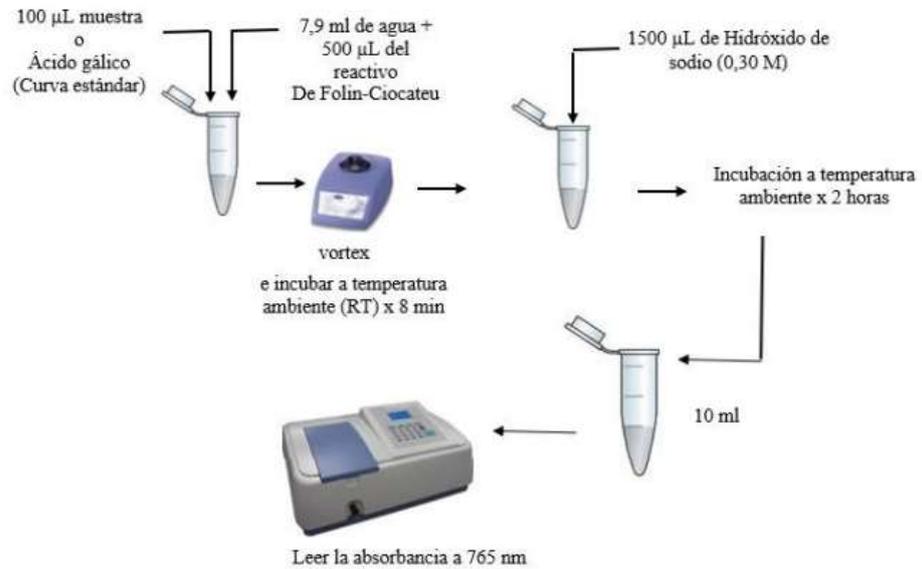
$$MR_t = \exp(-k \cdot t^n)$$

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 Folin-Ciocalteu, primero se preparó la solución stock del estándar de ácido gálico siguiendo el protocolo mostrado en la Figura 9 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 μ l del extracto obtenido, se adicionó 7,9 ml de agua ultrapura y 500 μ l de Folin-Ciocalteu, se dejó encubar aislado de la luz durante 8 minutos a temperatura ambiente, luego se adiciono 1500 μ 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 9

Protocolo para la determinación del contenido total de compuestos fenólicos



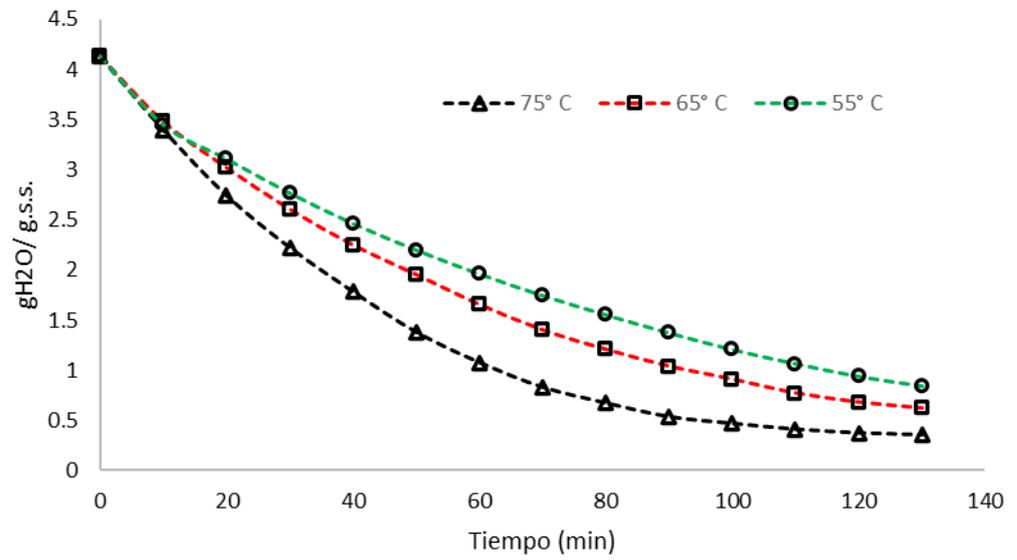
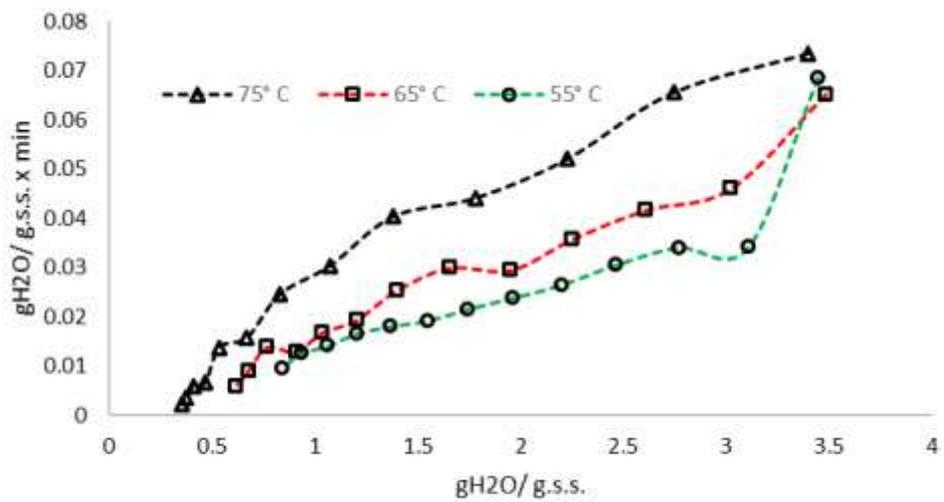
3.3.8. Técnicas De Procesamiento Y Análisis De Datos Obtenidos. Los datos se procedió al procesamiento con apoyo del software Statgraphic Centurion para Windows, mediante metodología superficie respuesta.

IV. Resultados Y Discusión

4.1. Efecto De La Velocidad Del Aire y Temperatura De Secado Por Ventana Refractante Sobre Las Propiedades Físicas Y Nutricionales En Aguaymanto

4.1.1. Análisis De Las Curvas De Secado. Las muestras de aguaymanto trabajadas presentaron valores de humedad inicial de 76%, la cual se acerca a valores ya mencionado por (Bautista et al., 2014). En la figura 10 y figura 11 se muestra las curvas cinéticas de secado experimentales que fueron obtenidas para cada una de las temperaturas de secado aplicadas a una velocidad de aire de 1.5m/s.

Se observa en la figura 10 como la curva de temperatura 75°C tuvo un descenso de la humedad del producto mucho más rápido, como menciona (Leiton, 2012), el cual trabajó secado por VR en pulpa de guayaba a temperaturas de 60°, 80° y 90° C, teniendo como resultados de humedad menos a temperaturas de 80° y 90°C.

Figura 10*Curva de secado en base al tiempo***Figura 11***Curva de velocidad de secado en relación al peso seco*

En la figura 12 y figura 13 se muestran las curvas de cinéticas de secado experimentales que fueron obtenidas para cada una de las temperaturas de secado aplicando la velocidad de aire de 2 m/s.

Se observa en la figura 12 como la curva de 75°C tuvo un descenso de la humedad del producto mucho más rápido a comparación de las otras temperaturas aplicadas, se observa en la figura 13, cada una de las etapas de aceleración y velocidad constante del secado por ventana refractante.

Figura 12

Curva de secado en base al tiempo

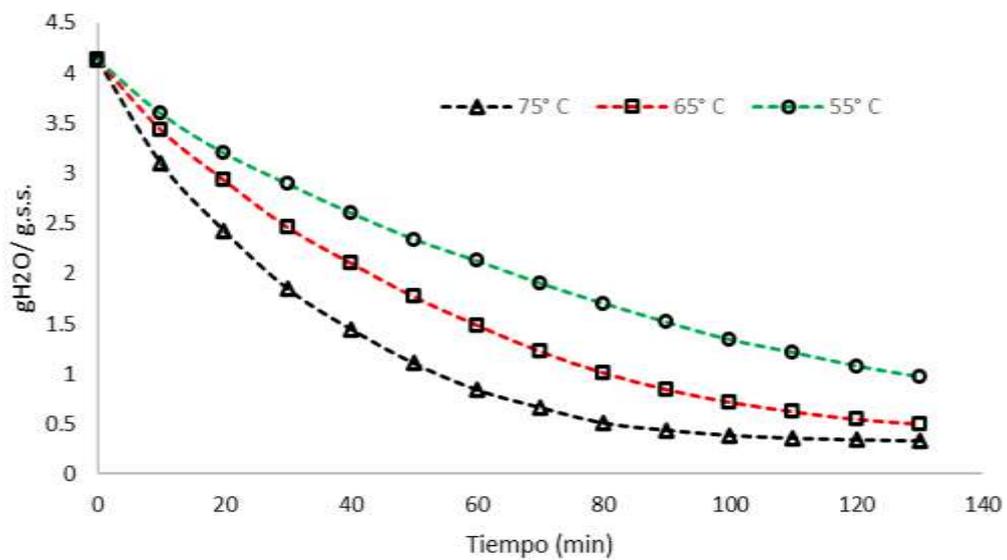
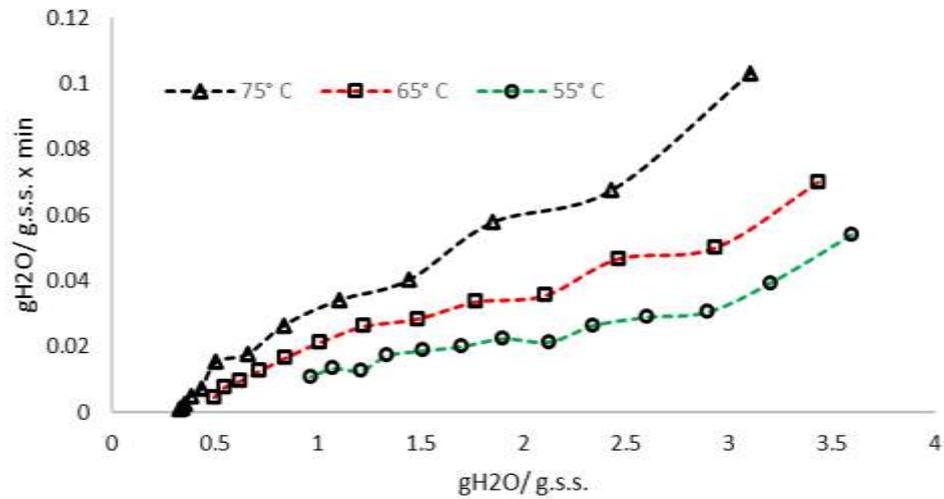


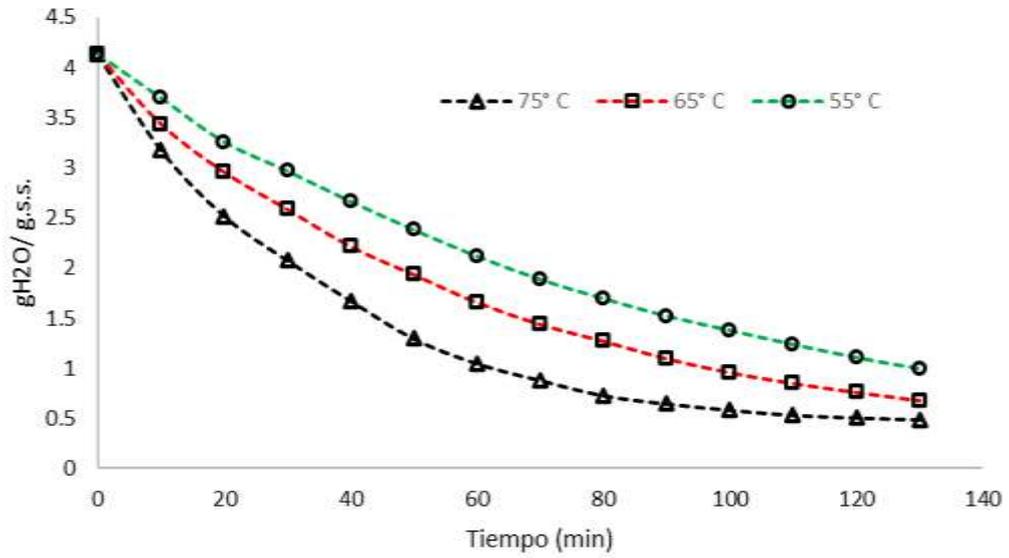
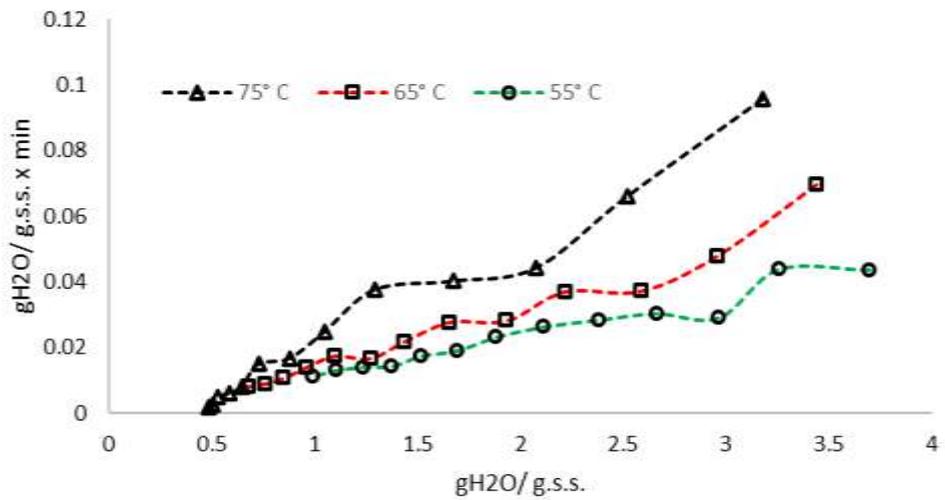
Figura 13

Curva de velocidad de secado en relación al peso seco



En la figura 14 y figura 15 se muestran las curvas cinéticas de secado experimentales, que fueron obtenidas para cada de las temperaturas, aplicado a la velocidad de aire de 2.5 m/s.

Se observa en la figura 14 como la curva de 75°C tuvo un descenso de la humedad del producto mucho más rápido. (Cano y Viveros, 2009), estudiaron el secado por VR en rodajas de guayaba y naranja a 80 y 90° C. los autores encontraron que a mayor temperatura utilizada, mayor será la velocidad de secado.

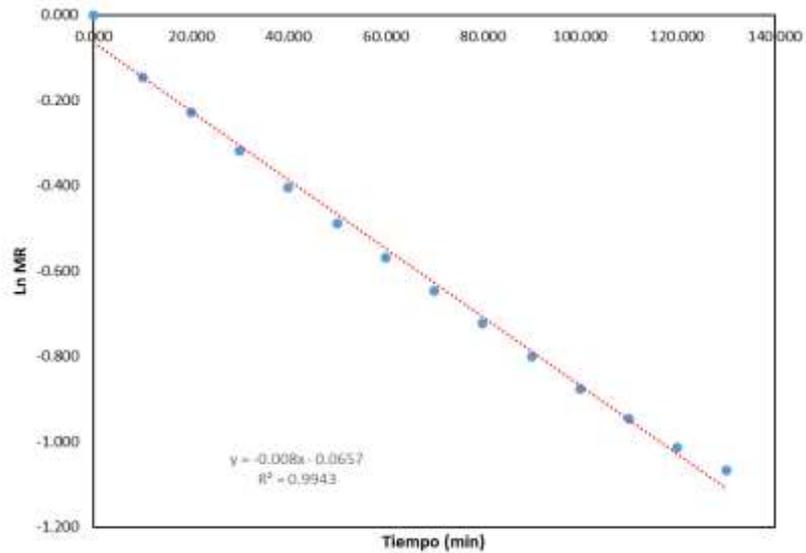
Figura 14*Curva de secado en base al tiempo***Figura 15***Curva de velocidad de secado en relación al peso seco*

Alcarráz (2019), presenta una investigación de secado en aguaymanto en bandejas de secador, aplicando temperaturas de 50°, 60° y 70° C, donde obtuvo tiempos de secado de 1320, 700 y 600 minutos, respectivamente. Por otro lado Herrera y Tarrillo (2023), presenta una investigación de deshidratación del mismo fruto por medio del método de ósmosis y estufa, trabajando a temperaturas de 40°, 45° y 50° C, donde obtuvo tiempos de secado de 5400, 3780 y 2160 minutos, respectivamente. En comparación con los trabajos de estos autores mencionados, se puede afirmar que el método de VR es un método que nos permitió obtener a temperaturas trabajadas de 55°, 65° y 75° C, tener tiempos de secado de 130, 125 y 120 minutos respectivamente.

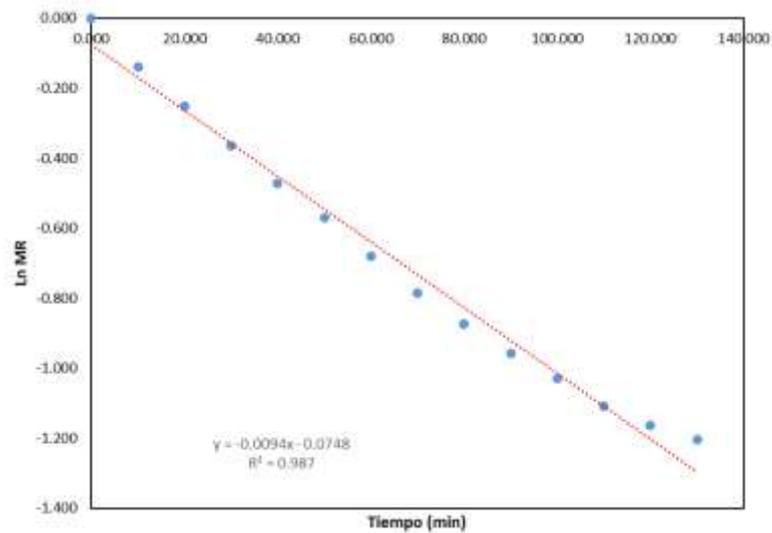
4.1.2. Modelamiento Matemático De La Curva De Secado. De los resultados obtenidos a partir de la experimentación de secado mediante las tres temperaturas y tres velocidades de aire en secado por ventana refractante, se realizó un ajuste matemático a las curvas de secado con el modelo empírico de page (Rurush et al., 2022), cuyo modelo ha sido utilizado ampliamente en distintos estudios para el ajuste de las curvas de secado.

Figura 16

Cinética de secado por ventana refractante a 55°C y velocidad del aire de 1.5m/s

**Figura 17**

Cinética de secado por ventana refractante a 65°C y velocidad del aire de 1.5m/s

**Figura 18**

Cinética de secado por ventana refractante a 75°C y velocidad del aire de 1.5m/s

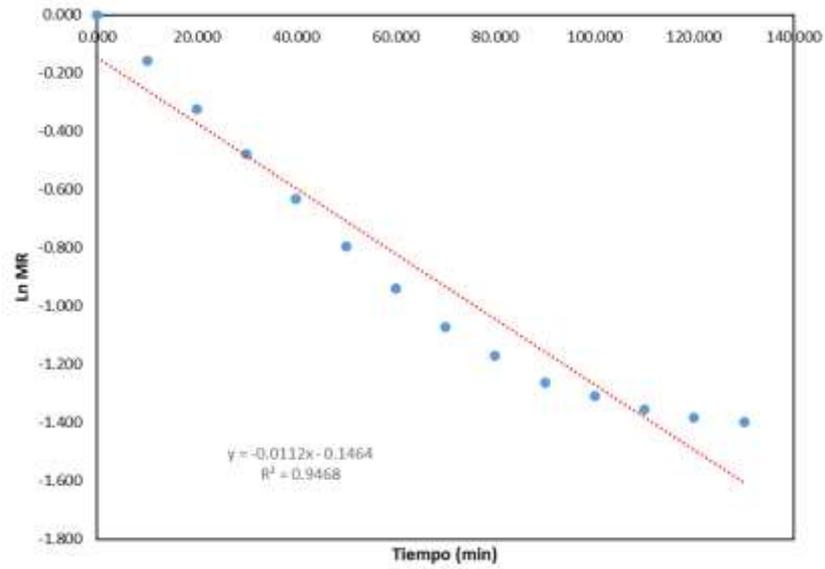


Figura 19

Cinética de secado por ventana refractante a 55°C y velocidad del aire de 2m/s

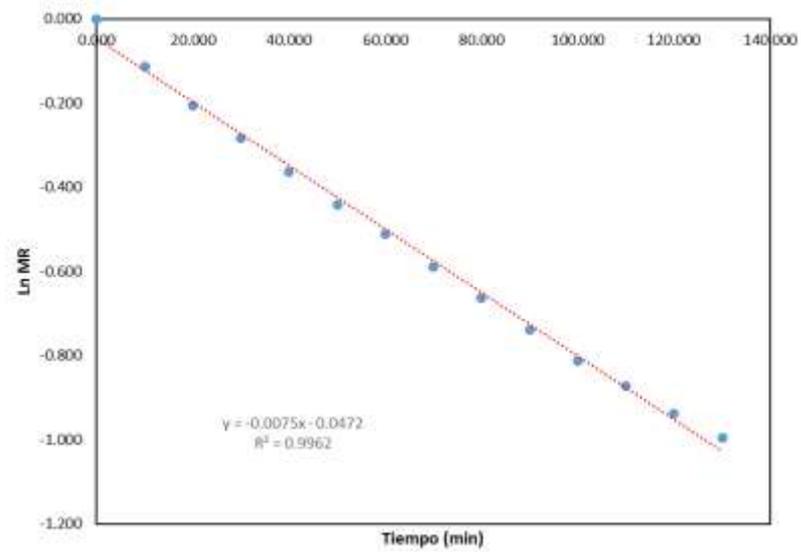


Figura 20

Cinética de secado por ventana refractante a 65°C y velocidad del aire de 2m/s

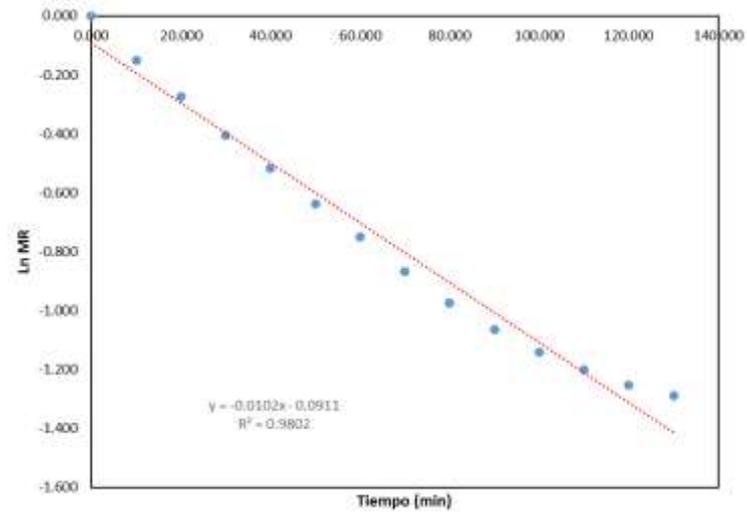


Figura 21

Cinética de secado por ventana refractante a 75°C y velocidad del aire de 2m/s

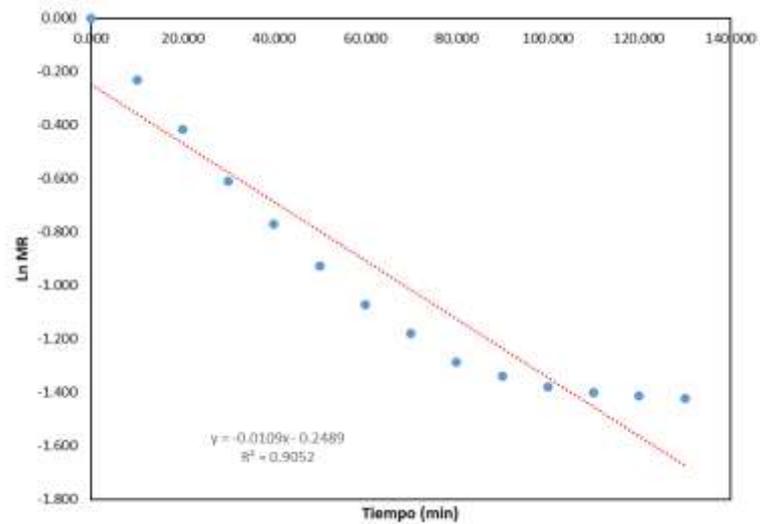


Figura 22

Cinética de secado por ventana refractante a 55°C y velocidad del aire de 2.5m/s

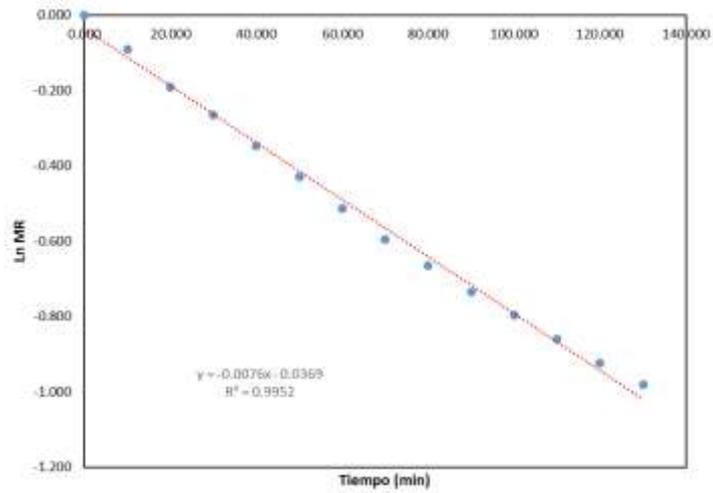


Figura 23

Cinética de secado por ventana refractante a 65°C y velocidad del aire de 2.5m/s

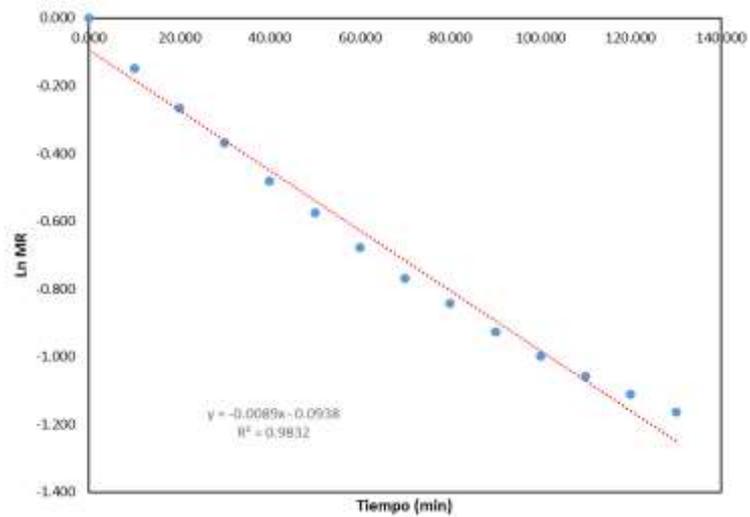
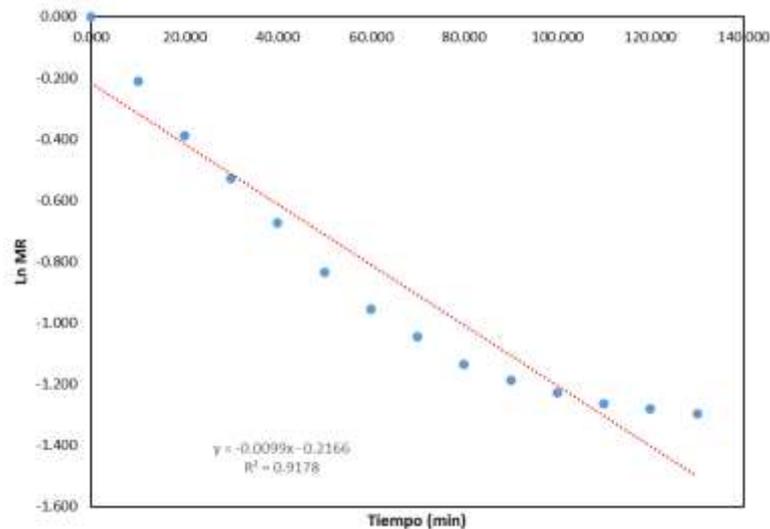


Figura 24

Cinética de secado por ventana refractante a 75°C y velocidad del aire de 2.5m/s



Se observa en las figuras de la 16 hasta la 24, que el comportamiento de las curvas de secado presenta similitudes en las condiciones trabajadas como temperatura y velocidad del aire, pero de acuerdo con el modelo R^2 , todos fueron superiores a 0.9, comprobando que las tres temperaturas y tres velocidades de aire aplicadas se ajustan al modelo de Page de manera representativa. Se señala que el modelo de Page es una de las maneras representativas más usadas por los autores, la razón se debe a que la ecuación puede ajustarse con gran precisión a los datos del secado y en la cual su representación es similar a la solución de cálculo fraccional de difusión anómala para tiempos de secado prolongado (Li, Xu y Zeng, 2016)

En la búsqueda de modelos matemáticos para la simulación cinética de la transferencia de agua de cuerpo mediante la operación de secado, se presentan varias alternativas las cuales explican la transferencia de calor y masa del cálculo fraccional en el ámbito de ingeniería de alimentos, se afirma lo que menciona Simpson y sus colaboradores (Simpson et al., 2013), la difusión dada en materiales como alimentos se representa mejor a través de una sola confiabilidad fenológica implementado de la difusión anómala utilizando el cálculo fraccional y por lo tanto el modelo de Page.

Vega, Gálvez et al. (2009) manifiesta que el ajuste de los modelos cinéticos de secado sirve de guía para el diseño de posteriores secadores, asegurando una tecnología sin errores y con rangos de valores cercanos en el estudio experimental a niveles de laboratorio.

4.2. Efecto De Velocidad De Aire Y Temperatura De Secado En Ventana Refractante En Las Condiciones Físicas

4.2.1. Efecto en La Difusividad. De acuerdo con lo mostrado en la Tabla 7, los factores principales como (velocidad del aire y temperatura) y su interacción obtuvo que la temperatura y su valor de $P < 0.05$ por lo tanto, este factor tiene efecto significativo en la difusividad.

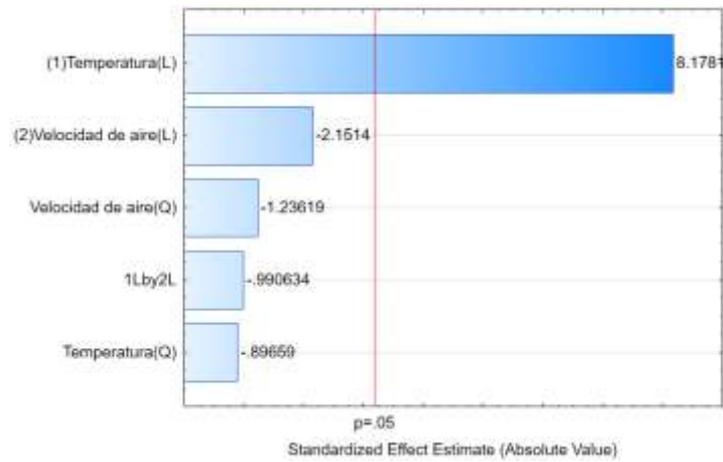
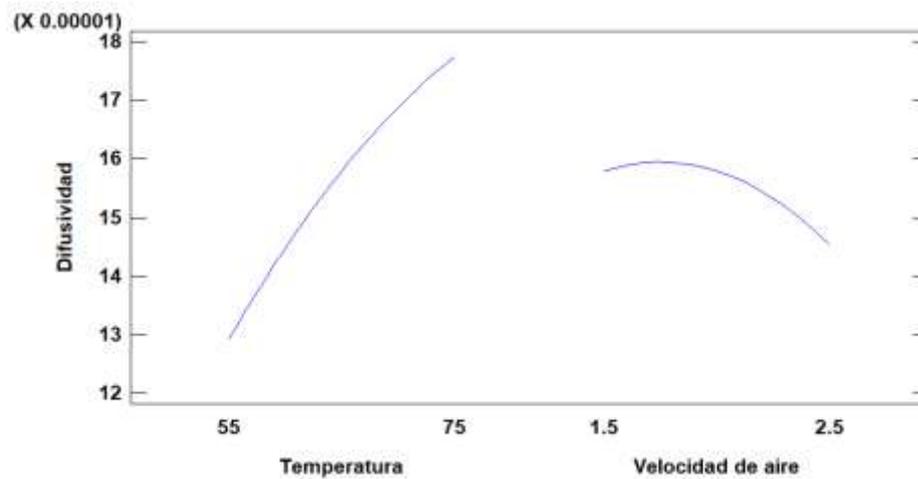
Tabla 7

ANOVA para difusividad

<i>Fuente</i>	<i>Suma</i>	<i>de Gl</i>	<i>Cuadrado</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
	<i>Cuadrados</i>		<i>Medio</i>		
A:Temperatura	3.48602E-9	1	3.48602E-9	66.88	0.0038
B:Velocidad	de 2.41262E-10	1	2.41262E-10	4.63	0.1205

aire					
AA	4.18979E-11	1	4.18979E-11	0.80	0.4360
AB	5.11583E-11	1	5.11583E-11	0.98	0.3949
BB	7.96448E-11	1	7.96448E-11	1.53	0.3044
Error total	1.56368E-10	3	5.21226E-11		
Total (corr.)	4.05635E-9	8			

Se muestra los efectos de las variables en la difusividad estandarizados en la figura 25, donde se puede observar que la temperatura es el único factor que tiene significancia en la difusividad. En la figura 26, se muestra individualmente cada uno de los efectos sobre la difusividad, donde se aprecia que cuando la temperatura es más alta la difusividad es mayor, esto se debe que durante el secado es necesario evaporar el agua que existe tanto la superficie como el interior. (Kneule, 1966)

Figura 25*Pareto estandarizado para la difusividad***Figura 26***Efectos individuales para la difusividad*

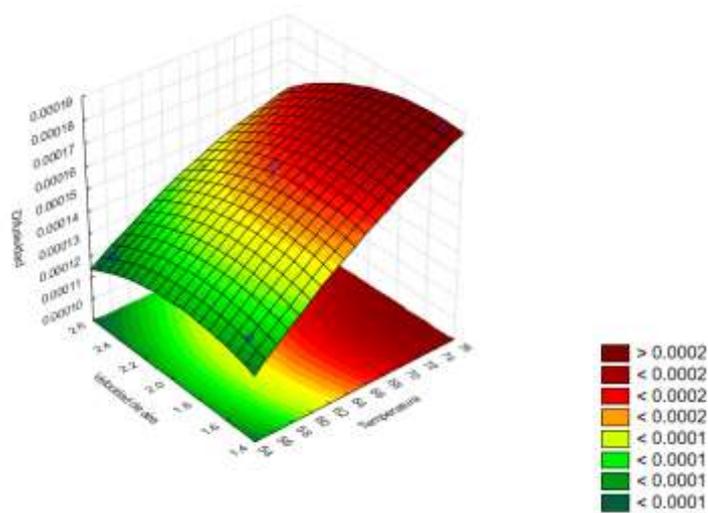
En la figura 27 se muestra la superficie de respuesta estimada en el cálculo de los efectos de la temperatura y velocidad el aire sobre la difusividad de las muestras, se observa que el ajuste fue adecuado y se representa en la siguiente ecuación:

$$\text{Difusividad} = -0.00036072 + 0.000009791 *T + 0.000134777 *Va - 4.577 \text{ E-}8 *T^2 - 7.1525\text{E-}7 *T *Va - 0.000025242 *Va^2$$

$$R^2 = 96.1451 \%$$

Figura 27

Superficie de respuesta para la difusividad



Gamboa et al. (2014) trabajó el secado de lúcumas utilizando la técnica de ventana refractante obtuvo una difusividad efectiva de $2,534 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$. observado que aumentando a temperatura, aumentara la difusividad.

García, Bermudez y García (2014). Utilizaron técnica de secado convencional en mango, previo tratamiento osmótico y microondas, donde obtuvieron como resultado valores de: $1,79 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$, difusividad baja, señalando que el método convencional genera una resistencia interna en el producto.

A comparación con los autores mencionados señalamos que en la técnica de VR, se obtienen valores de difusividad altos y un $R^2 = 0.96$ lo que significa que la velocidad con la que se da la transferencia de masa en la técnica de VR es mayor que los métodos convencionales.

4.2.2. Efecto En La Actividad De Agua (aw). La actividad de agua es la forma en cómo se entrelaza el agua a la estructura del alimento y el grado en el cual se

haya disponible para ser evaporada. Ésta es de gran importancia ya que mediante ella se puede determinar la calidad del producto y la seguridad sanitaria del mismo. En el secado por ventana refractante en aguaymanto se obtuvo como valor menor 0,329 observando que la mayoría de los tratamientos son capaces de reducir considerablemente la actividad de agua y con ello inhibir la actividad microbiana.

Se observa que la temperatura es el factor que tiene efecto de significancia en la actividad de agua, esto se puede observar en la tabla 8.

Tabla 8

ANOVA para aw

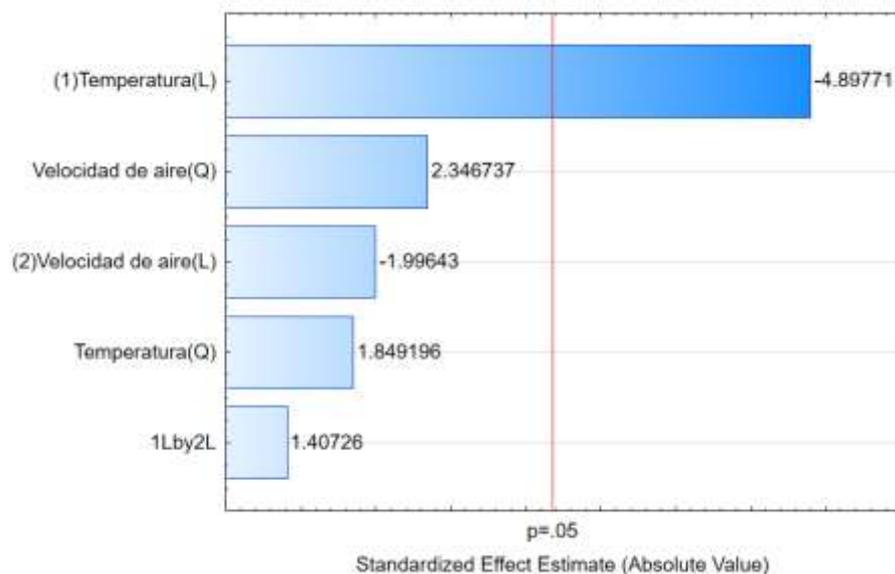
<i>Fuente</i>	<i>Suma</i>	<i>de Gl</i>	<i>Cuadrado</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
	<i>Cuadrados</i>		<i>Medio</i>		
A:Temperatura	0.0193802	1	0.0193802	23.99	0.0163
B:Velocidad de aire	0.00322017	1	0.00322017	3.99	0.1398

AA	0.00276272	1	0.00276272	3.42	0.1616
AB	0.0016	1	0.0016	1.98	0.2541
BB	0.00444939	1	0.00444939	5.51	0.1006
Error total	0.00242378	3	0.000807926		
Total (corr.)	0.0338362	8			

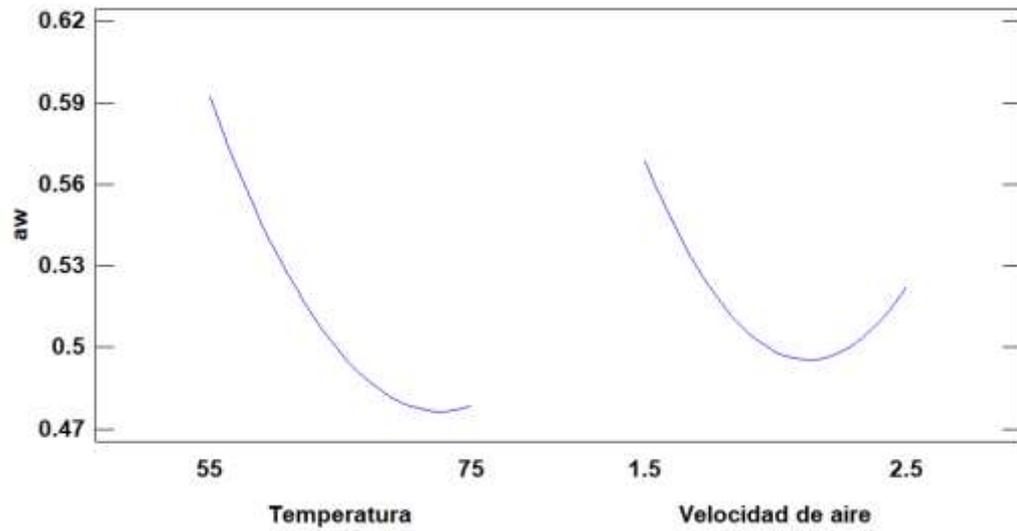
Se muestra los efectos de las variables sobre la actividad de agua en el gráfico de Pareto estandarizado (figura 28), se muestra como la temperatura es la variable que tiene efecto significativo en la actividad de agua.

Figura 28

Pareto estandarizado para aw



Se observa como lo señalan diversas investigaciones, como a mayor sea la temperatura aplicada la actividad de agua se reduce más rápido como se observa en la figura 29. Mostrando así como factores añadidos en un secado por ventana refractante como la velocidad del aire no tendrán efecto significativo en dicho proceso.

Figura 29*Efectos individuales para la aw*

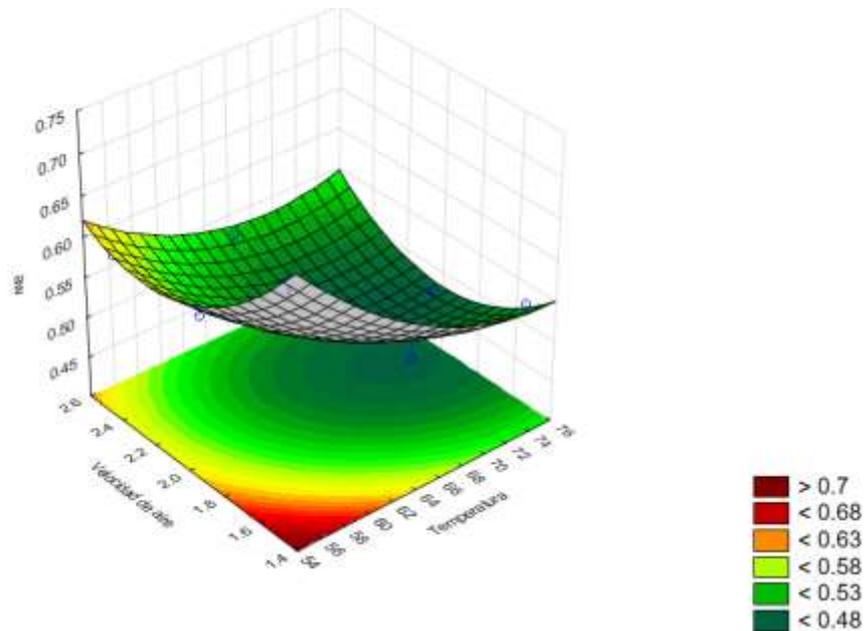
De la misma manera el ajuste de datos fue el adecuado al modelo de superficie generado, el cual se muestra en la figura 30 y cuya ecuación ajustada es:

$$aw = 3.80526 - 0.062 *T - 1.061 *Va + 0.000371667 *T^2 + 0.004 *T *Va + 0.188667 *Va^2$$

$$R^2 = 92.8367\%$$

Figura 30

Superficie de respuesta para la aw



Se afirma la investigación de (Leiton, 2012), trabajando en pulpa de guayaba usando el método de ventana refractante, evaluando diferentes temperaturas y espesores de muestra, demostrando que el método de VR, presenta valores de actividad de agua menores a 0.5, valores suficientemente bajos para inhibir la actividad microbiana.

4.2.3. Efecto En Los Parámetros Del Color Cielab. El color es uno de los principales atributos de calidad con los que cuenta los alimentos, éste es influenciado por muchos factores, como madurez, manipulación y uno de los principales, el procesamiento. Por ello se evaluó los cambios experimentados en pulpa de aguaymanto secados por el método de ventana refractante en función de las variables de velocidad del aire y temperatura.

Tabla 9*ANOVA para L**

<i>Fuente</i>	<i>Suma</i>	<i>de Gl</i>	<i>Cuadrado</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
	<i>Cuadrados</i>		<i>Medio</i>		
A:Temperatura	4.08771E6	1	4.08771E6	2.57	0.2075
B:Velocidad de aire	4.06159E6	1	4.06159E6	2.55	0.2086
AA	1.3332E6	1	1.3332E6	0.84	0.4278
AB	6.09117E6	1	6.09117E6	3.82	0.1455
BB	1.36116E6	1	1.36116E6	0.85	0.4235
Error total	4.7797E6	3	1.59323E6		
Total (corr.)	2.17145E7	8			

En las tablas 9 ANOVA para el espacio L* de los parámetros del espacio Cielab, donde se distingue claramente que no hay cambios significativos $P= 0.2075$. Estudios como (Leiton, 2012) en secado por VR, en guayaba a temperatura de 90°C, no muestra efecto significativo en la luminosidad de la fruta.

Tabla 10*ANOVA para a**

<i>Fuente</i>	<i>Suma</i>	<i>de Gl</i>	<i>Cuadrado</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
	<i>Cuadrados</i>		<i>Medio</i>		

A:Temperatura	0.02535	1	0.02535	0.00	0.9749
B:Velocidad de aire	11.8161	1	11.8161	0.54	0.5142
AA	1.26405	1	1.26405	0.06	0.8249
AB	3.0276	1	3.0276	0.14	0.7337
BB	54.2882	1	54.2882	2.50	0.2120
Error total	65.1389	3	21.713		
Total (corr.)	135.56	8			

En las tablas 10 ANOVA para a* de los parámetros del espacio Cielab, donde se distingue claramente que no hay cambios significativos $P = 0.9749$. Estudios como (Gamboa et al, 2013), quien trabajo el método de secado por VR en lúcum a 95°C , demuestra que $R = 0.41$, lo cual nos demuestra que el secado en VR no causa significancia en a*

Tabla 11

*ANOVA para b**

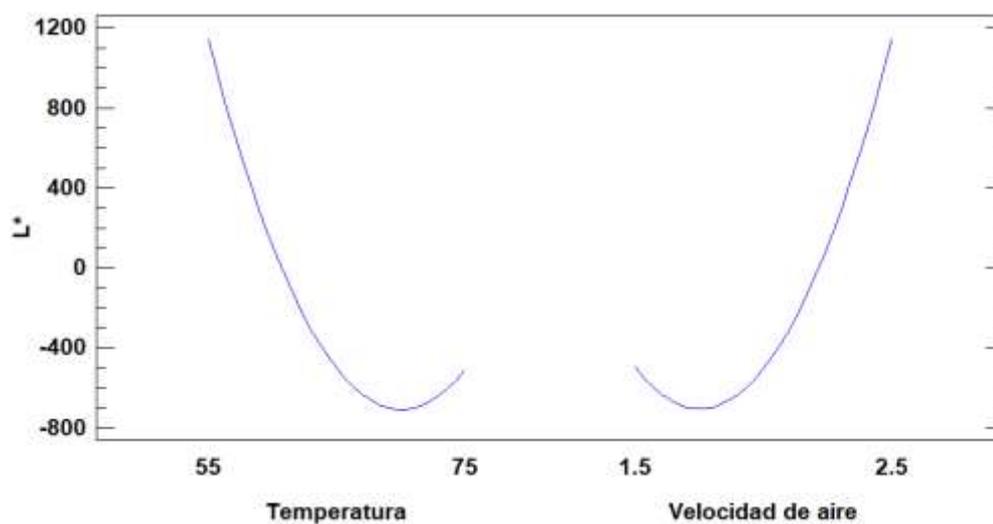
<i>Fuente</i>	<i>Suma Cuadrados</i>	<i>de Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:Temperatura	27.8641	1	27.8641	0.39	0.5781
B:Velocidad de aire	2.89815	1	2.89815	0.04	0.8539

AA	3.94805	1	3.94805	0.05	0.8300
AB	0.297025	1	0.297025	0.00	0.9528
BB	293.062	1	293.062	4.07	0.1371
Error total	216.188	3	72.0627		
Total (corr.)	544.257	8			

En las tablas 11 muestran los ANOVA para b^* uno de los parámetros del espacio Cielab, donde se distingue claramente que no hay cambios significativos, $R= 0.5781$. Estudios ya mencionados como (Gamboa et al, 2013) demuestran que el método de venta refractante es un método óptimo para mantener la calidad del color de la fruta, ya que no presenta cambio significativo en el color.

Figura 31

*Efectos principales para L^**

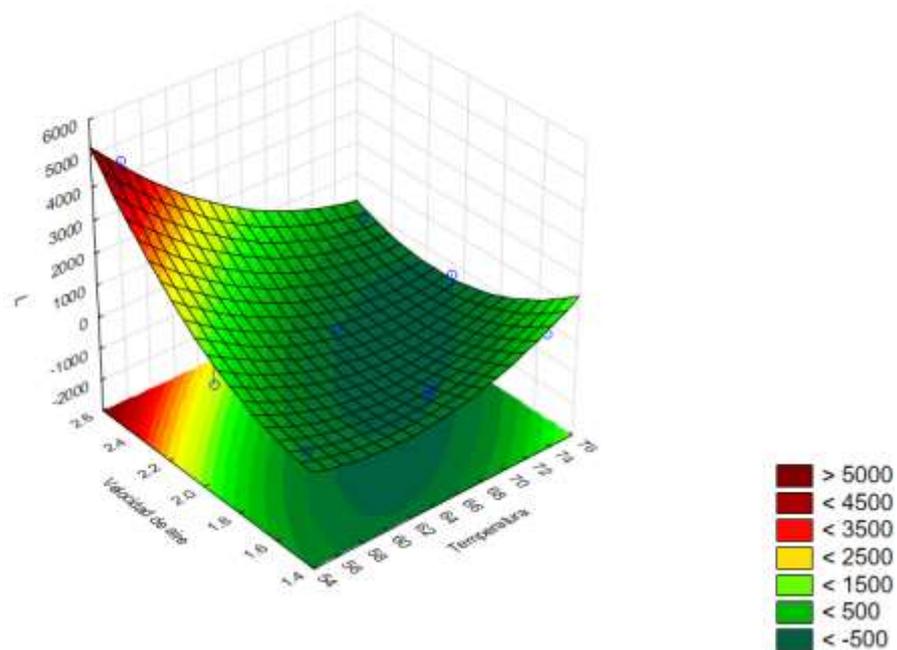


En la figura 31 se puede observar el efecto de la luminosidad que presenta el aguaymanto en el proceso de secado a través de las variables establecidas. El

fenómeno de la luminosidad se rige principalmente por compuestos presentes en los alimentos como los carotenos. Se dice que alimentos con alta actividad de agua y baja temperatura, provoca que los pigmentos llamados carotenos, sean propensos a sufrir pardemiento enzimático y con ello producir pigmentos marrones o oscuros. (Severini et al., 2003).

Figura 32

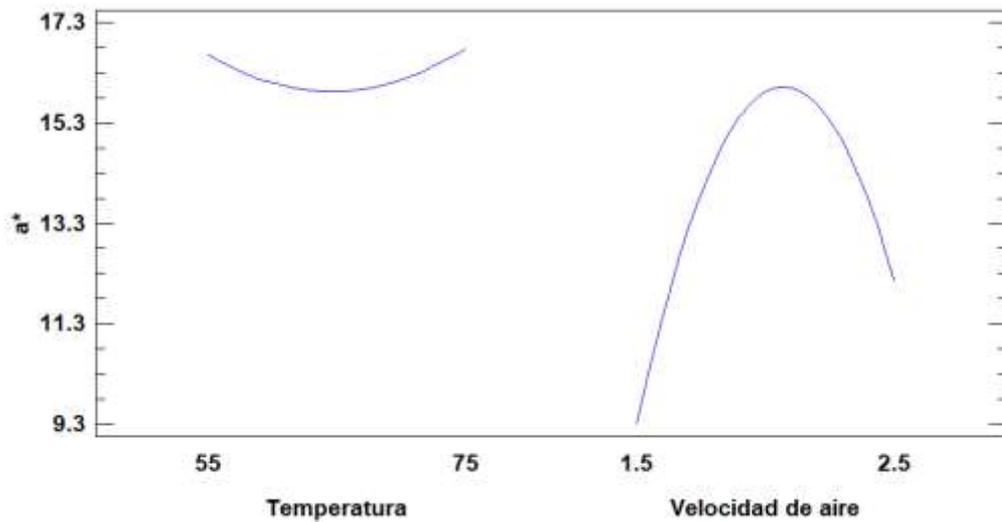
*Superficie de respuesta para L**



En la figura 32 se muestra las superficies de respuesta para L* parámetro de la escala de color Cielab donde se observa el indicado ajuste a los valores experimentales, su ecuación:

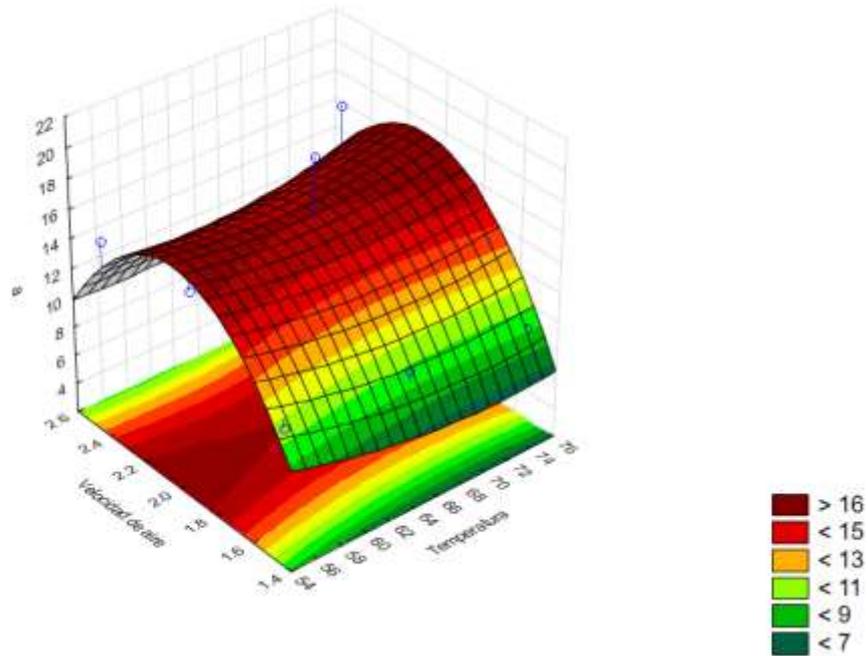
$$L^* = 17183.9 - 650.328 *T + 4488.16 *Va + 8.16457 *T^2 - 246.803 *T *Va + 3299.89 *Va^2.$$

$$R^2 = 77.9885\%$$

Figura 33*Efectos principales para a^** 

En la figura 33 se muestra el efecto de a^* que presenta el aguaymanto en el proceso de secado a través de las variables establecidas. La variable a^* de la escala Cielab, se rige por colores o tonalidades rojas a verdes, las cuales se dan en los alimentos por compuestos como los licopenos o clorofila. Se menciona que compuestos antioxidantes como los licopenos son propensos a la degradación en la deshidratación debido a la oxidación. (Leiton, 2012)

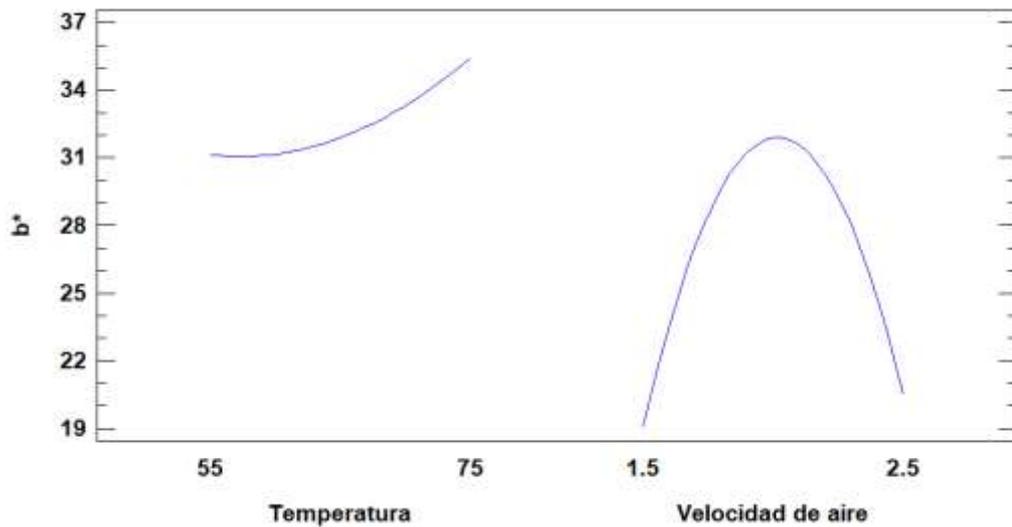
Figura 34*Superficie de respuesta para a^**



En la figura 34 se muestra las superficies de respuesta para a^* parámetro de la escala de color CielAB donde se observa el indicado ajuste a los valores experimentales, su ecuación:

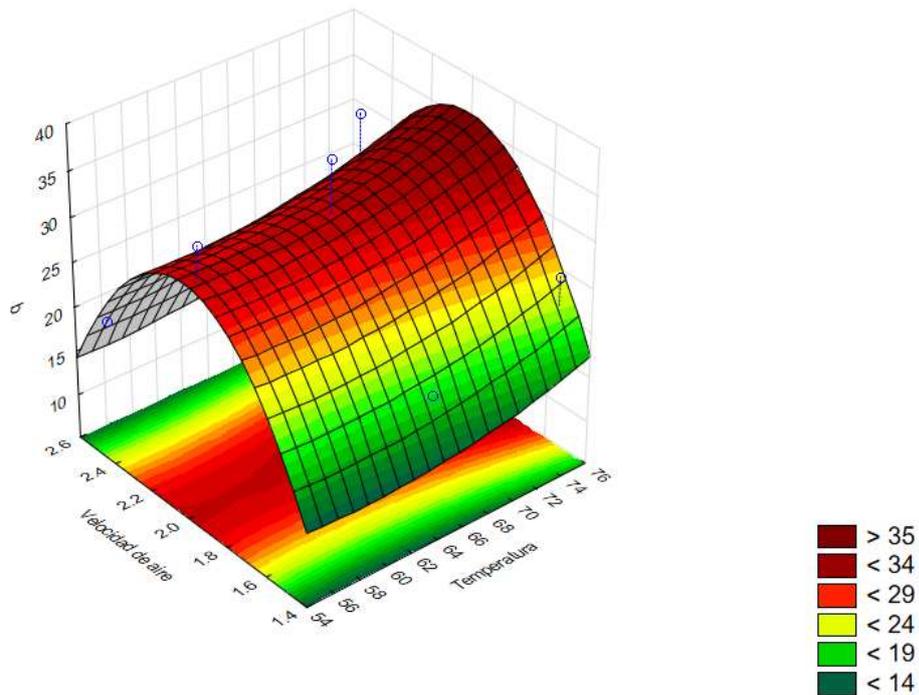
$$a^* = -17.2538 - 1.375 *T + 74.8567 *Va + 0.00795 *T^2 + 0.174 *T *Va - 20.84 *Va^2.$$

$$R^2 = 51.9483\%$$

Figura 35*Efectos principales para b^** 

En la figura 35 se muestra el efecto de b^* que presenta el aguaymanto en el proceso de secado a través de las variables establecidas. La variable b^* de la escala Cielab, se rige por colores o tonalidades amarillas y azules, las cuales se presencian en los alimentos gracias a las antioxioaninas. Se menciona que la principal fuente de pérdida de antoxianina en los alimentos deshidratados es la temperatura, ya que éste compuesto es sensible a este factor. (Talens, 2017)

Figura 36*Superficie de respuesta para b^**



En la figura 36 se muestra las superficies de respuesta para b^* parámetro de la escala de color CieLAB donde se observa el indicado ajuste a los valores experimentales, su ecuación:

$$b^* = -112.128 - 1.72 *T + 191.528 *Va + 0.01405 *T^2 + 0.0545 *T *Va - 48.42 *Va^2.$$

$$R^2 = 60.2784\%$$

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. (Cieza, 2024). Como se observó en los resultados, valores de L^* , a^* y b^* obtuvieron valores óptimos en cada una de las variables de temperatura como

velocidad de aire, lo que nos demuestra que la tecnología de ventana refractante mantiene la calidad del color de la fruta aguaymanto en el proceso de secado.

4.2.4. Efecto en los Polifenoles. La lectura de la curva del ácido gálico se realizó en un espectrofotómetro UV-Vis a 765 nm de longitud de onda (λ), expresado en absorbancia (UA). Los datos obtenidos para la curva de calibración se muestran en la Tabla 12.

Tabla 12

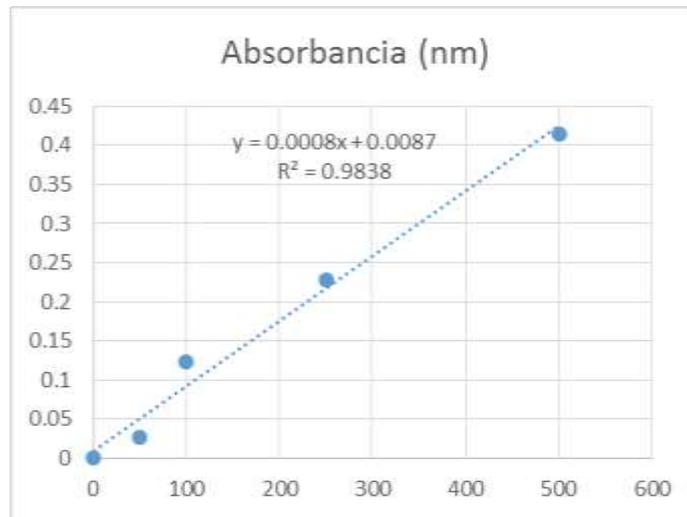
Datos de calibración de ácido gálico

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

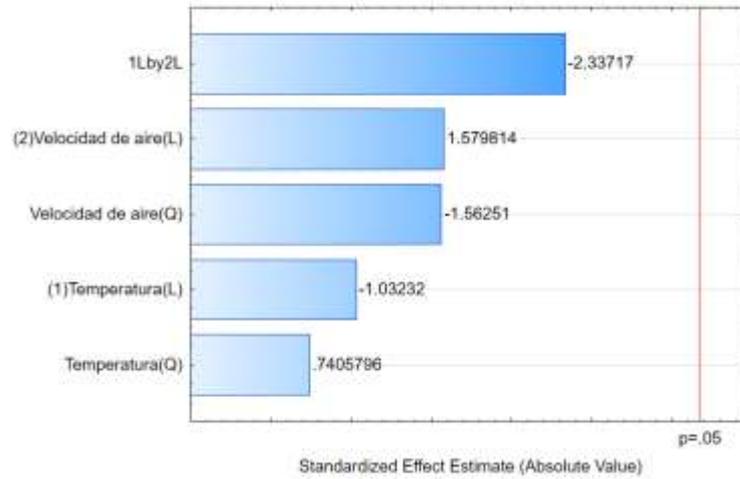
También se muestra la curva de calibración ajustada de ácido gálico en el rango de concentraciones de 0 a 500mg/L que responde a la ecuación:

$$Y = 0.0008x + 0.0087$$

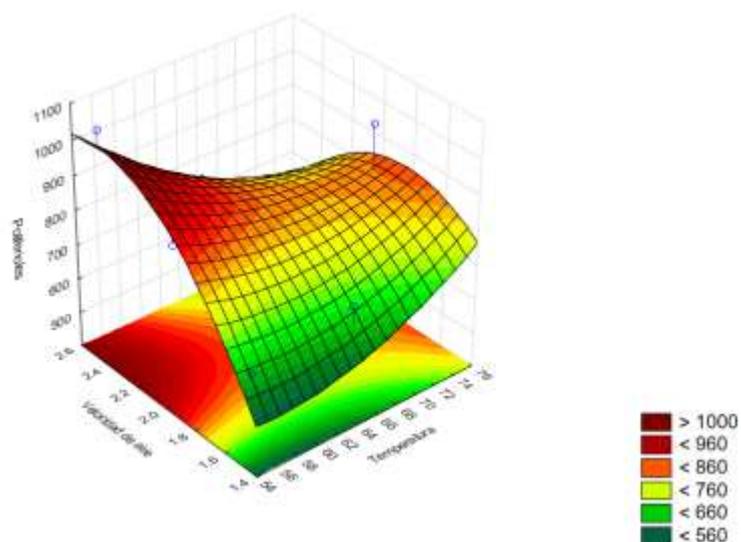
$$R^2 = 0.9838\%$$

Figura 37*Curva de calibración*

Como principal indicador para polifenoles tenemos el ácido gálico, en la figura 37 se muestra los valores obtenidos para cada muestra que fue secada por medio de VR en las variables establecidas, como se muestra en la figura 38 de Pareto estandarizado, obteniendo valores ($p > 0.05$) por lo que podemos afirmar que las concentraciones de polifenoles totales expresados con ácido gálico en las muestras no presentan cambios significativos.

Figura 38*Pareto estandarizado de polifenoles*

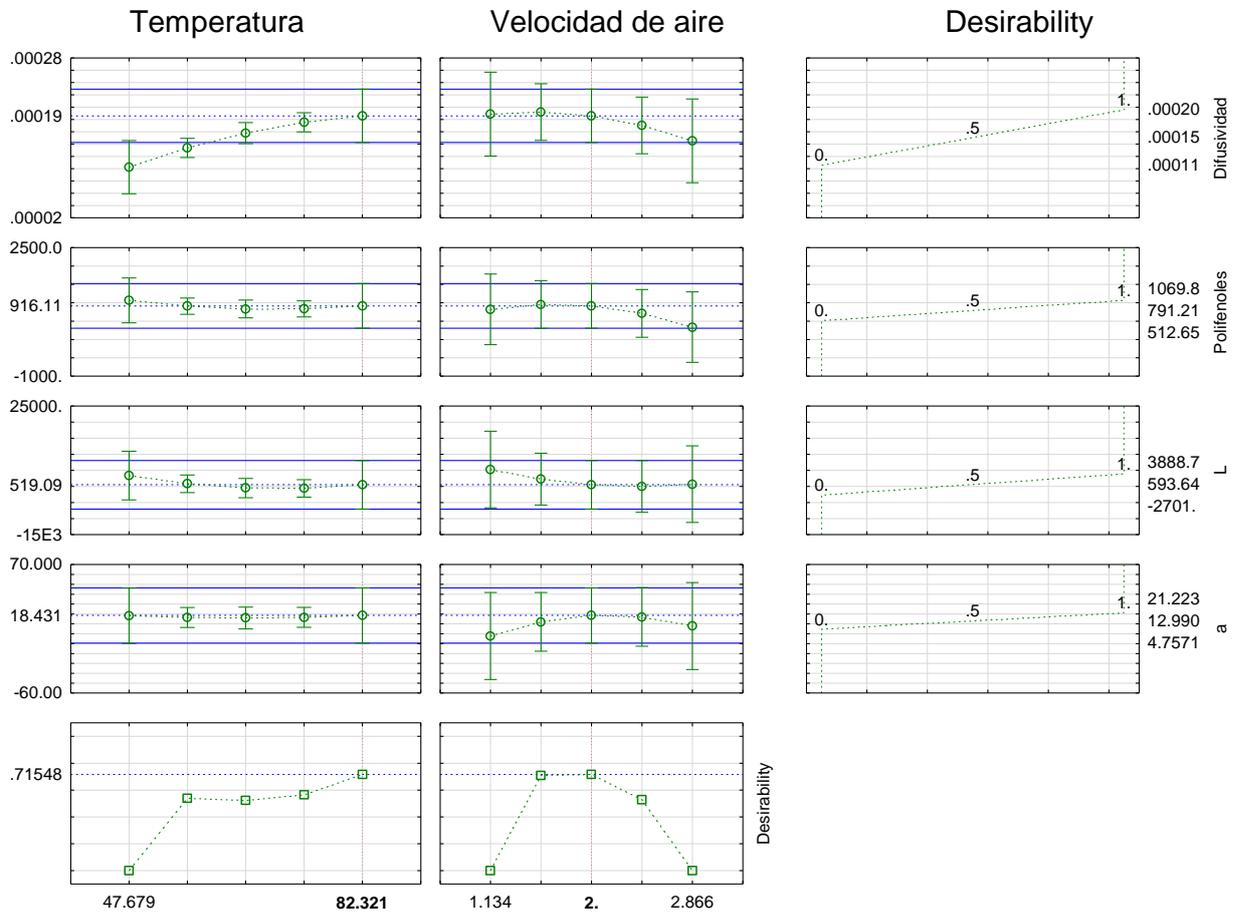
En la figura 38 se aprecia con claridad, como la temperatura y velocidad de aire no ejercen efecto significativo en los polifenoles, comprobando así que el método de VR, permite mantener los valores nutricionales de la fruta.

Figura 39*Superficie de respuesta para los polifenoles*

Perales (2018), evaluó los compuestos bioactivos de aguaymanto durante un secado por estufa, a temperaturas de 50°, 60° y 70° C, donde obtuvo que el mayor contenido de polifenoles fue a temperaturas de 50°C, con un contenido de 295.6 mg (GAE)/100g m.s. A diferencia de nuestro trabajo realizado, que tuvo como resultado a 55°C un contenido de 1180.30 mg (GAE)/100g m.s. Resaltando que por secado en VR, se conserva más polifenoles totales.

De acuerdo con De la Vega et al. (2019), las frutas sometidas a tratamientos como deshidratación en estufa o secador de bandejas, sufren una degradación de los polifenoles durante el proceso, debido a la reacción de oxidación tanto enzimáticas como no enzimáticas, que se generan por los tiempos largos de procesos.

4.3. Optimización

Figura 40*Optimización de Temperatura y Velocidad de aire*

La Optimización de Temperatura y Velocidad de aire se realizó con el software “STATISTICA”, el cual nos permite obtener la T y Va, óptima para secado de aguaymanto en VR, la cual se muestra en la figura 40, tenemos para $T = 75^{\circ}\text{C}$ y $V_a = 2 \text{ m/s}$.

V. Conclusiones

Se determinó que la velocidad de aire aplicado en el secado por ventana refractante no presenta efecto significativo ($p > 0,05$) en los parámetros establecidos: la difusividad ($P=0.1205$), color L^* ($P=0.2086$), a^* ($P=0.5142$), b^* ($P=0.8539$), actividad de agua ($P=0.1398$) y polifenoles ($P=0.1579$), sin embargo tiene una leve tendencia, más no significativa a aumentar la velocidad de secado en velocidades de aire menor (2m/s).

La variable temperatura, si muestra efecto significativo ($p < 0,05$) en los parámetros difusividad ($P=0.0038$) y actividad de agua ($P=0.0163$), concluyendo así, que a mayor temperatura, más rápido se propagará el calor en el alimento, teniendo una pérdida de agua del aguaymanto en menor tiempo; en parámetros como color L^* ($P=0.2075$), a^* ($P=0.9749$), b^* ($P=0.5781$) y polifenoles ($P=0.2337$), no tiene efecto significativo ($p > 0,05$) permitiendo que se utilicen temperaturas altas para obtener tiempos más cortos sin afectar sus propiedades físicas y nutricionales.

VI. Recomendaciones

Debería ampliarse un estudio basado en análisis, microbiológico, sensorial, vida útil, etc. En diferentes variedades de fruta para evaluar la calidad y efectividad del secado por ventana refractante para una posterior comercialización.

Deberían desarrollarse modelos y diseños de equipos, que se ajusten a la base del proceso de secado por ventana refractante, ya que es un proceso rentable, bajo en costos, tiempo y amigable con el medio ambiente.

VII. Bibliografía

Abonyi, B., Feng, H., Tang, J., Edwards, C., Mattinson, D. & Fellman, J. (2001). Quality retention in strawberry and carrot purees dried with Refractance Window™ System. *Journal of Food Science*. 67(2), 1051–1056. <https://s3.wp.wsu.edu/uploads/sites/1254/2016/05/tang64.pdf>

Alcarráz, A., (2019). *Coeficiente de difusividad y energía de activación en el secado de aguaymanto “Physalis peruviana L” tratado con metabisulfito de sodio*. [Tesis de Título Profesional, Universidad Nacional José María Arguedas]. Repositorio Institucional – Universidad Nacional José María Arguedas.

Aparcana, I. y Villarreal, L. (2014). *Evaluación de la capacidad antioxidante de los extractos etanólicos del fruto de Physalis peruviana “aguaymanto” de diferentes lugares geográficos del Perú* [Tesis para Título Profesional, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. Repositorio Institucional – Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Arevalo, S. (2017). *Agua en los alimentos*. [Tesis de Título Profesional, Universidad Nacional de la Amazonia Peruana]. Repositorio Institucional – Universidad Nacional de la Amazonia Peruana.

Arias, J., Holgado, J., Tafur, T., y Vásquez, M. (1° ed.). (2022). *Metodología de la investigación*. Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú.

Asociación Macroregional de Productores para la Exportación. (2008). *Aguaymanto, perfil de mercado*. Chiclayo, Perú. www.ampex.com.pe/download_file.php?f=perfil-aguaymanto.pdf

Asociación Regional de Exportadores. (2008). *Exporta ya*. <https://drive.google.com/file/d/0BxJgSZAZnaqdalk5QzMxZGdxcjg/edit?pli=1>

Bautista, C., L. Reyna, M., Bravo, A., y Aguirre, M., (2014). *Revista Periódica Química e Ingeniería Química*. 17(1), 37-42.
file:///C:/Users/Nicool/Downloads/admOjs,+AguaymantoLiofilizado.pdf

Bennamoun, L., & Li, J. (2018). Drying Process of Food: Fundamental Aspects and Mathematical Modeling. *Natural and Artificial Flavoring Agents and Food Dyes*. 7(2), 29-82. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811518-3.00002-8>

Brennan, J. et al. (3° ed.). (1998). *Las Operaciones de la Ingeniería de los Alimentos*. Acribia.

Brito, D. (2002). *Producción de uvilla para la exportación*.
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/12420>

Cano, C. y Viveros, J. (2009). *Secado de naranja y guayaba empleando la tecnología de ventana de refractancia*. [Tesis de Título Profesional, Universidad del Valle].

Carvalho, M., Corrêa, P., Silva, G., Lopes, L., & Sousa, A. (2022). Kinetics and mathematical modeling of the drying process of macaúba almonds. *Revista Caatinga*. 35(1), 199-205. <https://doi.org/10.1590/1983-21252022v35n120rc>

Cerrón, S. y Junchaya, J. (2019). *Influencia de la temperatura del aire en la velocidad de secado de quinua germinada en un secador de bandejas*. [Tesis de Título Profesional, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional – Universidad Nacional del Centro del Perú.

Cieza, Y. (2024). *Efecto de la temperatura y tiempo de secado por ventana refractante en las características fisicoquímicas de arandano en rodajas (*Vaccinium corymbosum*)*. [Tesis de Título Profesional, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional – Universidad Nacional de Cajamarca.

De la Vega, J., Cañajero, A., Cabascango, O. y Lara, M. (2019). Deshidratado de *Physalis peruviana* L. en dos Estados de Madurez y su Efecto sobre el Contenido de Polifenoles Totales, Capacidad Antioxidante, Carotenos, Color y Ácido Ascórbico. *GIDIBAN*. 30(5), 91-100.
file:///C:/Users/Nicool/Downloads/Deshidratado_de_Physalis_peruviana_L_en_dos_Estado.pdf

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>

Gamboa, D., Ibañez, D., Melendez, M., Paredes, E. y Siche, R. (2014). Secado de lúcuma (*Pouteria obovata*) empleando la técnica de Ventana Refractante. *Scientia Agropecuaria* 5(1), 103-108. <http://www.scielo.org.pe/pdf/agro/v5n2/a05v5n2.pdf>

Gutiérrez, C. (2011). *Efecto de la proporción de pulpa de aguaymanto/berenjena y porcentaje de pectina en la consistencia y sabor de la mermelada obtenida a partir del aguaymanto *Physalis peruviana* L. y berenjena *Solanum melangena* utilizando el MSR*. [Tesis de Título Profesional, Universidad Nacional de Trujillo]. Repositorio Institucional – Universidad Nacional de Trujillo.

Hernández, D. (2020). *Determinación de los cambios en la humedad y color en ñame criollo *Dioscorea alata* durante el secado por ventana refractiva* [Tesis de Título Profesional, Universidad de Córdova]. Repositorio Institucional – Universidad de Córdova.

Herrera, L. y Tarrillo, R. (2023). *Deshidratación osmótica en aguaymanto “*Physalis peruviana* L”. Y el efecto en sus características fisicoquímicas y organolépticas* [Tesis de Título Profesional, Universidad Nacional Autónoma de Chota]. Repositorio Institucional – Universidad Nacional Autónoma de Chota.

Leiton, Y., (2012). Evaluación del método de secado por ventana de refractanciaTM en pulpa de guayaba “*Psidium guajava*” [Tesis de Maestría Universidad del Valle]. Repositorio Institucional - Universidad del Valle.

Liu, Z., Xie, L., Zielinska, M., Pan, Z., Wang, J., Deng, L., Wang, H., & Xiao, H. (2021). Pulsed vacuum drying enhances drying of blueberry by altering micro- , ultrastructure and water status and distribution. *LWT*, 142(1), 111013. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111013>

Magalhães, L., Santos, F., Segundo, M., Reis, S., & Lima, J. (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>

Nindo, C. & Tang, J. (2007). Refractance Window Dehydration Technology: A Novel Contact Drying Method. *Drying Technology*. 25(1), 37–48. https://www.researchgate.net/publication/237534308_Refractance_Window_Dehydration_Technology_A_Novel_Contact_Drying_Method

Pari, M. (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 Título Profesional, Universidad Nacional de Huancavelica]. Repositorio Institucional – Universidad Nacional de Huancavelica.

Perales, F. (2018). Evaluación de los compuestos bioactivos y capacidad antioxidante durante el secado de aguaymanto y guinda en tres estados de madurez. [Tesis de Título Profesional Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional - Universidad Nacional del Centro del Perú

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. [Tesis de Título Profesional, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio Institucional – Universidad Cesar Vallejo.

Potter, N. y Hotchkiss, J. (5° ed.). (1995). *Ciencia de los Alimentos*. Acribia.

Quispe, A. y Castro, N., (2017). Secado de durazno *Prunus pérsica* empleando la técnica de ventana refractante. *Revista de Investigaciones de la Universidad Le Cordon Bleu*. 4(2), 23-46. <https://revistas.ulcb.edu.pe/index.php/REVISTAULCB/article/view/61/231>

Ramadán, M. (2011). Fitoquímicos bioactivos, valor nutricional y propiedades funcionales de la uchuva *Physalis peruviana*: una descripción genera. *Revista Investigación alimentaria internacional*. 44(7), 1830-1836. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0963996911000147?via%3Dihub>

Restrepo, A., Cortés, R. y Márquez, C. (2008). Uchuvas *Physalis peruviana* L. Mínimamente procesadas fortificadas con vitamina E. *Vitae, Revista De La Facultad De Química Farmacéutica*. 16(1). 19-30. <https://www.redalyc.org/pdf/1698/169815393003.pdf>

Rurush, E., Alvarado, M., Palacios, P., Flores, Y., Rojas, M., & Miano, A. (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(1), 110929. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110929>

Severini, C., Baiano, A., De Pilli, T., Romaniello, R. y Derossi, A. (2003). Prevention of enzymatic browning in sliced potatoes by blanching in boiling saline solutions. *Lebensmann-Wisenthal-Technologies*. 36(1), 657-665.

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>

Smith, M. (1994). Heat transfer dynamics. *Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI) Journal*. 77(1), 239–245.

Talens, P. (2017). *Evaluación del color y tolerancia de color en alimentos a través del espacio CIELAB*. <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?sequence=1>

Treybal, R. (2° ed.). (2007). *Operaciones de transferencia de masa*. Mc.Graw Hill.

Vega, A., Lemus, R., Tello, 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>

Velezmoro, J. (2004). *Perfil del mercado de aguaymanto*. https://www.academia.edu/6991970/PERFIL_DE_MERCADO_DEL_AGUAYMANTO_Elaborado_por_Jill_Velezmoro_J%C3%A1luregui

Vuarant, C. (2014). *Optimización del proceso de secado de arándanos por infrarrojos*. [Tesis de Título Profesional Universidad Politécnica de Valencia]. Repositorio Institucional - Universidad Politécnica de Valencia.

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Curvas para determinación de Difusividad

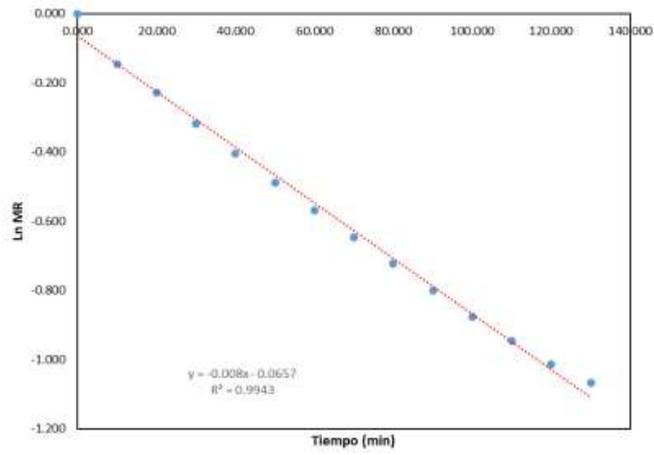
Anexo 2. Datos de cálculos de Polifenoles.

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

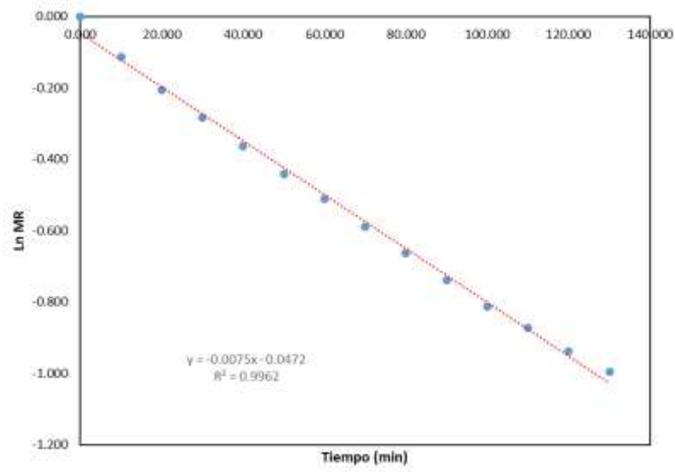
Anexo 4. Imágenes de parte experimental de la tesis

Anexos: Curvas de calculo para difusividad.

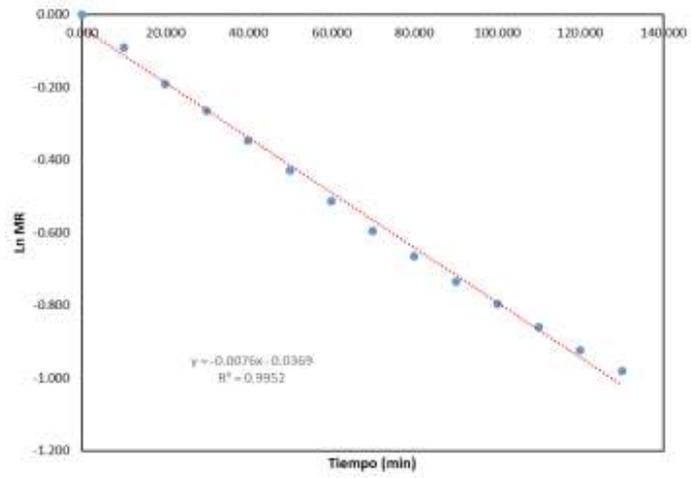
55 -1.5



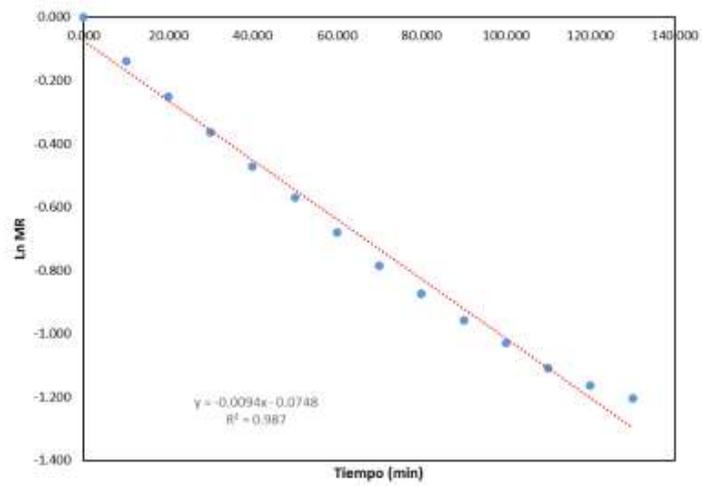
55-2



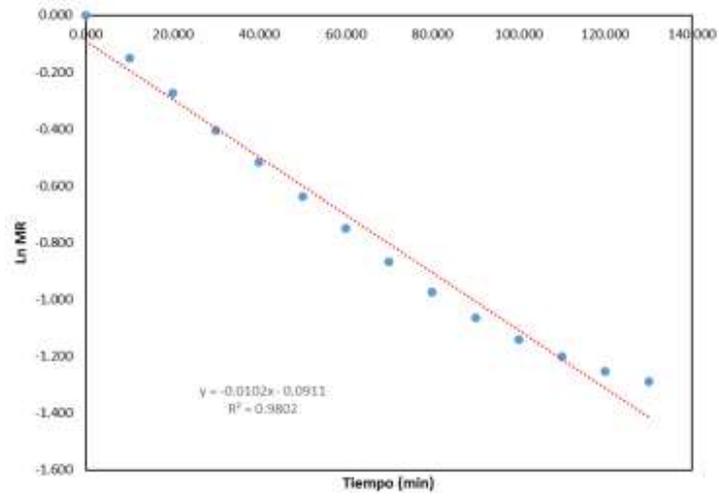
55-2.5



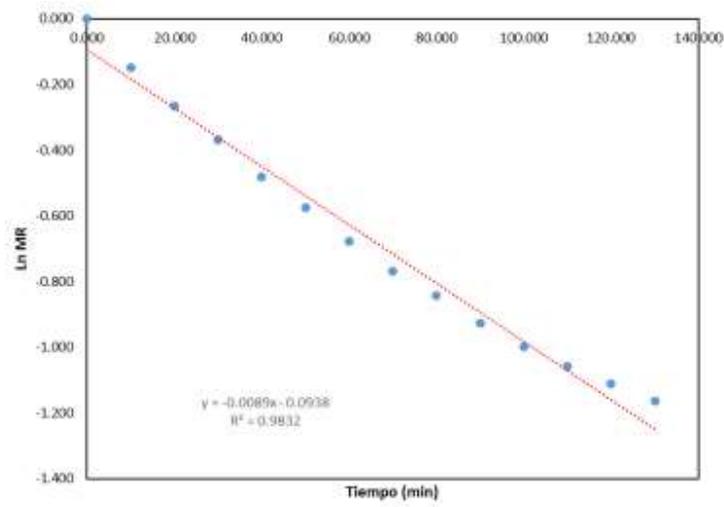
65-1.5



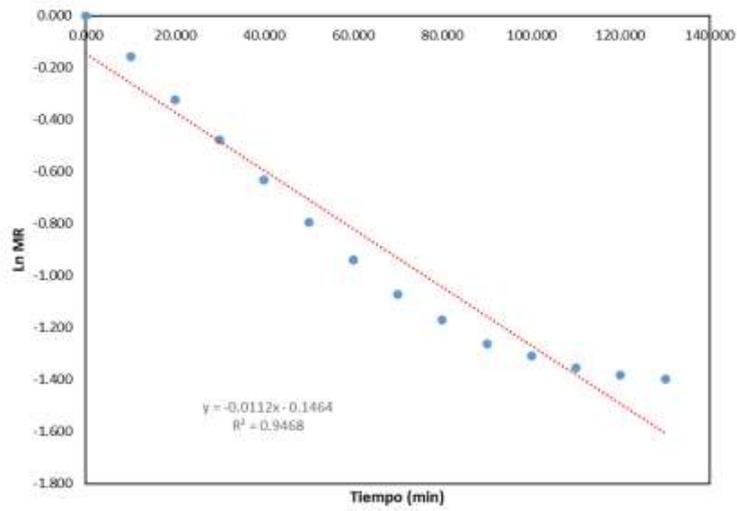
65-2



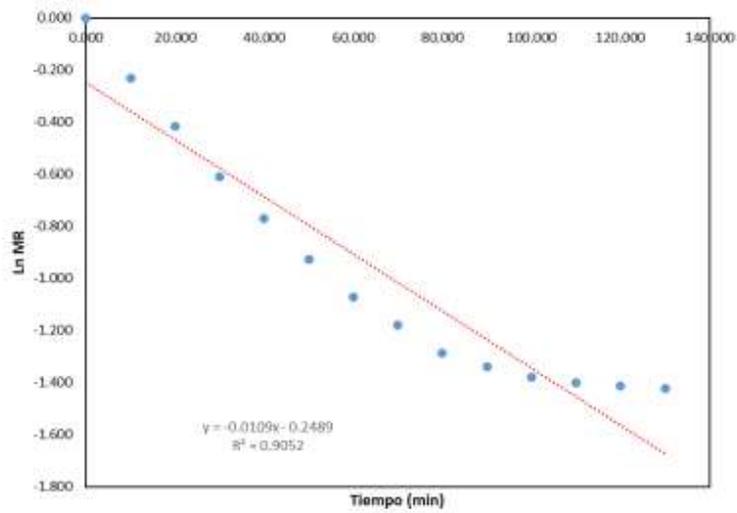
65-2.5



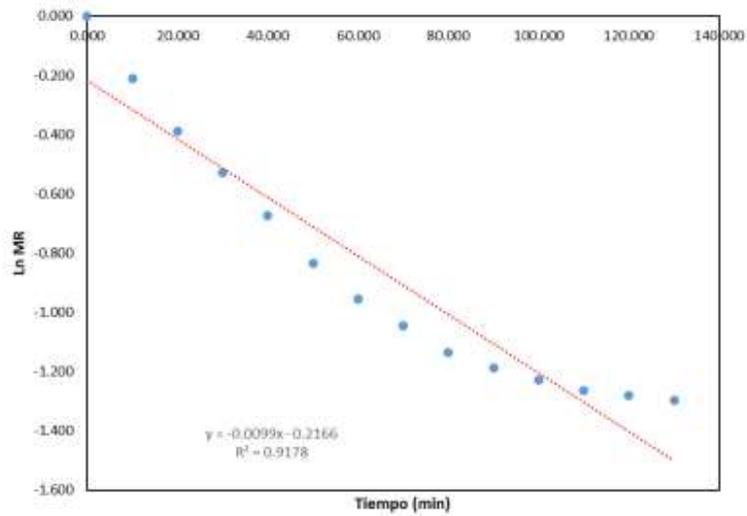
75-1.5



75-2



75-2.5



Anexo 2. Datos de cálculos de Polifenoles.

ID	repetición	Abs 765nm	Concentración de Polifenoles Totales (mg GE/L)	Concentración de Polifenoles Totales [mg GE/100 g DW]
AG-55-0	1	0.042	49.083	490.83
	2	0.059	68.949	689.49

	3	0.038	44.408	444.08
AG-55-2	1	0.057	66.612	666.12
	2	0.09	105.18	1051.80
	3	0.074	86.479	864.79
AG-65-2	1	0.063	73.624	736.24
	2	0.077	89.985	899.85
	3	0.061	71.287	712.87
AG-75-2	1	0.079	92.322	923.22
	2	0.091	106.35	1063.50
	3	0.075	87.648	876.48
AG-55-2.5	1	0.087	101.67	1016.70
	2	0.101	118.03	1180.30
	3	0.08	93.491	934.91
AG-65-1.5	1	0.059	68.949	689.49
	2	0.053	61.938	619.38
	3	0.068	79.467	794.67
AG-55-1.5	1	0.05	58.432	584.32
	2	0.063	73.624	736.24
	3	0.054	63.106	631.06
AG-75-1.5	1	0.064	74.793	747.93
	2	0.046	53.757	537.57
	3	0.073	85.31	853.10
AG-65-0	1	0.064	74.743	747.43
	2	0.105	122.71	1227.10
	3	0.153	178.8	1788.00
AG-75-0	1	0.124	144.91	1449.10
	2	0.076	88.816	888.16
	3	0.074	92.322	923.22
AG-75-2.5	1	0.058	67.781	677.81
	2	0.055	64.275	642.75
	3	0.049	57.263	572.63
AG-65-2.5	1	0.061	71.287	712.87
	2	0.07	81.804	818.04
	3	0.07	81.804	818.04



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



Calle Juan XXIII N° 391 LAMBAYEQUE - PERÚ

Ciudad Universitaria Telef. 074 283833

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 18681280 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.

Anexos 4. Imágenes de parte experimental de Tesis.



