

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
ESCUELA DE POSGRADO
Programa de Doctorado en Ingeniería de Alimentos



UNS
ESCUELA DE
POSGRADO

**Efecto del escaldado y osmodeshidratación como
pretratamientos del secado por microondas
en *Averrhoa carambola***

**Tesis para optar el grado de
Doctor en Ingeniería de alimentos**

Autora:

Mg. De La Cruz Calderón, Gina
Código ORCID: 0000-0001-6051-5119

Asesora:

Dra. Aguirre Vargas, Elza Berta
DNI. N° 19096335
Código ORCID: 0000-0003-1659-9874

Línea de investigación
Desarrollo de tecnologías de conservación menos agresivas

Nuevo Chimbote - PERÚ
2024



UNS
POSGRADO

II. HOJA DE CERTIFICACIÓN DEL ASESOR

Yo, **Dra. Aguirre Vargas, Elza Berta**, mediante la presente certifico mi asesoramiento de la Tesis: **“Efecto del escaldado y osmodeshidratación como pretratamientos del secado por microondas en *Averrhoa carambola*”** que tiene como autora a la **Bach. De La Cruz Calderón, Gina**, alumna del programa de Doctorado en Ingeniería de Alimentos, ha sido elaborado de acuerdo al Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad Nacional del Santa.

Nuevo Chimbote, agosto del 2024.

Dra. Aguirre Vargas, Elza Berta
Asesora

Código ORCID: 0000-0003-1659-9874

DNI N°. 19096335



UNS
POSGRADO

III. AVAL DE CONFORMIDAD DEL JURADO

Tesis: "Efecto del escaldado y osmodeshidratación como pretratamientos del secado por microondas en *Averrhoa carambola*" que tiene como autora a la **Bach. De La Cruz Calderón, Gina**, alumna del programa de Doctorado en Ingeniería de Alimentos.

Revisado y Aprobado por el Jurado Evaluador:

Dr. Rodríguez Paucar, Gilbert Nilo
Presidente

DNI: 32958495

ORCID: 0000-0003-2981-1213

Dr. Símpalo López, Wilson Daniel
Secretario

DNI: 40186130

ORCID 0000-0002-8397-7145

Dra. Aguirre Vargas, Elza Berta
Vocal

DNI N°. 19096335

ORCID: 0000-0003-1659-9874



UNS
ESCUELA DE
POSGRADO

ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

A los veintiséis días del mes de agosto del año 2024, siendo las 19:30 horas, en la sala de reuniones del Vicerrectorado de Investigación de la Universidad Nacional del Santa, se reunieron los miembros del Jurado Evaluador, designados mediante Resolución Directoral N° 404-2024-EPG-UNS de fecha 25.07.2024, conformado por los docentes: Dr. Gilbert Nilo Rodríguez Paucar (Presidente), Dr. Wilson Daniel Símpalo López (Secretario) y Dra. Elza Berta Aguirre Vargas (Vocal); con la finalidad de evaluar la tesis titulada "**EFFECTO DEL ESCALDADO Y OSMODESHIDRATACIÓN COMO PRETRATAMIENTOS DEL SECADO POR MICROONDAS EN AVERRHOA CARAMBOLA**"; presentado por la tesista **Gina De la Cruz Calderón**, egresada del programa de **Doctorado en Ingeniería de Alimentos**.

Sustentación autorizada mediante Resolución Directoral N° 424-2024-EPG-UNS de fecha 15 de agosto de 2024.

El presidente del jurado autorizó el inicio del acto académico; producido y concluido el acto de sustentación de tesis, los miembros del jurado procedieron a la evaluación respectiva, haciendo una serie de preguntas y recomendaciones al tesista, quien dio respuestas a las interrogantes y observaciones.

El jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo y con las sugerencias pertinentes, declara la sustentación como APROBADO, asignándole la calificación de DIECIOCHO.

Siendo las _____ horas del mismo día se da por finalizado el acto académico, firmando la presente acta en señal de conformidad.


Dr. Gilbert Nilo Rodríguez Paucar
Presidente


Dr. Wilson Daniel Símpalo López
Secretario


Dra. Elza Berta Aguirre Vargas
Vocal

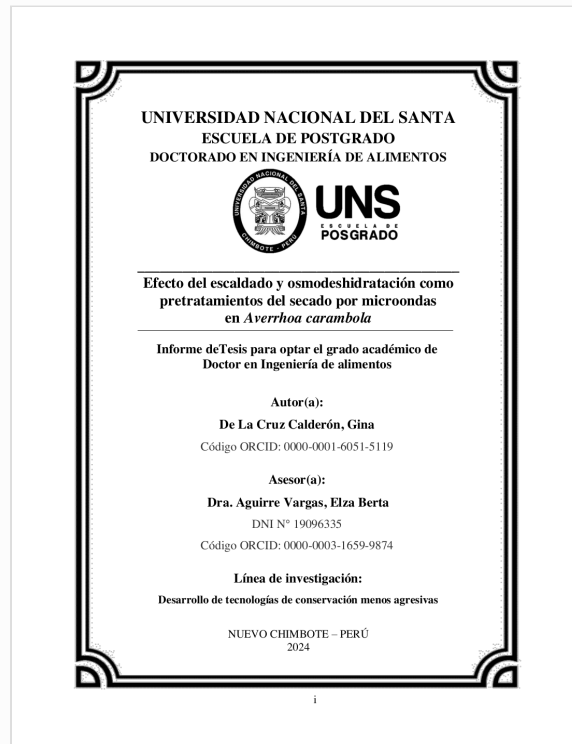


Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega:	Elza Aguirre
Título del ejercicio:	Efecto del escaldado y osmodeshidratación como pretratami...
Título de la entrega:	TESIS DOCTORAL GINA agosto.docx
Nombre del archivo:	TESIS_DOCTORAL_GINA_agosto.docx
Tamaño del archivo:	9.8M
Total páginas:	115
Total de palabras:	25,621
Total de caracteres:	138,795
Fecha de entrega:	27-ago.-2024 01:43p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entre...	2439222865



TESIS DOCTORAL GINA agosto.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

17 %	17 %	4 %	%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.uns.edu.pe Fuente de Internet	2 %
2	repositorio.uta.edu.ec Fuente de Internet	2 %
3	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	1 %
4	www.repositorio.unach.edu.pe Fuente de Internet	1 %
5	www.coursehero.com Fuente de Internet	1 %
6	sedici.unlp.edu.ar Fuente de Internet	1 %
7	docplayer.es Fuente de Internet	1 %
8	wpd.ugr.es Fuente de Internet	<1 %
9	www.scielo.cl Fuente de Internet	<1 %

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación está dedicado a Dios por su infinita misericordia, a mis padres y hermana por guiarme y apoyarme en los momentos más difíciles de mi vida, a mi hija Valeska quien es el motivo que me impulsa a seguir creciendo en lo académico y personal, porque sé que ella mañana más tarde seguirá mis pasos y yo estaré ahí guiandola para que sus más anhelados sueños se cumplan.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a los docentes de la Universidad Nacional del Santa quienes me brindaron sus conocimientos durante el desarrollo del programa de doctorado en Ingeniería de Alimentos.

Agradezco de manera especial a mi Asesora la Dra. Elza Berta Aguirre Vargas por su apoyo durante el desarrollo de la investigación y la culminación del informe final de tesis.

Mi gran sincero agradecimiento al Doctorando Tony Steven Chuquizuta Trigos, docente ordinario de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial Unach, por su apoyo en el análisis y modelamiento cinético utilizando el software Matlab.

Agradezco a los docentes encargados de los laboratorios de la Universidad Nacional Autónoma de Chota por su apoyo durante el desarrollo de la investigación.

Agradezco a los docentes de la Universidad Nacional del Centro del Perú por brindarme conocimientos durante los cinco años de formación como Ingeniería Agroindustrial, que me sirvieron para hoy fortalecer esos saberes.

ÍNDICE GENERAL

I. PORTADA	i
II. HOJA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR.....	ii
III. HOJA DE CONFORMIDAD DEL JURADO EVALUADOR	iii
IV. ACTA DE SUSTENTACIÓN.....	iv
V. ACTA DE APROBACIÓN DE ORIGINALIDAD	v
VI. DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA	vi
VII. RECIBO TURNITING.....	vii
VIII. REPORTE PORCENTUAL DEL TURNITING	viii
IX. DEDICATORIA.....	ix
X. AGRADECIMIENTO.....	x
XI. ÍNDICE GENERAL.....	xi
XII. ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
XIII. ÍNDICE DE FIGURAS.....	xv
XIV. RESUMEN.....	xvii
XV. ABSTRACT	xviii
XVI. INTRODUCCIÓN	14
16.1. Descripción y formulación del problema	14
16.2. Formulación del problema de investigación.....	15
16.3. Objetivos de la investigación.....	15
16.3.1. Objetivo general	15
16.3.2. Objetivos específicos.....	16
16.4. Formulación de la hipótesis.....	16
16.5. Justificación e importancia	16
XVII. MARCO TEÓRICO	18
17.1. Antecedentes de la investigación.....	18

17.2.	Marco conceptual	21
XVIII.	METODOLOGÍA.....	36
18.1.	Métodos de la investigación	36
18.2.	Diseño o esquema de la investigación.....	36
18.3.	Población y muestra.....	40
18.5.	Actividades del proceso investigativo	40
18.6.	Técnicas e instrumentos de la investigación.....	41
18.7.	Procedimiento para la recolección de datos	41
18.8.	Técnicas de análisis de los datos.	46
XIX.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	47
XX.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	81
20.1.	Conclusiones	81
20.2.	Recomendaciones.....	81
XXI.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82
XXII.	ANEXOS	91

XII. ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Composición química de la carambola fresca en base a 100 gramos.	22
Tabla 2 Caracterización fisicoquímica de carambola fresca y osmodeshidratada.	22
Tabla 3 Análisis químico comparativo de carambola en diferentes estadios.	23
Tabla 4 Efectos y parámetros de la aplicación de microondas.	31
Tabla 5 Corridas experimentales utilizando el Diseño factorial 2^3	37
Tabla 6 ANOVA para el diseño factorial 2^3	38
Tabla 7 Modelos matemáticos aplicados en la curva de secado en microondas.	43
Tabla 8 Caracterización fisicoquímica de carambola en 100 g de pulpa fresca.	47
Tabla 9 Actividad enzimática y % de Inhibición de la PPO en la carambola sometidas a diferentes tiempos de escaldado (10-30 segundos) y concentración de sacarosa (50 -60°Brix). .	49
Tabla 10 Características fisicoquímicas de las carambolas escaldadas a diferentes tiempos (30 y 60 s) y concentraciones de sacarosa (50 y 60°Brix)	51
Tabla 11 Determinación del coeficiente de difusión en las carambolas escaldadas a 10 segundos con concentración de sacarosa de 50 y 60 °Brix y potencia de secado de 480 y 840 W	54
Tabla 12 Determinación del coeficiente de difusión en las carambolas escaldadas a 30 segundos con concentración de sacarosa de 50 y 60 °Brix y potencia de secado de 480 y 840 W	56
Tabla 13 Modelamiento cinético en el T1	57
Tabla 14 Modelamiento cinético en el T2	58
Tabla 15 Modelamiento cinético en el T3	59
Tabla 16 Modelamiento cinético en el T4	60
Tabla 17 Modelamiento cinético en el T5	61
Tabla 18 Modelamiento cinético en el T6	62
Tabla 19 Modelamiento cinético en el T7	63

Tabla 20 Modelamiento cinético en el T8	64
Tabla 21 Valores del color L*, a*, b*, C* y h° en carambolas escaldadas y osmodeshidratadas a diferentes concentraciones y potencias de secado en microondas	66
Tabla 22 Valores de %H, Aw y CR en carambolas escaldadas y osmodeshidratadas a diferentes concentraciones y potencias de secado en microondas.....	73
Tabla 23 Optimización del valor de la L* para las variables de estudio	78
Tabla 24 Optimización del valor de Aw para las variables de estudio	79
Tabla 25 Optimización del valor de CR para las variables de estudio	80

XIII. ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Estadios de la carambola basados en su color, variedad dulce.	21
Figura 2 Contenido de compuestos fenólicos totales en alimentos promisorios.	24
Figura 3 Capacidad antioxidante obtenida por DPPH* (mg/MI).	25
Figura 4 Cambios en el tejido vegetal frente a la deshidratación osmótica.	26
Figura 5 Transferencia de masa en la deshidratación osmótica de frutas y hortalizas.	27
Figura 6 Espectro electromagnético	28
Figura 7 Principales componentes del horno de microondas	29
Figura 8 Propiedades nutricionales de zanahoria posterior al tratamiento de ebullición, cocción al vapor y microondas.	30
Figura 9 Reacción generalizada de la PPO en plantas.	35
Figura 10 Esquema experimental de la investigación.	39
Figura 11 Relación MR versus tiempo de secado en carambolas escaldadas (10 s) y osmodeshidratadas (50 y 60 °Brix).	53
Figura 12 Relación MR versus tiempo de secado en carambolas escaldadas (30 s) y osmodeshidratadas (50 y 60 °Brix).	55
Figura 13 Curvas del modelamiento cinético en el T1 aplicando los 7 modelos cinéticos.	57
Figura 14 Curvas del modelamiento cinético en el T2 aplicando los 7 modelos cinéticos.	58
Figura 15 Curvas del modelamiento cinético en el T3 aplicando los 7 modelos cinéticos.	59
Figura 16 Curvas del modelamiento cinético en el T4 aplicando los 7 modelos cinéticos.	60
Figura 17 Curvas del modelamiento cinético en el T5 aplicando los 7 modelos cinéticos.	61
Figura 18 Curvas del modelamiento cinético en el T6 aplicando los 7 modelos cinéticos.	62
Figura 19 Curvas del modelamiento cinético en el T7 aplicando los 7 modelos cinéticos.	63
Figura 20 Curvas del modelamiento cinético en el T8 aplicando los 7 modelos cinéticos.	64

Figura 21	Diagrama de Pareto de interacción de factores sobre el efecto del valor de L^*	67
Figura 22	Diagrama de Pareto de interacción de factores sobre el efecto del valor de a^*	68
Figura 23	Diagrama de Pareto de interacción de factores sobre el efecto del valor de b^*	69
Figura 24	Diagrama de Pareto de interacción de factores sobre el efecto del valor de C^*	71
Figura 25	Diagrama de Pareto de interacción de factores sobre el efecto del valor de h°	72
Figura 26	Diagrama de Pareto de interacción de factores sobre el efecto del valor de %H.....	74
Figura 27	Diagrama de Pareto de interacción de factores sobre el efecto del valor de A_w	75
Figura 28	Diagrama de Pareto de interacción de factores sobre el efecto del valor de Capacidad de rehidratación CR	76
Figura 29	Superficie de respuesta y curvas de contorno para el valor de L^* de carambolas osmodeshidratadas	78
Figura 30	Superficie de respuesta y curvas de contorno para el valor de la A_w de carambolas osmodeshidratadas	79
Figura 31	Superficie de respuesta y curvas de contorno para el valor de la CR de carambolas osmodeshidratadas	80

XIV. RESUMEN

La aplicación del escaldado y osmodeshidratación como pretratamiento antes de realizar el secado en microondas son técnicas que evidencian una mejora en las cualidades fisicoquímicas y sensoriales de carambolas osmodeshidratadas. El objetivo principal fue el efecto del escaldado y osmodeshidratación como pretratamientos del secado por microondas en las características de color (L^*), A_w y CR de *Averrhoa carambola*. En este estudio se utilizó un diseño factorial 2^k con tres réplicas utilizando el software estadístico Minitab 17. Los resultados muestran que la carambola fresca contiene una humedad de 92.26%, actividad de agua de 0.9898, °Brix de 7.01 y L^* igual a 40.28. Las carambolas que son escaldadas a 10 segundos con una concentración de sacarosa de 50°Brix y 60°Brix presentan una menor actividad enzimática y el alto % Inhibición de la PPO. El valor de L^* en carambolas osmodeshidratadas con concentración de sacarosa de 60°Brix muestran valores altos en comparación a las carambolas osmodeshidratadas con concentración de sacarosa de 50°Brix. El valor de a^* y b^* se incrementan después de los pretratamientos de escaldado y osmodeshidratación intensificando la coloración amarilla a un color ligeramente anaranjado. Los tratamientos que reportan alto coeficiente de difusión son aquellos que se sometieron a altas potencias y altas concentraciones de concentración de sacarosa, los modelos cinéticos que mejor se ajustan a la curva de secado son el modelo Logarítmico, Wang and Sing y Peleg que reportan valores altos de R^2 y valores bajos de SSE y chi cuadrado. Los pretratamientos que afectan el valor de L^* en carambolas escaldadas, osmodeshidratadas es la concentración de sacarosa ($p=0.000$) y tiempo de escaldado ($p=0.0009$). Los pretratamientos que afectan el valor de la A_w es la concentración de sacarosa ($p=0.000$); las interacciones que también afectan el valor de la A_w son tiempo de escaldado y concentración de sacarosa ($p=0.003$). Los valores de la CR tiene mayor interacción la Potencia de secado ($p=0.038$). Se concluye que los pretratamientos de escaldado y osmodeshidratación tienen efecto significativo en las características de color, coeficiente de difusión y A_w .

Palabras claves: Escaldado, Osmodeshidratación, Microondas, *Averrhoa carambola*, Polifenoloxidasas.

XV. ABSTRACT

The application of scalding and osmodehydration as pretreatment before performing microwave drying are techniques that show an improvement in the physicochemical and sensory qualities of osmodehydrated starfruit. The main objective was the effect of blanching and osmodehydration as pretreatments of microwave drying on the color characteristics (L^*), A_w and CR of *Averrhoa carambola*. In this study, a 2k factorial design with three replications was used using Minitab 17 statistical software. The results show that fresh star fruit contains a humidity of 92.26%, water activity of 0.9898, °Brix of 7.01 and L^* equal to 40.28. Star fruits that are blanched for 10 seconds with a sucrose concentration of 50°Brix and 60°Brix have lower enzymatic activity and high % PPO inhibition. The L^* value in osmodehydrated starfruit with a sucrose concentration of 60°Brix shows high values compared to osmodehydrated starfruit with a sucrose concentration of 50°Brix. The value of a^* and b^* increases after the blanching and osmodehydration pretreatments, intensifying the yellow color to a slightly orange color. The treatments that report a high diffusion coefficient are those that were subjected to high powers and high concentrations of sucrose concentration. The kinetic models that best fit the drying curve are the Logarithmic model, Wang and Sing and Peleg, which report high values. of R^2 and low values of SSE and chi square. The pretreatments that affect the value of L^* in blanched, osmodehydrated star fruits are the sucrose concentration ($p=0.000$) and blanching time ($p=0.0009$). The pretreatments that affect the A_w value are the sucrose concentration ($p=0.000$); The interactions that also affect the A_w value are blanching time and sucrose concentration ($p=0.003$). The CR values have a greater interaction with Drying Power ($p=0.038$). It is concluded that blanching and osmodehydration pretreatments have a significant effect on the color characteristics, diffusion coefficient and A_w .
Keywords: Blanching, Osmodeshydration, Microwave, Averrhoa carambola, Polyphenoloxidase.

XVI. INTRODUCCIÓN

La presente tesis doctoral trata sobre como los pretratamientos de escaldado y osmodeshidratación afectan en el secado por microondas, modificando sus características de color, actividad de agua y capacidad de rehidratación de las carambolas. Así mismo aplicar siete modelos cinéticos como el de Newton, Pages, Logarítmico, Wang and Sing, Peleg y Henderson y Pabis (Ajala & Aboiye, 2012) (Salcedo Mendoza et al., 2024) (Torregroza-Espinosa et al., 2014) para predecir la cinética de secado, pérdida de humedad, parámetros de difusión durante el secado en microondas (Ruiz-López et al., 2012)(Kumar et al., 2012).

El escaldado se aplicó en tiempos de 10 a 30 segundos con temperatura de 70 °C, con la finalidad de reducir la carga microbiana y las enzimas causantes del pardeamiento que conllevan al cambio indeseable del color, sin embargo, el escaldado a altas temperaturas y por tiempos prolongados modifican la estructura de las células causando pérdidas de nutrientes, sabor característico y daño en la textura de la fruta de carambola. En el proceso de osmodeshidratación las carambolas son sometidas a concentraciones de sacarosa de 50 a 60°Brix, para mejorar el sabor, consistencia, brillo de la carambola y una disminución del contenido de agua.

Las carambolas escaldadas a diferentes tiempos (10 y 30 segundos) y osmodeshidratadas en concentraciones de sacarosa (50 y 60°Brix) son secadas utilizando un microondas a diferentes potencias de secado (480 y 840 W) para reducir la humedad y su actividad acuosa ampliando la vida útil de las carambolas osmodeshidratadas, el uso de microondas en los alimentos es una técnica que ha demostrado eficiencia en los tiempos de secado, evita la desnaturalización de macro y micronutrientes manteniendo las características organolépticas de las frutas y verduras.

Por todo lo mencionado este trabajo de investigación tiene como objetivo principal determinar el efecto del escaldado y osmodeshidratación como pretratamientos del secado por microondas en las características de color (L^*), A_w y CR de *Averrhoa carambola*.

16.1. Descripción y formulación del problema

La industria alimentaria durante la transformación, procesamiento y conservación de los alimentos aplican por lo general los métodos térmicos, los cuales degradan el valor nutricional y organoléptico (Figuroa Sepúlveda et al., 2021), por esta razón se realizan trabajos de investigación en la aplicación de otras tecnologías no térmicas como el secado en microondas que evita el deterioro de componentes funcionales y sensoriales además reduce la carga microbiana e incrementa la vida útil del alimento (Lisintuña Toapanta, 2022), en este trabajo de investigación

se aplica una de las tecnologías no térmicas como el uso del microondas para reducir la actividad de agua de un alimento osmodeshidratada llegando a una humedad adecuada y así lograr alargar su vida útil.

A nivel internacional las industrias del procesamiento de alimentos aplican nuevas tecnologías no térmicas como las altas presiones hidrostáticas, ultrasonido, microondas, campo eléctrico pulsado, plasma frío y pulso eléctrico, evidenciando el incremento de la vida útil, la conservación de sus características fisicoquímicas y funcionales (contenido de antocianinas, polifenoles, carotenos y vitaminas) (Japa Paqui, 2022). En el Perú el uso del microondas aún no se aplica para el deshidratado de alimentos a nivel industrial, y son pocas las investigaciones que se ha realizado a nivel de laboratorio sobre la aplicación del microondas como el secado del tarwi, láminas de jengibre y la extracción de aceite esencial de naranja, los resultados muestran una calidad muy aceptable en el producto final, pero aún falta establecer parámetros óptimos para otras variedades de frutas y su efecto en sus propiedades funcionales y organolépticas.

Según Narváez Martínez & Rutbell Jassill, (2017) los parámetros de estudio como potencia y tiempo durante el secado de alimentos presentan un efecto significativo, que concluye que existe una correlación positiva entre la potencia del microondas y la difusividad efectiva, y por tanto mayor velocidad de secado, con efectos mínimos de pérdida de nutrientes. El espesor y la forma de la muestra también influyen en la velocidad de secado (Wais, 2011), la aplicación de los pretratamientos como la osmodeshidratación también son utilizados para mejorar las técnicas de secado sin embargo esto no reduce la actividad de agua establecida para alimentos y está más propenso al deterioro, siendo entonces la aplicación del secado en microondas una técnica más eficiente que genera una mayor velocidad de secado en comparación a otras técnicas.

16.2. Formulación del problema de investigación

¿Cuál es el efecto del escaldado y osmodeshidratación como pretratamientos del secado por microondas en las características de color (L^*), A_w y CR de *Averrhoa carambola*?

16.3. Objetivos de la investigación

16.3.1. Objetivo general

Determinar el efecto del escaldado y osmodeshidratación como pretratamientos del secado por microondas en las características de color (L^*), A_w y CR de *Averrhoa carambola*.

16.3.2. Objetivos específicos

- Determinar el contenido de polifenol oxidasa en la carambola post tratadas a escaldado y osmodeshidratado.
- Determinar las características fisicoquímicas y de color en las láminas de carambola post tratada a escaldado y osmodeshidratado.
- Determinar el coeficiente de difusión para cada cinética de secado correspondiente a los tratamientos del diseño estadístico.
- Modelizar las cinéticas de secado para cada uno de los tratamientos del diseño estadístico.
- Determinar las características fisicoquímicas y de color en las láminas de carambola escaldada, osmodeshidratada y secada en el microondas.
- Optimizar el proceso de secado de las láminas de carambola mediante la evaluación y ajuste de los factores (tiempo de escaldado, concentración de sacarosa y potencia de secado).

16.4. Formulación de la hipótesis

Existe efecto significativo del escaldado y osmodeshidratación como pretratamientos del secado por microondas en las características de color (L^*), A_w y CR de *Averrhoa carambola*.

16.5. Justificación e importancia

La carambola es considerada una fruta exótica originario de los países de Indonesia y Malasia con crecimiento en países tropicales de Asia y América donde también la denominan como fruta estrella, contiene vitamina C y ácido oxálico, fibra, potasio y otros minerales (Pájaro-Escobar et al., 2018), además se evidencia el uso de la carambola en la elaboración néctares, zumos, láminas, vinos y productos osmodeshidratados con buena aceptación sensorial en cuanto a sus características de aroma, olor, sabor y color.

La utilización del proceso de secado por microondas ha despertado interés por parte de los investigadores que buscan encontrar nuevos métodos de conservación donde se mantenga la característica de un alimento fresco, es así que el método de secado de microondas ha demostrado ser el más eficiente en cuanto al tiempo de la eliminación del contenido del agua del alimento sin alterar componentes nutricionales como sensoriales.

Hoy en día los consumidores buscan productos de mejor calidad nutritiva; y la industria alimentaria debe seguir investigando en nuevas técnicas de conservación, que mantengan a los alimentos con un alto valor biológico. “En esta investigación se determinará el efecto del

escaldado y osmodeshidratación como pretratamientos del secado por microondas en las características de color (L^*), A_w y CR de *Averrhoa carambola*, para obtener un fruto deshidratado con una tecnología rápida, al alcance de muchas familias y que mantiene todas las características sensoriales y nutricionales, por otra parte, busca reducir las pérdidas que ocasiona el manejo de frutas con alto índice de deterioro, brindando otra alternativa a la Agroindustria Regional.

XVII. MARCO TEÓRICO

17.1. Antecedentes de la investigación

Dhara et al., (2023) estudió el efecto de tres métodos de secado, aire caliente (HAD), liofilización (FD) y microondas (MWD) a potencias de 100, 450 y 800W, en la cinética de secado, contenido de antioxidantes y características fisicoquímicas, también las propiedades microestructurales y siete modelos de secado, el modelo de dos términos es el que mejor se ajustó con SSE más bajo (0,00358–0,000058). Las muestras liofilizadas mostraron menor desviación en cuanto a los atributos texturales pero a altas temperaturas demostraron una estructura dura y quebradiza, con un color más oscuro producto de la degradación fenólica de las muestras liofilizadas, las carambolas deshidratadas con aire caliente (HAD) mostraron mayor contenido fenólico, flavonoides y ácido clorogénico.

Tigreros et al., (2021) menciona que el escaldado como pretratamiento ha demostrado ser bastante eficaz garantizando la inocuidad y mantenimiento de los compuestos bioactivos durante la transformación de alimentos, el escaldado por microondas es un método no tradicional que ofrece múltiples ventajas en el diseño de productos alimentarios.

Morales Cruz et al., (2019) en este trabajo realizó la deshidratación utilizando microondas del residuo agroindustrial del bagazo de marañón rojo que contiene componentes funcionales y su objetivo fue evaluar si el método de secado por microondas tiene algún efecto en la cuantificación de los compuestos fenólicos, el secado se estandarizó con la potencia de 372-460 watts en intervalos de tiempo de 12-18 min, la cuantificación de la capacidad antioxidante se realizó con DPPH y los polifenoles con Folin-ciocalteau, como resultado se reporta que los componentes funcionales no son influenciados por el secado en el microondas.

Chávez Reyes et al., (2019) en su trabajo de investigación muestra una alternativa de aprovechamiento de los desechos generados por la agroindustria en la elaboración de productos funcionales y nutracéuticos beneficiosos para la salud y tiene como objetivo deshidratar la cáscara de piña con el uso del microondas a una potencia de 372W entre 15-20 min para luego elaborar una bebida funcional de mango manila (*Mangifera indica*), se utilizó el método de Folin-Ciocalteau para la determinación de los compuestos fenólicos y el método de radical DPPH para la capacidad antioxidante, las bebidas funcionales son elaboradas en base a la norma NOM-086-SSA1-1994, con la adición de 2,3 y 4 % de cascara de piña y una muestra control. Los resultados muestran un contenido de compuestos fenólicos de 745 mg EAG/100 g para la muestra

deshidratada con microondas y una capacidad antioxidante de 66 %, la bebida con la formulación 4 % presenta un contenido de fenoles 310 mg EAG/100 gr y 69 % de capacidad antioxidante, evidenciando una alta correlación entre las variables en estudio.

García-Mogollon et al., (2016) realizó el secado de ñame (*Dioscorea rotundata*) en microondas a diferentes potencias (420W, 560W y 700W) y masas (50g, 60g y 70g) hasta llegar a una humedad en equilibrio. Los resultados evidencian que la potencia y el contenido de masa tienen una alta correlación y el modelo de Midilli and Kucuk fue el que mejor se adaptó al comportamiento cinético de secado de ñame.

García-Paternina et al., (2015) deshidrata hojuelas de mango con una solución de 65°Brix entre temperaturas de 37 a 40°C por 60 min, luego un secado por 7 min a 560 W en el microondas y además una combinación de secado como pretratamiento, el secado solar a 70°C, además se determinó el modelo cinético de cada método de secado. Los resultados muestran que existe diferencia significativa ($p < 0.005$) en el tiempo de secado y la pérdida de masa de las muestras de los pretratamientos, el método combinado obtuvo mayor pérdida de peso, para el secado sin pretratamientos se ajustó el modelo logístico ($R^2 > 0.99$) y para los pretratamientos se ajustó el modelo Vernet et al. ($R^2 > 0.99$), el secado en microondas y secado en estufa obtuvieron mayor coeficiente efectivo de difusividad de agua (D_{eff}), así mismo las hojuelas que son osmodeshidratadas obtuvieron mejores características en cuanto a su apariencia.

Ninaquispe Zare, (2015) optimizó los parámetros durante el deshidratado del tarwi (*Lupinus mutabilis*) por la aplicación del microondas y aire caliente. El tratamiento del tarwi inició con el desamargado para eliminar algunos antinutrientes, luego fue introducida en un microondas y aire caliente para su deshidratación, para ello se aplicó un Diseño Compuesto Central Rotable con los tratamientos de potencias comprendidas entre 220 a 880W y diferentes temperaturas de aire caliente entre 50 °C a 80 °C por 5 y 10 minutos. Se concluye que las variables analizadas, permiten obtener una humedad deseada y una mínima variación en el color del tarwi.

Ramiro Arballo, (2013) obtuvo de manera teórica y experimental el modelo matemático mediante la cinética de secado durante el deshidratado por ósmosis y microondas en alimentos, los datos son procesados en un programa estadístico. El secado osmótico se realizó en diferentes soluciones de sacarosa, tiempos, temperaturas, tamaños y formas y el secado por microondas a diferentes tiempos y potencias. Los resultados demuestran que se obtuvo exitosamente el modelo para la optimización de las diferentes variables durante los procesos de osmosis y secado en microondas de frutas y hortalizas.

Duque C. et al., (2011) en su trabajo de investigación determinó la reducción del agua en frutas de uchuva (*Physalis peruviana l.*) y mora (*Rubus glaucus*) entera y cortadas en mitades, con un secado de aire caliente (SAC) a temperatura de 35°C y una combinación de secado de aire caliente y microondas (SAC-MW) a temperatura 35°C con pulsos de 7 s. cada 45 s. así mismo se evaluó el tiempo de secado hasta llegar hasta un peso constante, evaluación del color y de la textura, los resultados evidencian que el método de secado con aire caliente y microondas es más eficiente que sólo el secado con aire caliente, la uchuva entera secada por con aire caliente y microondas alcanzó el equilibrio en el peso a los 600 min. y por el secado sólo con aire caliente alcanzó un peso constante a los 7280 min. La uchuva en mitades secada con aire caliente y microondas alcanzó el equilibrio en el peso a los 300 min y por el secado sólo con aire caliente alcanzó el equilibrio en el peso a 2960 min. La mora entera secada con aire caliente y microondas alcanzó el equilibrio en el peso a los 720 min y por el secado sólo con aire caliente alcanzó el equilibrio en el peso a 5760 min. También los métodos de secado no presentan diferencia significativa en el color y la textura de las frutas.

Wais, (2011) estudió el secado en microondas a diferentes potencias y tiempos en la fruta de la manzana osmodeshidratada a concentraciones y tiempos diferentes y su influencia en el color y en la textura, los resultados obtenidos demuestran que el color sufrió un cambio en la deshidratación osmótica de los alimentos analizados, pérdida de agua, ganancia de °Brix, ablandamiento en la textura y adhesividad debido a que las células pierden la turgencia por el cambio de espacios intermoleculares. El tiempo de secado en microondas es menor a mayor potencia, pero se recomienda utilizar potencias bajas para no dañar la textura de la fruta así mismo el método de secado en microondas obtiene una mayor duración del color de la manzana osmodeshidratada. Se concluye que la combinación de estos métodos de secado mejora la apariencia de los alimentos.

En los antecedentes recopilados para la elaboración de este trabajo de investigación se puede evidenciar estudios sobre la aplicación de diferentes formas de secar los alimentos como secado con aire caliente, secado osmótico, secado por microondas y secado por liofilización y combinaciones de pretratamientos de secado infrarrojo, osmótico y ultrasonido en frutas, verduras, tubérculos y residuos agroindustriales como cáscara de piña, bagazo de marañón, láminas de carambola, ñame, hojuelas de mango, rebanadas de jitomate, uchuva, mora, tarwi y manzana donde se determina las curvas de cinética de secado, actividad de agua, modelamiento matemático, cuantificación de componentes funciones, análisis organoléptico y vida útil. Se evidencia que no

existe estudios con pretratamiento con o sin osmosis de carambola para luego finalizar su proceso de secado con el uso del microondas, y su efecto de la potencia, tiempo y concentración osmótica sobre la enzima polifenol oxidasa, actividad de agua y capacidad de rehidratación de frutas.

17.2. Marco conceptual

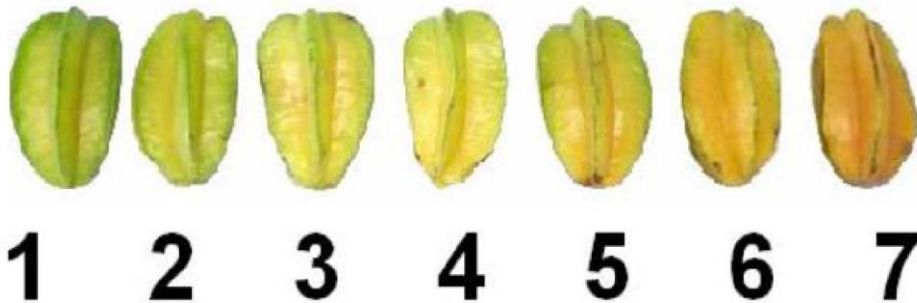
17.2.1. Carambola

Taxonomía de la carambola: Es una planta tropical originaria de Indonesia y Malasia que proviene de la familia de las oxalidáceas, la vaya es de forma ovoide a elipsoidal, con cinco a seis aristas longitudinales que le dan la forma de estrella, tiene una longitud de 5 a 15 cm, de color que va desde un verde hasta amarillo según su grado de maduración, con un sabor dulce ligeramente ácido (Oliveira Bardales, 2014).

Existen dos variedades de carambola denominadas “ácida” y “dulce” la primera es pequeña, con sabor agrio y alto contenido de ácido oxálico, la segunda es de sabor dulce, de tamaño grande y menos contenido de ácido oxálico (Pucuhuayla Cruz & Valdivieso Tomas, 2018).

Figura 1

Estadios de la carambola basados en su color, variedad dulce.



Nota: Los números representan el estadio de maduración de la carambola dulce. Adaptada de Estado de madurez en base al color de la carambola (*Averrhoa carambola L.*), variedad dulce, Garcia & Mejia, 2004, (<https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/4378>). CC BY 4.0.

17.2.2. Composición química de *Averrhoa carambola*: En la Tabla 1 se observa la composición química de la carambola, que incluye el contenido de nutrientes, minerales y vitaminas, mostrando una alta cantidad de agua, carbohidratos, Fósforo, Calcio, Caroteno y Vitamina C (Cañizares et al., 2012).

Tabla 1

Composición química de la carambola fresca en base a 100 gramos.

Componente mayoritario*		Minerales **		Vitaminas **	
Agua	90,00	Ca	5,00	Caroteno (A)	90,00
Proteína	0,50	P	18,00	Tiamina (B ₁)	0,04
Grasa	0,30	Fe	0,40	Riboflavina (B ₂)	0,02
Carbohidrato	9,00			Niacina (B ₅)	0,30
Fibra	0,60			Vitamina C	35,00
Ceniza	0,40				

Nota. *datos expresados en g.** datos expresados en mg

Según Garay Torres et al., (2021) el contenido de Acidez, pH, °Brix, Cenizas y Fibra, difieren de acuerdo a su estados de madurez de la carambola en este caso medio pintón y pintón esto se debe que a medida los frutos van madurando se van produciendo reacciones químicas de degradación y formación de compuestos.

En cuanto a las características fisicoquímicas de la carambola osmodeshidratada se muestra una disminución en la acidez, y un aumento significativo en el pH, °Brix, cenizas y fibra.

Tabla 2

Caracterización fisicoquímica de carambola fresca y osmodeshidratada.

Análisis fisicoquímico	Estado de maduración de fruta		Carambola deshidratada osmóticamente
	Medio pintón	Pintón	
Acidez ₁ (%)	2,31±0,44	2,0±0,17	0,10±0,01
pH ₁	2,09±0,17	2,45±0,21	4,22±0,0
	3,78±0,32	5,03±0,42	
°Brix ₁	31,52±5,94	33,75±2,49	55,67±2,08
Humedad (%)	91,42±0,75	88,86±0,88	9,81±0,27

Cenizas (%)	0,92±0,12	1,22±0,21	7,09±0,81
Fibra (%)	4,05±0,27	5,12±0,22	25,81±0,77

*Nota.*₁ Los valores corresponden a la media ±SD, para n=9.

Según Wei et al., (2014) la carambola contiene actividad antioxidante, ácidos grasos insaturados que lo convierten en un producto con mucho atractivo nutricional por su capacidad inactivar las reacciones de oxidación protegiendo el cuerpo de los efectos del estrés oxidativo que luego ocasionan enfermedades cancerígenas.

Así mismo Márquez Villacorta et al., (2012) mencionan que la carambola es rica en fibra dietética especialmente insoluble teniendo un efecto en el control de glucosa en la sangre, así como minerales como calcio, potasio, fósforo, hierro y un contenido de humedad del 90.6%.

La carambola también tiene en su composición polifenoles y carotenoides, que son metabolitos secundarios con actividad antioxidante, y capacidad de inhibir la formación de radicales libres que generan diversas enfermedades (García-Valladares et al., 2022).

En la siguiente Tabla 3 se muestra algunos fitoquímicos de la fruta de carambola en tres estadios de maduración, donde se reporta un descenso del contenido de fenoles a medida que la maduración avanza, este proceso también involucra los contenidos de taninos y flavonoides, el contenido de proteína se relaciona con la absorbancia del extracto enzimático evidenciando también una disminución del contenido de la enzima en el fruto verde, intermedio y maduro (Lakmal et al., 2021).

Tabla 3

Análisis químico comparativo de carambola en diferentes estadios.

Estadios	Fitocompuestos			
	Fenoles	Taninos	Flavonoides	Proteína
Verde	272,76 ±1,35	12,2 ±0,4	53,73±3,99	390,15±4,27
Intermedio	258,38 ± 3,14	7,42±0,13	54,01±2,58	75,97±1,01
Maduro	61,33 ±2,81	8,49±0,03	26,87±2,01	39,41±2,54

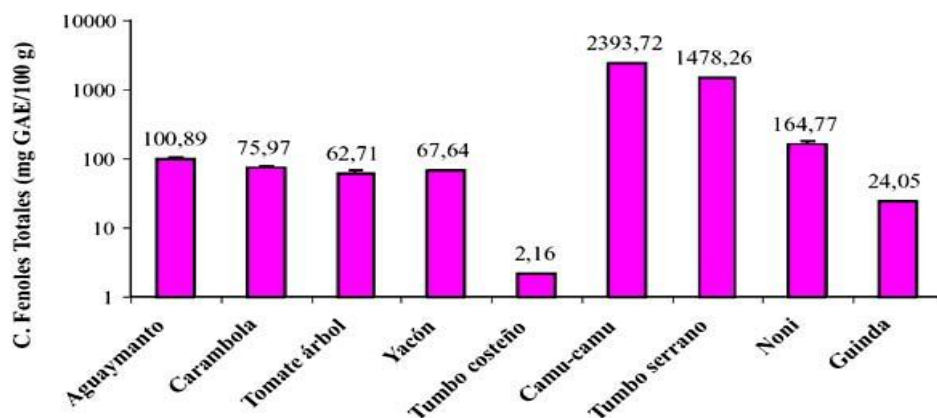
Nota. Los datos son expresados en mg/g.

En la Figura 2 se muestra el contenido de compuestos fenólicos totales en diferentes alimentos promisorios que se encuentran en el Perú con alto potencial para el aprovechamiento industrial y que aún no cuenta con un manejo de cultivo a gran escala, algunos de estos frutos

presentan mayor contenido de capacidad antioxidante como el camu camu, tumbo serrano, noni, aguaymanto, carambola y yacón (Muñoz León & Gonzales Altamirano, 2014).

Figura 2

Contenido de compuestos fenólicos totales en alimentos promisorios.

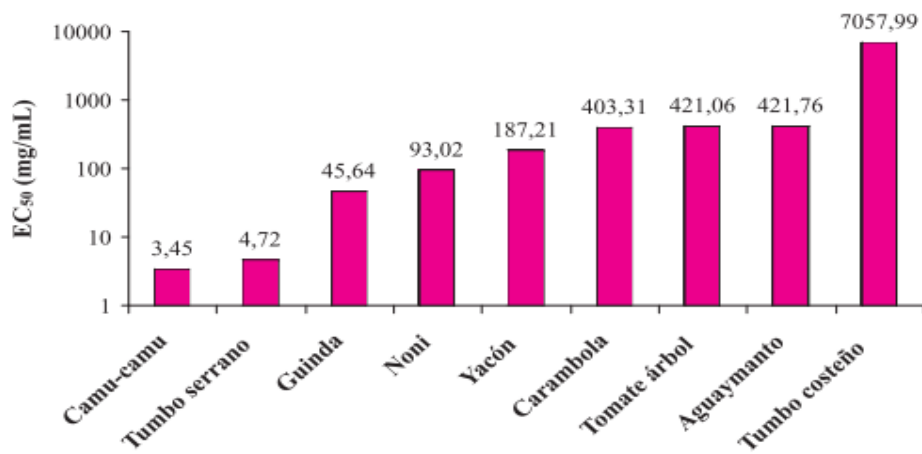


Nota. Los datos muestran la concentración de polifenoles totales en mg GAE/100g) Reproducida de Contenido de compuestos fenólicos totales en alimentos promisorios, Muñoz León & Gonzales Altamirano, 2014, (<http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v73n3/a03v73n3.pdf>). CC BY 4.0.

En la Figura 3 se muestra la evaluación de la capacidad antioxidante determinados con el método de DPPH* donde evidencia que el camu-camu y el tumbo presentan mayor capacidad antioxidante sin embargo la carambola presenta una moderada actividad antioxidante, estos resultados del contenido de componentes están influenciadas con el microambiente en el que se encuentra el alimento mostrando efectos sinérgicos o inhibitorios. Se recomienda el consumo de estos alimentos en la dieta para mejorar el sistema inmunológico evitando ciertas enfermedades (Muñoz León & Gonzales Altamirano, 2014).

Figura 3

Capacidad antioxidante obtenida por DPPH* (mg/ml).



Nota. Los datos muestran la capacidad antioxidante expresados en mg/mL. Reproducida de Capacidad antioxidante obtenida por DPPH (mg/mL), Muñoz León & Gonzales Altamirano, 2014. (<http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v73n3/a03v73n3.pdf>). CC BY 4.0.

17.2.3. Producción de carambola en el Perú

En el Perú la carambola crece en zonas subtropicales como Satipo, Chanchamayo, La Merced del departamento de Junín, Amazonas, Tingo María, Huánuco, Madre de Dios, Cuzco e Iquitos. Según (Albujar, 2019) la mayor producción se obtiene de la Región de Junín, Loreto, Huánuco, Madre de Dios, Amazonas y Tumbes; la producción de carambola llega hasta los 1 960 t, con una superficie de 108 Ha, Rendimiento de 18 144 por Kg/Ha y un precio en chacra de s/. 0.70 estos datos corresponden a la Región de Junín.

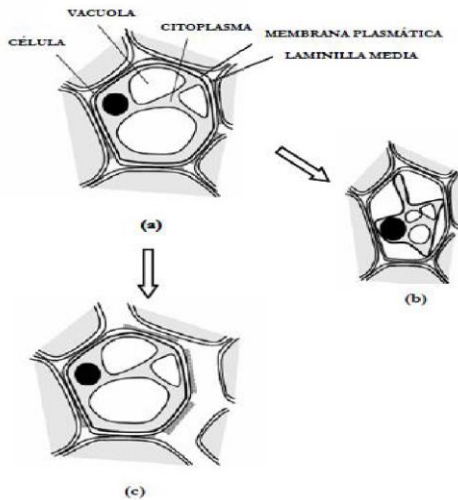
17.2.4. Métodos de secado

Secado osmótico. El secado osmótico consiste en remover el contenido de agua de alimentos en su mayoría de frutas y hortalizas mediante la inmersión en una solución de baja actividad de agua (A_w), llamada solución osmótica que puede estar compuesta de azúcares y sales. En este tipo de secado se presenta tres tipos de transferencia de masa: la primera es la salida del agua a la solución osmótica, la segunda es la penetración del soluto de la solución osmótica en el interior del alimento y tercero es la expulsión de solutos como los ácidos grasos, azúcares, minerales y vitaminas del

alimento hacia la solución osmótica pero la cantidad expulsada es despreciable (Ramiro Arballo, 2013)

Figura 4

Cambios en el tejido vegetal frente a la deshidratación osmótica.



Nota: Adaptada de Representación de los cambios en el tejido vegetal frente a la DO, Mayor et al., 2007, (<https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/4378>). CC BY 4.0.

Mayor et al., (2007) menciona que es necesario una fuerza impulsora para que exista la migración de agua desde el alimento a la solución osmótica, así mismo los sólidos de la solución osmótica ingresan al tejido y se colocan en los espacios extracelulares o atraviesan la pared celular y se depositan entre la membrana y la pared celular, generando una solución hipertónica que cause la salida del agua celular a través de la membrana.

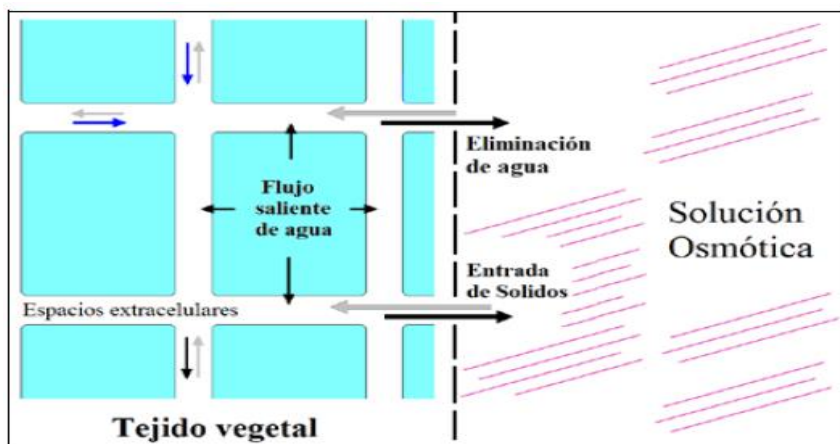
Pucuhuayla Cruz & Valdivieso Tomas, (2018) menciona que cuanto más alto es la temperatura y mayor tiempo de contacto se obtendrá una mayor velocidad de difusión del agua, así también cuanto más alto es la concentración de la solución osmótica (60-70°Brix) y el peso molecular de los agentes deshidratantes se obtendrá mayor remoción de agua, es necesario mencionar que durante la deshidratación osmótica se genera una costra cuyo espesor de 2 a 3 mm, que participa en la transferencia de materia promoviendo la salida del agua oponiéndose a la entrada de otros sólidos presentes en la solución osmótica y salida de sólidos solubles del alimento hacia el medio.

El proceso de osmodeshidratación como conservación de frutas y vegetales es utilizar altos niveles de sacarosa para reducir la A_w y el contenido de agua para reducir el crecimiento de

microorganismos debido a que la sacarosa puede atraer el agua de las células de la membrana de las frutas y vegetales. La disminución de A_w está relacionada con el tiempo de inmersión en una solución de sustancias como glucosa, fructuosa, sacarosa y algunos ácidos orgánicos (Deliana et al., 2020).

Figura 5

Transferencia de masa en la deshidratación osmótica de frutas y hortalizas.



Nota: Reproducida de Mecanismos de transferencia de masa para la deshidratación osmótica de frutas y hortalizas. Ramiro Arballo, 2013, (<http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/26611>). CC BY-NC-ND 2.5 AR.

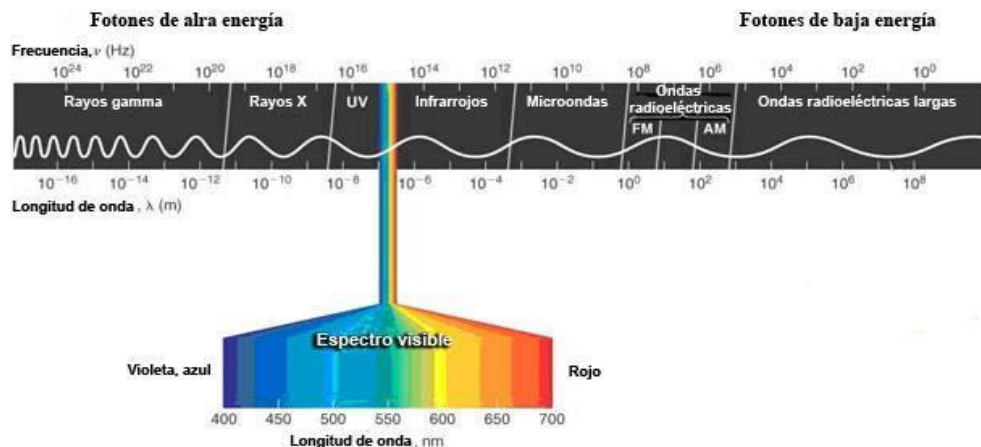
La presencia de los flujos de transferencia de masa de entrada y salida es una dificultad para realizar el modelo cinético en la osmodeshidratación. Además, estos flujos ocurren en condiciones de no equilibrio, ocasionando un encogimiento y deformación del tejido vegetal por la interacción de los diferentes flujos (Ramiro Arballo, 2013).

17.2.5. Secado por microondas: El espectro electromagnético clasifica a las microondas como onda de alta frecuencia y baja energía, ubicándose entre las ondas de radio y la radiación infrarroja, abarcando frecuencias entre los 300 y 3000 MHz. (Ramiro Arballo, 2013).

Las radiaciones que tiene un microondas comprenden aquellas partes que son reflejadas, transmitidas y absorbidas. La parte de la fracción que se absorbe es la que genera el calor provocando un calentamiento debido a la penetración profunda en los alimentos, el calor se genera volumétricamente en el interior del producto irradiado y la velocidad de entrada de energía no va a depender de la conductividad térmica ni de la resistencia de la superficie, su característica más resaltante del microondas es la forma rápida de calentamiento (Moreno et al., 2017)

Figura 6

Espectro electromagnético



Nota: Reproducida de *Espectro electromagnético*. Ramiro Arballo, 2013.

(<http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/26611>). CC BY-NC-ND 2.5 AR.

El calentamiento en el microondas es principalmente por la interacción de partículas cargadas y moléculas polares, donde el componente principal es la interacción de las moléculas de agua del alimento (Berk, 2000; Fellows, 2009)

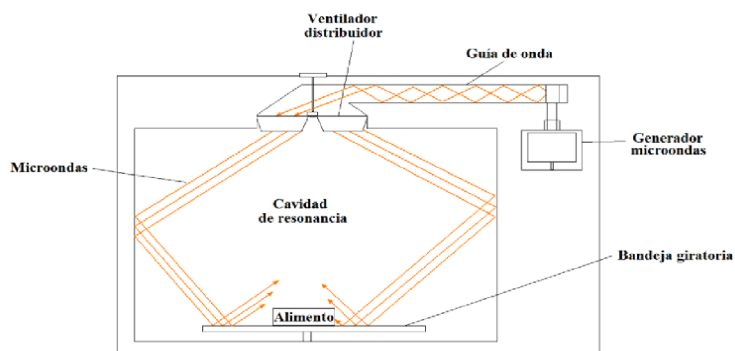
Los hornos de microondas están compuestos de un generador de microondas llamado magnetrón, y tubos de material aluminio llamados guías de onda, y una cavidad de resonancia (Ramiro Arballo, 2013).

El generador microondas está compuesto de un diodo de forma cilíndrica, este tubo cilíndrico tiene platos de cobre que emiten los rayos hacia el centro, este componente es llamado ánodo y tiene un filamento de cable en forma espiral llamado cátodo y se encuentra en el centro. Cuando se aplica un alto voltaje (4000 V), el cátodo emite electrones libres con energía que producirán microondas oscilantes, que se dirigen hacia una guía de ondas (Ramiro Arballo, 2013).

Para que exista una adecuada distribución del campo electromagnético dentro de la cavidad de resonancia, y permite un calentamiento uniforme, se incorpora ventiladores que distribuyen las ondas y los platos giratorios, ahí son colocados los alimentos y provocar un calentamiento uniforme, la potencia de salida del magnetrón debe ser en relación al tamaño de la cavidad de resonancia de calentamiento para evitar la formación de los arcos foto voltaicos, el potencia nominal de los microondas se extiende de 0.7 a 2 Kw (Ramiro Arballo, 2013).

Figura 7

Principales componentes del horno de microondas



Nota: Adaptada de Croquis de un horno de microondas. Ramiro Arballo, 2013. (<http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/26611>). CC BY-NC-ND 2.5 AR.

17.2.6. Aplicaciones y efectos en los alimentos: El uso de las tecnologías no térmicas en frutas y hortalizas son métodos aplicados para mejorar la conservación en cuanto a sus características fisicoquímicas, organolépticas y compuestos bioactivos como son los fenoles, ácido ascórbico, antocianinas y carotenoides de igual forma ayudan a reducir la carga microbiana porque destruyen de manera directa o indirecta la membrana celular y el ADN del microorganismo. En comparación a los métodos térmicos éstos provocan una disminución de los nutrientes afectando su biodisponibilidad y sus características organolépticas. Para la aplicación del microondas se deben tener en cuenta algunos parámetros como: tiempo, temperatura y potencia, porque estos dependen del tipo de alimento que se desea tratar (Lisintuña Toapanta, 2022).

Así mismo la aplicación de microondas a 2450 MHz en jugo de naranja muestra una mejor conservación de ácido ascórbico, carotenoides y compuestos fenólicos, en comparación con la pasteurización, también se observa menor pardeamiento y mayor actividad antioxidante (Narvárez Martínez & Rutbell Jassill, 2017)

En la industria alimentaria se aplican técnicas avanzadas de secado a diferentes alimentos para mejorar y conservar sus características fisicoquímicas después del secado (Hossain, Mitra, Belal y Zzaman, 2021a, Hossain, Dey y Joy, 2021b; Roy et al., 2022 ; Zzaman et al., 2021). Se evidencia que estos tratamientos aplicados antes del secado tiene efectos muy ventajosos en materiales vegetales, estos pretratamientos son la inmersión en soluciones químicas, como es el escaldado, osmodeshidratación con soluciones azucaradas, cloruro de sodio, ácidos orgánicos y carbonato de potasio, etc. (Adiletta et al., 2018; Junqueira et al., 2017). Los tratamientos se aplican

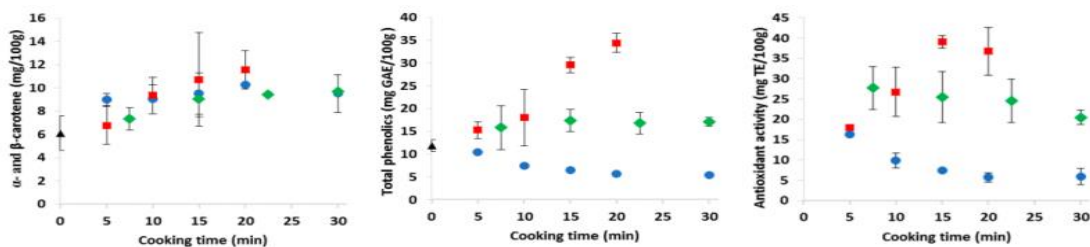
para promover la difusión de la humedad antes del secado (Junqueira et al., 2017; Zzaman et al., 2021), preservar la pérdida de compuestos bioactivos y el color natural (Roy et al., 2022), mejoran las propiedades de rehidratación (Barrera et al., 2016), las enzimas inactivas (Deng et al., 2019) y reducen el tiempo de secado (Kaymak-Ertekin, 2002).

También si se combinan tratamientos como el ultrasonido (42 kHz/20 min) y microondas (900W/30 s) en jugo de naranja, se evidencia mayor efectividad en la inactivación de *Escherichia coli* ATCC 25922, con una reducción de 8 log, en comparación a los resultados encontrados en los tratamientos por separado. Estos datos son de gran utilidad, debido a que permitirán optimizar la pasteurización de bebidas con presencia de cepas resistentes a los ácidos y a altas temperaturas (Kernou et al., 2021).

En la siguiente Figura 8, se observa que el tratamiento por microondas conserva mejor los carotenoides y aumenta la concentración de compuestos fenólicos totales y la actividad antioxidante de zanahoria (Buratti et al., 2020).

Figura 8

Propiedades nutricionales de zanahoria posterior al tratamiento de ebullición, cocción al vapor y microondas.



Nota: Ebullición(azul), cocción al vapor (verde) y microondas (rojo). Adaptada de Nutritional properties of the (a–c) cauliflowers, (d–f) carrots and (g–i) sweet potatoes cooked by the different cooking systems and times. Data are averaged per trial and standard deviation bars are shown. GAE, Gallic acid equivalent; TE, Trolox equivalent; black triangle, raw samples; blue point, boiled samples; green diamond, steamed samples; red square, microwaved samples. Buratti et al., 2020, (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32397489/>). CC BY 4.0.

En la Tabla 4, se señalan los parámetros y el efecto de la aplicación de microondas en algunas frutas y vegetales. De manera general en alimentos como: la uva, piña, zanahoria, arándanos y frambuesa, se observa una conservación o disminución de los cambios sensoriales como: textura, color, olor y brillo. Además, se observó un aumento de los compuestos bioactivos y por ende una mayor extracción de los mismos; sin embargo, a potencias mayores a 400 W el

contenido de polifenoles puede verse afectado y disminuir, debido a que los largos procesos y las altas temperaturas inducen a la pérdida de pigmentos. Además, esta tecnología empleada como pretratamiento mejora la transferencia de masa durante los procesos de secado, deshidratación o liofilización, observándose mayor pérdida de humedad y por ende mayor concentración de sólidos (Lisintuña Toapanta, 2022).

Tabla 4

Efectos y parámetros de la aplicación de microondas.

Fruta o Vegetal	Nombre científico	Parámetro		Efecto	Referencia
		P (W)	T (min)		
Bagazo de marañón	<i>Anacardium occidentale L.</i>	372,	12,	El color se conserva mejor a mayor potencia.	(Morales Cruz et al., 2019)
		390 y 460	15 y 18		
Cáscara de piña	<i>Ananas comosus L.</i>	372	15,	Aumento de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante	(Chávez Reyes, Morales Cruz, De la Cruz, et al., 2019)
			20		
Rebanadas de Piña fresca seca	<i>Ananas comosus L.</i>	120 y 350	30	Mantiene el color Mejor contenido fenólico total a 350 W	(Izli et al., 2018)
Zanahoria	<i>Daucus carota L.</i>	900	0,1.5 y 3	No presenta cambios significativos en el color Disminuye la degradación de la textura Presenta mayor concentración de β -carotenos	(Delfiya et al., 2018)
arándanos rojos	<i>Vaccinium macrocarpon</i>	100, 500 y 800	1.5 y 20	Alta retención de compuestos fenólicos, una alta actividad antioxidante y un color atractivo	(Zielinska et al., 2018)
Fresa		10 kW	0-45	Presenta mejor rendimiento del secado a 10 y 15 min Se evidencia cambios en el color, brillo, dulzor y textura	(Alvarado Bawab, 2017)

Ahuyama	<i>Cucurbita maxima</i>	300, 400 y 500	20 y 200 (s)	A medida que aumenta la potencia del microondas lo hace también la pérdida de humedad y la difusividad efectiva.	(Narváez Martínez & Rutbell Jassill, 2017)
Ñame	<i>Dioscorea rotundata</i>	420,5 60 y 700	10-26	El Aumento de potencia genera más pérdida de humedad y difusividad	(García-Mogollón et al., 2016)
Mango osmo deshidratado		560	7	Se extrajo alto porcentaje de humedad reduciendo los tiempos de secado	(Arrazola-Paternina et al., 2016)
Tarwi	<i>(Lupinus mutabilis)</i>	220 a 880 W	5 y 10	Se observa que a más tiempo y potencia mayor es la pérdida de humedad No hay variación en el color	(Ninaquispe Zare, 2015)
Manzanas		100 y 200		Aumenta la potencia, aumenta la pérdida de humedad en el secado de	(Abou ElHana, 2008)
Semilla de mango		460	15	Mayor contenido de los compuestos fenólicos	(Zavala Zavala et al., 2020)
Bagazo de carambola y semilla de mango		40 60	15-20 15	Conservación de compuestos bioactivos y fibras totales después del secado	(Rodiz-Torres et al., 2018)
tubérculos andinos	<i>(O. tuberosa, U. tuberosus y T. tuberosum)</i>	560	4	Mayor luminosidad Mejor textura Conservación de la capacidad antioxidante y contenido fenólico	(Pérez Castañeda & Serrato Castillo, 2019)
frambuesa	<i>Rubus idaeus L.) procesado</i>	437	1	Incremento del contenido de polifenoles, conservación de compuestos bioactivos	(Valdez Betanzos, 2021)
Rodajas de Tomate		1.1, 3, y 8		se encontró una reducción del tiempo de secado en un 84% a medida que se aumentaba la potencia del microondas El secado por microondas a 1,13 y 2,08 W g-1 mantuvo una calidad de color superior.	(Seyoum Workneh et al., 2011)

17.2.7. Secado por aire caliente: Este método también es conocido como secado convectivo y es muy utilizado para conservar los alimentos, este método consiste en poner en contacto aire caliente por todo el alimento reduciendo así el contenido de agua superficial. Esta técnica requiere de mucho tiempo y necesita altas temperaturas lo que provoca alimentos desecados de mala calidad, con mala apariencia, rehidratación ineficiente, pérdida de los nutrientes y pérdida significativa de aroma y sabor (Contreras et al., 2008).

Se ha encontrado que las temperaturas de secado de las cáscaras de frutas afectan las propiedades fisicoquímicas y en consecuencia puede influir en las propiedades funcionales de las harinas de estas frutas (Correja & Beirão, 2012), dentro de estas modificaciones del producto se encuentran el color, el nivel fenólico, el potencial antioxidante, capacidad de absorción y retención de agua, solubilidad, el comportamiento sensorial, que son en gran medida dependientes de la temperatura y afectan la calidad del producto (Kumar et al., 2012).

17.2.8. Modelamiento de la cinética de secado en frutas y vegetales

El proceso de secado a gran escala puede llevar mucho tiempo y ser muy costoso por eso resulta muy exitoso evaluar la cinética de secado y modelamiento en muestras y prototipos de sistemas de secado, la cinética de secado es el proceso de eliminación de humedad en las muestras. Se utilizan diferentes modelos matemáticos para construir novedosos sistemas de secado e implementar los existentes, para optimizar las variables de secado la cinética de secado usan modelos básicos, muchas investigaciones han realizado estudios aplicando ecuaciones de secado en capa fina como el modelo de Henderson y Pabi, el modelo newtoniano, el modelo de Page y el modelo logarítmico. El modelo de Henderson y Pabi es una solución en serie genérica a la segunda ley de Fick. El modelo newtoniano es una variación de Henderson y Pabis con intersección constante. Para compensar sus deficiencias, los modelos de Page y logarítmico son una adaptación experimental del modelo de Newton (Lewis) que se aplicó con éxito para explicar las propiedades de secado de ciertos productos agrícolas (Goyal et al., 2006). Para todo tipo de alimentos, los métodos de secado incluyen difusión de líquido o vapor, acción capilar y difusión superficial (Onwude et al., 2016). Sin embargo, comúnmente se supone que la difusión es el método principal para eliminar la humedad de frutas y verduras como la carambola. En consecuencia, los modelos de secado basados en la primera y segunda leyes de difusión de Fick se emplearon principalmente para una mejor interpretación y no pudieron caracterizar adecuadamente el proceso de secado (Onwude et al., 2016; Xiao et al., 2010). Como resultado, es esencial el uso de relaciones

mecanísticas adecuadas, incluida la difusividad efectiva de la humedad (D_e), el coeficiente de transferencia de masa (K_m), el número de Biot y la energía de activación para el aumento de D_e y K_m . Por lo tanto, es útil obtener modelos de secado de piña que incorporen mecanismos de difusión tanto internos como externos (Getahun et al., 2021; Susanti et al., 2021).

17.2.9. Componentes funcionales

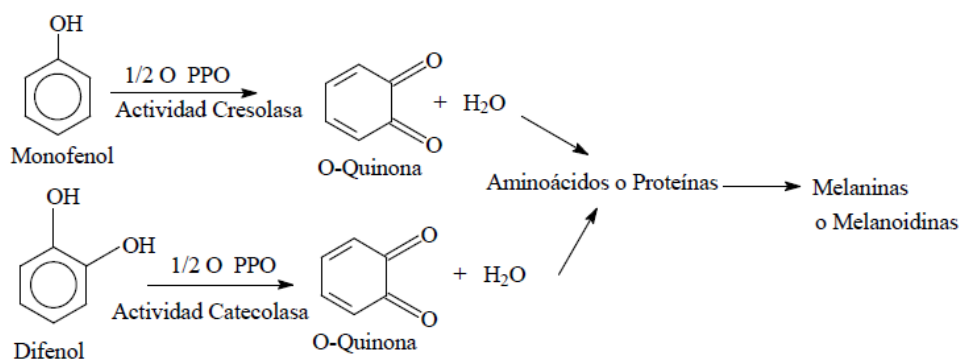
La capacidad antioxidante de un alimento se debe a la actividad antioxidante de sus diferentes compuestos, entre los cuales están los compuestos fenólicos, carotenoides, antocianinas, ácido ascórbico, etc., los que tendrían algún potencial antioxidante, el cual tiene un efecto sinérgico entre los compuestos bioactivos que conforman el alimento (Repo de Carrasco & Encina Zelada, 2008). La capacidad antioxidante de un alimento está determinada por interacciones entre compuestos y mecanismos de acción diferentes. Es así que para realizar la determinación y cuantificación de la capacidad antioxidante de sustancias complejas se debe llevar a cabo por diferentes métodos complementarios, para evaluar los diferentes mecanismos de acción (Coronado et al., 2015).

17.2.10. Polifenol oxidasa (PPO)

Este fenómeno es responsable del pardeamiento enzimático de frutas y verduras durante la madurez, recolección, procesamiento y almacenamiento, por lo tanto, tiene efectos negativos porque causa pérdidas de calidad y valor comercial (Xianyan et al., 2019). El pardeamiento que se produce tiene implicancia en la apariencia como el color oscuro, sabor y textura como también a olores desagradables (Delgado Medina & Hurtado Guevara, 2019).

Figura 9

Reacción generalizada de la PPO en plantas.



Nota: Reproducida de Reacción generalizada de la PPO en plantas. Gacche et al. (2003), (<https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/9133>). CC BY-SA 4.0.

Burga Muñoz, (2021) menciona que el polifenol oxidasa (PPO) es un metaloenzima que se encuentra distribuido en plantas, está compuesta por dos átomos de cobre, y tiene una reacción general que cataliza formando quinonas altamente reactivas reaccionando con grupos amino o sulfhídrico de proteínas generando cambios en cuanto a las características físico-químicas y nutricionales. Además, la PPO cataliza el paso inicial de la oxidación de o-fenoles a o-quinonas, causando a su paso una polimerización que produce pigmentos insolubles y oscuros denominados melaninas.

XVIII. METODOLOGÍA

18.1. Métodos de la investigación

El método para el desarrollo de esta investigación fue el método experimental a fin de aceptar o rechazar la hipótesis planteada, en base a los resultados obtenidos en el laboratorio, con las variables independientes tiempo de escaldado, concentración de sacarosa y potencia de secado en microondas y las unidades experimentales.

18.2. Diseño o esquema de la investigación

El diseño experimental que corresponde a esta investigación es un diseño factorial $2^k = 2^3$, siendo k los factores de estudio: Factor A (tiempo de escaldado) Factor B (Concentración de sacarosa) Factor C (Potencia de secado), cada factor tiene 2 niveles para cada factor de estudio; este diseño trabajará con 3 replicas por cada tratamiento (n), obteniendo 24 unidades experimentales.

18.2.1. Modelo estadístico del diseño factorial

Para la comprobación de los puntos y su efecto en el i, j y k esimo tratamiento sobre las variables respuestas es utilizando la ecuación 1

$$y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \beta_j + \gamma_k + (\tau\beta)_{ij} + (\tau\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\tau\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijk} \quad \text{Ecuación (1)}$$
$$i=1, 2, \dots, a; j=1, 2, \dots, b; k=1, 2, \dots, c; l=1, 2, \dots, n$$

Donde

- y_{ijk} : Representa la respuesta al nivel (i) del factor **A**, al nivel (j) del factor **B** y al nivel (k) del factor **C**.
- μ : parámetro común a todos los niveles de los factores, denominado media global.
- τ_i : Efecto del nivel i-ésimo del factor **A**, ($\sum_i \tau_i = 0$).
- β_j : Efecto del nivel j-ésimo del factor **B**, ($\sum_j \beta_j = 0$).
- γ_k : Efecto del nivel k-ésimo del factor **C**, ($\sum_k \gamma_k = 0$).
- $(\tau\beta)_{ij}$: Efecto de interacción entre **A**×**B**, ($\sum_i (\tau\beta)_{ij} = \sum_j (\tau\beta)_{ij} = 0$).
- $(\tau\gamma)_{ik}$: Efecto de interacción entre **A**×**C**, ($\sum_i (\tau\gamma)_{ik} = \sum_k (\tau\gamma)_{ik} = 0$).
- $(\beta\gamma)_{jk}$: Efecto de interacción entre **B**×**C**, ($\sum_j (\beta\gamma)_{jk} = \sum_k (\beta\gamma)_{jk} = 0$).
- $(\tau\beta\gamma)_{ijk}$: Efecto de interacción entre **A**×**B**×**C**, ($\sum_i (\tau\beta\gamma)_{ijk} = \sum_j (\tau\beta\gamma)_{ijk} = \sum_k (\tau\beta\gamma)_{ijk} = 0$).

- ϵ_{ijk} : Componente aleatorio del error.

Tabla 5

Corridas experimentales utilizando el Diseño factorial 2³.

Tratamiento	Rep	Escaldo (s)	Concentración de sacarosa (°Brix)	Potencia (W)	L*	a*	b*	A _w	CR
T1	R ₁	30	50	480					
	R ₂	30	50	480					
	R ₃	30	50	480					
T2	R ₁	10	50	840					
	R ₂	10	50	840					
	R ₃	10	50	840					
T3	R ₁	30	60	480					
	R ₂	30	60	480					
	R ₃	30	60	480					
T4	R ₁	10	60	840					
	R ₂	10	60	840					
	R ₃	10	60	840					
T5	R ₁	30	50	480					
	R ₂	30	50	480					
	R ₃	30	50	480					
T6	R ₁	10	50	840					
	R ₂	10	50	840					
	R ₃	10	50	840					
T7	R ₁	30	60	480					
	R ₂	30	60	480					
	R ₃	30	60	480					
T8	R ₁	10	60	840					
	R ₂	10	60	840					
	R ₃	10	60	840					

El planteamiento de la hipótesis del diseño factorial 2^3 :

H_0 : El tiempo de escaldado (A) $\tau_i = 0$ (No tiene efecto sobre la variable respuesta)

H_a : El tiempo de escaldado (A) $\tau_i \neq 0$ (Si tiene efecto sobre la variable respuesta)

H_0 : La concentración de sacarosa (B) $\beta_j = 0$ (No tiene efecto sobre la variable respuesta)

H_a : La concentración de sacarosa (B) $\beta_j \neq 0$ (Si tiene efecto sobre la variable respuesta)

H_0 : La potencia de secado (C) $\gamma_k = 0$ (No tiene efecto sobre la variable respuesta)

H_a : La potencia de secado (C) $\gamma_k \neq 0$ (Si tiene efecto sobre la variable respuesta)

H_0 : La interacción factor τ_i y $\beta_j = 0$ (No tienen efecto sobre la variable respuesta)

H_a : La interacción factor τ_i y $\beta_j \neq 0$ (Si tienen efecto sobre la variable respuesta)

H_0 : La interacción factor τ_i y $\gamma_k = 0$ (No tienen efecto sobre la variable respuesta)

H_a : La interacción factor τ_i y $\gamma_k \neq 0$ (Si tienen efecto sobre la variable respuesta)

H_0 : La interacción factor β_j y $\gamma_k = 0$ (No tienen efecto sobre la variable respuesta)

H_a : La interacción factor β_j y $\gamma_k \neq 0$ (Si tienen efecto sobre la variable respuesta)

H_0 : La interacción factor τ_i , β_j y C $\gamma_k = 0$ (No tienen efecto sobre la variable respuesta)

H_a : La interacción factor τ_i , β_j y C $\gamma_k \neq 0$ (Si tienen efecto sobre la variable respuesta)

Tabla 6

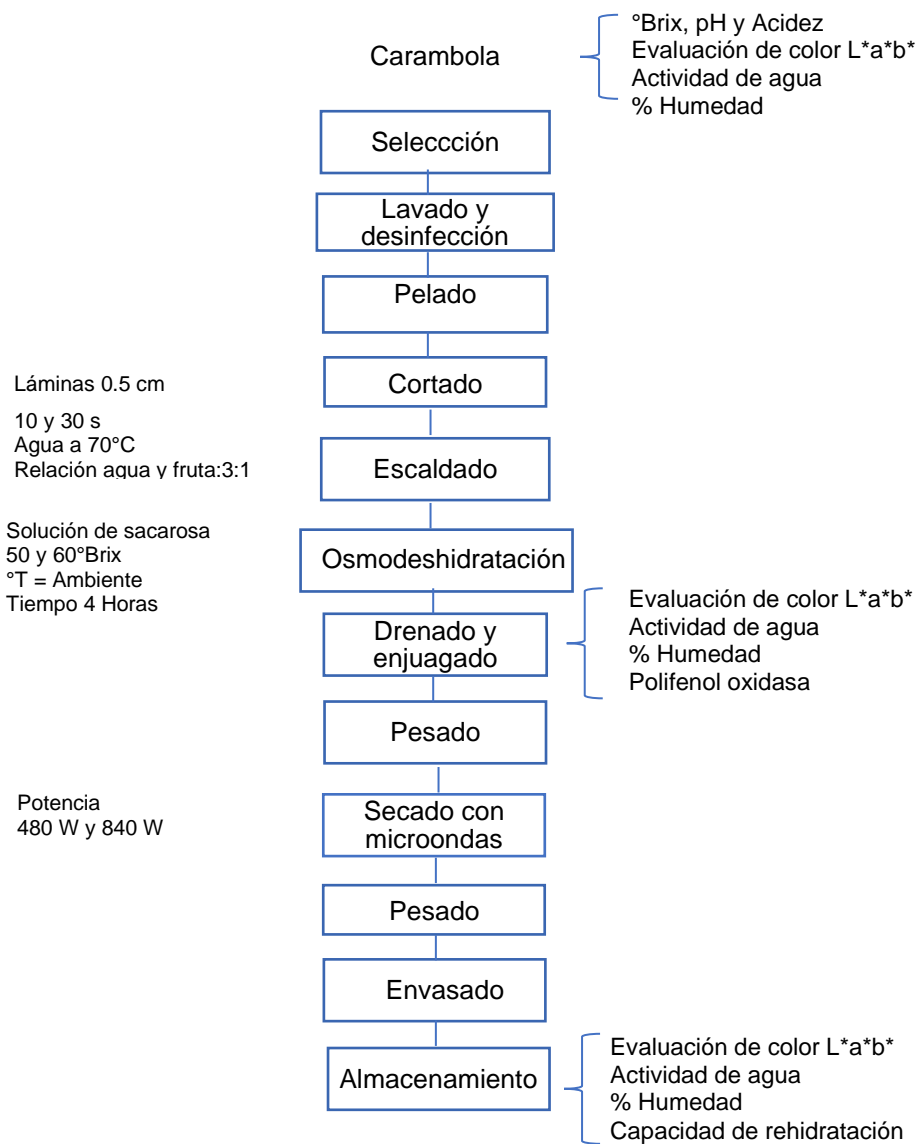
ANOVA para el diseño factorial 2^3 .

Factor	SC	GL	CM	F _o	Valor-p
Factor A	SC _A	a-1	CM _A	CM _A /CM _E	
Factor B	SC _B	b-1	CM _B	CM _B /CM _E	
Factor C	SC _C	c-1	CM _C	CM _C /CM _E	
Interacción AB	SC _{AB}	(a-1) (b-1)	CM _{AB}	CM _{AB} /CM _E	
Interacción AC	SC _{AC}	(a-1) (c-1)	CM _{AC}	CM _{AC} /CM _E	
Interacción BC	SC _{BC}	(b-1) (c-1)	CM _{BC}	CM _{BC} /CM _E	
Interacción ABC	SC _{ABC}	(a-1) (b-1) (c-1)	CM _{ABC}	CM _{ABC} /CM _E	

El esquema experimental de esta investigación se encuentra en la Figura 10, donde se indica los procesos de selección, pesado, lavado, desinfección, escaldado a diferentes tiempos, cortadas con espesor de 0.5 cm para ser sometidas a las diferentes concentraciones de sacarosa (50 y 60 °Brix) por un tiempo de 4 horas, posteriormente se retiró, drenó, enjuagó y pesó, por último, se realizó el secado con microondas a diferentes potencias. Así mismo se determinó las cinéticas de secado, color, actividad de agua y capacidad de rehidratación.

Figura 10

Esquema experimental de la investigación.



18.3. Población y muestra

Está formado por la fruta carambola (*Averrhoa carambola*) en estado de madurez intermedio (estadío 4 y 5) comprada en el Mercado Central de Chota, proveniente de la zona productora de Jaén.

La muestra de 15 kg. de carambola, se seleccionaron por tamaño con medidas aproximadas de longitud de 9-12 cm, diámetro de 5-6 cm. luego son seleccionadas, lavadas, desinfectadas y cortadas en láminas de Aprox. 0.5 cm de espesor.

18.4. Variables de estudio

18.4.1. Variables independientes

- Tiempo de escaldado: Tiempo en segundos (10 y 30 s).
- Concentración de sacarosa: Grados °Brix (50 y 60 °Brix).
- Potencia de secado: Watts (480 y 840 W).

18.4.2. Variables dependientes

- Actividad polifenol oxidasa PPO: Absorbancia (nm)
- Color: L* a* b* C* y h°
- Actividad de agua: Aw
- Capacidad de rehidratación: CR

18.5. Actividades del proceso investigativo

- **Acondicionamiento de las carambolas:** Las carambolas seleccionadas son desinfectadas con hipoclorito de sodio a 50 ppm por un tiempo de 3 min, luego cortadas con un espesor de 0.5 cm siguiendo la metodología descrita por Pucuhuayla Cruz & Valdivieso Tomas, (2018). Las láminas de carambola son escaldadas a diferentes tiempos a una temperatura de 70°C, en una relación agua y fruta de 3:1 para inhibir las enzimas causantes del pardeamiento.
- **Osmodeshidratación:** Las carambolas son sometidas en una concentración de sacarosa de 50-60°Brix, para invertir la sacarosa se añadirá ácido cítrico al 0.15% en temperatura de ebullición, se trabajó con una relación de 1:3 fruta y jarabe en peso; por un periodo de 4 horas a una temperatura ambiente, las carambolas son retiradas de la solución osmótica para luego realizar un enjuague y secado evitando el exceso de humedad en la superficie.

- **Secado en microondas:** El proceso de secado se llevó a cabo usando un microondas marca LG, modelo MS4296DIR, frecuencia 2450 MHz y potencia una potencia de salida hasta 1200 W. Para este estudio se utilizaron dos niveles de potencia 480 y 820W.
- **Cinética de secado y modelamiento matemático:** Para la elaboración de las curvas de secado se trabajó con 8 tratamientos y tres repeticiones; son modeladas utilizando 7 modelos matemáticos (Lewis, Page, Modificado de Page, Logarítmico, Wang and Singh, Peleg y Henderson Pabis), se comparó la R^2 , SSE y x^2 , para elegir el modelo que mejor se ajuste a los datos, hallando los coeficientes de secado n , a , b , h , c y g cuyos valores son diferentes de acuerdo al modelo.

18.6. Técnicas e instrumentos de la investigación

Durante la investigación se utilizaron las siguientes técnicas:

Observación: La observación nos permitió evaluar el efecto de los pretratamientos en las carambolas secadas con microondas evaluando el contenido de humedad, actividad de agua, color y capacidad de rehidratación.

Revisión bibliográfica: Se recopilaron información de tesis, libros, artículos científicos, noticias, etc. Relacionados con la investigación a realizar.

Experimentación: Mediante la realización de experimentos se logró determinar la Cinética de secado, Polifenol oxidasa, Color, Actividad de agua y Capacidad de rehidratación.

Análisis de las muestras. Se realizó utilizando métodos planteados por diferentes autores para obtener datos válidos y con mucha precisión.

Registro de datos. Está técnica permitió llevar el control de los datos para que puedan ser procesados mediante el uso de software como el Minitab y Matlab.

18.7. Procedimiento para la recolección de datos

18.7.1. Determinación de las características fisicoquímicas

18.7.1.1. Determinación de pH. Se realizó por el método descrito por Casaubon-Garcín et al., (2018), calibrando el pH-metro con las soluciones tampón, la muestra de la láminas es triturada, filtrada y medida con el electrodo por triplicado.

18.7.1.2. Determinación de acidez. Para determinar la acidez se utilizó el método descrito por (Burga Muñoz, 2021), se tomó la muestra en relación de 1:10 (carambola: agua destilada), se agregó unas gotas de fenolftaleína al 0.5%, se valoró con NaOH al 0.1 N hasta que la muestra

muestran una coloración de rosa tenue, las muestras son analizadas por triplicado, la acidez será expresada en base al ácido cítrico, aplicando la ecuación:

$$Acidez\ total = \frac{(N * Meq * V)}{P} \times 100 \dots\dots\dots Ecuación (2)$$

Donde:

N = Normalidad de NaOH

Meq = Peso equivalente del ácido expresado en gramos (ácido cítrico 0,064 g)

V = ml de NaOH utilizado **P** = peso de la muestra en gramos

18.7.1.3. Determinación de °Brix. Se determinó utilizando el método descrito por (Burga Muñoz, 2021) en el refractómetro digital se añadió una gota de la muestra y se realizó la lectura directa de azúcares presentes, las muestras son analizadas por triplicado.

18.7.1.4. Determinación del % de humedad. Para determinar el % de humedad se utilizó el método AOAC (AOAC,1990) que consiste en medir la pérdida de peso durante el proceso de secado hasta obtener un peso constante, las muestras son analizadas por triplicado y los valores son hallados utilizando la siguiente ecuación:

$$\% Humedad = \frac{W_t - W_d}{W_t} \times 100 \dots\dots\dots Ecuación (3)$$

Dónde W_t es peso de la muestra inicial y W_d es peso de la muestra final

Para encontrar ecuaciones que se ajusten a las curvas de cinética de secado es necesario determinar el valor de MR (Ratio de Humedad)

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_o - M_e} \dots\dots\dots Ecuación (4)$$

Donde M_t es el contenido de humedad de las carambolas a cada tiempo en (g H₂O/g BS), M_e es la humedad de equilibrio en (g H₂O/g BS) y M_o es la humedad en el tiempo 0 en (g H₂O/g BS); reduciéndose a la siguiente ecuación:

$$MR = \frac{M_t}{M_o} \dots\dots\dots Ecuación (5)$$

Los valores de MR están determinados a partir de los valores obtenidos de la humedad de las carambolas.

18.7.1.5. Determinación del Coeficientes de difusión del agua durante el secado. Para hallar el coeficiente de difusión del agua en carambolas durante el proceso de secado en microondas, se utilizó el modelo de la segunda ley de Fick para la difusión en placas infinitas Crank (1975). Debido a que el transporte de agua se da a través de las superficies planas de la carambola (Pucuhuayla Cruz & Valdivieso Tomas, 2018) y (Zambrano & Rodríguez Alfredo Álvarez, 2007).

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_o - M_e} = \frac{8}{\pi^2} \exp\left[\frac{-\pi^2 \cdot Deff \cdot t}{4l^2}\right] \dots\dots\dots Ecuación (6)$$

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \exp\left[\frac{-\pi^2 \cdot Deff \cdot t}{4l^2}\right] \dots\dots\dots Ecuación (7)$$

Donde:

MR: Ratio de humedad adimensional

l: espesor de las láminas de carambola (m)

t: tiempo de la sección de la carambola

Deff: Difusividad efectiva del agua (m²/s)

18.7.1.6. Aplicación de Modelos matemáticos para la cinética de secado. Se aplicaron siete modelos matemáticos para modelar de manera efectiva el secado de las carambolas por microondas a diferentes potencias tal como se presenta en la Tabla 7. Los pesos durante el secado se ajustaron utilizando siete modelos de secado diferentes.

Tabla 7

Modelos matemáticos aplicados en la curva de secado en microondas.

Modelos	Ecuaciones	Nº Ecuación	Nº de coeficientes	Parámetros cinéticos
Lewis	MR = exp(-kt)	(8)	1	k
Pages	MR = exp(-kt ⁿ)	(9)	2	k,n
Modified page	MR = exp(-kt) ⁿ	(10)	2	k,n
Logarithmic	MR = a exp(-kt) +c	(11)	3	a,k,c
Wand and Singh	MR = 1 + at + bt ²	(12)	2	a,b
Peleg	MR= 1-(x/(a+cx))	(13)	2	a,c
Henderson Pabis	MR = a exp(-kt)	(14)	2	a,k

Los valores experimentales de MR hallados de los 8 tratamientos son ajustados haciendo uso de los siete modelos de secado, además se comparó el error cuadrático medio SEE para elegir al modelo que más ajuste tenía con los datos experimentales, mientras k, n, a, b y c son los parámetros cinéticos cuyos valores varían de acuerdo al modelo; t es el periodo de secado (s), k es la constante de secado (s⁻¹) y MR es el ratio de humedad.

Para evaluar el ajuste de las curvas de secado se emplearon algunos factores estadísticos como el error cuadrático medio RMSE, el error cuadrático de suma SSE y el chi cuadrado reducido.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \hat{x}_i)^2}{N}} \dots\dots\dots Ecuación (15)$$

Donde; i es la variable; N es el número de datos no faltantes; serie de tiempos observados reales; serie de tiempos estimados.

$$SEE = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n (MR_i^{pred} - MR_i^{exp})^2 \right) \dots\dots\dots Ecuación (16)$$

Donde: n es el número de observaciones; MR_i^{pred} es MR predichos y MR_i^{exp} es MR experimental.

18.7.1.7. Actividad de agua. Para determinar los valores de la actividad de agua en las carambolas se utilizó el procedimiento descrito por el equipo AQUALAB 4TEV, por triplicado.

18.7.1.8. Determinación del color. Se realizó mediante el uso del COLORÍMETRO DIGITAL PORTATIL 3NH. Los valores del color de la carambola osmodeshidratada son estimados en el espacio CIE L*, a* y b* por triplicado. Los resultados se expresaron en términos de L* (Luminosidad =100 significa blanco y 0 significa negro), a* (a+ significa rojo y a- significa verde) y b* (b+ significa amarillo y b- significa azul); el equipo también mostro datos del valor de cromaticidad (C*) como medida cuantitativa de la intensidad del color, así como el valor del tono (h°) que es el ángulo del tono.

18.7.1.9. Determinación de actividad PPO (polifenol oxidasa)

Extracto enzimático. Para la preparación del extracto enzimático se siguió el método de Arrazola-Paternina et al., (2016). Se realizó la extracción de las enzimas de cada una de las carambolas sometidas a diferentes tiempos de escaldado y osmodeshidratado. Se prepararon los extractos enzimáticos considerando la relación de 0,5 ml de muestra de extracto de carambola con 5 mL buffer fosfato 0,2 M con pH 7. Luego las muestras son agitadas por un tiempo de 1 hora en el agitador magnético, para ser luego refrigerados por un tiempo de 15 min a 4°C. seguido las

muestras son centrifugadas a 4000 RPM por un periodo de 15 min, luego el sobrenadante fue recolectado y almacenado a 4°C.

Determinación de la actividad de la PPO: Para determinar la actividad del polifenol oxidasa se utilizó el método descrito por (Burga Muñoz, 2021), un espectrofotómetro UV/VISIBLE a 420 nm y 30 °C, previamente fue calibrado, se realiza las primeras lecturas con la muestra patrón que contiene el extracto de la carambola escaldada y osmodeshidratada a diferentes tiempos y concentraciones; con 0.5 mL de extracto enzimático (1 mL de solución de catecol al 1% y 2 mL de buffer fosfato 0,2 M, que actuarán como regulador de pH a neutro) en una celda de 0.5 mL, cada una medida con una muestra en blanco. La absorbancia será medida tres veces en un periodo de 3 min, y se expresará en $\Delta UAbs \text{ min}^{-1} \text{ mg}^{-1}$ proteína (variación de unidades de absorbancia por minuto por gramo de proteína). El porcentaje de inhibición (%Inh) de la Polifenol oxidasa se determinará con:

$$\%Inh = \frac{(A_0 - A)}{A_0} \times 100 \dots\dots\dots Ecuación (17)$$

Donde:

A₀: Actividad de la PPO del extracto crudo

A: en cada condición de tiempo del escaldado y osmodeshidratado

18.7.1.10. Capacidad de rehidratación de la carambola

Para hallar la CR de la carambola osmodeshidratada se utilizará el método descrito por Pucuhuayla Cruz & Valdivieso Tomas, (2018) con modificaciones. Las muestras serán sumergidas en recipientes de vidrio que contengan 80 mL de agua destilada, la relación peso muestra y agua destilada será de 1:15. Los pesos de las muestras se controlarán cada 4 min, secando cada muestra con toalla hasta la obtención de un peso constante. La capacidad de rehidratación se expresa con el peso de carambola rehidratada dividida entre el peso de carambola seca, que expresa la habilidad del alimento para rehidratarse, y se puede calcular con la siguiente ecuación.

$$CR = \frac{W_r}{W_d} \dots\dots\dots Ecuación (18)$$

Dónde:

W_r: Peso total de la muestra al final de la rehidratación (g).

W_d: Peso de la muestra seca (g)

18.8. Técnicas de análisis de los datos.

El procesamiento de los datos obtenidos en este trabajo de investigación será ordenados, evaluados y analizados estadísticamente a través del software Matlab, teniendo en cuenta el efecto de las variables como tiempo de escaldado, concentración de sacarosa y potencia del microondas y su influencia sobre las variables respuestas, el software estadístico que se utilizará será Minitab versión 19.

XIX. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

19.1. Caracterización fisicoquímica de *Averrhoa carambola*

Las características fisicoquímicas de la carambola en estado fresco se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8

Caracterización fisicoquímica de carambola en 100 g de pulpa fresca.

Parámetros fisicoquímicos	Valor	Valor de otros autores	
Humedad (%)	84,97±1,141	89,23%	García-Valladares et al., (2022)
		88,2 y 90,51%	Moreira Vences et al., (2022)
Actividad de agua	0,9675±0,004	0,986	García-Valladares et al., (2022)
Sólidos solubles (°Brix)	7,01 ±0,43	7	Pájaro-Escobar et al., (2018)
pH	2,72±0,36	3,9	Pájaro Escobar et al., (2018)
		3.25-3.38	Moreira Vences et al., 2022
Acidez (Ex. En ácido cítrico)	0,262±0,01	1,01%	Muñoz León & Gonzales Altamirano, (2014)
L*	71,05 ±0,863	52,96	Mano Francis & Badrie, (2004)
a*	2,44±0,373	3,37	Mano Francis & Badrie, (2004)
b*	25,81±5,061	18,70	Mano Francis & Badrie, (2004)
C*	25,92 ± 5,071	-	-
h°	84,57±0,287	-	-

Los valores de %Humedad está debajo de los valores reportados por García-Valladares et al., (2022) de 89.23%, así como lo reportado por Moreira Vences et al., (2022) que indica un rango entre 88.21% y 90.51%; estos valores difieren por factores como el clima, tipo de suelo, temperatura ambiental, presión atmosférica y el hábitat en general donde crece el árbol de la carambola. La actividad de agua analizada está muy cerca a lo analizado por García-Valladares et al., (2022) que reporta un valor de 0.986.

La pulpa de carambola presenta 7°Brix valor inferior a lo reportado por (Pájaro-Escobar et al., 2018) que utiliza carambola con 16°Brix con coloración amarillenta para la elaboración de vino; el valor del °Brix se debe principalmente al estado de madurez que tiene la fruta; un valor de 6.01 son para frutos verdes maduros, 7.3 frutos semimaduros y 10.83 frutos maduros. De igual forma reporta Aristizabal et al., (2012) que un color con superficie 100% verde presenta 6.63 °Brix,

color amarillo-verdoso 6.8°Brix, color 100% amarilla 8.26°Brix. El valor del pH es menor a lo reportado por Pájaro Escobar et al., (2018) que reporta un pH de 3.9, así mismo Moreira Vincés et al., (2022) reporta un rango de pH entre 3.25-3.38; esta diferencia está relacionado con el estado de madurez que tiene la fruta de la carambola, el pH de los frutos se vuelven menos ácido a medida que estos van madurando Narain et al., (2001) como también se debe a otros factores ambientales.

El valor de la acidez esta similar a lo reportado por Muñoz León & Gonzales Altamirano, (2014) y por (González et al., 2001) que reportan un valor de 1.01% este valor varía de acuerdo al estado de madurez de la carambola

Los valores hallados en cuanto al valor de Luminancia (L^*) y a^* están por encima de lo reportado por Mano Francis & Badrie (2004) que reporta una luminancia L^* igual 52.96, el mismo autor reporta un valor de a^* igual a 3.37 mayor a lo hallado en este trabajo de investigación; en cuanto a los valores de b^* estos se encuentran por encima encima de los valores de b^* igual a 18.70; estos datos evidencian que cuando el fruto empieza a madurar se vuelve de amarillo a anaranjado, es ahí donde ocurre un aumento de los azúcares acelerándose la síntesis de estos compuestos; así como también el color amarillo evidencia la degradación de la clorofila y los cromoplastos (Barrera et al., 2010; Torres et al., 2013). Los datos hallados en cuanto a los valores del color están directamente relacionados con la madurez fisiológica de la fruta de la carambola (Muñoz León & Gonzales Altamirano, 2014). El color principal de la carambola es el color amarillo esto se debe al contenido de carotenoides que tiene esta fruta (Castillo et al., 2013) y sus enlaces dobles conjugados en la cadena polienoica (estructura responsable de la absorción de la luz visible y del color de la fruta) (Eduardo Ordoñez-Santos et al., 2014).

La Cromaticidad (C^*) de la carambola fresca es de 25.92 y el valor del tono (h°) es de 84.57 los datos hallados se deben por la variedad de la carambola, el estado de madurez utilizados en este experimento, no se encontraron datos similares en la carambola fresca.

19.2. Resultados del contenido de polifenol oxidasa en la carambola post tratadas a escaldado y osmodeshidratado

En la Tabla 9 se muestra la actividad de la Polifenol oxidasa PPO de las carambolas que son sometidas a tiempo de escaldado de 10 y 30 segundos en concentraciones de sacarosa de 50 y 60 °Brix respectivamente.

Tabla 9

Actividad enzimática y % de Inhibición de la PPO en la carambola sometidas a diferentes tiempos de escaldado (10-30 segundos) y concentración de sacarosa (50 -60°Brix).

Escaldo (s)	Concentración de sacarosa (°Brix)	Actividad enzimática (Δ UAbs $\text{min}^{-1}\text{mg}^{-1}$ de proteína)	Inhibición PPO (%)
10	50	0,020	83,092
10	60	0,026	77,890
30	50	0,035	69,436
30	60	0,033	71.387

Los valores hallados reportan que las carambolas que son escaldadas a 30 segundos con concentración de sacarosa de 50°Brix y 60°Brix presentan una mayor actividad enzimática que aquellas carambolas que son escaldadas a 10 segundos con concentración de sacarosa de 50°Brix y 60°Brix por lo tanto el % Inhibición de la PPO es menor en aquellas carambolas que son escaldadas a 30 segundos. Esto demuestra que un tiempo más prolongado del escaldado puede llevar a una mayor actividad enzimática y un menor porcentaje de inhibición de la PPO, debido a factores como la reactivación enzimática de la PPO, descomposición de inhibidores naturales de la PPO, activación de otras enzimas relacionadas con la PPO aumentando la actividad enzimática global y daño en la estructura de la fruta ampliando el acceso de la PPO a su sustrato siendo perjudicial para la calidad y el color de las carambolas durante el procesamiento y el almacenamiento.

Según el análisis de varianza para la actividad enzimática el factor de tiempo de escaldado ($p=0.058$), concentración de sacarosa (0.626) y la interacción de tiempo de escaldado y concentración de sacarosa ($p=0.429$) indican que el efecto no es estadísticamente significativa es decir no hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula.

Según el análisis de varianza para el % inhibición de la PPO el factor de tiempo de escaldado ($p=0.051$), concentración de sacarosa (0.679) y la interacción de tiempo de escaldado y concentración de sacarosa ($p=0.383$) indica que el efecto o la interacción no es estadísticamente significativa es decir no hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula.

No se ha encontrado reportes que corresponden a la evaluación de la actividad de la PPO en carambola pero sí en otros alimentos, según se identificó que el tratamiento T1 (cebolla con bulbo blanco, temperatura de 115°C y una concentración de 1:2) obtuvo mayor efecto de inhibición en una salsa de aguacate, explicando que la temperatura es el factor que determina la inhibición porque afecta la naturaleza de las proteínas causando pérdida de actividad catalítica (Pérez-Gálvez et al., 2011). Así mismo Arrazola-Paternina et al., (2016) al comparar la actividad enzimática entre las dos variedades de extracto de batata colorada y blanca reporta diferencia significativa al incrementar la temperatura y el tiempo durante el escaldado, de igual forma la inhibición de la PPO se logra cuando el extracto es sometido a una temperatura de 85°C y 180s con una disminución de 86.8% en batata colorada y 86.17% en batata blanca.

19.3. Características fisicoquímicas en las láminas de carambola post tratada a escaldado y osmodeshidratado

Las láminas de carambola son tratadas a diferentes tiempos de escaldado y diferentes concentraciones de sacarosa con la finalidad de inhibir la acción de enzima peroxidasa, evitar el oscurecimiento, reducir la actividad de agua y eliminar a los microorganismos patógenos (Tigreros et al., 2021). El proceso de escaldado y osmodeshidratación modifica las características fisicoquímicas de una carambola fresca, así como su valor nutricional y sus características sensoriales que se ven afectadas de manera significativa cuando se aplican altas temperaturas, tiempos prolongados y concentraciones altas de solución osmótica (Tigreros et al., 2021) y (Abraão et al., 2013). El osmodeshidratado en alimentos es utilizado como pretratamiento para remover el contenido de agua, reducir el tiempo de secado y el consumo de energía, como también mejorar la calidad de los alimentos (García-Paternina et al., 2015) (Orsat et al., 2006). En la Tabla 10 se muestra los valores que se obtiene después de someter a las láminas de carambola a un escaldado de 10 y 30 segundos en diferentes concentraciones de sacarosa (50 y 60°Brix)

Tabla 10

Características fisicoquímicas de las carambolas escaldadas a diferentes tiempos (10 y 30 s) y concentraciones de sacarosa (50 y 60°Brix)

T	Escaldado (s)	Concentración de sacarosa (°Brix)	% Humedad	Aw	L*	a*	b*	C*	h°
1	10	50	55,24 ± 1,010	0,9351 ± 0,005	52,95 ± 1,469	3,40 ± 1,342	29,38 ± 0,788	29,65 ± 0,935	85,63 ± 3,52
2	10	60	55,02 ± 0,454	0,9219 ± 0,008	57,71 ± 3,277	9,47 ± 1,549	45,02 ± 4,057	46,01 ± 4,267	78,17 ± 1,014
3	30	50	54,45 ± 4,737	0,9569 ± 0,031	51,82 ± 1,722	6,86 ± 0,846	42,81 ± 2,719	43,36 ± 2,741	82,90 ± 4,448
4	30	60	54,17 ± 1,468	0,937 ± 0,005	58,01 ± 0,451	4,81 ± 0,552	40,49 ± 0,895	40,78 ± 0,861	83,26 ± 0,903

Con respecto al % de Humedad las carambolas que han sido sometidas a un escaldado de 10 segundos y 50 °Brix presentan un % Humedad ligeramente mayor que las carambolas que son sometidas a 60 °Brix, las carambolas que son sometidas a un escaldado de 30 segundos y 50 °Brix presentan un % Humedad ligeramente mayor que las carambolas que son sometidas a 60 °Brix; esto demuestra que a mayor concentración de la solución osmótica la humedad es menor debido a la pérdida de agua y mayor impregnación de sacarosa (Abraão et al., 2013).

Con respecto a la actividad de agua (Aw) las carambolas que son sometidas a un escaldado de 10 segundos y 50 °Brix presentan mayor Aw que las carambolas que son sometidas a 60 °Brix, las carambolas que son sometidas a un escaldado de 30 segundos y 50 °Brix presentan mayor Aw que las carambolas que son sometidas a 60 °Brix; esto se debe a que la concentración de la solución osmótica estimula los procesos de transferencia de masa entre la fruta y la solución osmótica por tal motivo se reduce la Aw (Abraão et al., 2013).

El color, el brillo y la translucidez son algunas características sensoriales de mucha importancia en los productos osmodeshidratados. Con el aumento de la concentración osmótica las carambolas muestran alto valor de luminancia, presentando mayor Luminancia (L*) las muestras de carambolas que son sometidas a 30 segundos de escaldado y 60°Brix. El mayor valor de Croma (C) representa un color más puro e intenso (Pomeranz & Meloan, 1995) como podemos observar en la Tabla 10 la carambola que fue sometida a un escaldado de 10 segundos a 60°Brix tiene un alto valor cromático, porque estos valores se ven afectados por el tiempo de escaldado y la concentración de sacarosa. Queda demostrado que estos pretratamientos influyen en la composición interna, haciéndola más homogénea en toda la fruta osmodeshidratada lo que

promueve la absorción de la luz contra la dispersión haciéndolas con mayor transparencia (Chiralt & Talens, 2005).

Según el análisis de varianza para % Humedad el factor de tiempo de escaldado ($p=0.596$), concentración de sacarosa (0.869) y la interacción de tiempo de escaldado y concentración de sacarosa ($p=0.985$) indican que el efecto de los factores no es significativo en los datos del % Humedad.

Según el análisis de varianza para A_w el factor de tiempo de escaldado ($p=0.085$), concentración de sacarosa (0.109) y la interacción de tiempo de escaldado y concentración de sacarosa ($p=0.715$) indican que el efecto de los factores no es significativo en los datos de la A_w .

Según el análisis de varianza para L^* el factor concentración de sacarosa ($p=0.001$) indica que el efecto del factor es significativo en los datos de la L^* .

Según el análisis de varianza para a^* el factor concentración de sacarosa (0.016)) indica que el efecto del factor si es significativo en los datos de la L y la interacción de tiempo de escaldado y concentración de sacarosa ($p=0.000$) indican que el efecto de los factores si es significativo en los datos de a^* .

Según el análisis de varianza para b^* el factor de tiempo de escaldado ($p=0.015$), concentración de sacarosa (0.002) y la interacción de tiempo de escaldado y concentración de sacarosa ($p=0.000$) indican que el efecto de los factores es significativo en los datos de b^* .

Según el análisis de varianza para C^* el factor de tiempo de escaldado ($p=0.023$), concentración de sacarosa (0.002) y la interacción de tiempo de escaldado y concentración de sacarosa ($p=0.000$) indican que el efecto de los factores es significativo en los datos de C^* .

Según el análisis de varianza para h° el factor de tiempo de escaldado ($p=0.162$), concentración de sacarosa (0.240) y la interacción de tiempo de escaldado y concentración de sacarosa ($p=0.177$) indican que el efecto de los factores no es significativo en los datos del h°

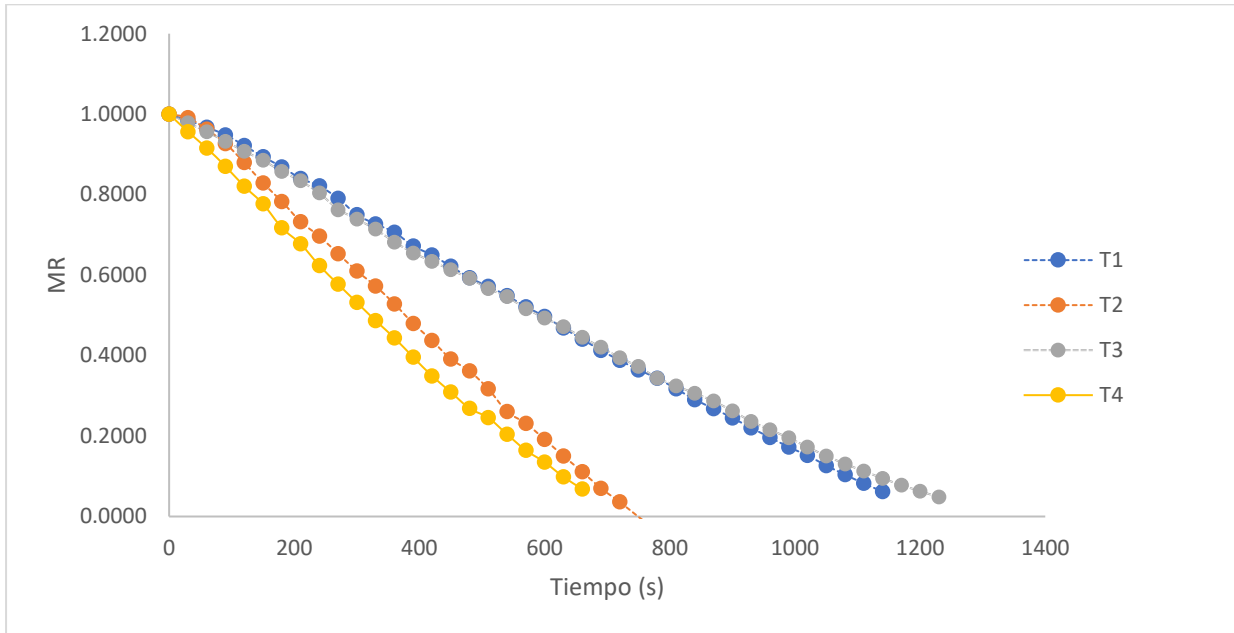
19.4. Determinación del Coeficiente de difusión para cada cinética de secado correspondiente a los tratamientos del diseño estadístico

Para hallar la obtención de la curva de secado se registraron los datos de los pesos por triplicado, se pesaron 3 muestras de 75 gramos aproximadamente en placas Petri y se tomó las medidas de los pesos cada 30 segundos hasta llegar a un peso aproximado de 27-28 gr. Luego se aplicaron las fórmulas para hallar el coeficiente difusión teniendo en consideración el tiempo (s), la pérdida de peso (g) , Humedad en base húmeda ($gH_2O/g bh.$) y Humedad en base seca (gH_2O/g

ss.), Ratio de Humedad (MR) y Ln MR. En la Figura 11 se puede apreciar las curvas de secado de MR frente al tiempo de secado correspondientes a los 4 tratamientos donde las muestras son escaldadas a 10 segundos a 50 y 60 °Brix.

Figura 11

Relación MR versus tiempo de secado en carambolas escaldadas (10 s) y osmodeshidratadas (50 y 60 °Brix).



Los datos hallados durante la experimentación de secado demuestran que el tratamiento T2 y T4 son aquellos que perdieron más rápido el peso en comparación a los tratamientos T1 y T3 que perdieron peso en mayor tiempo, los tratamiento T2 y T4 son secados 840 W y los tratamientos T1 y T3 a 480W, demostrándose mayor eficiencia de secado a una mayor potencia. Cuando se utiliza una potencia alta, el procedimiento de secado se intensifica haciéndose más efectivo entre la energía, el agua y el material celular de la carambola porque se mejora las propiedades dieléctricas removiendo con mayor eficacia el agua gracias a la presión de vapor que se genera en el interior de las carambolas (Dhara et al., 2023). En la Tabla 11 se muestra que durante el secado de carambolas sometidas a un tiempo de escaldado de 10 segundos a diferentes concentraciones de sacarosa (50 y 60°Brix) y diferentes potencias de secado (480 y 840 W), la muestra que tuvo mayor coeficiente de difusión son los tratamientos T2 y T4 sometidos a una potencia de secado de 840 W.

Tabla 11

Determinación del coeficiente de difusión en las carambolas escaldadas a 10 segundos con concentración de sacarosa de 50 y 60 °Brix y potencia de secado de 480 y 840 W

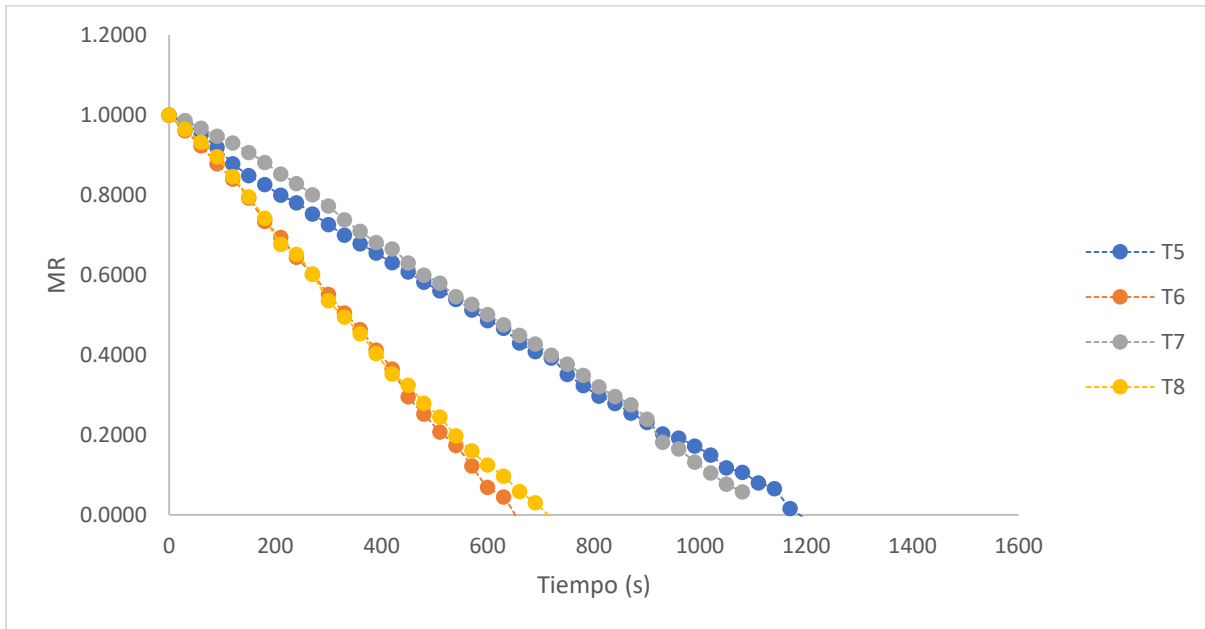
Tratamiento	Escaldado (s)	Concentración de sacarosa (°Brix)	Potencia (W)	D _{eff} (m ² s ⁻¹)	
				x	s
T1	10	50	480	1,21x10 ⁻⁶	1,29x10 ⁻⁷
T2	10	50	840	1,86x10 ⁻⁶	0,24x10 ⁻⁷
T3	10	60	480	1,19x10 ⁻⁶	0,80x10 ⁻⁷
T4	10	60	840	1,90x10 ⁻⁶	0,24x10 ⁻⁷

Los resultados obtenidos indican que la transferencia de masa asociada a la pérdida de agua en las carambolas fue más rápida con la mayor potencia en el microonda, dado que genera mayor calor en la muestra, creando una mayor diferencia de presión de vapor entre el centro y la superficie de las carambolas debido al calentamiento (García-Mogollón et al., 2016) (Dhara et al., 2023), cuando se aumenta la potencia del microondas disminuye el tiempo de secado de la misma forma lo reporta (Dhara et al., 2023). En otro estudio realizado en láminas de manzana sin haber sido sometidas a ningún tratamiento y secadas en el microondas a 200 y 600W se reporta un valor de 3.93×10^{-7} y 2.27×10^{-6} m²/s de difusión efectiva (Zarein et al., 2015).

En la Figura 12 se puede apreciar las curvas de secado de MR frente al tiempo de secado correspondientes a los 4 tratamientos donde las muestras son escaldadas a 30 segundos a 50 y 60 °Brix.

Figura 12

Relación MR versus tiempo de secado en carambolas escaldadas (30 s) y osmodeshidratadas (50 y 60 °Brix).



Los datos hallados durante la experimentación de secado demuestran que el tratamiento T6 y T8 fue aquellos que perdieron más rápido el peso en comparación a los tratamientos T5 y T7 que perdieron peso en mayor tiempo, los tratamiento T6 y T8 son secados 840 W y los tratamientos T5 y T7 a 480W, demostrándose mayor eficiencia de secado a una mayor potencia.

En el secado por microondas, el proceso se acelera mediante la absorción selectiva de energía electromagnética por las moléculas de agua a través de Rotación dipolar y conducción iónica (Dhara et al., 2023) y al aumentar la potencia se disminuye el tiempo de secado haciendo que la transferencia de masa (agua) sea más rápido cuando el peso de la muestra es menor y la intensidad de la potencia aumenta (García-Mogollón et al., 2016).

Tabla 12

Determinación del coeficiente de difusión en las carambolas escaldadas a 30 segundos con concentración de sacarosa de 50 y 60 °Brix y potencia de secado de 480 y 840 W

Tratamiento	Escaldo (s)	Concentración de sacarosa (°Brix)	Potencia (W)	D _{eff} (m ² s ⁻¹)	
				x	S
T5	30	50	480	1,15x10 ⁻⁶	0,15x10 ⁻⁷
T6	30	50	840	2,00x10 ⁻⁶	0,66x10 ⁻⁷
T7	30	60	480	1,20x10 ⁻⁶	1,51x10 ⁻⁷
T8	30	60	840	2,30x10 ⁻⁶	3,62x10 ⁻⁷

En la Tabla 12 se muestra que durante el secado de carambolas sometidas a un tiempo de escaldado de 30 segundos a diferentes concentraciones de sacarosa (50 y 60°Brix) y diferentes potencias de secado (480 y 840 W), la muestra que tuvo mayor coeficiente de difusión son los tratamientos T6 y T8 sometidos a una potencia de secado de 840 W. Los parámetros cinéticos de difusión cinética son mayores a medida que la potencia va aumentando (Dhara et al., 2023) (García-Mogollón et al., 2016) (Soares de Mendonça et al., 2023) como se evidencia en la Tabla 11 y 12, así mismo los valores hallados de la difusión cinética en la carambola está comprendida en un valor de 10⁻⁶, como (Zarein et al., 2015) reporta valores de difusividad para alimentos comprendidos entre 10⁻⁶ a 10⁻¹¹ m²/s. En otro estudio en chips de zanahoria deshidratadas en microondas se reporta un valor de D_{eff} de 1.57 x 10⁻¹⁰ y 4,70 × 10⁻¹⁰ m²/s (Soares de Mendonça et al., 2023).

19.5. Modelamiento de las cinéticas de secado para cada uno de los tratamientos del diseño estadístico

El secado de alimentos comprende los fenómenos de transferencia de masa y energía que se describe usando modelos como el de Newton, Pages, Logarítmico, Wang and Sing, Peleg y Henderson y Pabis (Ajala & Aboiye, 2012) (Salcedo Mendoza et al., 2024) (Torregroza-Espinosa et al., 2014) que nos permite predecir la cinética de secado, pérdida de humedad, parámetros de difusión para la simulación en el secado en microondas (Ruiz-López et al., 2012), (Kumar et al., 2012). En la Tabla 13 se muestran los parámetros cinéticos de siete modelos matemáticos para el tratamiento 1 que corresponde un tiempo de escaldado de 10 segundos, 50°Brix de concentración de sacarosa y 480W de potencia de secado en el microondas.

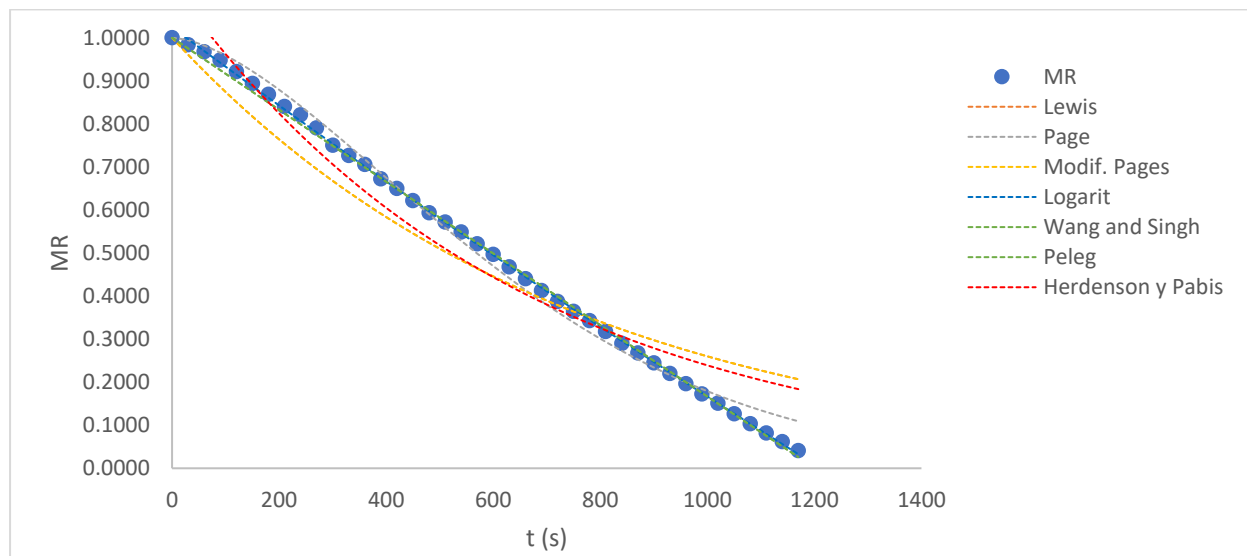
Tabla 13

Modelamiento cinético en el T1

T1	k	n	a	c	b	k1	k2	RMSE	SEE	X ²	R ²
Lewis	0,001347							0,0792	0,0071	0,0064	0,9271
Page	2,54E-05	1,61						0,0257	0,0008	0,00070	0,9909
Modified page	0,001348	0,9992						0,0792	0,0071	0,00661	0,9271
Logarithmic	0,0001436		6,408	-5,384				0,0065	0,0305	0,00004	0,9995
Wang and Singh			-8,4E-04		5,105E-09			0,0106	0,0001	0,00012	0,9987
Peleg						1,2E+03	0,007082	0,0106	0,0001	0,00012	0,9987
Henderson Pabis	0,001547		1,123					0,0643	0,0048	0,00435	0,952

Figura 13

Curvas del modelamiento cinético en el T1 aplicando los 7 modelos cinéticos.



En la Tabla 14 se muestran los parámetros cinéticos de siete modelos matemáticos para el tratamiento 2 que corresponde un tiempo de escaldado de 10 segundos, 50°Brix de concentración de sacarosa y 840W de potencia de secado en el microondas.

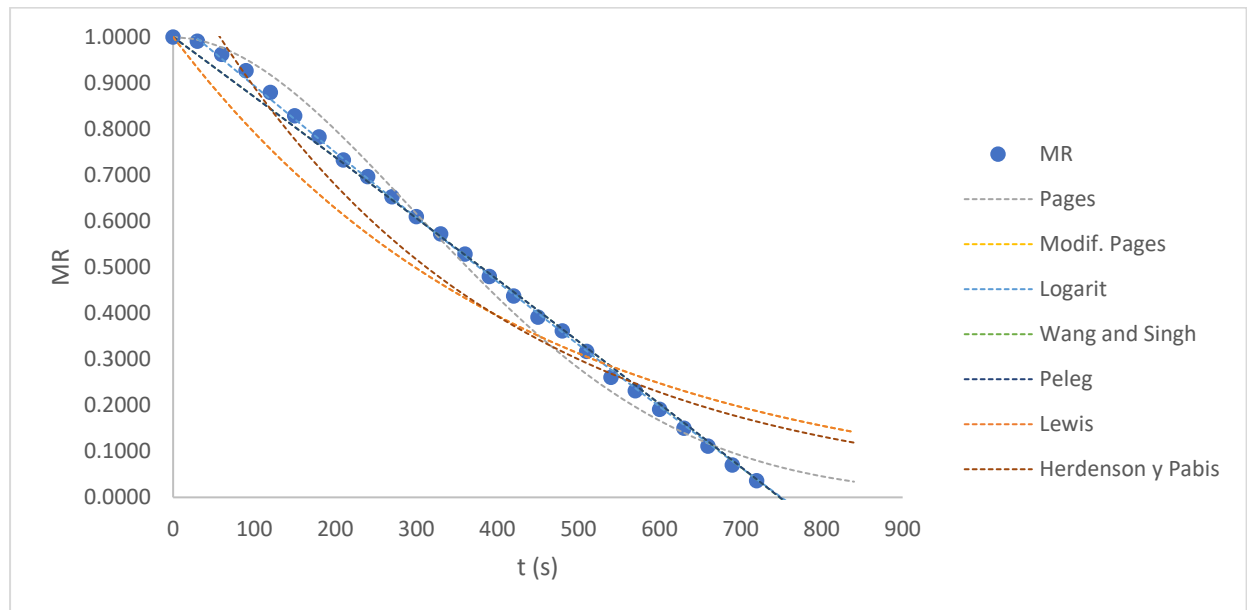
Tabla 14

Modelamiento cinético en el T2

T2	k	n	a	c	b	k1	k2	RMSE	SEE	X ²	R ²
Lewis	0,002325							0,1176	0,0138	0,0143	0,8842
Page	1,03E-05	1,887						0,0486	0,0024	0,00245	0,9802
Modified page	0,002852	0,8152						0,1176	0,0138	0,01433	0,8842
Logarithmic	0,0001812		8,19	-7,149				0,0109	0,0001	0,00012	0,999
Wang and Singh			-1,3E-03		-5,7E-08			0,0181	0,0003	0,00034	0,9972
Peleg						7,7E+02	-0,03087	0,0182	0,0003	0,00034	0,9972
Henderson y Pabis	0.002723		1.17					0.1000	0.0100	0.01035	0.9163

Figura 14

Curvas del modelamiento cinético en el T2 aplicando los 7 modelos cinéticos.



En la Tabla 15 se muestran los parámetros cinéticos de siete modelos matemáticos para el tratamiento 3 que corresponde un tiempo de escaldado de 10 segundos, 60°Brix de concentración de sacarosa y 480W de potencia de secado en el microondas.

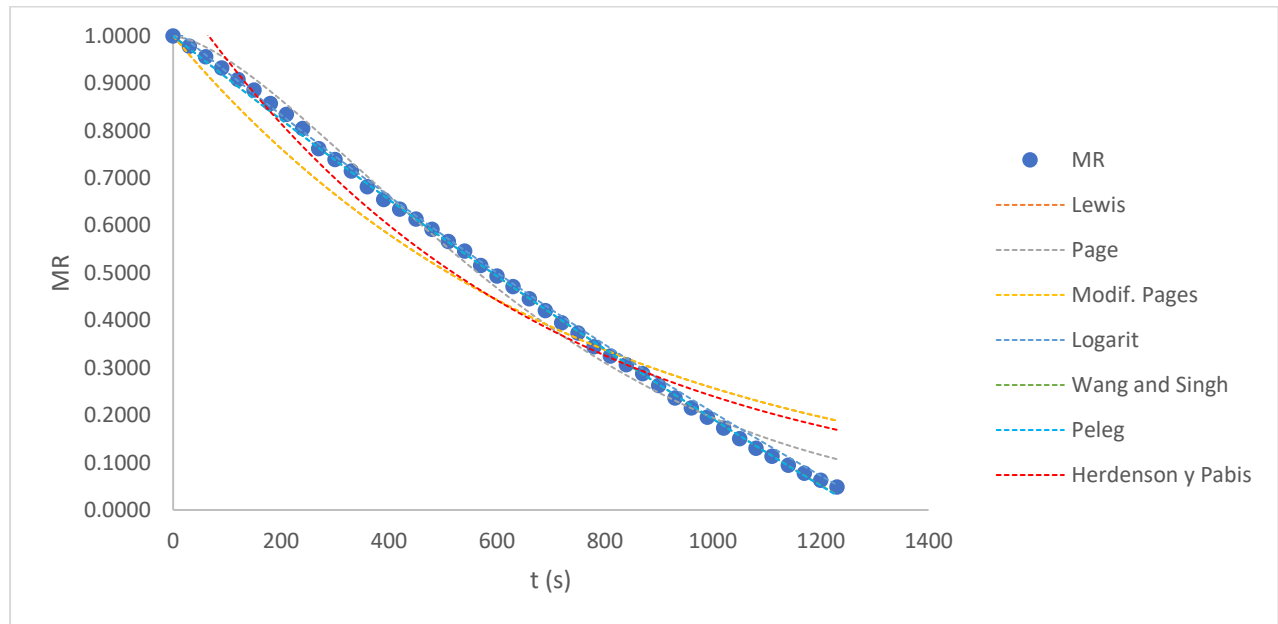
Tabla 15

Modelamiento cinético en el T3

T3	k	n	a	c	b	k1	k2	RMSE	SEE	X ²	R ²
Lewis	0,001357							0,0698	0,0049	0,0050	0,942
Page	5,03E-05	1,504						0,0259	0,0007	0,00069	0,992
Modified page	0,003665	0,3701						0,0698	0,0049	0,00499	0,942
Logarithmic	0,0003095		3,042	-2,026				0,0125	0,0002	0,00016	0,9995
Wang and Singh			-9,01E-04		9,25E-08			0,0080	0,0001	0,00006	0,9992
Peleg						1,11E+03	0,1331	0,0083	0,0001	0,00007	0,9992
Henderson Pabis	0,001527		1,106					0,0576	0,0033	0,00340	0,9604

Figura 15

Curvas del modelamiento cinético en el T3 aplicando los 7 modelos cinéticos.



En la Tabla 16 se muestran los parámetros cinéticos de siete modelos matemáticos para el tratamiento 4 que corresponde un tiempo de escaldado de 10 segundos, 60°Brix de concentración de sacarosa y 840W de potencia de secado en el microondas.

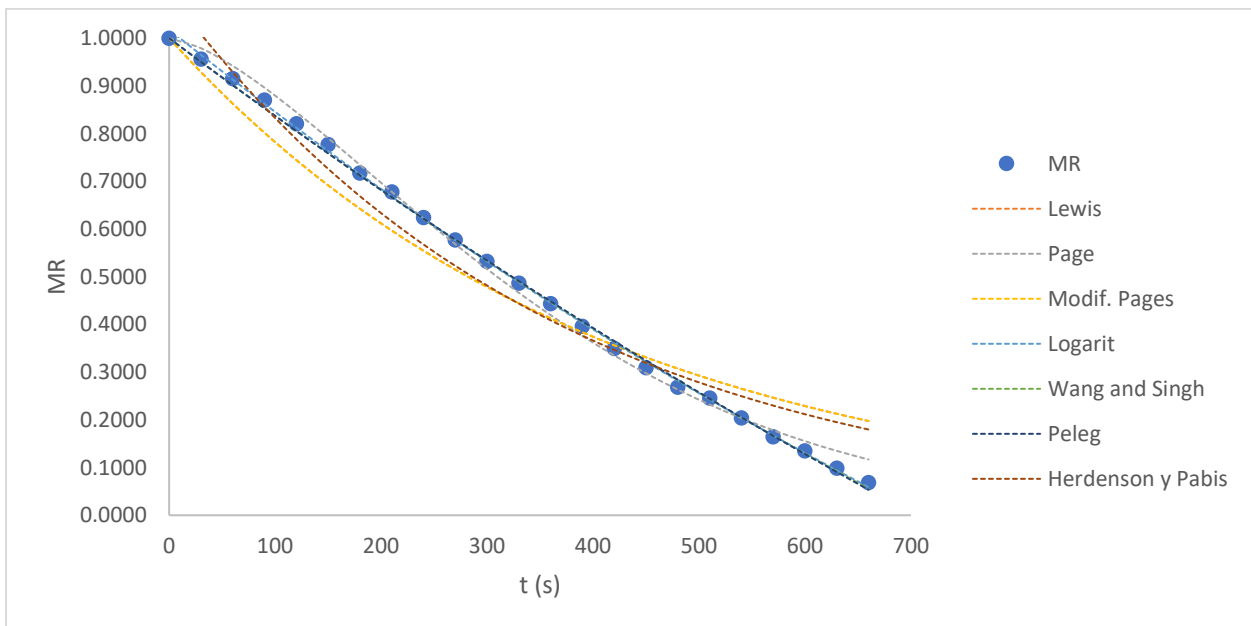
Tabla 16

Modelamiento cinético en el T4

T4	k	n	A	c	b	k1	k2	RMSE	SEE	X ²	R ²
Lewis	0,002457							0,0661	0,0044	0,0046	0,9977
Page	1,33E-04	1,493						0,0203	0,0004	0,00043	0,9951
Modified page	0,005504	0,4465						0,0661	0,0044	0,00457	0,9477
Logarithmic	0,0006359		2,798	-1,78				0,0081	0,0001	0,00007	0,9992
Wang and Singh			-1,7E-03		3,49E-07			0,0098	0,0001	0,00010	0,9989
Peleg						5,9E+02	0,1489	0,0103	0,0001	0,00011	0,9987
Henderson Pabis	0,002738		1,095					0,0549	0,0030	0,00316	0,9638

Figura 16

Curvas del modelamiento cinético en el T4 aplicando los 7 modelos cinéticos.



En la Tabla 17 se muestran los parámetros cinéticos de siete modelos matemáticos para el tratamiento 5 que corresponde un tiempo de escaldado de 30 segundos, 50°Brix de concentración de sacarosa y 480W de potencia de secado en el microondas.

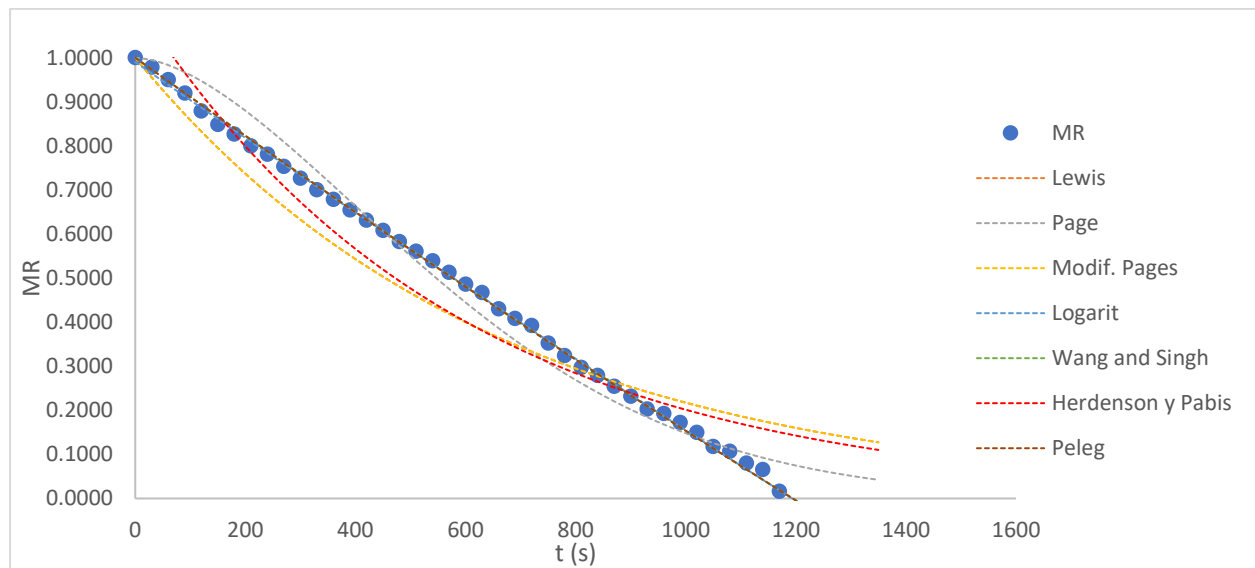
Tabla 17

Modelamiento cinético en el T5

T5	k	n	a	c	b	k1	k2	RMSE	SEE	X2	R2
Lewis	0,001526							0,1056	0,0112	0,0114	0,8967
Page	1,75E-05	1,679						0,0612	0,0037	0,00382	0,9654
Modified page	0,004816	0,317						0,1056	0,0112	0,01140	0,8967
Logarithmic	0,00007159		12,09	-11,1				0,0085	0,0001	0,00007	0,9993
Wang and Singh			-8,9E-04		4,72E-08			0,0092	0,0001	0,00009	0,9992
Peleg						1,1E+03	0,06643	0,0091	0,0001	0,00008	0,9992
Henderson Pabis	0,001723		1,128					0,0955	0,0091	0,00933	0,9155

Figura 17

Curvas del modelamiento cinético en el T5 aplicando los 7 modelos cinéticos.



En la Tabla 18 se muestran los parámetros cinéticos de siete modelos matemáticos para el tratamiento 6 que corresponde un tiempo de escaldado de 30 segundos, 50°Brix de concentración de sacarosa y 840W de potencia de secado en el microondas.

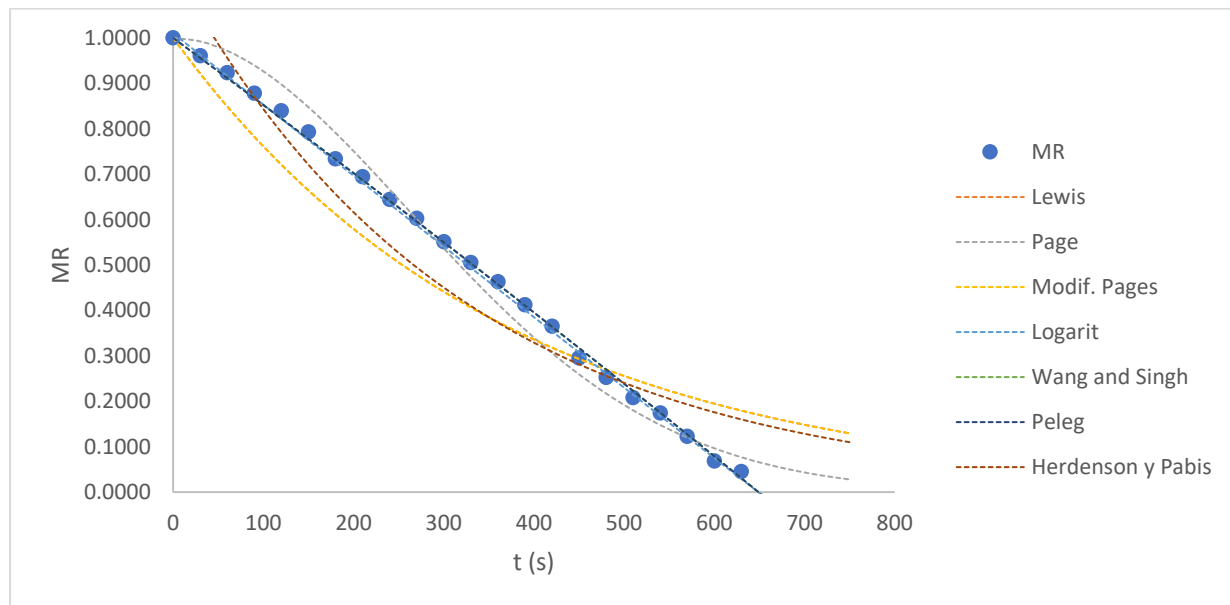
Tabla 18

Modelamiento cinético en el T6

T6	k	n	a	c	b	k1	k2	RMSE	SEE	X2	R2
Lewis	0,002727							0,1268	0,0161	0,0167	0,8707
Page	1,15E-05	1,911						0,0646	0,0042	0,00434	0,9665
Modified page	0,003693	0,7384						0,1268	0,0161	0,01672	0,8707
Logarithmic	0,00002611		60,14	-59,13				0,0104	0,0001	0,00011	0,9993
Wang and Singh			-1,5E-03		-1,2E-07			0,0095	0,0001	0,00009	0,9993
Peleg						6,8E+02	-0,05128	0,0096	0,0001	0,00010	0,9993
Henderson Pabis	0,003136		1,154					0,1135	0,0129	0,01341	0,8964

Figura 18

Curvas del modelamiento cinético en el T6 aplicando los 7 modelos cinéticos.



En la Tabla 19 se muestran los parámetros cinéticos de siete modelos matemáticos para el tratamiento 7 que corresponde un tiempo de escaldado de 30 segundos, 60°Brix de concentración de sacarosa y 480W de potencia de secado en el microondas.

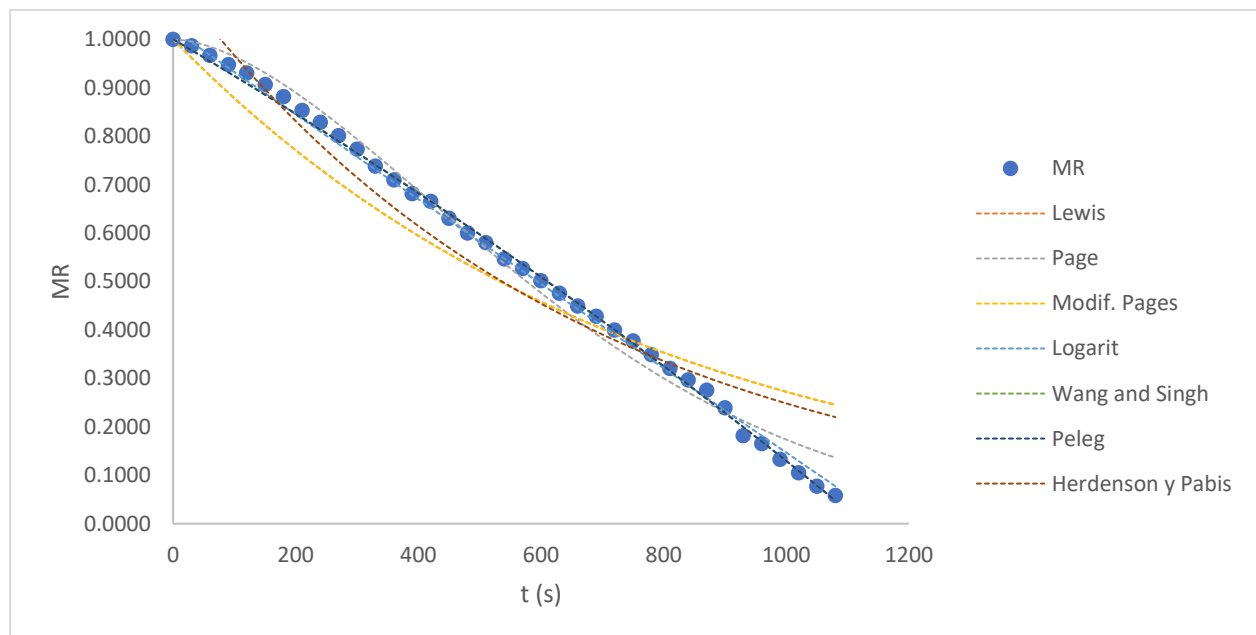
Tabla 19

Modelamiento cinético en el T7

T7	k	n	a	c	b	k1	k2	RMSE	SEE	X ²	R ²
Lewis	0,001301							0,0847	0,0072	0,0074	0,9122
Page	1,58E-05	1,682						0,0308	0,0010	0,00098	0,9884
Modified page	-0,00505	-0,2578						0,0847	0,0072	0,00738	0,9122
Logarithmic	9,79E-06		89,64	-88,62				0,0140	0,0002	0,00020	0,9976
Wang and Singh			-7,4E-04		-1,3E-07			0,0109	0,0001	0,00012	0,9985
Peleg						1,3E+03	-0,1841	0,0111	0,0001	0,00013	0,9985
Henderson Pabis	0,00151		1,124					0,0696	0,0049	0,00498	0,9407

Figura 19

Curvas del modelamiento cinético en el T7 aplicando los 7 modelos cinéticos.



En la Tabla 20 se muestran los parámetros cinéticos de siete modelos matemáticos para el tratamiento 8 que corresponde un tiempo de escaldado de 30 segundos, 60°Brix de concentración de sacarosa y 840W de potencia de secado en el microondas.

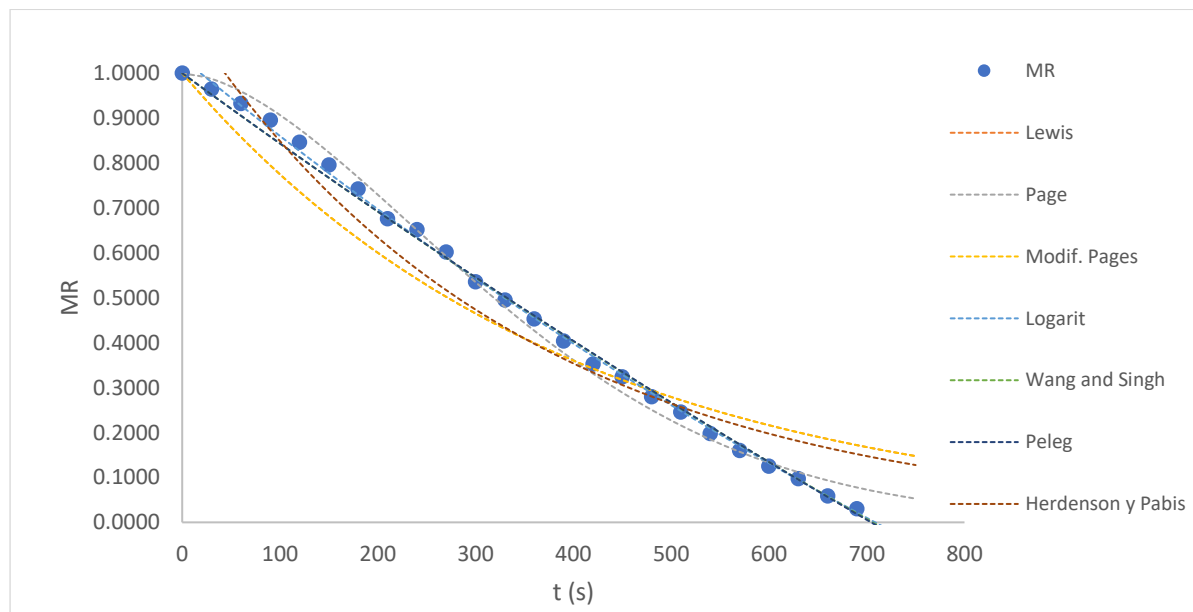
Tabla 20

Modelamiento cinético en el T8

T8	k	n	a	c	b	k1	k2	RMSE	SEE	X ²	R ²
Lewis	0,002552							0,0927	0,0086	0,0089	0,9183
Page	4,10E-05	1,689						0,0323	0,0010	0,00108	0,9901
Modified page	0,4476	0,005702						0,0927	0,0086	0,00893	0,9183
Logarithmic	0,0005829		3,053	-2,02				0,0127	0,0002	0,00017	0,9985
Wang and Singh			-1,59E-03		2,48E-07			0,0170	0,0003	0,00030	0,9973
Peleg						6,28E+02	0,1093	0,0174	0,0003	0,00031	0,9971
Henderson Pabis	0,002916		1,136					0,0781	0,0061	0,00634	0,9421

Figura 20

Curvas del modelamiento cinético en el T8 aplicando los 7 modelos cinéticos.



En base a las curvas obtenidas y los parámetros estadísticos de los siete modelos matemáticos para cada uno de los tratamientos, los valores más altos de R-square y los más bajos de SSE indican que el modelo logarítmico, Wang and Singh y Peleg son aquellos modelos que presentan un mejor ajuste, siendo el nivel de potencia el factor principal que limita la velocidad de secado por microondas hasta que alcanza el contenido de humedad crítico (Dhara et al., 2023). (Soares de Mendonça et al., 2023). Estos modelos mencionados sirven para predecir la cinética de secado de las láminas de carambola osmodeshidratadas. En otros estudios realizados en chips de zanahoria secadas en microondas a diferentes niveles de potencia el modelo matemático que más ajuste tuvo fue el modelo de Page (Soares de Mendonça et al., 2023) esto puede deberse a que las zanahorias no recibieron ningún pretratamiento como la osmodeshidratación.

Ninaquispe Zare, (2015) al optimizar la curva de secado de tarwi con el uso de microondas el modelo que presenta mayor ajuste fue el modelo de Peleg. Chávez Reyes et al., (2019), comprueba que el microondas es un método alternativo para deshidratar alimentos a una potencia de 372W en un tiempo de 15-20 minutos.

Así mismo Szadzińska et al., (2019) menciona que el modelo matemático que más ajuste tuvo fue Modified page en frambuesas deshidratadas con microondas a una potencia de 100W, esto se justifica porque las frambuesas no son sometidas a ningún pretratamiento.

19.6. Resultados de las características fisicoquímicas y color en las láminas de carambola escaldada, osmodeshidratada y secada en microondas.

En la siguiente Tabla 21, se encuentran los valores del índice de Luminancia L^* , a^* , b^* , C^* , h° , de los 8 tratamientos con las variables de estudio tiempo de escaldado, concentración sacarosa y potencia del secado por microondas.

Tabla 21

Valores del color L^ , a^* , b^* , C^* y h° en carambolas escaldadas y osmodeshidratadas a diferentes concentraciones y potencias de secado en microondas*

Tratamiento	Escaldado (s)	Concentración de sacarosa (°Brix)	Potencia (W)	L^*	a^*	b^*	C^*	h°
T1	10	50	480	44,15 $\pm 0,936$	33,67 $\pm 0,890$	35,44 $\pm 4,653$	50,11 $\pm 1,827$	46,90 $\pm 2,308$
T2	10	50	840	44,90 $\pm 1,755$	26,22 $\pm 8,048$	27,04 $\pm 3,352$	38,24 $\pm 3,343$	46,51 $\pm 12,360$
T3	10	60	480	55,62 $\pm 1,680$	10,85 $\pm 0,989$	48,72 $\pm 1,861$	49,92 $\pm 2,012$	77,46 $\pm 0,720$
T4	10	60	840	49,71 $\pm 1,093$	15,08 $\pm 2,429$	25,19 $\pm 10,388$	29,92 $\pm 7,998$	56,80 $\pm 12,924$
T5	30	50	480	46,57 $\pm 2,622$	17,09 $\pm 10,457$	23,18 $\pm 7,125$	30,57 $\pm 1,730$	53,47 $\pm 23,662$
T6	30	50	840	28,87 $\pm 2,299$	29,34 $\pm 1,560$	11,42 $\pm 0,576$	31,49 $\pm 1,579$	21,29 $\pm 0,933$
T7	30	60	480	46,97 $\pm 1,612$	25,37 $\pm 5,082$	25,63 $\pm 5,302$	33,22 $\pm 6,952$	45,26 $\pm 11,301$
T8	30	60	840	45,76 $\pm 1,378$	25,51 $\pm 5,058$	21,63 $\pm 4,363$	33,84 $\pm 1,733$	40,50 $\pm 10,850$

El valor de L^* es 71.05 ± 0.863 en la carambola fresca, después de haber recibido los tratamientos de escaldado, osmodeshidratación y secado en el microondas los valores de L^* oscilan de 28.87 a 55.62, condiciones similares reporta García-Valladares et al., (2022) una disminución de la L^* después del secado solar de carambolas.

También se observa en la Tabla 21 que los tratamientos que son sometidos a una osmodeshidratación en altas concentraciones son las que presentan mayor valor de L^* ,

preservando el color característico de la carambola (amarillo) evidenciando así mismo un alto valor en b^* y C^* tal como lo reporta Sanjinez-Argandoña et al., (2018) en mango osmodeshidratado.

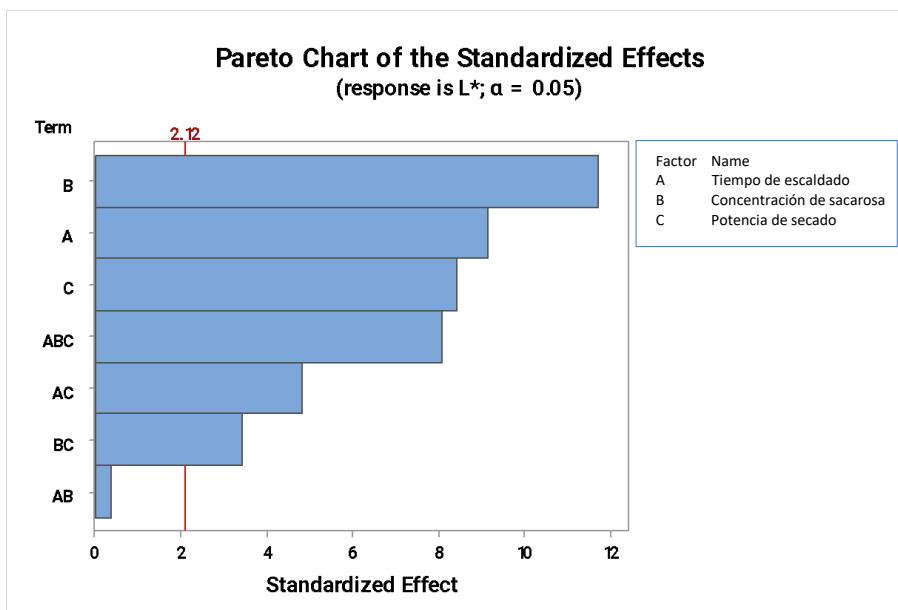
El valor de a^* es 2.44 ± 0.373 y b^* es 25.81 ± 5.061 en la carambola fresca, después de haber recibido los tratamientos de escaldado, osmodeshidratación y secado en microondas los valores de a^* oscilan entre 10.85 a 33.67 y los valores de b^* oscilan entre 11,42 a 48.72, los valores de a^* y b^* se incrementan porque se evidencia que la mezcla del rojo y amarillo resultó una tonalidad anaranjado que luego se tornó ligeramente marrón a medida que disminuía el valor de L^* García-Valladares et al., (2022).

Los valores de C^* es 25.92 ± 5.071 y $h^\circ 84.57 \pm 0.287$ en la carambola fresca, después de haber recibido los tratamientos de escaldado, osmodeshidratación y secado en microondas los valores de C^* oscilan entre 29.92 a 50.11 incrementándose la intensidad del color amarillo a anaranjado y los valores de h° oscilan entre 21.29 a 77.46, donde se incrementa la tonalidad del color haciéndose ligeramente marrón influenciada por el descenso de la luminosidad.

En la Figura 21 se puede evidenciar que el factor que tiene efecto significativamente en el valor de la Luminancia L^* es: el factor B (Concentración de sacarosa) y el factor A (Tiempo de escaldado).

Figura 21

Diagrama de Pareto de interacción de factores sobre el efecto del valor de L^ .*



Los factores que tienen efecto significativo en el valor de la luminancia L^* es la concentración de sacarosa ($p=0.000$) y el tiempo de escaldado ($p=0.000$).

Deliana et al., (2020) en su investigación en mango osmodeshidratado concluye que las muestras osmodeshidratadas a 30°Brix a cualquier temperatura tiene un brillo promedio bajo en comparación con las muestras osmodeshidratadas a 50°Brix que evidencia un valor más alto de L^* , porque el proceso de ósmosis tiene un efecto protector del color en general donde evita la reacción de pardeamiento en simultáneo la absorción de sacarosa.

Ortega-Quintana et al., (2019) menciona que los valores de L^* está influenciado por la potencia y tiempo de exposición durante el secado en microondas del puré de pimentón.

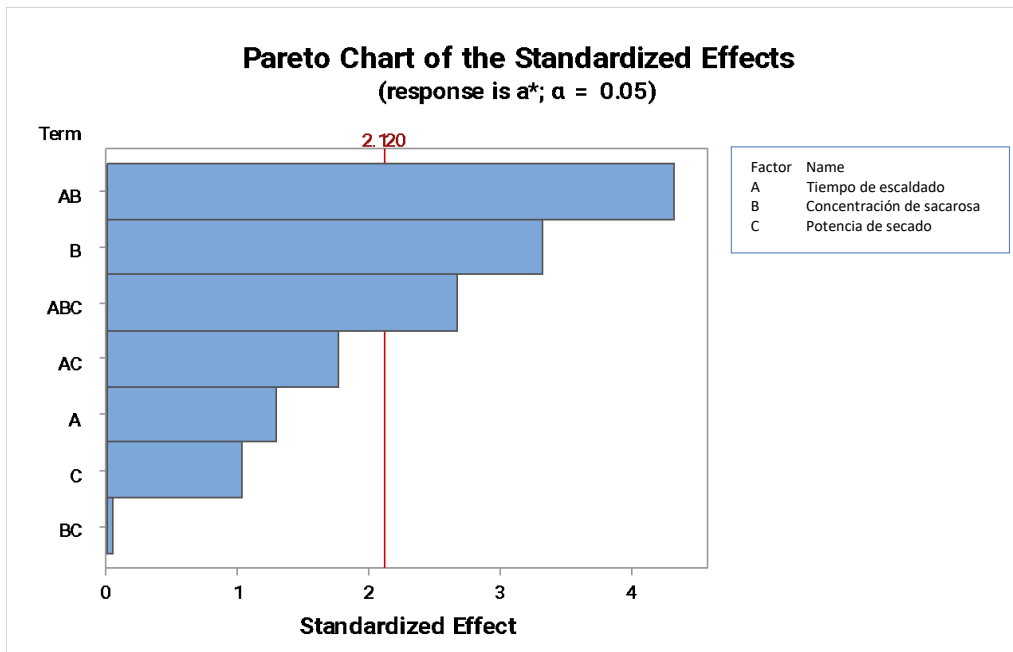
Zielinska et al., (2018) menciona que los valores más altos de L^* se observaron en muestras de arándanos rojos que son sometidas a pretratamiento con altas potencias de microondas.

En una investigación en chips de yuca se evidencia que el valor de L^* no tiene efecto con la potencia de secado del microondas (García-Mogollón et al., 2016).

En la Figura 22 se puede evidenciar que la interacción de los factores AB (Tiempo de escaldado y concentración de sacarosa).y el factor B (Concentración de sacarosa) tiene efecto significativamente en el valor de a^* .

Figura 22

Diagrama de Pareto de interacción de factores sobre el efecto del valor de a^* .



El factor que tienen efecto en el valor de a^* es la concentración de sacarosa ($p=0.004$) así mismo la interacción de los factores tiempo de escaldado y la concentración de sacarosa ($p=0.001$).

El valor a^* muestra el nivel de enrojecimiento de cada uno de los tratamientos, evidenciando los cambios químicos que sucede por la degradación de sus pigmentos (carotenoides), reacción de maillard y la oxidación del ácido ascórbico; después de ser tratados térmicamente (Lopes et al., 2024) (Deliana et al., 2020).

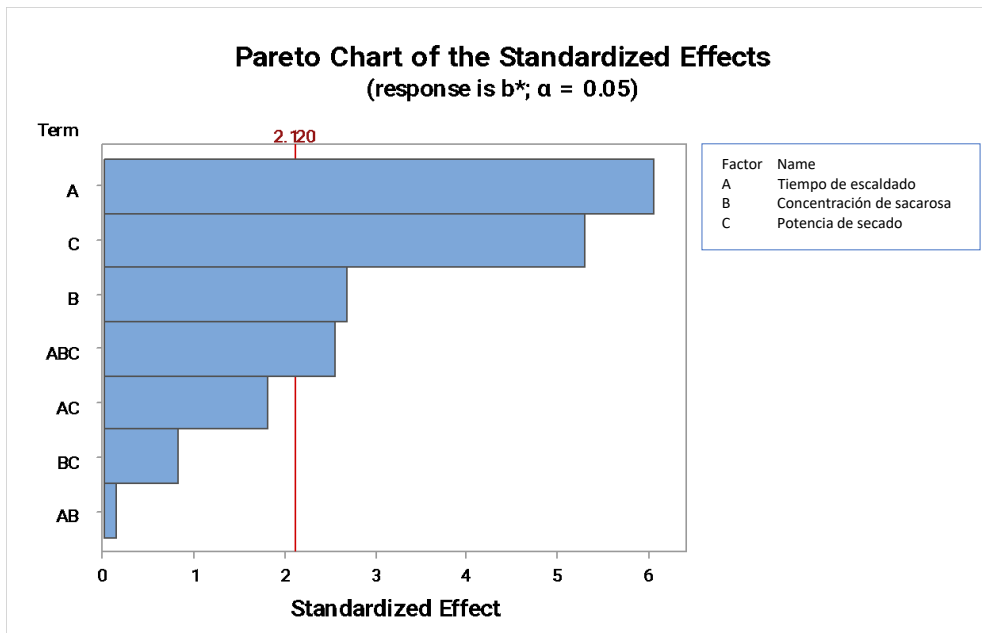
Sanjinez-Argandoña et al., (2018) menciona que los valores a^* de muestras de mango que son sometidas a osmodeshidratación son más altos en comparación de la fruta fresca, debido a una mayor concentración de pigmentos propios del color de la fruta.

Ortega-Quintana et al., (2019) menciona que los valores de a^* está influenciado por la potencia y tiempo de exposición durante el secado en microondas del puré de pimentón. (Zielinska et al., 2018) menciona que los valores de a^* de muestras de arándanos rojos sometidos a secado por microondas al vacío y osmo-microondas al vacío obtuvieron valores altos evidenciándose una coloración roja como los arándanos rojos frescos.

En la Figura 23 se puede evidenciar que el factor que tiene efecto significativamente en el valor de b^* es: el factor A (Tiempo de escaldado)

Figura 23

Diagrama de Pareto de interacción de factores sobre el efecto del valor de b^* .



Los factores que sí tienen efecto en el valor de b^* es el tiempo de escaldado ($p=0.000$). Los valores de b^* indican una tonalidad amarilla, significando un parámetro importante en la fruta de

la carambola debido a su pigmentación. Estos tratamientos T5 ,T6, T7, Y T8 al ser sometidos a diferentes tiempos de escaldado y soluciones de sacarosa han evidenciado mayor degradación del pigmento amarillo hacia una tonalidad anaranjada, propio de las reacción de Maillard que implica la reacción entre aminoácidos libres (como la lisina y la arginina) y azúcares reductores (como la glucosa y la fructosa) en presencia de calor.

Deliana et al., (2020) en su investigación en mango osmodeshidratado concluye que las muestras osmodeshidratadas a 30°Brix (30°C, 40°C, 50°C) y 50°Brix (30°C, 40°C, 50°C) no muestran significancia pero si una ligera disminución del valor de b* en los tratamientos osmodeshidratados a 40°C, lo que provocó cambios de color parduzco relacionado con la reacción de Maillard.

Según Fabiana Meijon Fadul (2019) los valores de b* están influenciados por la potencia y tiempo de exposición de las carambolas escaldadas y osmodeshidratadas durante el secado en el microondas.

Hermosilla Vera & Schmalko, (2019) reporta que la yerba mate deshidratada por microondas tiene efecto significativo en los valores b* en comparación con el secado convectivo presentando una coloración marrón más clara.

Fabiana Meijon Fadul, (2019) menciona que los valores de b* está influenciado por la potencia y tiempo de exposición durante el secado en microondas del puré de pimentón.

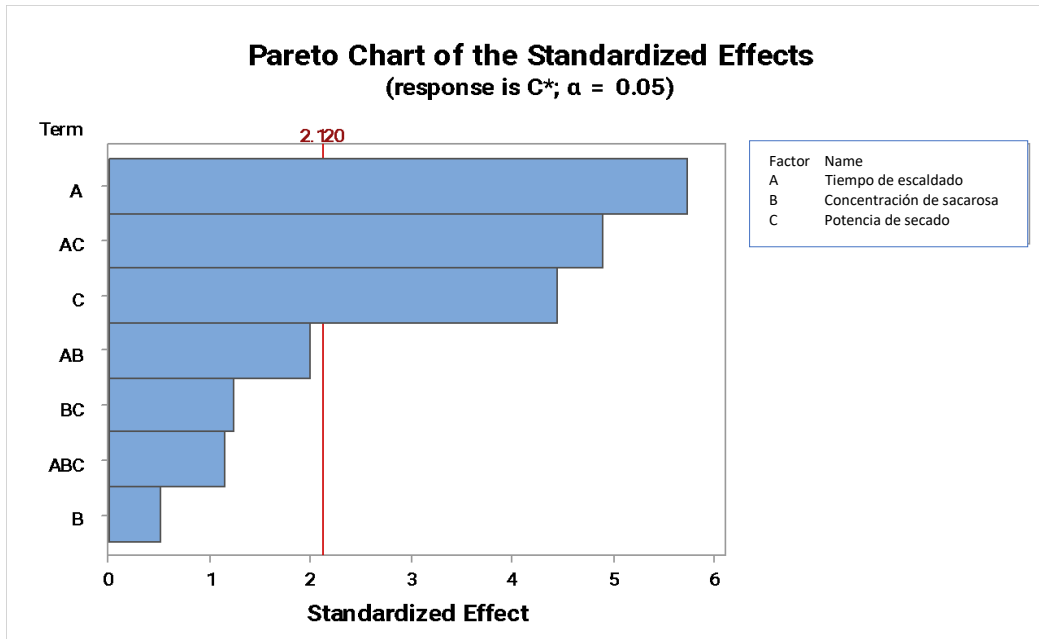
Zielinska et al., (2018) menciona que el mayor aumento en los valores de b* se observaron en muestras de arándanos rojos que son sometidas a pretratamiento con vacío de microondas y a una mayor potencia.

Según Duque et al. (2011) el color no tiene diferencia en uchuvas y moras enteras secadas en microondas, pero si en moras secadas en mitades esto se debe al área de exposición de la fruta y la concentración de °Brix.

En la Figura 24 se puede evidenciar que el factor que influye significativamente en el valor de C* es: el factor A (Tiempo de escaldado).

Figura 24

Diagrama de Pareto de interacción de factores sobre el efecto del valor de C.*



Los factores que sí tienen efecto en el valor de C* es el tiempo de escaldado ($p=0.000$) así mismo la interacción de los 2 factores (tiempo de escaldado, y potencia de secado) tienen efecto significativo ($p=0.000$) en el valor de C*.

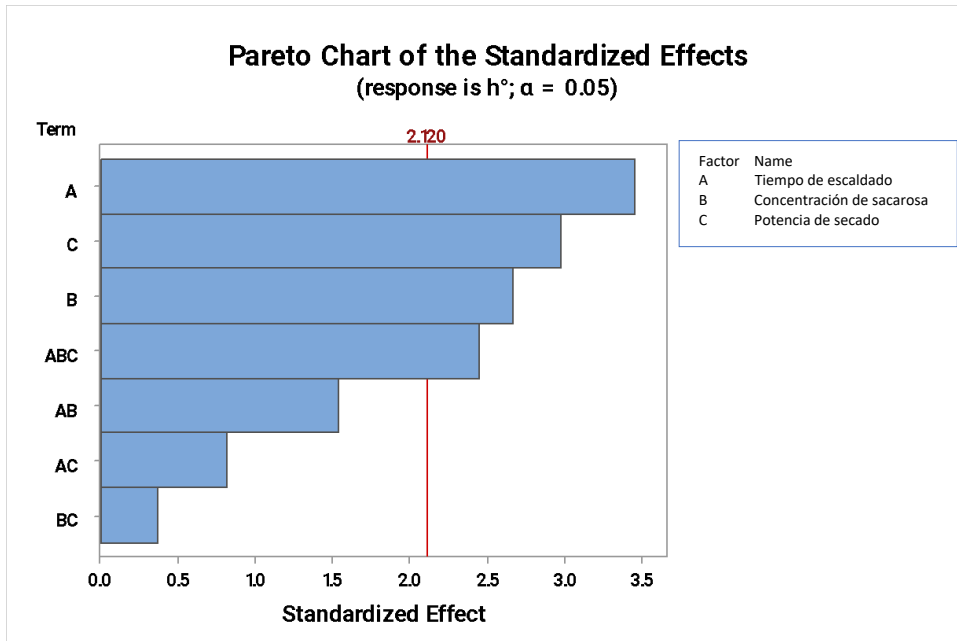
Dhara et al., (2023) reporta que los cambios de color durante el proceso de secado en microondas ocasiona un aumento de oscuridad debido a la eliminación de agua, mayor concentración de sólidos, degradación de pigmentos y formación de productos de la reacción de Maillard, los valores de C* en carambola fresca es 32,76 después de ser sometidos a diferentes potencias durante el secado los valores de C* desciende a 19.39, 11.44 y 9.53 cuando se incrementa la potencia.

Morales Cruz et al., (2019) en su estudio logró demostrar que el color del bagazo de marañón rojo no se pierde durante el secado con diferentes potencias en el microondas.

En la Figura 25 se puede evidenciar que el factor que influye significativamente en el valor de h° es: el factor A (Tiempo de escaldado) y la interacción de los factores ABC (Tiempo de escaldado, concentración de sacarosa y potencia de secado).

Figura 25

Diagrama de Pareto de interacción de factores sobre el efecto del valor de h° .



Los factores que sí tienen efecto en el valor de h° es el tiempo de escaldado ($p=0.003$), concentración de sacarosa ($p=0.017$) así mismo la interacción de los 3 factores (tiempo de escaldado, concentración de sacarosa y potencia de secado) tienen efecto significativo ($p=0.026$) en el valor de h° .

Dhara et al., (2023) reporta que los valores de h° en carambola fresca es 101.20 después de ser sometidos a diferentes potencias durante el secado los valores de h° descienden a 65.67, 53.46 y 41.44 cuando se incrementa la potencia.

19.7. Resultados de la actividad de agua y su capacidad de rehidratación en la carambola secada y osmodeshidratada a diferentes concentraciones.

En la Tabla 22 se muestran los valores de %H, Aw y CR en las carambolas sometidas a tiempos de secado de 10 y 30 segundos, diferentes concentraciones de sacarosa 50 y 60°Brix y diferentes potencias de secado 480 y 840 W.

Tabla 22

Valores de %H, Aw y CR en carambolas escaldadas y osmodeshidratadas a diferentes concentraciones y potencias de secado en microondas.

Tratamiento	Escaldado (s)	Concentración de sacarosa (°Brix)	Potencia (W)	%H	Aw	CR
T1	10	50	480	8,67±1,161	0,5871 ± 0,012	216,617 ± 13,431
T2	10	50	840	7,61±1,250	0,5659 ± 0,011	200,737 ± 69,442
T3	10	60	480	15,44±1,971	0,7176 ± 0,008	250,176 ± 40,567
T4	10	60	840	15,08±0,921	0,6939 ± 0,020	179,568 ± 14,644
T5	30	50	480	12,60±1,321	0,6361 ± 0,004	211,520 ± 20,494
T6	30	50	840	12,43±0,602	0,5434 ± 0,036	185,562 ± 10,389
T7	30	60	480	19,61±1,331	0,6875±0,073	182,300 ± 8,403
T8	30	60	840	14,41±1,511	0,5605±0,040	181,550 ± 4,605

El %Humedad en la carambola fresca es 84.97±1.141, después de haber recibido los tratamientos de escaldado, osmodeshidratación y secado en microondas el %Humedad oscilan entre 7.61 a 19.61, los tratamientos que perdieron agua en un menor tiempo son aquellos donde se les aplicó mayor potencia y los tratamiento con altas concentración de sacarosa presentan mayor %Humedad.

La Aw en la carambola fresca es de 0.9675±0.004 después de haber recibido los tratamientos de escaldado, osmodeshidratación y secado en microondas la Aw oscila entre 0.5434 a 0.7176, un valor de Aw inferior a 0.6 son microbiológicamente estables por la baja disponibilidad

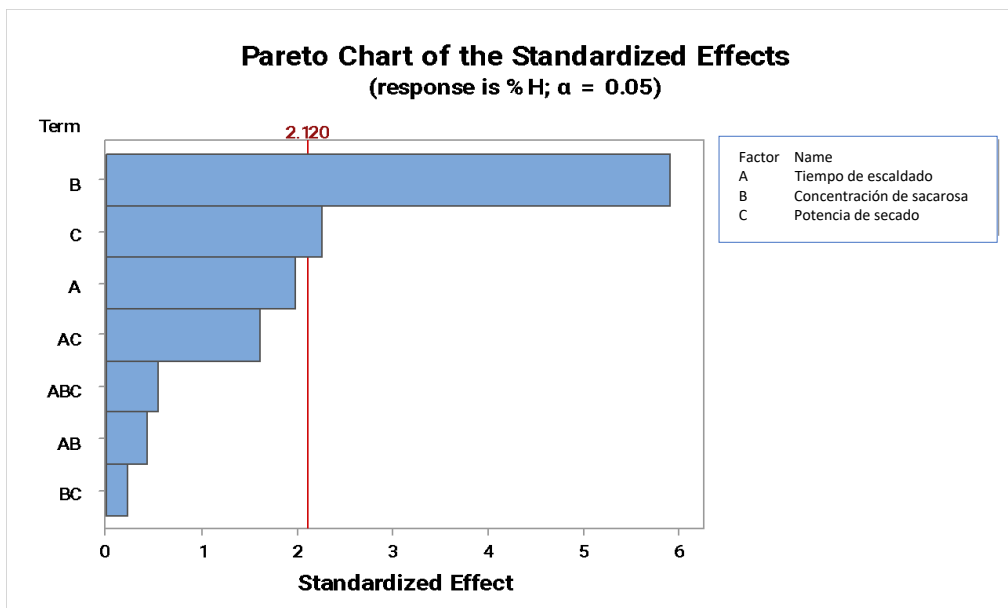
de agua (García-Valladares et al., 2022). Los valores de la Aw en este trabajo de investigación son mayores a lo descrito por García-Valladares et al., (2022) cuando deshidrató carambolas mediante secado solar reporta valores de 0.310 y 0.414 esto se debe a que las carambolas no son osmodeshidratadas, proceso que evita una pérdida excesiva del contenido de agua.

Los valores hallados en la CR oscilan de 179.568 a 250.176, los tratamientos que recibieron menor potencia son aquellos que evidencian una mayor capacidad de rehidratación, esto se debe a que todo proceso térmico destruye el tejido vegetal para que sea capaz de absorber agua, proceso que se refuerza gracias a que las muestras son tratadas por la deshidratación osmótica.

En la Figura 26 se puede evidenciar que el factor que influye significativamente en el valor del %H es la concentración de sacarosa ($p=0.003$).

Figura 26

Diagrama de Pareto de interacción de factores sobre el efecto del valor de %H.



Deliana et al., (2020) en su investigación en mango osmodeshidratado concluye que las muestras osmodeshidratadas a mayor concentración de sacarosa el contenido de agua es menor, evidenciando una disminución mayor del contenido de agua durante la primera; la concentración de sacarosa provoca deshidratación por ósmosis, el agua de la muestra es atraída por la solución osmótica y la sacarosa de la solución es absorbida por la muestra.

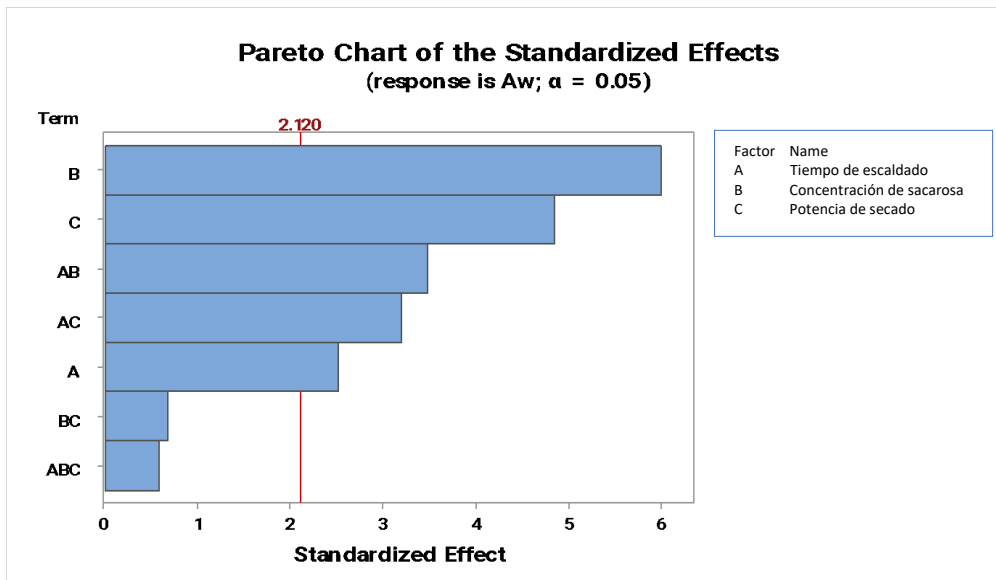
Dhara et al., (2023) menciona que a mayor potencia de secado en el microondas se genera un aumento de la presión de vapor en el interior de las carambolas ocasionando una hinchazón y división de las células lo que acelera el proceso de eliminación de la humedad.

Sin embargo en esta investigación los tratamientos son sometidos a los pretratamientos de escaldado y osmodeshidratación proceso que reduce la pérdida excesiva del contenido de agua.

En la Figura 27 se puede evidenciar que el factor que incluye significativamente en el valor de la A_w es la concentración de sacarosa ($p=0.000$).

Figura 27

Diagrama de Pareto de interacción de factores sobre el efecto del valor de A_w .



Deliana et al., (2020) en su investigación en mango osmodeshidratado concluye que las muestras osmodeshidratadas a mayor concentración de sacarosa la A_w es menor, evidenciándose que el pretratamiento del proceso de osmodeshidratación produce un fuerte efecto de bloqueo en la migración y evaporación de agua durante el secado.

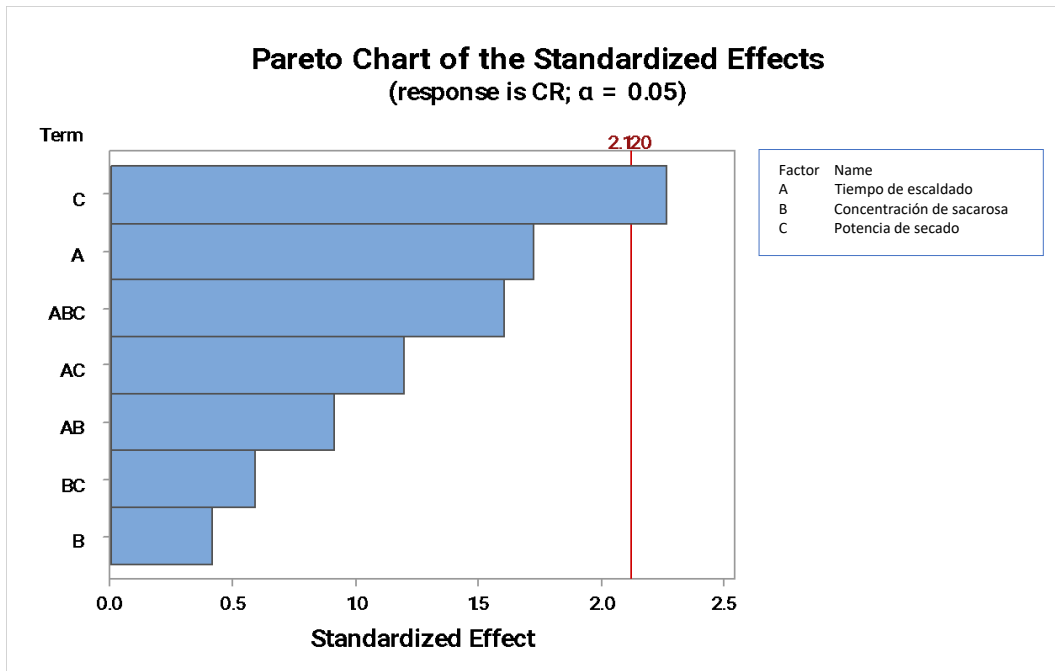
Wais, (2011) en su trabajo reporta datos de A_w menores a 0.9 demostrando que a mayor tiempo de osmodeshidratación y concentración de solución osmótica mayor es la cantidad de agua removida de las frutas.

Con la evaporación del agua durante el proceso de secado los tratamientos reducen peso, humedad y A_w , siendo un factor importante la osmodeshidratación que mantiene que el sistema se mantenga en equilibrio evitando la pérdida de agua disponible mejorando la conservación de la fruta que evita el desarrollo de microorganismos y reacciones enzimáticas que deterioran los alimentos deshidratados (Arias et al., 2017).

En la Figura 28 se puede evidenciar que el factor C (Potencia de secado) influyen de manera significativa en los valores de la CR.

Figura 28

Diagrama de Pareto de interacción de factores sobre el efecto del valor de Capacidad de rehidratación CR



Según el análisis de varianza el factor que afectan el valor de la CR es el factor C Potencia de secado ($p = 0,038$), el secado ocasiona cambios en la fruta como disminución del volumen por la pérdida de agua y el incremento de porosidad porque se van formando huecos en la parte superficial, mientras que la parte interna de la fruta tiene pocas rupturas dando una difusión baja por que el agua está ligada por puentes de hidrógeno (García-Mogollón et al., 2016).

Según Muñoz et al., (2021) en su investigación concluye que las zanahorias que son deshidratadas con el microondas muestran una relación de rehidratación más elevada, debido a que el secado en microondas favorece a la formación de alimentos más porosos aumentando la capacidad de rehidratación.

Según García-Mogollón et al., (2016). la deshidratación a una potencia de 560W ocasiona mayor encogimiento por que la pérdida de agua es más rápida en la muestra, ocasionando una

estructura más rígida con espacios intercelulares menos definidos que restringen la difusión del agua.

Hermosilla Vera & Schmalko, (2019) reporta que la yerba mate deshidratada por microondas presenta una mayor velocidad de rehidratación en comparación con el secado convectivo. Ramiro Arballo, (2013) reporta que la mayor velocidad de deshidratación fue alcanzada cuando fueron pretratados con solución de sacarosa de 40 y 60°Brix.

Alberbi Valle, (2023) concluye que la capacidad de rehidratación (CR) es influenciada con el aumento de la potencia durante el secado en microondas y la reducción de la masa de la muestra de colas de langostino ($p < 0.05$).

Según Moreno et al., (2017) los menores valores de CR ponen de manifiesto una retracción del producto por calor severo y/o secado prolongado, resultando en cambios fisicoquímicos irreversibles.

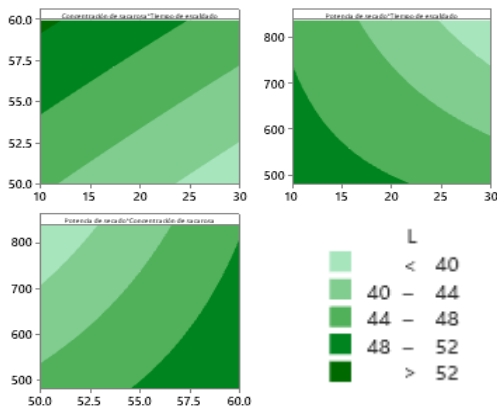
La deshidratación por microondas reduce el tiempo de la operación y aunque es una tecnología de calentamiento, su mecanismo implica un calentamiento desde el centro del producto hacia la superficie modificando los canales de salida del vapor y al final el efecto sobre la estructura de los chips confirmando que los procesos térmicos rompen la célula reduciendo su capacidad de rehidratación (Melquíades et al., 2009; Doymaz e Ismail, 2013; Zura et al., 2013a).

19.8. Optimización del proceso de secado de las laminas de carambola mediante la evaluación y ajuste de los factores (tiempo de escaldado, concentración de sacarosa y potencia de secado).

En la Figura 29 se realizó la evaluación de la interacción de las variables mediante el análisis de superficie respuesta y gráficas de contorno para el valor de la L* en las carambolas osmodeshidratadas, según el análisis de varianza el tiempo de escaldado y la concentración de sacarosa tienen efecto en el valor de la L*.

Figura 29

Curvas de contorno para el valor de L de carambolas osmodeshidratadas*



En la Tabla 23, se muestra la optimización de las variables de tiempo de escaldado y concentración de sacarosa para la variable respuesta de la L*, permitiendo una maximización del valor de L* en el tratamiento 3 con un 55.62.

Tabla 23

Optimización del valor de la L para las variables de estudio*

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Tiempo de escaldado	10	30	10
Concentración de sacarosa	50	60	60
Potencia de secado	480	840	480

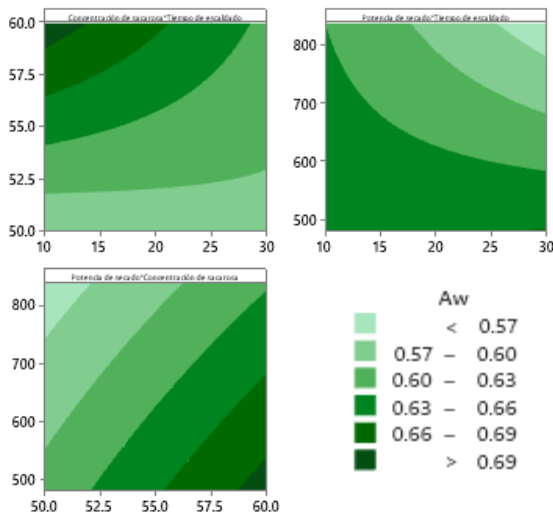
El modelo matemático que mayor ajuste evidenció fue el modelo lineal dando como resultado un R² de 96.31% y R² ajust de 93.94% con la siguiente ecuación:

$$L = -177.1 + 11.84 T + 4.134 C + 0.2811 P - 0.2098 T*C - 0.01864 T*P - 0.005068 C*P + 0.000322 T*C*P$$

En la Figura 30 se realizó la evaluación de la interacción de las variables mediante el análisis de superficie respuesta y gráficas de contorno para el valor de la A_w en las carambolas osmodeshidratadas, según el análisis de varianza la concentración de sacarosa y la potencia de secado tienen efecto en el valor de la A_w .

Figura 30

Curvas de contorno para el valor de la A_w de carambolas osmodeshidratadas



En la tabla 24, se muestra la optimización de las variables de concentración de sacarosa y potencia de secado para la variable respuesta de la A_w , permitiendo una minimización del valor de A_w en el tratamiento 6 con un 0.5434.

Tabla 24

Optimización del valor de A_w para las variables de estudio

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Tiempo de escaldado	10	30	30
Concentración de sacarosa	50	60	50
Potencia de secado	480	840	840

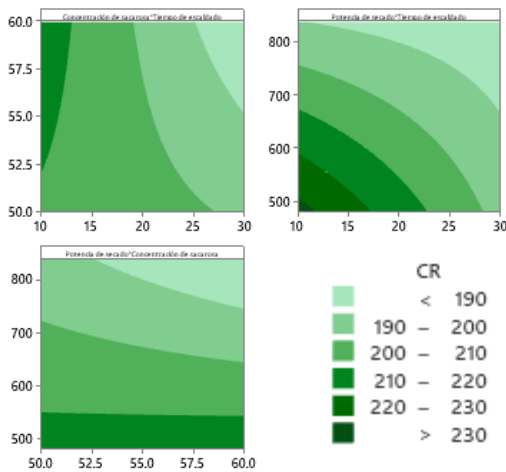
El modelo matemático que mayor ajuste evidenció fue el modelo lineal dando como resultado un R^2 de 87.36% y R^2 ajust de 79.23% con la siguiente ecuación:

$$A_w = -0.216 + 0.0163 T + 0.0152 C - 0.000148 P - 0.000182 T * C + 0.000012 T * P + 0.000004 C * P - 0.000 T * C * P$$

En la Figura 31 se realizó la evaluación de la interacción de las variables mediante el análisis de superficie respuesta y gráficas de contorno para el valor de la CR en las carambolas osmodeshidratadas, según el análisis de varianza la potencia de secado tiene efecto en el valor de la CR.

Figura 31

Curvas de contorno para el valor de la CR de carambolas osmodeshidratadas



En la tabla 25, se muestra la optimización de las variables de potencia de secado y concentración de sacarosa para la variable respuesta de la CR, permitiendo una maximización del valor de la CR en el tratamiento 3 con un 250,176.

Tabla 25

Optimización del valor de CR para las variables de estudio

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Tiempo de escaldado	10	30	10
Concentración de sacarosa	50	60	60
Potencia de secado	480	800	480

El modelo matemático que mayor ajuste evidenció fue el modelo lineal dando como resultado un R² de 56.27% y R² ajust de 28.15% con la siguiente ecuación:

$$CR = -722 + 42.8 T + 19.1 C + 1.285 P - 0.847 T * C - 0.0569 T * P - 0.0263 C * P + 0.001110 T * C * P$$

XX. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

20.1. Conclusiones

La carambola fresca contiene un % Humedad de 84.97, A_w de 0.9675, °Brix de 7.01, valor de L^* de 71.05, valor de a^* de 2.44, valor de b^* de 25.81, valor de C^* de 25.92 y valor de h° de 84.57.

Las carambolas que son escaldadas a 10 segundos presentan una menor actividad enzimática y alto % Inhibición de la PPO.

En valor de L^* es mayor en carambolas con concentración de sacarosa a 60°Brix. El valor de a^* y b^* se incrementan intensificando la coloración amarilla a un color ligeramente anaranjado. El %H y A_w se reducen a una alta concentración de azúcar.

Los tratamientos que son sometidos a un secado de 840 W y altas concentraciones de sacarosa reportan alto coeficiente de difusión.

Se encontró que los modelos logarítmico, Wang and Sing y Peleg reportan el valor más alto de R^2 y el valor más bajo de SSE.

Una mayor concentración de sacarosa tiene efecto significativo en el valor de la L^* con valores de a^* y b^* que se incrementan por que se evidencia una tonalidad a anaranjado, confirmando así los valores de C^* y h° .

Una mayor concentración de sacarosa y mayor potencia de secado tienen efecto significativo en los valores de A_w . El factor de potencia de secado tiene efecto significativo en los valores de la capacidad de rehidratación.

Se logró optimizar el tiempo de escaldado, concentración de sacarosa y potencia del microondas ajustando a un modelo lineal que permite identificar la combinación óptima de los valores para maximar o minimizar las variables dependientes de L^* , A_w y CR.

20.2. Recomendaciones

Se recomienda determinar la pérdida de color, sabor, textura y compuestos bioactivos que pueden sufrir las carambolas durante el proceso de escaldado, osmodeshidratación y secado en el microondas en relación con el contenido de polifenoloxidasas.

Es necesario realizar la medición del color durante todo el proceso de escaldado, osmodeshidratación y secado en el microondas.

Se recomienda utilizar otros modelos matemáticos para poder optimizar la cinética de secado de las carambolas secadas a diferentes potencias en el microondas.

Se debe conocer las propiedades microestructurales que sufre la carambola fresca después de haber sometido a pretratamientos de escaldado y osmodeshidratación como el secado en microondas y su relación con los valores de la actividad de agua y su capacidad de rehidratación.

Para mejorar la optimización de las variables se recomienda utilizar otros diseños estadísticos como superficie de respuesta (RSM), diseño de optimización de Taguchi, etc que se ajuste a la naturaleza de los datos y el problema planteado.

Es necesario determinar las propiedades dieléctricas durante todo el proceso de escaldado, osmodeshidratación y secado en el microondas.

Se debe evaluar como el escaldado, osmodeshidratado y secado en microondas tiene efecto en la vida útil de las láminas de carambola.

XXI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abraão, A. S., Lemos, A. M., Vilela, A., Sousa, J. M., & Nunes, F. M. (2013). Influence of osmotic dehydration process parameters on the quality of candied pumpkins. *Food and Bioproducts Processing*, 91(4), 481–494. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2013.04.006>
- Ajala, A. S., & Aboiye, A. O. (2012). Drying Characteristics and Mathematical Modelling of Cassava Chips. In Online) (Vol. 4, Issue 1). www.iiste.org
- Alberbi Valle, E. G. (2023). Optimización del proceso de secado con radiación microondas de langostino (*Litopenaeus vannamei*) aplicando el método de superficie respuesta. Universidad Nacional del Callao.

- Albujar, E. (2019). Anuario Estadístico Producción Agrícola 2018.
- Arias, L., Perea, Y., & Zapata, J. E. (2017). Cinética de la Transferencia de Masa en la Deshidratación Osmótica de Mango (*Mangifera indica* L.) var. Tommy Atkins en Función de la Temperatura. *Informacion Tecnologica*, 28(3), 47–58. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642017000300006>
- Arrazola-Paternina, G., Alvis-Bermúdez, A., & García-Mogollon, C. (2016). Efecto del tratamiento de escaldado sobre la actividad enzimática de la polifenoloxidasas en dos variedades de batata (*Ipomoea batatas* Lam.). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 10(1). <https://doi.org/10.17584/rcch.2016v10i1.5125>
- Berk, Z. (2000). *Food process engineering and technology* (Ed. Academic Press).
- Buratti, S., Cappa, C., Benedetti, S., & Giovanelli, G. (2020). Influence of cooking conditions on nutritional properties and sensory characteristics interpreted by e-senses: Case-study on selected vegetables. *Foods*, 9(5). <https://doi.org/10.3390/foods9050607>
- Burga Muñoz, K. M. (2021). Estudio Comparativo de Dos Métodos de Inactivación de Polifenol Oxidasa en Rodajas de Yacón. Universidad Nacional Autónoma de Chota.
- Cañizares, A. E., Bonafine, O., & Vargas, A. (2012). Frutales no tradicionales Aprovechamiento agroindustrial del tamarindo estrella o carambola. *INIA Divulga*, 1–7.
- Casaubon-Garcín, P., Lamshing-Salinas, P., Isoard-Acosta, F., Casaubon Lemen-Meyer, S., Delgado-Franco, D., & Bertha Pérez-Lizaur, A. (2018). pH de los alimentos: ¿una herramienta para el manejo de los pacientes con reflujo gastroesofágico? *Revista Mexicana de Pediatría*, 85 N° 3, 89–94. www.medigraphic.com/rmp
- Chávez Reyes, Y., Morales Cruz, A., De la Cruz Guzmán, O. J., Carrillo Landeros, J. E., Rodríguez M., P. M., & Gómez Sánchez, J. A. (2019). Efecto de secado con microondas sobre los compuestos fenólicos de la cáscara de piña en la elaboración de un jugo de mango manila.

- Investigaciones Científicas y Agrotecnológicas Para La Seguridad Alimentaria, 1, 438–444.
<https://www.researchgate.net/publication/337756120>
- Chávez Reyes, Y., Morales Cruz, A., De la Cruz, O. J., Carrillo Landeros, J., Vélez Rodríguez, M., & Gómez Sánchez, J. (2019). Efecto de secado con microondas sobre los compuestos fenólicos de la cáscara de piña en la elaboración de un jugo de mango manila. *Investigaciones Científicas y Agrotecnológicas Para La Seguridad Alimentaria*, 1, 439–448.
- Chiralt, A., & Talens, P. (2005). Physical and chemical changes induced by osmotic dehydration in plant tissues. *Journal of Food Engineering*, 67(1–2), 167–177.
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.05.055>
- Delgado Medina, R., & Hurtado Guevara, G. (2019). Efecto del ácido cítrico y ascórbico para reducir la actividad de la polifenoloxidasa en pulpa de níspero (*Eriobotrya japónica*). Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- Deliana, Y., Wulandari, E., & Salam, I. M. (2020). Study the rate of drying and level of osmosis dehydration on physical properties of dried Mango Cengkir. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 443(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/443/1/012098>
- Dhara, J., Kumar Saha, S., Saha, M., & Chakraborty, R. (2023). Study on drying kinetics, antioxidant activity, total bioactive compounds, physicochemical properties and microstructural characteristics of dehydrated star fruits (*Averrhoa carambola*) by different drying methods. <https://doi.org/10.1039/d3fo00024a>
- Duque C., A. L., Villamizar V., R. H., & Giraldo P., G. A. (2011). Evaluación de las técnicas de secado de uchuva (*Physalis peruviana* L.) y mora (*Rubus glaucus*) con aire caliente y aire caliente –microondas. *Revista Tumbaga*, 6, 17–28.
- Fellows, P. J. (2009). *Food processing technology, principles and practice* (Woodhead Publishing.).

- Figueroa Sepúlveda, K., Castillo Robles, N. Z., & Martínez Girón, J. (2021). Aplicación de altas presiones y otras tecnologías en frutas como alternativa de tratamientos térmicos convencionales. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 19(2), 271–285. <https://doi.org/10.18684/bsaa.v19.n2.2021.1772>
- Garay Torres, E. L., García Saavedra, E., Leandro Laguna, C., Pari Quispe, D., Tavera Arévalo, Y. del C., & Mamani Flores, M. (2021). Deshidratación osmótica en frutos de carambola (*Averrhoa carambola*) en Pucallpa. *Revista de Investigación Universitaria*, 11, 630–643.
- García, S., & Mejía, G. (2004). Evolución de las propiedades físicas y bioquímicas durante la cinética de deshidratación osmótica del carambolo (*Averrhoa carambola* L.). Universidad del Quindío.
- García-Mogollón, C., Alvis-Bermúdez, A., & Romero-Barragán, P. (2016). Capacidad de Rehidratación y Cambio de Color de Yuca (*Manihot esculenta* crantz) Deshidratada en Microondas. *Informacion Tecnologica*, 27(1), 53–60. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642016000100007>
- García-Mogollon, C., Sierra-Bautista, M., & Miranda-Ramos, L. (2016). Modelado de la Cinética de Secado en Microondas de Ñame. *Informacion Tecnologica*, 27(1), 61–68. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642016000100008>
- García-Paternina, M., Alvis-Bermudez, A., & Garcia-Mogollon, C. (2015). Modelado de la cinética de secado de mango pretratadas con deshidratación osmótica y microondas. *Biotechnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 13(2), 22. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(13\)22-29](https://doi.org/10.18684/BSAA(13)22-29)
- García-Valladares, O., Cesar-Munguia, A. L., López-Vidaña, E. C., Castillo-Téllez, B., Ortiz-Sánchez, C. A., Lizama-Tzec, F. I., & Domínguez-Niño, A. (2022). Effect by using a

- modified solar dryer on physicochemical properties of carambola fruit (*Averrhoa carambola* L.). *Revista Mexicana de Ingeniera Quimica*, 21(1). <https://doi.org/10.24275/rmiq/Alim2650>
- González, D. V., Hernández, M. S., Herrera, A., Barrera, J. A., Martínez, O., & Paez, D. (2001). Desarrollo del fruto e índice de cosecha de la carambola (*Averrhoa carambola* L.) producida en el Piedemonte Amazónico Colombiano. *Agronomía Colombiana*, 18 (1-2), 7–13.
- Hermosilla Vera, J. O., & Schmalko, M. E. (2019). Encapsulación de antioxidantes del concentrado de Yerba Mate: Influencia de las condiciones de secado. *RECYT*, 32, 48–55.
- Japa Paqui, L. E. (2022). Efectos de los métodos de deshidratación de frutas sobre sus propiedades nutricionales y sensoriales. Universidad Técnica de Ambato.
- Kumar, C., Karim, A., Saha, S. C., & Joardder, U. (2012). Multiphysics modelling of convective drying of food materials. *Proceedings of the Global Engineering, Global Institute of Science and Technology*, 1–13. <https://www.researchgate.net/publication/235631719>
- Lakmal, K., Yasawardene, P., Jayarajah, U., & Seneviratne, S. L. (2021). Nutritional and medicinal properties of Star fruit (*Averrhoa carambola*): A review. In *Food Science and Nutrition* (Vol. 9, Issue 3, pp. 1810–1823). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2135>
- Lisintuña Toapanta, D. E. (2022). Análisis de los fundamentos y aplicaciones de las tecnologías no térmicas más utilizadas en frutas y vegetales. Universidad Técnica de Ambato.
- Lopes, F. J., Corrêa, J. L. G., Júnior, I. P., de Mello Júnior, R. E., Souza, A. U. de, Corona-Jiménez, E., & de Ângelis Pereira, M. C. (2024). Microwave-vacuum drying of pulsed vacuum osmotic dehydration-pretreated Yacon as an alternative for preserving fructo-oligosaccharides. *Ciencia e Agrotecnologia*, 48. <https://doi.org/10.1590/1413-7054202448015523>
- Luan, F., Peng, L., Lei, Z., Jia, X., Zou, J., Yang, Y., He, X., & Zeng, N. (2021). Traditional Uses, Phytochemical Constituents and Pharmacological Properties of *Averrhoa carambola* L.: A

- Review. In *Frontiers in Pharmacology* (Vol. 12). Frontiers Media S.A.
<https://doi.org/10.3389/fphar.2021.699899>
- Márquez Villacorta, L., Pretell Vásquez, C., & Minchón Medina, C. (2012). Efecto de la dosis de irradiación UV-C y tiempo de almacenamiento sobre las características fisicoquímicas, microbiológicas, y antioxidantes en rebanadas de carambola (*Averrhoa carambola* L.), variedad Golden Star mínimamente procesada. *Pueblo Cont.*, 23(2), 353–369.
- Morales Cruz, A., Higuera Ramírez, A., Rayo García, V., & Chávez Reyes, Y. (2019). Evaluación del efecto de secado con microondas en los compuestos bioactivos del bagazo de marañón. In *Revista Mexicana de Agroecosistemas* (Vol. 6, Issue 2).
- Moreira Vines, R. Y., Piguave Pérez, V. R., Mantuano Cusme, M. I., & Calderón Zamora, M. J. (2022). Propiedades antioxidantes y nutricionales de la fruta y hojas del árbol averrhoa carambola. *Revista Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores.*, Edición Especial, 1–18.
- Moreno, Á. H., Hernandez Maqueda, R., & Ballesteros, I. (2017). Secado industrial con energía microondas. In *Aplicaciones industriales del calentamiento con energía microondas* (pp. 0–301). <https://www.researchgate.net/publication/331652798>
- Muñoz León, L., & Gonzales Altamirano, G. (2014). Control de maduración de la carambola (*Averrhoa carambola* L.) mediante el uso de biofilm a partir de la resina del árbol de zapote (*Capparis scabrida* H.B.K). *Rev. Ingeniería: Ciencia, Tecnología e Innovación*, 1(2313–1926), 7–23.
- Muñoz, M. V, Kvapil, ;, María F, Iturriaga, ;, & Laura B. (2021). Mejora del secado convencional de zanahoria por aire caliente con pretratamiento de microondas. *Investigaciones En Facultades de Ingeniería Del NOA*, 7, 215–219.

- Narain, N., Bora, P. S., Holschuh, H. J., & Vasconcelos, M. A. D. S. (2001). Composición física y química (*Averrhoa carambola* L.) en tres estados de madurez. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 3(3), 144–148. <https://doi.org/10.1080/11358120109487721>
- Narváez Martínez, L. J., & Rutbell Jassill, L. M. (2017). Determinación del efecto del ultrasonido como pretratamiento del secado por microondas de la ahuyama (*Cucurbita maxima*). Universidad de Córdoba.
- Ninaquispe Zare, V. P. (2015). Optimización del secado del Tarwi (*Lupinus mutabilis*) por combinación microondas y aire caliente [Doctorado en Ciencias e Ingeniería]. Universidad Nacional de Trujillo.
- Oliveira Bardales, G. (2014). Capacidad antioxidante de *Averrhoa carambola* L. (Carambola) frente a sistemas generados de radicales libres. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Ordoñez-Santos, L. E., Hurtado Aguilar, P., Ríos Solarte, O. D., & Arias Jaramillo, M. E. (2014). Concentración de carotenoides totales en residuos de frutas tropicales. *Producción + Limpia*, 9(1), 91–98.
- Orsat, V., Changrue, V., & Raghavan, V. (2006). Microwave drying of fruits and vegetables. *Stewart Postharvest Review*, 6(1945–9656), 1–7. <https://doi.org/10.2212/spr.2006.6.4>
- Ortega-Quintana, F. A., Montes-Montes, E. J., Pérez-Sierra, O. A., & Vélez-Hernández, G. I. (2019). Effect of osmotic dehydration and temperature on color and fracture maximum force of yucca root slices in deep-fat frying. *Informacion Tecnologica*, 30(1), 311–320. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000100311>
- Pájaro-Escobar, H. A., Benedetti, J., & García-Zapateiro, L. A. (2018). Physicochemical and microbiological characterization of a fruit wine based on tamarindo (*Tamarindus indica* L.) and carambola (*Averrhoa carambola* L.). *Informacion Tecnologica*, 29(5), 123–130. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642018000500123>

- Pérez-Gálvez, R., Almécija, M. C., Espejo, F. J., Guadix, E. M., & Guadix, A. (2011). Bi-objective optimisation of the enzymatic hydrolysis of porcine blood protein. *Biochemical Engineering Journal*, 53(3), 305–310. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2010.12.004>
- Pomeranz, Y., & Meloan, C. E. (1995). *Food Analysis*. In *Food Analysis*. Springer US. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-6998-5>
- Pucuhuayla Cruz, E. R., & Valdivieso Tomas, M. N. (2018). Efecto del osmodeshidratado y secado por aire caliente sobre la capacidad antioxidante, B-carotenos, cinética y rehidratación en el liofilizado de carambola. Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Ramiro Arballo, J. (2013). Modelado y simulación de la deshidratación combinada osmótica-microondas de frutihortícolas [Doctor en Ingeniería]. Universidad Nacional de La Plata.
- Ruiz-López, I. I., Ruiz-Espinosa, H., Arellanes-Lozada, P., Bárcenas-Pozos, M. E., & García-Alvarado, M. A. (2012). Analytical model for variable moisture diffusivity estimation and drying simulation of shrinkable food products. *Journal of Food Engineering*, 108(3), 427–435. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.08.025>
- Salcedo Mendoza, J., Mercado B., J. L., Vanegas B., M., Fernández Q., A., & Vertel M., M. L. (2024). Cinética de secado de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) varietal CORPOICA M-tai en función de la temperatura y de la velocidad de aire.
- Sanjinez-Argandoña, E. J., Yahagi, L. Y., Costa, T. B., & Giunco, A. J. (2018). Mango dehydration: influence of osmotic pre-treatment and addition of calcium chloride. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 40(4). <https://doi.org/10.1590/0100-29452018419>
- Soares de Mendonça, K., Gomes Corrêa, J. L., Renato de Jesus Junqueira, J., & Umbelina de Souza, A. (2023). Two-stage power level to improve microwave vacuum drying of restructured peruvian carrot chips. *Ciencia e Agrotecnologia*, 47. <https://doi.org/10.1590/1413-7054202347010523>

- Szadzińska, J., Łechtańska, J., Pashminehazar, R., Kharaghani, A., & Tsotsas, E. (2019). Microwave- and ultrasound-assisted convective drying of raspberries: Drying kinetics and microstructural changes. *Drying Technology*, 37(1), 1–12. <https://doi.org/10.1080/07373937.2018.1433199>
- Tigeros, J. A., Parra Londoño, S., Martínez Girón, J., & Ordoñez Santos, L. E. (2021). Diferentes métodos de escaldado y su aplicación en frutas y verduras. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 8(1), 50–63. <https://doi.org/10.23850/24220582.3710>
- Torregroza-Espinosa, A. M., Montes-Montes, E. J., Ávila-Gómez, A. E., & Remolina-López, J. F. (2014). Kinetic modelling of drying of three varieties of yucca industrial. *DYNA*, 81(186)(0012–7353), 184–192.
- Torres, R., Montes, E. J., Pérez, O. A., & Andrade, R. D. (2013). Relación del color y del estado de madurez con las propiedades fisicoquímicas de frutas tropicales. *Informacion Tecnologica*, 24(3), 51–56. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642013000300007>
- Wais, N. (2011). Secado combinado de frutas: Deshidratación osmótica y microondas [Doctor en Ingeniería]. Universidad Nacional de La Plata.
- Wei, S. D., Chen, H., Yan, T., Lin, Y. M., & Zhou, H. C. (2014). Identification of antioxidant components and fatty acid profiles of the leaves and fruits from *Averrhoa carambola*. *LWT*, 55(023–6438), 278–285. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.08.013>
- Xiyan, P., Chao, D., Haiyang, Y., Xiaoyu, Z., Xiuyuan, Z., & Xiaoyu, W. (2019). Purification and characterization of polyphenol oxidase (PPO) from water yam (*Dioscorea alata*). *CYTA - Journal of Food*, 17(1947–6337), 676–684.
- Zambrano, M. L., & Rodríguez Alfredo Álvarez, D. B. (2007). Estudio Cinético y de Superficie de Respuesta para la Rehidratación de Zanahorias (*Daucus carota*) Liofilizadas Kinetic Study

and Surface Response Analysis on the Rehydration of Frozen-dried Carrot (*Daucus carota*).
In *Información Tecnológica* (Vol. 18, Issue 4).

Zarein, M., Samadi, S. H., & Ghobadian, B. (2015). Investigation of microwave dryer effect on energy efficiency during drying of apple slices. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 14(1), 41–47. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2013.06.002>

Zielinska, M., Zielinska, D., & Markowski, M. (2018). The Effect of Microwave-Vacuum Pretreatment on the Drying Kinetics, Color and the Content of Bioactive Compounds in Osmo-Microwave-Vacuum Dried Cranberries (*Vaccinium macrocarpon*). *Food and Bioprocess Technology*, 11(3), 585–602. <https://doi.org/10.1007/s11947-017-2034-9>

XXII. ANEXOS

22.1. Diagrama de Valores de color/espacios de color de L*a*b*

Figure 17. CIELAB color chart

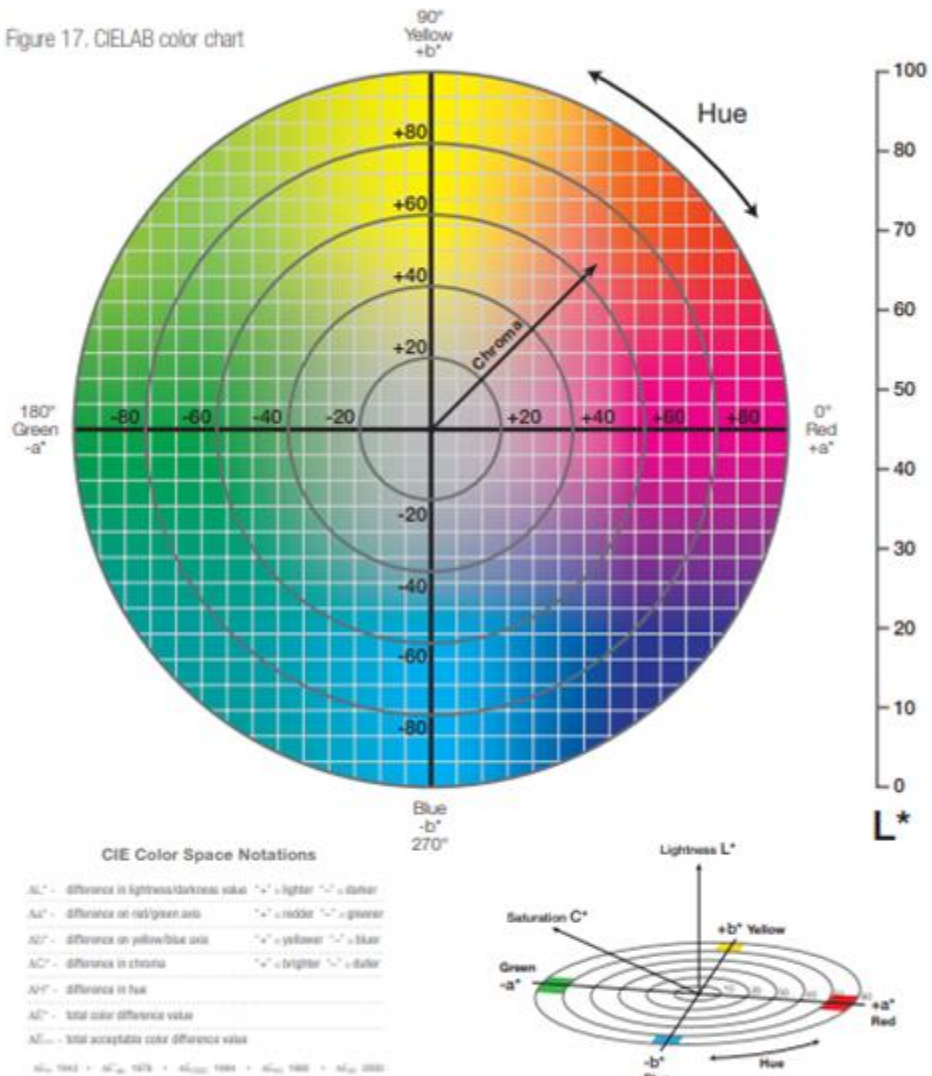


Figure 18. The L^* value is represented on the center axis. The a^* and b^* axes

22.2. Regresión factorial: Luminancia* vs. Tiempo de Escaldado; Concentración de sacarosa; Potencia de secado

Full Factorial Design

Factors: 3 Base Design: 3; 8
 Runs: 24 Replicates: 3

Blocks: 1 Center pts (total): 0

All terms are free from aliasing.

Factorial Regression: L versus Escaldado; Concentración de sacarosa; Secado

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	7	1205.92	172.274	55.94	0.000
Linear	3	897.30	299.100	97.13	0.000
Escaldado	1	257.48	257.481	83.61	0.000
Concentración de sacarosa	1	422.44	422.437	137.18	0.000
Secado	1	217.38	217.382	70.59	0.000
2-Way Interactions	3	107.53	35.844	11.64	0.000
Escaldado* Concentración de sacarosa	1	0.38	0.378	0.12	0.731
Escaldado*Secado	1	70.97	70.967	23.05	0.000
Concentración de sacarosa *Secado	1	36.19	36.187	11.75	0.003
3-Way Interactions	1	201.09	201.087	65.30	0.000
Escaldado* Concentración de sacarosa *Secado	1	201.09	201.087	65.30	0.000
Error	16	49.27	3.079		
Total	23	1255.19			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
1.75484	96.07%	94.36%	91.17%

Coded Coefficients

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	45.318	0.358	126.51	0.000		
Escaldado	-6.551	-3.275	0.358	-9.14	0.000	1.00
Concentración de sacarosa	8.391	4.195	0.358	11.71	0.000	1.00
Secado	-6.019	-3.010	0.358	-8.40	0.000	1.00
Escaldado* Concentración de sacarosa	0.251	0.125	0.358	0.35	0.731	1.00
Escaldado*Secado	-3.439	-1.720	0.358	-4.80	0.000	1.00
Concentración de sacarosa *Secado	2.456	1.228	0.358	3.43	0.003	1.00
Escaldado* Concentración de sacarosa *Secado	5.789	2.895	0.358	8.08	0.000	1.00

22.3. Factorial Regression: a* versus Tiempo de escaldado Concentración de sacarosa; Potencia

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	7	1264.45	180.636	6.13	0.001
Linear	3	407.41	135.804	4.61	0.017

Tiempo de escaldado	1	49.51	49.508	1.68	0.213
Concentración de sacarosa	1	326.42	326.418	11.08	0.004
Potencia	1	31.49	31.488	1.07	0.317
2-Way Interactions	3	644.80	214.935	7.30	0.003
Tiempo de escaldado* Concentración de sacarosa	1	553.44	553.440	18.79	0.001
Tiempo de escaldado*Potencia	1	91.30	91.299	3.10	0.097
Concentración de sacarosa *Potencia	1	0.07	0.065	0.00	0.963
3-Way Interactions	1	212.24	212.237	7.21	0.016
Tiempo de escaldado* Concentración de sacarosa *Potencia	1	212.24	212.237	7.21	0.016
Error	16	471.30	29.456		
Total	23	1735.76			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
5.42738	72.85%	60.97%	38.91%

Coded Coefficients

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	22.89	1.11	20.66	0.000	
Tiempo de escaldado	2.87	1.44	1.11	1.30	0.213
Concentración de sacarosa	-7.38	-3.69	1.11	-3.33	0.004
Potencia	2.29	1.15	1.11	1.03	0.317
Tiempo de escaldado* Concentración de sacarosa	9.60	4.80	1.11	4.33	0.001
Tiempo de escaldado*Potencia	3.90	1.95	1.11	1.76	0.097
Concentración de sacarosa *Potencia	-0.10	-0.05	1.11	-0.05	0.963
Tiempo de escaldado* Concentración de sacarosa *Potencia	-5.95	-2.97	1.11	-2.68	0.016

22.4. Factorial Regression: b* versus Tiempo de escaldado; Concentración de sacarosa; Potencia de secado

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	7	2501.67	357.38	11.79	0.000

Linear	3	2185.96	728.65	24.04	0.000
Tiempo de escaldado	1	1115.34	1115.34	36.80	0.000
Concentración de sacarosa	1	217.50	217.50	7.18	0.016
Potencia	1	853.11	853.11	28.15	0.000
2-Way Interactions	3	119.11	39.70	1.31	0.306
Tiempo de escaldado* Concentración de sacarosa	1	0.57	0.57	0.02	0.892
Tiempo de escaldado*Potencia	1	98.13	98.13	3.24	0.091
Concentración de sacarosa *Potencia	1	20.41	20.41	0.67	0.424
3-Way Interactions	1	196.60	196.60	6.49	0.022
Tiempo de escaldado* Concentración de sacarosa *Potencia	1	196.60	196.60	6.49	0.022
Error	16	484.97	30.31		
Total	23	2986.64			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
5.50552	83.76%	76.66%	63.46%

Coded Coefficients

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	27.28	1.12	24.28	0.000	
Tiempo de escaldado	-13.63	-6.82	1.12	-6.07	0.000
Concentración de sacarosa	6.02	3.01	1.12	2.68	0.016
Potencia	-11.92	-5.96	1.12	-5.31	0.000
Tiempo de escaldado* Concentración de sacarosa	0.31	0.15	1.12	0.14	0.892
Tiempo de escaldado*Potencia	4.04	2.02	1.12	1.80	0.091
Concentración de sacarosa *Potencia	-1.84	-0.92	1.12	-0.82	0.424
Tiempo de escaldado* Concentración de sacarosa *Potencia	5.72	2.86	1.12	2.55	0.022

22.5. Factorial Regression: C* versus Tiempo de escaldado; Concentración de sacarosa; Potencia

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	7	1458.73	208.390	11.96	0.000

Linear	3	921.95	307.318	17.64	0.000
Tiempo de escaldado	1	572.13	572.131	32.85	0.000
Concentración de sacarosa	1	4.63	4.629	0.27	0.613
Potencia	1	345.19	345.193	19.82	0.000
2-Way Interactions	3	513.84	171.281	9.83	0.001
Tiempo de escaldado* Concentración de sacarosa	1	68.55	68.546	3.94	0.065
Tiempo de escaldado*Potencia	1	418.67	418.669	24.04	0.000
Concentración de sacarosa *Potencia	1	26.63	26.628	1.53	0.234
3-Way Interactions	1	22.93	22.932	1.32	0.268
Tiempo de escaldado* Concentración de sacarosa *Potencia	1	22.93	22.932	1.32	0.268
Error	16	278.69	17.418		
Total	23	1737.42			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
4.17348	83.96%	76.94%	63.91%

Coded Coefficients

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	37.163	0.852	43.62	0.000	
Tiempo de escaldado	-9.765	-4.883	0.852	-5.73	0.000
Concentración de sacarosa	-0.878	-0.439	0.852	-0.52	0.613
Potencia	-7.585	-3.792	0.852	-4.45	0.000
Tiempo de escaldado* Concentración de sacarosa	3.380	1.690	0.852	1.98	0.065
Tiempo de escaldado*Potencia	8.353	4.177	0.852	4.90	0.000
Concentración de sacarosa *Potencia	-2.107	-1.053	0.852	-1.24	0.234
Tiempo de escaldado* Concentración de sacarosa *Potencia	1.955	0.978	0.852	1.15	0.268

Term	VIF
Constant	
Tiempo de escaldado	1.00
Concentración de sacarosa	1.00
Potencia	1.00
Tiempo de escaldado* Concentración de sacarosa	1.00
Tiempo de escaldado*Potencia	1.00
Concentración de sacarosa *Potencia	1.00
Tiempo de escaldado* Concentración de sacarosa *Potencia	1.00

22.6. Factorial Regression: h° versus Tiempo de escaldado; Concentración de sacarosa; Potencia

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	7	5261.57	751.65	5.31	0.003
Linear	3	3960.40	1320.13	9.33	0.001

Tiempo de escaldado	1	1691.42	1691.42	11.96	0.003
Concentración de sacarosa	1	1007.77	1007.77	7.12	0.017
Potencia	1	1261.21	1261.21	8.91	0.009
2-Way Interactions	3	447.94	149.31	1.06	0.395
Tiempo de escaldado*Concentración de sacarosa	1	334.06	334.06	2.36	0.144
Tiempo de escaldado*Potencia	1	94.72	94.72	0.67	0.425
Concentración de sacarosa*Potencia	1	19.15	19.15	0.14	0.718
3-Way Interactions	1	853.23	853.23	6.03	0.026
Tiempo de escaldado*Concentración de sacarosa*Potencia	1	853.23	853.23	6.03	0.026
Error	16	2263.72	141.48		
Total	23	7525.29			

Model Summary

S R-sq R-sq(adj) R-sq(pred)
11.8946 69.92% 56.76% 32.32%

Coded Coefficients

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	48.52	2.43	19.98	0.000	
Tiempo de escaldado	-16.79	-8.40	2.43	-3.46	0.003
Concentración de sacarosa	12.96	6.48	2.43	2.67	0.017
Potencia	-14.50	-7.25	2.43	-2.99	0.009
Tiempo de escaldado*Concentración de sacarosa	-7.46	-3.73	2.43	-1.54	0.144
Tiempo de escaldado*Potencia	-3.97	-1.99	2.43	-0.82	0.425
Concentración de sacarosa*Potencia	1.79	0.89	2.43	0.37	0.718
Tiempo de escaldado*Concentración de sacarosa*Potencia	11.93	5.96	2.43	2.46	0.026

Term	VIF
Constant	
Tiempo de escaldado	1.00
Concentración de sacarosa	1.00
Potencia	1.00
Tiempo de escaldado*Concentración de sacarosa	1.00
Tiempo de escaldado*Potencia	1.00
Concentración de sacarosa*Potencia	1.00
Tiempo de escaldado*Concentración de sacarosa*Potencia	1.00

22.7. Factorial Regression: %H versus Tiempo de escaldado; Concentración de sacarosa; Potencia

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	7	356.892	50.985	6.72	0.001
Linear	3	333.039	111.013	14.63	0.000
Tiempo de escaldado	1	29.771	29.771	3.92	0.065
Concentración de sacarosa	1	264.737	264.737	34.89	0.000

Potencia	1	38.532	38.532	5.08	0.039
2-Way Interactions	3	21.674	7.225	0.95	0.439
Tiempo de escaldado*Concentración de sacarosa	1	1.378	1.378	0.18	0.676
Tiempo de escaldado*Potencia	1	19.929	19.929	2.63	0.125
Concentración de sacarosa*Potencia	1	0.368	0.368	0.05	0.829
3-Way Interactions	1	2.178	2.178	0.29	0.599
Tiempo de escaldado*Concentración de sacarosa*Potencia	1	2.178	2.178	0.29	0.599
Error	16	121.387	7.587		
Total	23	478.279			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
2.75439	74.62%	63.52%	42.90%

Coded Coefficients

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	12.815	0.562	22.79	0.000	
Tiempo de escaldado	2.227	1.114	0.562	1.98	0.065
Concentración de sacarosa	6.642	3.321	0.562	5.91	0.000
Potencia	-2.534	-1.267	0.562	-2.25	0.039
Tiempo de escaldado*Concentración de sacarosa	-0.479	-0.240	0.562	-0.43	0.676
Tiempo de escaldado*Potencia	-1.822	-0.911	0.562	-1.62	0.125
Concentración de sacarosa*Potencia	-0.247	-0.124	0.562	-0.22	0.829
Tiempo de escaldado*Concentración de sacarosa*Potencia	-0.603	-0.301	0.562	-0.54	0.599

Term	VIF
Constant	
Tiempo de escaldado	1.00
Concentración de sacarosa	1.00
Potencia	1.00
Tiempo de escaldado*Concentración de sacarosa	1.00
Tiempo de escaldado*Potencia	1.00
Concentración de sacarosa*Potencia	1.00
Tiempo de escaldado*Concentración de sacarosa*Potencia	1.00

22.8. Factorial Regression: Aw versus Tiempo de escaldado; Concentración de sacarosa; Potencia

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	7	0.099261	0.014180	12.72	0.000
Linear	3	0.073388	0.024463	21.94	0.000
Tiempo de escaldado	1	0.007047	0.007047	6.32	0.023
Concentración de sacarosa	1	0.040102	0.040102	35.97	0.000
Potencia	1	0.026238	0.026238	23.53	0.000
2-Way Interactions	3	0.025491	0.008497	7.62	0.002

Tiempo de escaldado*Concentración de sacarosa	1	0.013535	0.013535	12.14	0.003
Tiempo de escaldado*Potencia	1	0.011447	0.011447	10.27	0.006
Concentración de sacarosa*Potencia	1	0.000508	0.000508	0.46	0.509
3-Way Interactions	1	0.000383	0.000383	0.34	0.566
Tiempo de escaldado*Concentración de sacarosa*Potencia	1	0.000383	0.000383	0.34	0.566
Error	16	0.017839	0.001115		
Total	23	0.117100			

Model Summary

S R-sq R-sq(adj) R-sq(pred)
0.0333908 84.77% 78.10% 65.72%

Coded Coefficients

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value
Constant	0.62401	0.00682	91.55	
Tiempo de escaldado	-0.03427	-0.01714	0.00682	-2.51
Concentración de sacarosa	0.08175	0.04088	0.00682	6.00
Potencia	-0.06613	-0.03306	0.00682	-4.85
Tiempo de escaldado*Concentración de sacarosa	-0.04750	-0.02375	0.00682	-3.48
Tiempo de escaldado*Potencia	-0.04368	-0.02184	0.00682	-3.20
Concentración de sacarosa*Potencia	-0.00920	-0.00460	0.00682	-0.68
Tiempo de escaldado*Concentración de sacarosa*Potencia	-0.00799	-0.00399	0.00682	-0.59

Term	P-Value	VIF
Constant	0.000	
Tiempo de escaldado	0.023	1.00
Concentración de sacarosa	0.000	1.00
Potencia	0.000	1.00
Tiempo de escaldado*Concentración de sacarosa	0.003	1.00
Tiempo de escaldado*Potencia	0.006	1.00
Concentración de sacarosa*Potencia	0.509	1.00
Tiempo de escaldado*Concentración de sacarosa*Potencia	0.566	1.00

22.9. Factorial Regression: CR versus Tiempo de escaldado; Concentración de sacarosa; Potencia

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	7	12595.5	1799.4	1.92	0.132
Linear	3	7752.0	2584.0	2.76	0.076
Tiempo de escaldado	1	2784.2	2784.2	2.98	0.104
Concentración de sacarosa	1	162.9	162.9	0.17	0.682
Potencia	1	4805.0	4805.0	5.14	0.038
2-Way Interactions	3	2447.3	815.8	0.87	0.476
Tiempo de escaldado*Concentración de sacarosa	1	780.5	780.5	0.83	0.375
Tiempo de escaldado*Potencia	1	1340.1	1340.1	1.43	0.249
Concentración de sacarosa*Potencia	1	326.8	326.8	0.35	0.563

3-Way Interactions	1	2396.1	2396.1	2.56	0.129
Tiempo de escaldado*Concentración de sacarosa*Potencia	1	2396.1	2396.1	2.56	0.129
Error	16	14965.0	935.3		
Total	23	27560.5			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
30.5829	45.70%	21.95%	0.00%

Coded Coefficients

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	201.00	6.24	32.20	0.000	
Tiempo de escaldado	-21.54	-10.77	6.24	-1.73	0.104
Concentración de sacarosa	-5.21	-2.61	6.24	-0.42	0.682
Potencia	-28.30	-14.15	6.24	-2.27	0.038
Tiempo de escaldado*Concentración de sacarosa	-11.41	-5.70	6.24	-0.91	0.375
Tiempo de escaldado*Potencia	14.94	7.47	6.24	1.20	0.249
Concentración de sacarosa*Potencia	-7.38	-3.69	6.24	-0.59	0.563
Tiempo de escaldado*Concentración de sacarosa*Potencia	19.98	9.99	6.24	1.60	0.129

Term	VIF
Constant	
Tiempo de escaldado	1.00
Concentración de sacarosa	1.00
Potencia	1.00
Tiempo de escaldado*Concentración de sacarosa	1.00
Tiempo de escaldado*Potencia	1.00
Concentración de sacarosa*Potencia	1.00
Tiempo de escaldado*Concentración de sacarosa*Potencia	1.00

22.10. Regresión factorial: Actividad enzimática vs. Tiempo de escaldado; Concentración de sacarosa

Coefficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T
Constante		0.02813	0.00213	13.19
Tiempo de escaldado	0.01125	0.00562	0.00213	2.64
Concentración de sacarosa	0.00225	0.00113	0.00213	0.53
Tiempo de escaldado*Concentración de sacarosa	-	-	0.00213	-0.88
	0.00375	0.00187		
Término	Valor p	FIV		
Constante	0.000			
Tiempo de escaldado	0.058	1.00		
Concentración de sacarosa	0.626	1.00		

Tiempo de escaldado*Concentración de sacarosa 0.429 1.00

Resumen del modelo

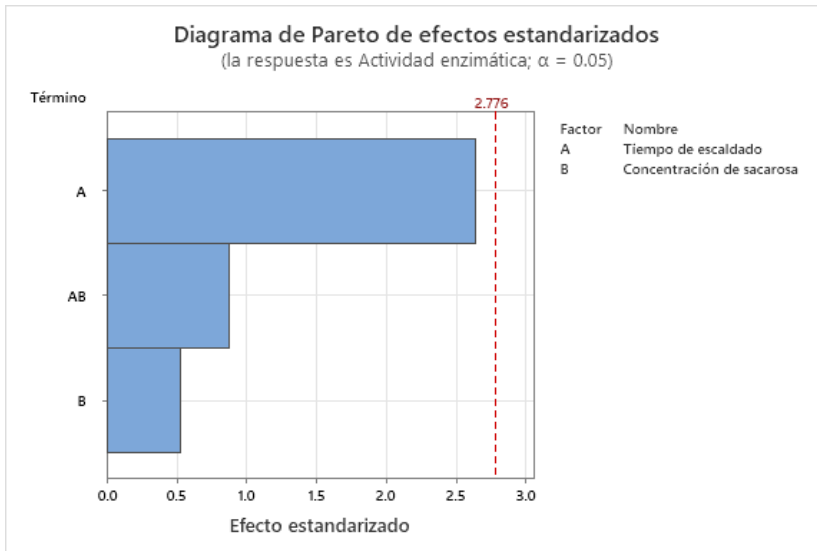
S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
0.0060312	66.70%	41.72%	0.00%

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	3	0.000291	0.000097	2.67	0.183
Lineal	2	0.000263	0.000132	3.62	0.127
Tiempo de escaldado	1	0.000253	0.000253	6.96	0.058
Concentración de sacarosa	1	0.000010	0.000010	0.28	0.626
Interacciones de 2 términos	1	0.000028	0.000028	0.77	0.429
Tiempo de escaldado*Concentración de sacarosa	1	0.000028	0.000028	0.77	0.429
Error	4	0.000145	0.000036		
Total	7	0.000437			

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

Actividad = -0.0368
enzimática + 0.00263 Tiempo de escaldado+ 0.000975 Concentración de sacarosa- 0.000038 Tiempo de escaldado*Concentración



22.11. Regresión factorial: % Inhibición PPO vs. Tiempo de escaldado; Concentración de sacarosa

Coefficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p
Constante		75.45	1.83	41.29	0.000
Tiempo de escaldado	-10.08	-5.04	1.83	-2.76	0.051
Concentración de sacarosa	-1.63	-0.81	1.83	-0.44	0.679
Tiempo de escaldado*Concentración de sacarosa	3.58	1.79	1.83	0.98	0.383

Término	FIV
Constante	

Tiempo de escaldado	1.00
Concentración de sacarosa	1.00
Tiempo de escaldado*Concentración de sacarosa	1.00

Resumen del modelo

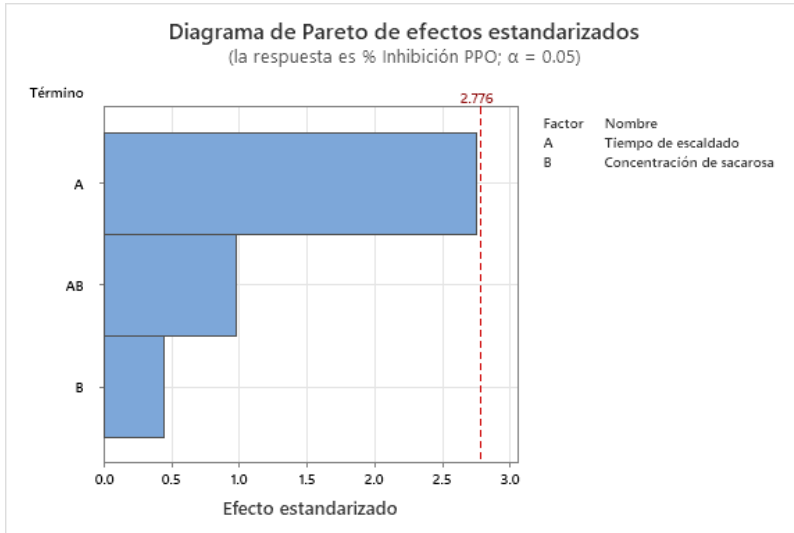
S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
5.16837	68.66%	45.15%	0.00%

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	3	234.060	78.020	2.92	0.164
Lineal	2	208.477	104.239	3.90	0.115
Tiempo de escaldado	1	203.193	203.193	7.61	0.051
Concentración de sacarosa	1	5.285	5.285	0.20	0.679
Interacciones de 2 términos	1	25.583	25.583	0.96	0.383
Tiempo de escaldado*Concentración de sacarosa	1	25.583	25.583	0.96	0.383
Error	4	106.848	26.712		
Total	7	340.908			

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$$\% \text{ Inhibición PPO} = 133.8 - 2.47 \text{ Tiempo de escaldado} - 0.878 \text{ Concentración de sacarosa} + 0.0358 \text{ Tiempo de escaldado} * \text{Concentración de sacarosa}$$



22.12. Analisis de variancia para L* utilizando el programa Statgraphics para hallar los valores óptimos

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
A:E	257.481	1	257.481	77.84	0.0000
B:C	422.437	1	422.437	127.70	0.0000
C:P	217.382	1	217.382	65.72	0.0000
AB	0.377504	1	0.377504	0.11	0.7405
AC	70.9672	1	70.9672	21.45	0.0004
BC	36.1867	1	36.1867	10.94	0.0052
ABC	201.087	1	201.087	60.79	0.0000
blocks	2.96016	2	1.48008	0.45	0.6481

Total error	46.3113	14	3.30795		
Total (corr.)	1255.19	23			

R-squared = 96.3104 percent
R-squared (adjusted for d.f.) = 93.9385 percent
PRESS = 136.099
R-squared (predicted) = 89.1571 percent
Standard Error of Est. = 1.81878
Mean absolute error = 1.12559
Durbin-Watson statistic = 2.82677 (P=0.9299)
Lag 1 residual autocorrelation = -0.426825

Regression coeffs. for L

Coefficient	Estimate
constant	-177.067
A:E	11.8398
B:C	4.13383
C:P	0.28113
AB	-0.209761
AC	-0.0186444
BC	-0.00506806
ABC	0.00032162

This pane displays the regression equation which has been fitted to the data. The equation of the fitted model is

$$L = -177.067 + 11.8398 * E + 4.13383 * C + 0.28113 * P - 0.209761 * E * C - 0.0186444 * E * P - 0.00506806 * C * P + 0.00032162 * E * C * P$$

Optimize Response

Goal: maximize L
Optimum value = 55.62

Factor	Low	High	Optimum
Tiempo de escladado (E)	10.0	30.0	10.0
Concentración de sacarosa (C)	50.0	60.0	60.0
Potencia de secado (P)	480.0	840.0	480.0

22.13. Analisis de variancia para Aw utilizando el programa Statgraphics para hallar los valores óptimos

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
A:E	0.00704523	1	0.00704523	6.66	0.0218
B:C	0.0400984	1	0.0400984	37.92	0.0000
C:P	0.0262417	1	0.0262417	24.82	0.0002
AB	0.0135375	1	0.0135375	12.80	0.0030
AC	0.0114494	1	0.0114494	10.83	0.0054
BC	0.00050784	1	0.00050784	0.48	0.4996
ABC	0.000382402	1	0.000382402	0.36	0.5572

blocks	0.00303579	2	0.0015179	1.44	0.2710
Total error	0.0148033	14	0.00105738		
Total (corr.)	0.117102	23			

R-squared = 87.3586 percent
R-squared (adjusted for d.f.) = 79.2319 percent
PRESS = 0.0435036
R-squared (predicted) = 62.8497 percent
Standard Error of Est. = 0.0325174
Mean absolute error = 0.0199892
Durbin-Watson statistic = 2.96215 (P=0.9649)
Lag 1 residual autocorrelation = -0.500805

Regression coeffs. for AW

Coefficient	Estimate
constant	-0.216317
A:E	0.0163206
B:C	0.0151939
C:P	-0.000147778
AB	-0.000182278
AC	0.0000122593
BC	0.00000375926
ABC	-4.43519E-7

This pane displays the regression equation which has been fitted to the data. The equation of the fitted model is

$$AW = -0.216317 + 0.0163206 * E + 0.0151939 * C - 0.000147778 * P - 0.000182278 * E * C + 0.0000122593 * E * P + 0.00000375926 * C * P - 4.43519E-7 * E * C * P$$

where the values of the variables are specified in their original units. To have STATGRAPHICS evaluate this function, select Predictions from the list of Tabular Options. To plot the function, select Response Plots from the list of Graphical Options.

Optimize Response

Goal: minimize AW
Optimum value = 0.543433

Factor	Low	High	Optimum
Tiempo de escladado (E)	10.0	30.0	30.0
Concetración de sacarosa (C)	50.0	60.0	50.0
Potencia de secado (P)	480.0	840.0	840.0

22.14. Analisis de variancia para CR utilizando el programa Statgraphics para hallar los valores óptimos

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
A:E	2784.15	1	2784.15	3.23	0.0937
B:C	162.932	1	162.932	0.19	0.6702
C:P	4804.92	1	4804.92	5.58	0.0332
AB	780.478	1	780.478	0.91	0.3572

AC	1340.13	1	1340.13	1.56	0.2326
BC	326.764	1	326.764	0.38	0.5477
ABC	2396.1	1	2396.1	2.78	0.1175
blocks	2911.57	2	1455.78	1.69	0.2199
Total error	12053.4	14	860.96		
Total (corr.)	27560.5	23			

R-squared = 56.2655 percent
R-squared (adjusted for d.f.) = 28.1505 percent
PRESS = 35422.4
R-squared (predicted) = 0.0 percent
Standard Error of Est. = 29.3421
Mean absolute error = 16.8481
Durbin-Watson statistic = 2.66114 (P=0.8617)
Lag 1 residual autocorrelation = -0.347869

Regression coeffs. for CR

Coefficient	Estimate
constant	-722.408
A:E	42.7565
B:C	19.1206
C:P	1.28509
AB	-0.84679
AC	-0.05691
BC	-0.026304
ABC	0.00111021

This pane displays the regression equation which has been fitted to the data. The equation of the fitted model is

$$CR = -722.408 + 42.7565 * E + 19.1206 * C + 1.28509 * P - 0.84679 * E * C - 0.05691 * E * P - 0.026304 * C * P + 0.00111021 * E * C * P$$

where the values of the variables are specified in their original units. To have STATGRAPHICS evaluate this function, select Predictions from the list of Tabular Options. To plot the function, select Response Plots from the list of Graphical Options.

Optimize Response

Goal: maximize CR

Optimum value = 250.175

Factor	Low	High	Optimum
E	10.0	30.0	10.0
C	50.0	60.0	60.0
P	480.0	840.0	480.0

22.15. Optimización de multiples respuestas

Data variables:

L AW CR

Response	Observed Minimum	Observed Maximum
L	26.46	57.13
AW	0.5138	0.74
CR	131.417	296.279

Response	Desirability Low	Desirability High	Goal	Weights First	Weights Second	Impact
L	26.46	57.13	Maximize	1.0		3.0
AW	0.5138	0.74	Minimize	1.0		3.0
CR	131.417	296.279	Maximize	1.0		3.0

Row	L	AW	CR	Predicted Desirability	Observed Desirability
1	43.23	0.6002	210.98	0.59969	0.546355
2	48.69	0.6404	207.44	0.535939	0.527966
3	55.92	0.7102	296.279	0.352336	0.502051
4	45.24	0.7178	191.159	0.367403	0.279255
5	44.74	0.5615	270.3	0.601263	0.734478
6	26.46	0.5328	188.512	0.278434	0.0
7	49.99	0.7036	174.854	0.358247	0.319217
8	44.3	0.6002	186.655	0.566227	0.493861
9	44.11	0.5842	231.949	0.552612	0.622917
10	43.64	0.6317	193.373	0.491456	0.465375
11	57.13	0.7158	234.303	0.352501	0.405682
12	47.24	0.74	181.298	0.319907	0.0
13	46.73	0.5576	131.417	0.54046	0.0
14	29.11	0.5837	194.158	0.265687	0.283233
15	50.63	0.6705	167.861	0.309523	0.376866
16	45.93	0.5605	180.289	0.484455	0.530544
17	45.1	0.577	206.924	0.601108	0.585371
18	47.39	0.6361	233.748	0.547578	0.579458
19	53.81	0.7268	219.944	0.484416	0.303454
20	48.43	0.6047	174.443	0.38987	0.481775
21	43.23	0.5786	200.495	0.590141	0.546785
22	31.04	0.5138	174.018	0.293227	0.337922
23	48.5	0.7077	195.989	0.385485	0.342539
24	47.04	0.5208	177.707	0.539483	0.567303

L – maximize AW – minimize CR – maximize

Optimize Desirability

Optimum value = 0.588749

Factor	Low	High	Optimum
E	10.0	30.0	10.0098
C	50.0	60.0	51.3779
P	480.0	840.0	480.0

Response	Optimum
L	45.728
AW	0.605128
CR	221.235

22.16. Evidencias fotográfica



Imagen 1. Acondicionamiento de la carambola

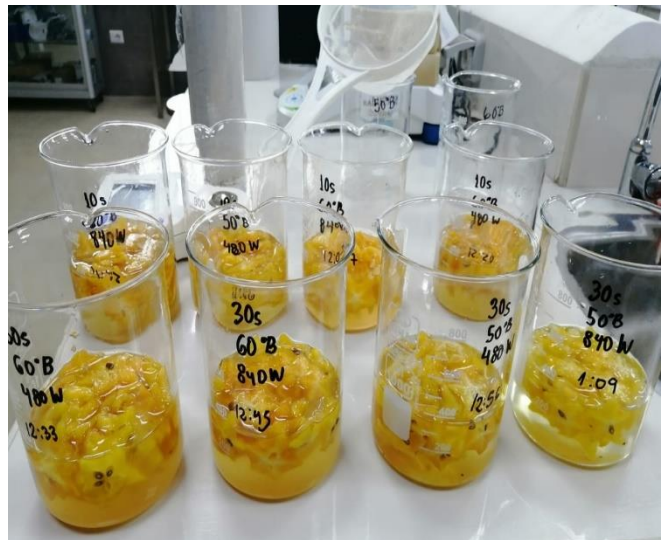


Imagen 2. Pretratamientos de escaldado y osmodeshidratación

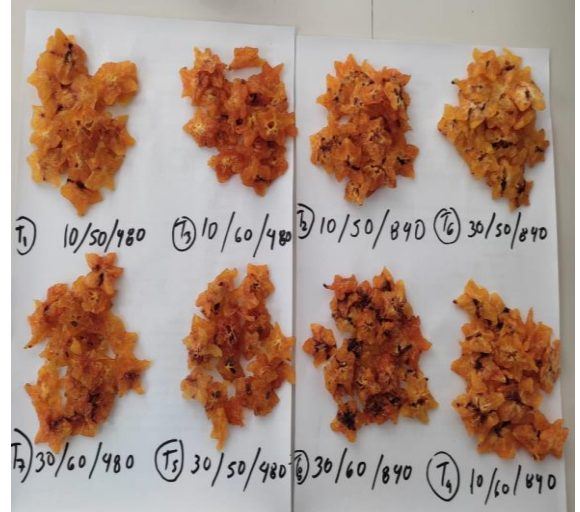


Imagen 3. Secado a diferentes potencias



Imagen 4. Evaluación del color y actividad del agua.

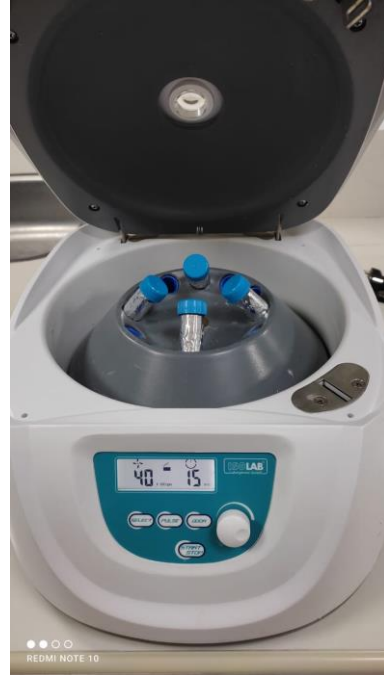


Imagen 5. Evaluación de la Actividad de la PPO



Imagen 6. Control de la humedad y propiedades dieléctricas.



Imagen 6. Evaluación de la capacidad de rehidratación.