

**UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

**TESIS PARA OBTENER
EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

**INFLUENCIA DE LA CINÉTICA DE SECADO EN LOS
CAROTENOIDES DE LAS PIELES DE CÍTRICOS**

Autora:

Bach. Milagritos Vargas Melendez

Asesor:

Mg. Diner Mori Mestanza

Registro:(.....)

CHACHAPOYAS – PERÚ

2024

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE LA TESIS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNTRM



ANEXO 3-H

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE LA TESIS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNTRM

1. Datos de autor 1

Apellidos y nombres (tener en cuenta las tildes): Vargas Melendez Milagritos
DNI N°: 73696690
Correo electrónico: 7369669082@untrm.edu.pe
Facultad: Ingeniería y ciencias Agrarias
Escuela Profesional: Ingeniería Agroindustrial

Datos de autor 2

Apellidos y nombres (tener en cuenta las tildes): _____
DNI N°: _____
Correo electrónico: _____
Facultad: _____
Escuela Profesional: _____

2. Título de la tesis para obtener el Título Profesional

Influencia de la cinética de secado en los carotenoides de las pieles de cítricos

3. Datos de asesor 1

Apellidos y nombres: Mori Hestanza Diner
DNI, Pasaporte, C.E N°: 45817906
Open Research and Contributor-ORCID (<https://orcid.org/0000-0002-9670-0970>) 0000-0003-3692-4080

Datos de asesor 2

Apellidos y nombres: _____
DNI, Pasaporte, C.E N°: _____
Open Research and Contributor-ORCID (<https://orcid.org/0000-0002-9670-0970>) _____

4. Campo del conocimiento según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos- OCDE (ejemplo: Ciencias médicas, Ciencias de la Salud-Medicina básica-Immunología)

https://catalogos.concytec.gob.pe/vocabulario/ocde_ford.html
2.11.00 - Otras Ingenierías, otras tecnologías, 2.11.01 Alimentos y bebidas

5. Originalidad del Trabajo

Con la presentación de esta ficha, el(la) autor(a) o autores(as) señalan expresamente que la obra es original, ya que sus contenidos son producto de su directa contribución intelectual. Se reconoce también que todos los datos y las referencias a materiales ya publicados están debidamente identificados con su respectivo crédito e incluidos en las notas bibliográficas y en las citas que se destacan como tal.

6. Autorización de publicación

El(los) titular(es) de los derechos de autor otorga a la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM), la autorización para la publicación del documento indicado en el punto 2, bajo la *Licencia creative commons* de tipo BY-NC: Licencia que permite distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir de su obra de forma no comercial por lo que la Universidad deberá publicar la obra poniéndola en acceso libre en el repositorio institucional de la UNTRM y a su vez en el Registro Nacional de Trabajos de Investigación-RENATI, dejando constancia que el archivo digital que se está entregando, contiene la versión final del documento sustentado y aprobado por el Jurado Evaluador.

Chachapoyas, 13 / Mayo / 2024



Firma del autor 1

Firma del autor 2



Firma del Asesor 1

Firma del Asesor 2

DEDICATORIA

A MI FAMILIA:

A mi familia, por su amor incondicional y constante aliento. Cada logro es un reflejo del amor, la dedicación, el apoyo y la fuerza que me han brindado.

A MIS AMIGOS

A mis amigos, quienes han compartido risas, desafíos y momentos inolvidables, recordándome que la vida es mucho más que libros y estudios.

A MIS PROFESORES

A mis profesores, cuyas enseñanzas han guiado mi camino académico, desafiándome a alcanzar nuevas metas.

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento y reconocimiento a Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza por proporcionar los recursos y el entorno propicio para llevar a cabo esta investigación.

Agradezco sinceramente a mi comité de tesis, por sus valiosas aportaciones y críticas constructivas que enriquecieron este trabajo de investigación.

A mi familia, quienes han sido mi pilar inquebrantable. Su amor, paciencia y comprensión han sido mi mayor fortaleza.

**AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ
DE MENDOZA DE AMAZONAS**

**Ph.D. JORGE LUIS MAICELO QUINTANA
RECTOR**

**Dr. OSCAR ANDRÉS GAMARRA TORRE
VICERRECTOR ACADÉMICO**

**Dra. MARÍA NELLY LUJÁN ESPINOZA
VICERRECTORA DE INVESTIGACIÓN**

**DR. ERICK ALDO AUQUIÑIVIN SILVA
DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGRARIAS**

VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS



UNTRM

REGLAMENTO GENERAL
PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE
BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

ANEXO 3-L

VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

El que suscribe el presente, docente de la UNTRM (X)/Profesional externo (), hace constar que ha asesorado la realización de la Tesis titulada Influencia de la cinética de secado en los carotenoides de las pieles de cítricos.

del egresado Hilagritos Vargas Melendez
de la Facultad de Ingeniería y ciencias Agrarias
Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial
de esta Casa Superior de Estudios.



El suscrito da el Visto Bueno a la Tesis mencionada, dándole pase para que sea sometida a la revisión por el Jurado Evaluador, comprometiéndose a supervisar el levantamiento de observaciones que formulen en Acta en conjunto, y estar presente en la sustentación.

Chachapoyas, 04 de Mayo de 2024

Firma y nombre completo del Asesor
DINER MORI HESTANZA

JURADO EVALUADOR DE LA TESIS



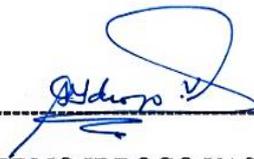
Dr. ERICK ALDO AUQUIÑIVIN SILVA

PRESIDENTE



Mg. ROBERT JAVIER CRUZALEGUI FERNANDEZ

SECRETARIO



Mg. GUILLERMO IDROGO VASQUEZ

VOCAL

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS



ANEXO 3-Q

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

Los suscritos, miembros del Jurado Evaluador de la Tesis titulada:

Influencia de la cinética de secado de los carotenoides de las pieles de cítricos

presentada por el estudiante ()/egresado (x) Milagritos Vargas Melendez

de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial

con correo electrónico institucional 7369669082@untrm.edu.pe

después de revisar con el software Turnitin el contenido de la citada Tesis, acordamos:

- a) La citada Tesis tiene 24 % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es menor (x) / igual () al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM.
- b) La citada Tesis tiene _____ % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es mayor al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM, por lo que el aspirante debe revisar su Tesis para corregir la redacción de acuerdo al Informe Turnitin que se adjunta a la presente. Debe presentar al Presidente del Jurado Evaluador su Tesis corregida para nueva revisión con el software Turnitin.



Chachapoyas, 08 de Marzo del 2024


SECRETARIO


VOCAL


PRESIDENTE

OBSERVACIONES:

.....
.....

ACTA DE SUSTENTACION DE LA TESIS



ANEXO 3-5

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Chachapoyas, el día 12 de abril del año 2024 siendo las 9:00 horas, el aspirante: Milagritos Vargas Melendez, asesorado por Ing. Mg. Elnor Mori Medanza defiende en sesión pública presencial () / a distancia () la Tesis titulada: Influencia de la cinética de Secado en los carotenoides de los pielos de cítricos, para obtener el Título Profesional de Ingeniera Agroindustrial, a ser otorgado por la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas; ante el Jurado Evaluador, constituido por:



Presidente: Dr. Erick Aldo Duquén Silva
Secretario: Mg. Robert Javier Cruzalejo Fernández
Vocal: Mg. Guillermo Idrogo Vasquez

Procedió el aspirante a hacer la exposición de la Introducción, Material y métodos, Resultados, Discusión y Conclusiones, haciendo especial mención de sus aportaciones originales. Terminada la defensa de la Tesis presentada, los miembros del Jurado Evaluador pasaron a exponer su opinión sobre la misma, formulando cuantas cuestiones y objeciones consideraron oportunas, las cuales fueron contestadas por el aspirante.

Tras la intervención de los miembros del Jurado Evaluador y las oportunas respuestas del aspirante, el Presidente abre un turno de intervenciones para los presentes en el acto de sustentación, para que formulen las cuestiones u objeciones que consideren pertinentes.

Seguidamente, a puerta cerrada, el Jurado Evaluador determinó la calificación global concedida a la sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional, en términos de:

Aprobado () por Unanimidad () / Mayoría () Desaprobado ()

Otorgada la calificación, el Secretario del Jurado Evaluador lee la presente Acta en esta misma sesión pública. A continuación se levanta la sesión.

Siendo las 10:10 horas del mismo día y fecha, el Jurado Evaluador concluye el acto de sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional.

[Signature]
SECRETARIO

[Signature]
VOCAL

[Signature]
PRESIDENTE

OBSERVACIONES:

.....

CONTENIDO GENERAL

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE LA TESIS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNTRM.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO	iv
AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS	v
VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS.....	vi
JURADO EVALUADOR DE LA TESIS.....	vii
CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS.....	viii
ACTA DE SUSTENTACION DE LA TESIS	ix
CONTENIDO GENERAL	x
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
RESUMEN	xv
ABSTRACT.....	xvi
I. INTRODUCCIÓN	17
II. MATERIAL Y MÉTODOS	19
a. Muestra	19
b. Proceso de secado de las pieles de cítricos	19
c. Extracción y determinación de carotenoides.....	21
d. Modelo matemático de la cinética de secado de las pieles de cítricos	22
e. Modelo cinético para la degradación de los carotenoides	22
f. Degradación de Carotenoides	23
III. RESULTADOS.....	24
a. Efecto de temperatura y velocidad de aire en la degradación de carotenoides de acuerdo al tiempo	24

b. Secado cinético	26
c. Cinética de concentración de los carotenoides	35
IV. DISCUSIÓN	45
V. CONCLUSIONES	48
VI. RECOMENDACIONES.....	49
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50
ANEXOS.....	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Arreglo experimental del estudio.....	20
Tabla 2. Modelos de secado seleccionados para la descripción del proceso de secado de las pieles de cítricos	22
Tabla 3. Análisis de varianza respecto al efecto de la temperatura y velocidad de aire en la degradación de carotenoides de acuerdo al tiempo.....	24
Tabla 4. Datos obtenidos por comparaciones de parejas utilizando el método de Fisher en la degradación de los carotenoides.	25
Tabla 5. Modelo cinético de Page ajustado al proceso de secado de las pieles de cítricos	27
Tabla 6. Modelo cinético de Henderson & Pabis ajustado al proceso de secado de las pieles de cítricos	28
Tabla 7. Modelo cinético de Newton ajustado al proceso de secado de las pieles de cítricos	29
Tabla 8. Modelo cinético Logarítmico ajustado al proceso de secado de las pieles de cítricos	30
Tabla 9. Modelo cinético Wang & Sing ajustado al proceso de secado de las pieles de cítricos	31
Tabla 10. Constante de reacción en la cinética de concentración los carotenoides durante el proceso de secado de la piel de cítricos a una velocidad de 0.6 m/s	42
Tabla 11. Constante de reacción en la cinética de la concentración de los carotenoides durante el proceso de secado de la piel de cítricos a una velocidad de 0.9 m/s	43
Tabla 12. Constante de reacción en la cinética de concentración de los carotenoides durante el proceso de secado de la piel de cítricos a una velocidad de 1.2 m/s	44

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Modelo de page ajustado al proceso de secado de las pieles de cítricos a 40 °C	32
Figura 2. Modelo de page ajustado al proceso de secado de las pieles de cítricos a 45 °C.	32
Figura 3. Modelo de page ajustado al proceso de secado de las pieles de cítricos a 50 °C.	32
Figura 4. Modelo de page ajustado al proceso de secado de las pieles de cítricos a 55°C.	33
Figura 5. Modelo de page ajustado al proceso de secado de las pieles de cítricos a 60 °C	33
Figura 6. Modelo de page ajustado al proceso de secado de las pieles de cítricos a 65 °C	34
Figura 7. Modelo de page ajustado al proceso de secado de las pieles de cítricos a 70 °C	34
Figura 8. Cinética de la concentración de los carotenoides durante el secado de la piel de <i>C. sinensis</i> durante el proceso de secado a 40°C.....	35
Figura 9. Cinética de la concentración de los carotenoides durante el secado de la piel de <i>C sinensis</i> durante el proceso de secado a 45°C.....	35
Figura 10. Cinética de la concentración de los carotenoides durante el secado de las pieles de <i>C. sinensis</i> durante el proceso de secado a 50°C.	36
Figura 11. Cinética de la concentración de los carotenoides durante el secado de las pieles de <i>C. sinensis</i> durante el proceso de secado a 55°C.	37
Figura 12. Cinética de la degradación de los carotenoides durante el secado de las pieles de <i>C. sinensis</i> durante el proceso de secado a 60°C.....	37
Figura 13. Cinética de la concentración de los carotenoides durante el secado de las pieles de <i>C. sinensis</i> durante el proceso de secado a 65°C.	38
Figura 14. Cinética de la concentración de los carotenoides durante el secado de las pieles de <i>C. sinensis</i> durante el proceso de secado a 70°C	38
Figura 15. Contenido de humedad frente al contenido de carotenoides para el proceso de secado de la piel de <i>C. sinensis</i> a 40°C	39
Figura 16. Contenido de humedad frente al contenido de carotenoides para el proceso de secado de la piel de <i>C. sinensis</i> a 45°C	39

Figura 17. Contenido de humedad frente al contenido de carotenoides para el proceso de secado de la piel de <i>C. sinensis</i> a 50°C	40
Figura 18. Contenido de humedad frente al contenido de carotenoides para el proceso de secado de la piel de <i>C. sinensis</i> a 55°C.	40
Figura 19. Contenido de humedad frente al contenido de carotenoides para el proceso de secado de la piel de <i>C. sinensis</i> a 60°C.	40
Figura 20. Contenido de humedad frente al contenido de carotenoides para el proceso de secado de la piel de <i>C. sinensis</i> a 65°C	41
Figura 21. Contenido de humedad frente al contenido de carotenoides para el proceso de secado de la piel de <i>C. sinensis</i> a 70°C.	41

RESUMEN

La presente investigación experimental tuvo como objetivo determinar la influencia de la cinética de secado en los carotenoides de las pieles de cítricos. Para ello, se emplearon pieles de *Citrus sinensis* que fueron sometidos a un proceso de secado bajo siete temperaturas (40, 45, 50, 55, 60, 65 y 70 °C), tres velocidades de aire (0.6, 0.9 y 1.2 m/s) y seis tiempos (30, 60, 90, 120 y 180 minutos). Tras obtener las muestras secas se realizó la extracción de carotenoides con metanol y se determinaron los carotenoides presentes en las pieles de *Citrus sinensis* mediante espectrofotometría y de los cuales se determinó la cinética de degradación y ajustando diferentes modelos matemáticos para el proceso de secado, se llegó a la conclusión que el modelo de Page $MR = \exp(-kt^n)$ es el mejor en representar el proceso de secado ya que posee un mayor coeficiente de correlación 0.99468882 con respecto a los demás tratamientos. En todos los tratamientos se logró apreciar el comportamiento de los carotenoides de la concentración debido a la evaporación de agua con el incremento de la temperatura. Concluyendo así que el impacto de las temperaturas, las diferentes velocidades de secado, los diferentes tiempos al que son sometidos ocasiona la concentración de los carotenoides.

Palabras clave: Modelos matemáticos, cinética de degradación, velocidad de aire y *Citrus sinensis*

ABSTRACT

The objective of this experimental investigation was to determine the influence of drying kinetics on carotenoids in citrus peels. For this, *Citrus sinensis* skins were used, which were subjected to a drying process under seven temperatures (40, 45, 50, 55, 60, 65 and 70 °C), three air speeds (0.6, 0.9 and 1.2 m/s.) and six times (30, 60, 90, 120 and 180 minutes). After obtaining the dry samples, the extraction of carotenoids was carried out with methanol and the carotenoids present in the skins of *Citrus sinensis* were determined by spectrophotometry and of which the degradation kinetics were determined and by adjusting different mathematical models for the drying process, we arrived at to the conclusion that Page's model $MR = \exp(-kt^n)$ is the best in representing the drying process since it has a higher correlation coefficient 0.99468882 with respect to the other treatments. In all treatments, it was possible to appreciate the behavior of the carotenoid concentration due to the evaporation of water with the increase in temperature. Thus, concluding that the impact of temperatures, different drying speeds, and different times to which they are subjected causes the concentration of carotenoids.

Keywords: Mathematical models, degradation kinetics, air velocity and *Citrus sinensis*.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad los subproductos de alimentos se consideran un problema mundial debido a que anualmente se desperdicia en promedio un tercio de lo producido para el consumo humano, siendo la industria de los cítricos uno de los principales contribuyentes a esta dificultad (Suri et al., 2022).

Anualmente se producen más de 70 mil Tm de cítricos a nivel mundial ya que estos son ampliamente empleados en las dietas alimentarias debido a su agradable sabor y alto valor nutritivo (Wang et al., 2023) Aunque los cítricos dulces normalmente se consumen en su estado fresco, son también una importante fuente de materia prima para la elaboración de productos alimentarias y no alimentarias, generando grandes cantidades de subproductos, en las que se incluyen generalmente la pulpa, las pieles y semillas representando de un 50 a 60% de residuos perdiéndose de esta forma un gran porcentaje del peso total de la fruta (Meryem et al., 2023).

Estudios realizados han demostrado que los subproductos de los cítricos poseen múltiples propiedades y compuestos benéficos para la salud que son desechados por desconocimiento de su valor nutricional potencial y sus compuestos bioactivos, siendo los más empleados las pieles de cítricos, los cuales son residuos químicamente complejos y altamente biodegradables que poseen azúcares fermentables, polímeros de carbohidratos, flavonoides, polifenoles y aceites esenciales, lo que supone una gran oportunidad para revalorar estas materias primas como fuente de productos químicos y energía de alto valor (Leporini et al., 2021). Estudios epidemiológicos y clínicos recientes sugirieron que los carotenoides de los cítricos, especialmente la β -criptoxantina, que se acumula específica y masivamente en los cítricos, tienen una amplia actividad antioxidante y anticancerígena, y su ingesta dietética es una estrategia prometedora para prevenir el cáncer, la diabetes, y enfermedades neurológicas (Balta et al., 2023).

Los cítricos son una de las fuentes más ricas en carotenoides y sin duda este es el concepto de mayor interés biológico ya que hasta la fecha, se han identificado aproximadamente 115 tipos de carotenoides. El contenido y la composición de carotenoides son considerados uno de los factores predominantes para determinar la apariencia y calidad de los frutos, ya que estos se encuentran ampliamente

distribuidos y son los responsables de las tonalidades amarillo, naranja o rojo en productos de origen agrícola. (Ma et al., 2021) & Zhu et al. (2022).

Los carotenoides son de vital importancia para la salud de los seres vivos ya que poseen compuestos como el β -caroteno que es capaz de suplir la deficiencia de vitamina A por lo que se han experimentado y desarrollado diversos métodos para su extracción, siendo el más empleado la extracción de carotenoides con solventes inmiscibles en agua como es el caso del alcohol, etanol y metanol (Li et al., 2022).

Estudios realizados demuestran que los subproductos cítricos son altamente perecibles debido a la cantidad de agua que poseen en su estructura, por lo que se suele recurrir a la aplicación de métodos de conservación; uno de los más empleados en la actualidad es el método de secado (Özcan et al., 2021).

Debido al avance tecnológico en la actualidad existen diferentes técnicas de secado para la deshidratación, incluida la liofilización, el secado por convección, el secado al vacío, secado en bandejas, etc. (Rafiq et al., 2019). Los principales parámetros de control durante el tiempo de almacenamiento de los alimentos son la temperatura, humedad relativa y actividad de agua, por lo tanto, las reacciones de deterioro y pérdida de nutrientes se encuentran condicionadas a la cantidad de estas, en la cinética de secado los mecanismos de transferencia de calor entre un sólido y un gas son estudiados permitiendo establecer una relación entre las variables que participan durante el proceso de eliminación de humedad y compuestos volátiles. En ese sentido la cinética de secado es importante ya que analiza las variables descritas anteriormente, permitiendo extender la vida útil del producto y conservarlos en las condiciones necesarias para su almacenamiento (Rafiq et al., 2019).

En este trabajo de investigación se estudió la cinética de secado de los carotenoides presentes en las pieles de cítricos, con la finalidad de preservarlos estableciendo temperaturas, velocidades de aire y tiempos adecuados para realizar el proceso de secado y emplearlos en el desarrollo de alimentos.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

a. Muestra

Las pieles de *Citrus sinensis L.* se obtuvieron de las juguerías del mercado modelo de la provincia de Chachapoyas, región Amazonas, para su selección se consideró atributos sensoriales como la frescura, color, tamaño, estado de madurez y la ausencia de cualquier daño mecánico o físico.

b. Proceso de secado de las pieles de cítricos

Para el proceso de secado de las pieles de cítricos se expusieron 600gr de muestra a diferentes temperaturas (40, 45, 50, 55, 60, 65, 70 °C) y velocidades de aire (0.6, 0.9, 1.2m/s) y tiempos de (30, 60, 90, 120, 150 y 180 minutos) en un secador de bandejas (Gunt, CE130, Aleman). Se midió la humedad presente en las muestras cada 30 minutos con un analizador de humedad (Mettler Toledo, Excellence Plus HX204, Greifensee, Switzerland). Todos los resultados obtenidos se expresaron en base seca (kg de agua/kg de muestra seca).

Según Dufera et al. (2021), el contenido de sólidos secos (DS), se expresa en gramos de sólido seco (gds), y se calculó utilizando la siguiente ecuación:

$$DS = W_t(1 - X_{wb})$$

Donde:

X_{wb} : Contenido de agua en base húmeda (g agua/gfw) en el tiempo (t),

W_t : Peso de la muestra (g) en el momento (t)

Tabla 1. Arreglo experimental del estudio

40°C																	
0.6 m/s						0.9 m/s						1.2 m/s					
30	60	90	120	150	180	30	60	90	120	150	180	60	90	120	150	180	
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T14	T15	T16	T17	T18	
R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	
R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	
R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	

45°C																	
0.6 m/s						0.9 m/s						1.2 m/s					
30	60	90	120	150	180	30	60	90	120	150	180	60	90	120	150	180	
T19	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T3	T3	T3	T3	T3	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	2	3	4	5	6	
R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	
R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	
R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	

50°C																	
0.6 m/s						0.9 m/s						1.2 m/s					
30	60	90	120	150	180	30	60	90	120	150	180	60	90	120	150	180	
T37	T38	T39	T40	T41	T4	T43	T44	T45	T46	T47	T4	T50	T51	T52	T53	T54	
					2						8						
R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	
R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	
R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	

55°C																	
0.6 m/s						0.9 m/s						1.2 m/s					
30	60	90	120	150	180	30	60	90	120	150	180	60	90	120	150	180	
T55	T56	T57	T58	T59	T60	T61	T62	T63	T64	T65	T66	T68	T69	T70	T71	T72	
R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	
R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	
R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	

60 °C																	
0.6 m/s						0.9 m/s						1.2 m/s					
30	60	90	120	150	180	30	60	90	120	150	180	60	90	120	150	180	
T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T8	T8	T8	T8	T8	T8	T8	T8	T8	T9	
3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	
R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	
R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	

65 °C																	
0.6 m/s						0.9 m/s						1.2 m/s					
30	60	90	120	150	180	30	60	90	120	150	180	60	90	120	150	180	
T9	T9	T9	T9	T9	T9	T9	T9	T9	T10	T10	T10	T10	T10	T10	T10	T10	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	4	5	6	7	8	
R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	
R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	
R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	

70 °C																	
0.6 m/s						0.9 m/s						1.2 m/s					
30	60	90	120	150	180	30	60	90	120	150	180	60	90	120	150	180	
T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	
09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	22	23	24	25	26	
R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	
R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	R2	
R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	R3	

c. Extracción y determinación de carotenoides

Los carotenoides totales (TCC) fueron determinado a través de un espectrofotómetro (Shimadzu, UV- 22 VIS 1900i, Kioto Japón), para lo cual las muestras secas de *Citrus sinensis* fueron trituradas y sometidas a metanol, durante 24 horas. Posteriormente, se realizó el proceso de filtración con un embudo Büchner de vidrio, con el fin de incrementar extractabilidad de los compuestos en estudio (Zhu et al., 2022). Todos estos procedimientos antes mencionados se realizaron en ausencia de luz y a temperatura ambiente (Tiwari et al., 2022). Cuando se obtuvieron los extractos de las pieles de *C. sinensis* fueron inmediatamente evaluados a través de un espectrofotómetro con una celda de 1 cm de espesor calibrado con un solvente metanol como blanco respectivo.

La determinación de los carotenoides totales presentes en la piel de *Citrus sinensis* se efectuó, mediante la una curva de calibración $Y = 0,0219 + 28,138 X$; para el cual se usó como patrón puro betacaroteno a una longitud de onda de 450nm.

d. Modelo matemático de la cinética de secado de las pieles de cítricos

Según Daliran et al. (2023), los modelos matemáticos mayormente utilizados para el proceso de secado son los que se detallan en la Tabla 2. En estos modelos, MR representa la proporción de humedad medida durante el proceso de secado, k es la velocidad de reacción y t es el tiempo de secado.

Tabla 2. Modelos de secado seleccionados para la descripción del proceso de secado de las pieles de cítricos

Nombre de modelo	Modelo
Page	$MR = \exp(-kt^n)$
Henderson & Pabis	$MR = a \exp(-kt)$
Newton	$MR = \exp(-kt)$
Logarithmic	$MR = a * \exp(-kt) + b$
Wang & Sing	$MR = 1 + at + bt^2$

e. Modelo cinético para la degradación de los carotenoides

Se emplearon procedimientos de ajuste para determinar las constantes de reacción k para la degradación de los carotenoides presentes en las pieles de *Citrus sinensis*. Se emplearon las ecuaciones (1), (2) y (3) para los modelos cinéticos generales de reacciones de orden cero, primero y segundo.

$$[C]_0 + [C] = kt \text{-----Ecuación 1}$$

$$[C] = [C]_0 \exp(-kt) \text{-----Ecuación 2}$$

$$\frac{1}{[C]} - \frac{1}{[C]_0} = kt \text{-----Ecuación 3}$$

La vida media $t_{1/2}h$ que representa el tiempo necesario para lograr degradar los carotenoides en un 50% a una temperatura determinada, para lo cual se utilizó la siguiente ecuación

$$t_{1/2} = \frac{\ln(2)}{k} \text{-----Ecuación 4}$$

Según Khandare et al., (2021), el efecto de la temperatura se evaluó mediante la ecuación de Arrhenius.

$$k = k_0 * e^{(-E_a/RT)} \text{-----Ecuación 5}$$

La energía de activación E_a para la reacción de cada factor se determinó mediante una regresión lineal del $\ln(k)$ versus $1/T$.

$$\ln k = \ln k_0 - E_a/RT \text{-----Ecuación 6}$$

f. Degradación de Carotenoides

Yoo & Moon, (2018) la degradación de los carotenoides se calcula con la siguiente ecuación.

$$C\% = \left(\frac{C_i - C_t}{C_i} \right) * 100 \text{-----Ecuación 7}$$

Donde:

C_i : Contenido de carotenoides inicial en el tiempo 0

C_t : Contenido de carotenoides en el tiempo

III. RESULTADOS

a. Efecto de temperatura y velocidad de aire en la degradación de carotenoides de acuerdo al tiempo

El análisis de varianza reveló efectos significativos de la temperatura, velocidad de aire y tiempo, así como sus interacciones, en la degradación de carotenoides a lo largo del tiempo. La tabla 3 presenta los resultados detallados del ANOVA, incluido el valor p asociado.

Las contribuciones individuales de la temperatura, velocidad de aire y tiempo fueron altamente significativas, con valores de $p < 0.000$ en cada caso. Además, las interacciones de dos términos, como la temperatura con la velocidad de aire y la temperatura con el tiempo, mostraron efectos significativos, destacando la importancia de considerar estas combinaciones de factores en el estudio de la degradación de carotenoides. Las interacciones de tres términos, específicamente la combinación de temperatura, velocidad de aire y tiempo, también fueron altamente significativas.

Tabla 3. Análisis de varianza respecto al efecto de la temperatura y velocidad de aire en la degradación de carotenoides de acuerdo al tiempo.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	125	29191.2	233.53	7921.44	0.000
Lineal	13	24280.5	1867.73	63354.31	0.000
Temperatura	6	14990.8	2498.47	84749.47	0.000
Velocidad de aire	2	2990.3	1495.13	50715.72	0.000
Tiempo	5	6299.4	1259.87	42735.56	0.000
Interacciones de 2 términos	52	3828.4	73.62	2497.33	0.000
Temperatura*velocidad de aire	12	1398.4	116.53	3952.84	0.000
Temperatura*tiempo	30	1864.8	62.16	2108.45	0.000
Velocidad de aire*tiempo	10	565.2	56.52	1917.36	0.000
Interacciones de 3 términos	60	1082.3	18.04	611.87	0.000
Temperatura*velocidad de Aire*tiempo	60	1082.3	18.04	611.87	0.000
Error	252	7.4	0.03		
Total	377	29198.6			

Tabla 4. Datos obtenidos por comparaciones de parejas utilizando el método de Fisher en la degradación de los carotenoides.

Tratamiento	Media	SD	Tratamiento	Media	SD	Tratamiento	Media	SD
T126	58.84	0.10	T69	27.49	0.01	T34	21.29	0.03
T125	56.57	0.11	T42	27.40	0.12	T37	21.27	0.01
T124	53.92	0.14	T47	26.91	0.01	T61	21.26	0.10
T108	41.41	0.01	T83	26.82	0.01	T58	21.15	0.01
T102	39.78	0.02	T111	26.73	0.01	T33	20.88	0.28
T96	39.77	0.17	T68	26.69	0.01	T86	20.76	0.04
T119	39.70	0.46	T110	26.29	0.01	T57	20.66	0.05
T90	39.56	0.12	T30	26.29	0.03	T32	20.63	0.17
T107	38.17	0.01	T67	25.40	0.01	T11	20.57	0.07
T106	37.92	0.11	T41	25.34	0.03	T31	20.37	0.13
T114	37.84	0.06	T82	25.05	0.01	T25	20.17	0.05
T105	37.79	0.10	T66	24.98	0.05	T80	20.16	0.10
T118	37.55	0.04	T65	24.93	0.01	T28	20.00	0.01
T101	37.31	0.12	T52	24.86	0.01	T15	19.95	0.01
T95	36.99	0.12	T35	24.76	0.02	T74	19.67	0.03
T89	36.70	0.06	T18	23.78	0.01	T85	19.53	0.01
T99	36.35	0.30	T12	23.64	0.06	T56	19.51	0.02
T122	36.03	0.13	T17	23.58	0.03	T22	19.51	0.88
T113	35.70	0.01	T24	23.52	0.01	T6	19.46	0.01
T72	35.29	0.14	T46	23.49	0.02	T5	19.40	0.10
T100	35.20	0.07	T60	23.31	0.01	T77	19.27	0.01
T94	34.86	0.03	T40	23.29	0.12	T10	19.10	0.01
T71	34.57	0.12	T64	23.21	0.01	T19	18.98	0.06
T93	33.43	0.08	T23	23.12	0.06	T21	18.91	0.16
T112	32.98	0.82	T16	23.06	0.02	T26	18.80	0.01
T104	32.62	0.32	T51	22.95	0.04	T20	18.57	0.01
T54	32.51	0.07	T63	22.89	0.01	T79	18.57	0.01
T70	31.74	0.01	T81	22.78	0.05	T27	17.95	0.14
T88	31.73	0.02	T45	22.74	0.03	T55	17.95	0.01
T53	31.71	0.42	T120	22.67	0.01	T76	17.82	0.03
T117	31.03	0.01	T39	22.63	0.01	T14	17.00	0.03
T98	30.54	0.07	T115	22.60	0.11	T75	15.72	0.03
T87	30.43	0.06	T109	22.43	0.03	T9	15.48	0.01
T92	30.40	0.01	T50	22.31	0.01	T8	15.28	0.10
T84	30.02	0.08	T44	22.16	0.06	T73	14.90	0.04
T103	29.33	0.01	T29	21.97	0.10	T4	14.29	0.04
T97	28.94	0.05	T38	21.87	0.03	T3	11.29	0.01
T91	28.54	0.11	T49	21.57	0.03	T13	9.98	0.03
T36	28.42	0.04	T59	21.57	0.01	T7	7.93	0.05
T116	28.10	0.07	T43	21.49	0.06	T2	7.24	0.05
T121	27.85	1769.00	T78	21.49	0.10	T1	4.57	0.01
T48	27.62	0.03	T62	21.31	0.06			

Nota. Los datos esta ordenados en función a prueba de comparaciones de Fisher obtenidos del software Minitab 19 al 95%

Los datos presentados muestran resultados obtenidos mediante comparaciones de parejas utilizando el método de Fisher en el contexto de la degradación de carotenoides. Cada línea representa un tratamiento y sus respectivos valores de concentración de los carotenoides, junto con los errores estándar asociados. Se observa una variabilidad significativa en los niveles de, indicada por la amplia gama de valores. Algunos tratamientos muestran tasas de concentración más altas, mientras que otros presentan niveles más bajos. Además, se destacan ciertos tratamientos con errores estándar notables, sugiriendo variabilidad en la precisión de las mediciones. Estos resultados proporcionan información valiosa sobre la eficacia de los tratamientos en la concentración de carotenoides y permiten identificar patrones y tendencias que podrían ser relevantes en el contexto de la investigación. De acuerdo a la evaluación de los datos los mejores tratamientos con mayor cantidad de carotenoides fueron el T126 > T124 > T123 > T108. El T126 (a 70°C, velocidad de 1.2 m/s a un tiempo de 180 minutos), T125 (a 70°C, velocidad de 1.2 m/s a un tiempo de 150 minutos), T124 (a 70°C, velocidad de 1.2 m/s a un tiempo de 120 minutos), T108 (a 65°C, velocidad de 1.2 m/s a un tiempo de 180 minutos).

b. Secado cinético

Modelos de curva de secado (ecuaciones)

La tabla 5 se muestra los valores de las constantes k y n del modelo de Page para diferentes temperaturas y velocidades de aire. El modelo de Page es modelo matemático que describe la curva de secado de un material en función de la humedad y el tiempo. Las constantes k y n dependen de las propiedades del material y las condiciones de secado.

Tabla 5. Modelo cinético de Page ajustado al proceso de secado de las pieles de cítricos

Temperatura (°C)	Velocidad de aire	Constantes		RMSE	R ²
		<i>K</i>	<i>n</i>		
40	0.6	0.000000498	1.734	0.1076	0.998
40	0.9	0.000000202	1.846	0.1010	0.998
40	1.2	0.000034861	1.213	0.1502	0.995
45	0.6	0.000000396	1.763	0.1033	0.998
45	0.9	0.000003149	1.527	0.1216	0.994
45	1.2	0.000152352	1.044	0.1603	0.991
50	0.6	1.78283E-06	1.594	0.1132	0.995
50	0.9	1.62097E-07	1.890	0.0919	0.997
50	1.2	6.42747E-05	1.159	0.1495	0.991
55	0.6	1.06537E-05	1.375	0.1298	0.994
55	0.9	0.000234685	0.998	0.1660	0.990
55	1.2	3.83796E-05	1.215	0.1442	0.993
60	0.6	1.42038E-05	1.339	0.1347	0.993
60	0.9	5.92086E-06	1.451	0.1266	0.994
60	1.2	1.46956E-07	1.901	0.0892	0.997
65	0.6	1.09125E-06	1.657	0.1075	0.995
65	0.9	6.75055E-08	2.000	0.0859	0.997
65	1.2	7.45802E-07	1.703	0.1063	0.996
70	0.6	1.22432E-06	1.633	0.1046	0.997
70	0.9	5.45948E-05	1.166	0.1396	0.993
70	1.2	6.56745E-05	1.143	0.1436	0.993

La constante *k* representa la velocidad de secado inicial del material. A mayor valor de *k*, mayor velocidad de secado, por otro lado, la constante *n* representa el mecanismo de transferencia de masa que ocurre durante el secado. A mayor valor de *n*, más complejo es el mecanismo de transferencia de masa. Se observa que la constante *n* aumenta al aumentar la velocidad de aire, lo que indica que el flujo de aire favorece la transferencia de masa entre el material y el aire. Sin embargo, la constante *n* también disminuye al aumentar la temperatura, lo que indica que el material se vuelve más homogéneo o isotrópico a altas temperaturas, simplificando el mecanismo de transferencia de masa. El RMSE (Root Mean Square Error) representa el error entre los valores experimentales y los valores estimados por el modelo de Page. A menor valor de RMSE, mejor es el ajuste del modelo. Se observa que el RMSE es menor para las combinaciones de baja

temperatura y alta velocidad de aire, lo que indica que el modelo de Page se ajusta mejor a esas condiciones de secado.

Tabla 6. Modelo cinético de Henderson & Pabis ajustado al proceso de secado de las pieles de cítricos

Temperatura (°C)	Velocidad de aire	Constantes			RMSE	R ²
		<i>K</i>	<i>N</i>	<i>A</i>		
40	0.6	0.000058280	1.234	1.863	0.044	0.971
40	0.9	0.000048198	1.259	1.867	0.040	0.971
40	1.2	0.000102755	1.173	2.000	0.043	0.967
45	0.6	0.000001325	1.671	1.436	0.036	0.985
45	0.9	0.000136945	1.153	2.056	0.040	0.958
45	1.2	0.000159152	1.126	2.000	0.040	0.964
50	0.6	0.000125887	1.156	2.000	0.046	0.962
50	0.9	0.001443433	0.887	2.987	0.046	0.946
50	1.2	0.003239894	0.803	3.721	0.042	0.937
55	0.6	0.004599083	0.762	3.972	0.041	0.938
55	0.9	0.004053608	0.780	3.999	0.039	0.935
55	1.2	0.00925695	0.684	4.735	0.050	0.935
60	0.6	0.008876456	0.692	4.869	0.043	0.933
60	0.9	0.00918026	0.690	5.000	0.046	0.931
60	1.2	0.022474447	0.591	6.607	0.043	0.930
65	0.6	0.034210865	0.550	8.292	0.040	0.925
65	0.9	0.03980728	0.536	9.054	0.043	0.923
65	1.2	0.025898974	0.579	7.381	0.043	0.926
70	0.6	0.065327236	0.473	9.409	0.057	0.931
70	0.9	0.071237085	0.464	9.928	0.059	0.931
70	1.2	0.07906705	0.454	10.450	0.066	0.930

Se observa que la constante “k” disminuye al aumentar la temperatura y la constante “n” disminuye al aumentar la temperatura, lo que indica que el material se vuelve más homogéneo o isotrópico a altas temperaturas, simplificando el mecanismo de transferencia de masa.

Se observa que la constante “a” aumenta al aumentar la temperatura y la velocidad de aire, lo que indica que el material se seca más rápidamente a esas condiciones.

Tabla 7. Modelo cinético de Newton ajustado al proceso de secado de las pieles de cítricos

Temperatura (°C)	Velocidad de aire	Constantes	RMSE	R ²
		<i>K</i>		
40	0.6	0.000189860	0.173	0.993
40	0.9	0.000191530	0.176	0.993
40	1.2	0.000198783	0.171	0.993
45	0.6	0.000192308	0.171	0.993
45	0.9	0.000222118	0.171	0.991
45	1.2	0.000214873	0.165	0.991
50	0.6	0.000218225	0.166	0.991
50	0.9	0.000218931	0.165	0.991
50	1.2	0.000229395	0.165	0.990
55	0.6	0.000221306	0.165	0.991
55	0.9	0.000229696	0.166	0.990
55	1.2	0.000218254	0.164	0.991
60	0.6	0.000220414	0.167	0.991
60	0.9	0.000225059	0.168	0.990
60	1.2	0.000217538	0.164	0.991
65	0.6	0.000221218	0.166	0.991
65	0.9	0.00022313	0.166	0.991
65	1.2	0.000220797	0.169	0.991
70	0.6	0.000205656	0.154	0.992
70	0.9	0.000207154	0.154	0.992
70	1.2	0.000206836	0.156	0.992

Se observa que la constante *k* no varía mucho con la temperatura ni con la velocidad de aire, lo que indica que el material se seca de forma casi constante a las condiciones dadas.

Tabla 8. Modelo cinético Logarítmico ajustado al proceso de secado de las pieles de cítricos

Temperatura (°C)	Velocidad de aire	Constantes				RMSE	R ²
		<i>K</i>	<i>N</i>	<i>a</i>	<i>b</i>		
40	0.6	0.000050077	1.157	2.329	0.748	0.025	0.995
40	0.9	0.004046151	0.592	4.881	2.459	0.021	0.991
40	1.2	0.007028855	0.537	4.969	2.358	0.028	0.989
45	0.6	0.000000520	1.780	1.370	0.000	0.035	0.988
45	0.9	0.029055919	0.470	5.000	0.894	0.027	0.975
45	1.2	0.031251629	0.444	5.000	1.117	0.033	0.978
50	0.6	0.03266455	0.463	5.000	0.772	0.041	0.973
50	0.9	0.033661025	0.457	5.000	0.812	0.042	0.974
50	1.2	0.033266808	0.460	5.000	0.812	0.043	0.974
55	0.6	0.015765158	0.572	4.320	0.392	0.037	0.966
55	0.9	0.032785388	0.467	5.000	0.734	0.039	0.972
55	1.2	0.030975341	0.488	4.995	0.536	0.045	0.968
60	0.6	0.031835432	0.460	5.000	0.867	0.037	0.975
60	0.9	0.031109444	0.474	5.000	0.719	0.042	0.972
60	1.2	0.031810429	0.479	5.000	0.608	0.036	0.970
65	0.6	0.02724736	0.508	4.980	0.481	0.032	0.966
65	0.9	0.031624629	0.452	5.000	1.000	0.038	0.977
65	1.2	0.025480979	0.500	4.828	0.660	0.032	0.971
70	0.6	0.033630846	0.491	4.949	0.341	0.055	0.964
70	0.9	0.039804535	0.461	5.000	0.464	0.059	0.968
70	1.2	0.038413195	0.469	5.000	0.418	0.067	0.966

Se observa que la constante *k* disminuye al aumentar la temperatura y que la constante *n* disminuye al aumentar la temperatura, lo que indica que el material se vuelve más homogéneo o isotrópico a altas temperaturas, simplificando el mecanismo de transferencia de masa.

A mayor valor de *a*, mayor es el contenido de humedad residual del material. Se observa que la constante *a* aumenta al aumentar la temperatura y la velocidad de aire, lo que indica que el material se seca más rápidamente a esas condiciones.

Se observa que la constante *b* disminuye al aumentar la temperatura y la velocidad de aire, lo que indica que el material se seca más uniformemente a esas condiciones.

Tabla 9. Modelo cinético Wang & Sing ajustado al proceso de secado de las pieles de cítricos

Temperatura (°C)	Velocidad de aire	Constantes		RMSE	R ²
		A	b		
40	0.6	0.000017	-0.000000041	0.052	0.980
40	0.9	0.000018	-0.000000042	0.054	0.980
40	1.2	0.000000746	-0.000000038	0.057	0.983
45	0.6	0.000009900	-0.000000040	0.056	0.981
45	0.9	-0.000031478	-0.000000033	0.081	0.987
45	1.2	-0.000031903	-0.000000032	0.078	0.987
50	0.6	-0.000035813	-0.000000031	0.084	0.987
50	0.9	-0.000038940	-0.000000030	0.084	0.988
50	1.2	-0.000055854	-0.000000027	0.092	0.990
55	0.6	-0.000041837	-0.000000030	0.084	0.988
55	0.9	-0.000054298	-0.000000028	0.092	0.990
55	1.2	-0.000040638	-0.000000030	0.086	0.988
60	0.6	-0.000142634	-0.000000004	0.118	1.000
60	0.9	-0.000044316	-0.000000030	0.089	0.988
60	1.2	-0.000037549	-0.000000031	0.082	0.988
65	0.6	-0.000039216	-0.000000031	0.085	0.988
65	0.9	0.000000921	-0.000000041	0.094	0.983
65	1.2	-0.000033301	-0.000000032	0.082	0.987
70	0.6	-0.000040061	-0.000000028	0.088	0.988
70	0.9	0.000000827	-0.000000038	0.099	0.983
70	1.2	-0.000051823	-0.000000025	0.097	0.990

Se observa que la constante a disminuye al aumentar la temperatura y la velocidad de aire, lo que indica que el material se seca más rápidamente a esas condiciones.

Se observa que la constante b disminuye al aumentar la temperatura y la velocidad de aire, lo que indica que el material se seca más uniformemente a esas condiciones

En las siguientes figuras (1 al 7) representan los modelos de Page ajustado al proceso de secado de pieles de cítricos.

Figura 1. Modelo de page ajustado al proceso de secado de las pieles de cítricos a 40 °C

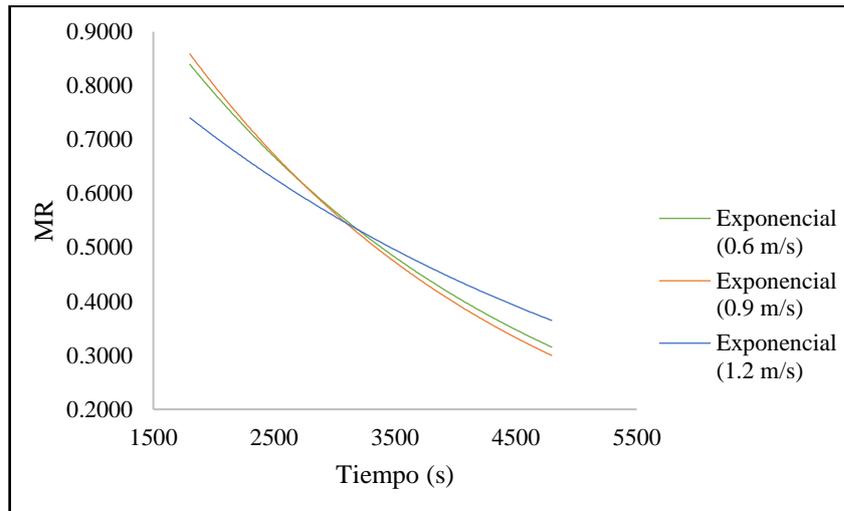


Figura 2. Modelo de page ajustado al proceso de secado de las pieles de cítricos a 45 °C.

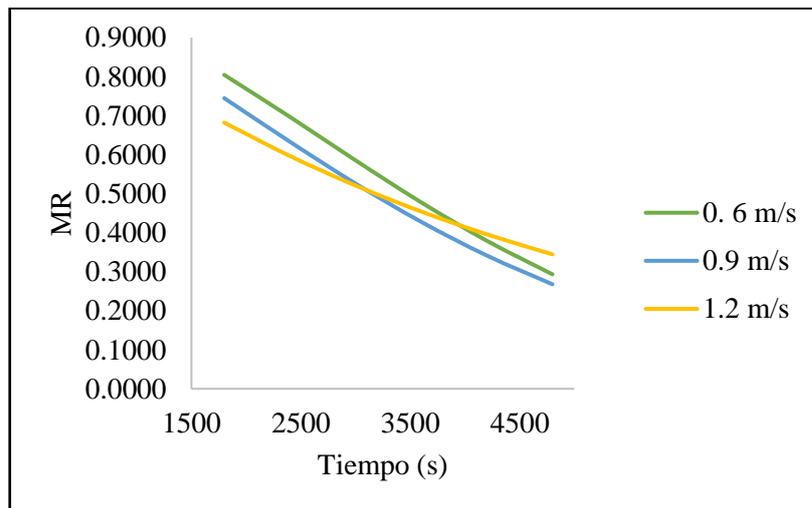


Figura 3. Modelo de page ajustado al proceso de secado de las pieles de cítricos a 50 °C.

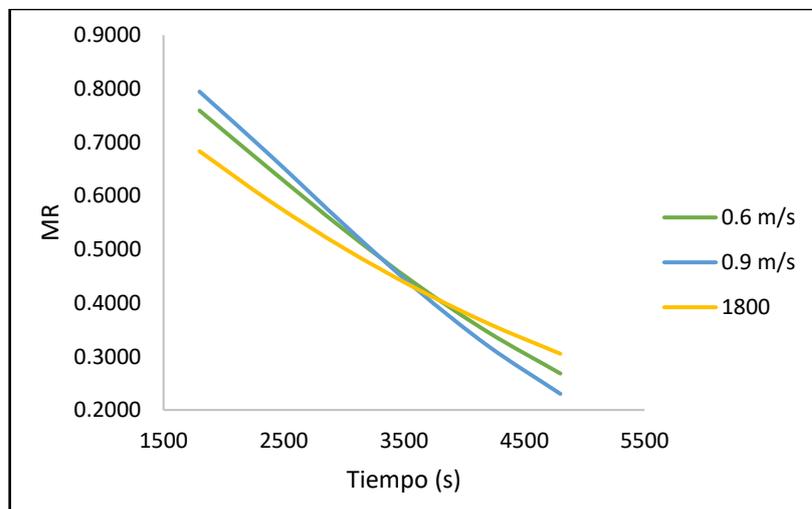


Figura 4. Modelo de page ajustado al proceso de secado de las pieles de cítricos a 55°C.

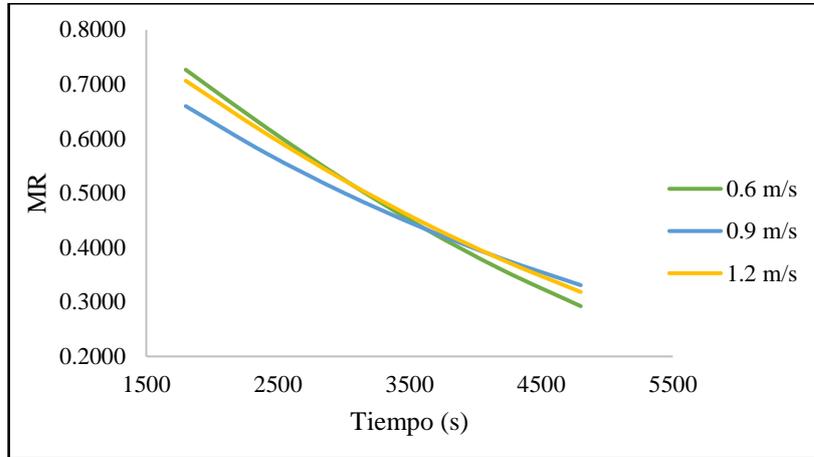


Figura 5. Modelo de page ajustado al proceso de secado de las pieles de cítricos a 60 °C

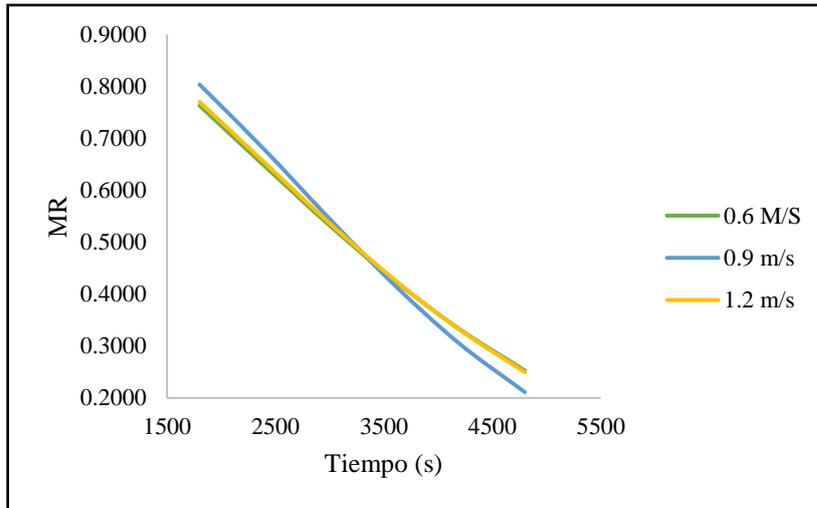


Figura 6. Modelo de page ajustado al proceso de secado de las pieles de cítricos a 65 °C

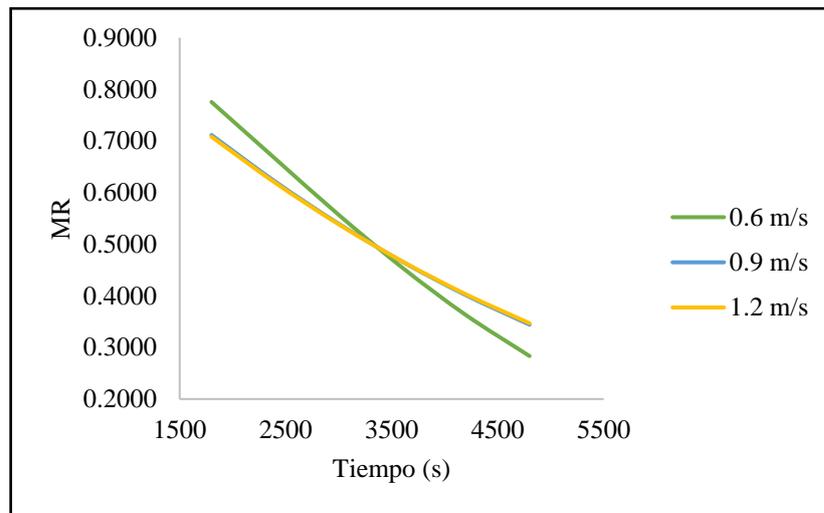
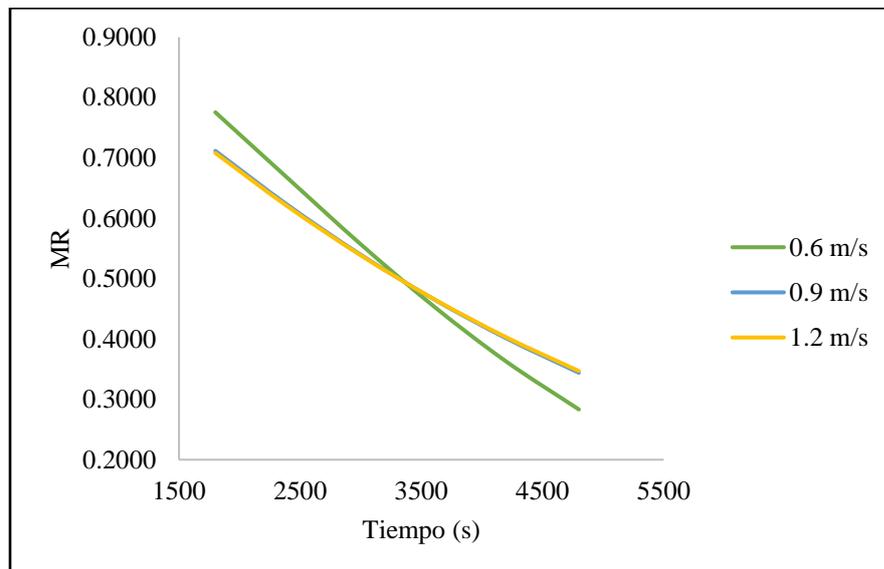


Figura 7. Modelo de page ajustado al proceso de secado de las pieles de cítricos a 70 °C



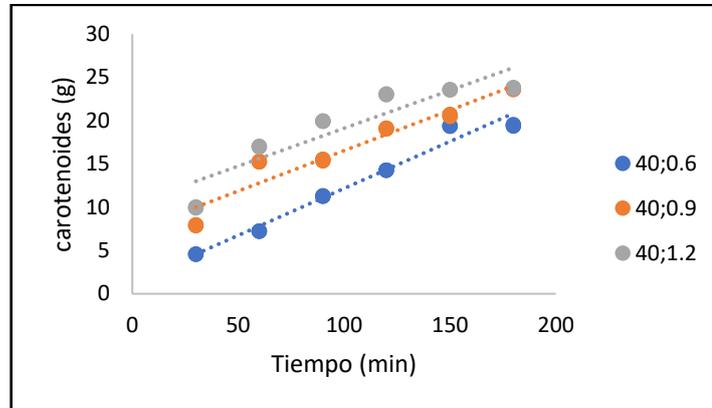
La forma de la curva de secado depende del valor de n . A mayor valor de n , más pronunciada es la curva. Esto indica que el mecanismo de transferencia de masa es más complejo a mayor valor de n .

La posición de la curva de secado depende del valor de k . A mayor valor de k , más cercana está la curva al eje horizontal. Esto indica que la velocidad de secado es mayor a mayor valor de k .

La velocidad de aire influye en los valores de k y n , ya que afecta al coeficiente de transferencia de calor y masa entre el material y el aire. En general, a mayor velocidad de aire, mayor velocidad de secado y menor tiempo de secado.

c. Cinética de concentración de los carotenoides

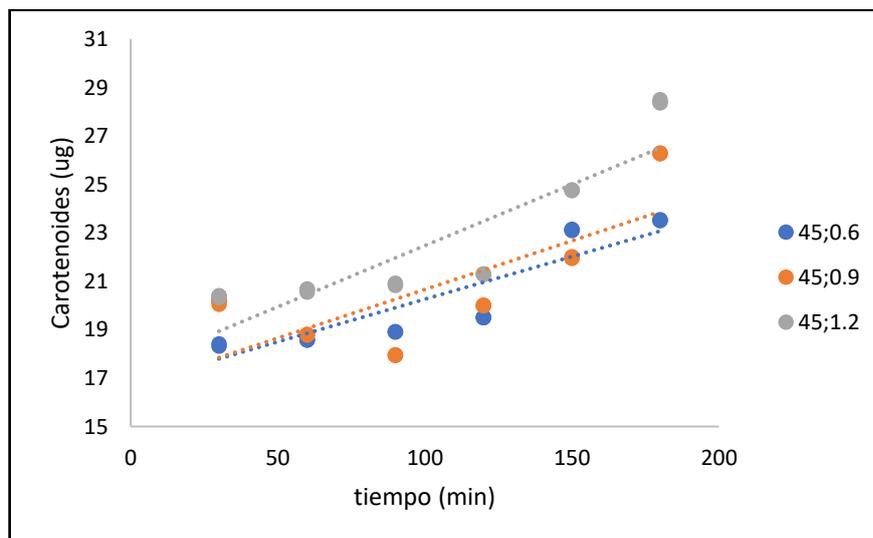
Figura 8. Cinética de la concentración de los carotenoides durante el secado de la piel de *C. sinensis* durante el proceso de secado a 40°C.



El la figura 8 de evidencia que el contenido de carotenoides aumenta a medida que disminuye la humedad, lo que indica que hay una concentración de los carotenoides en el material seco. Esto se debe a que el secado reduce el peso del agua, pero no el de los carotenoides.

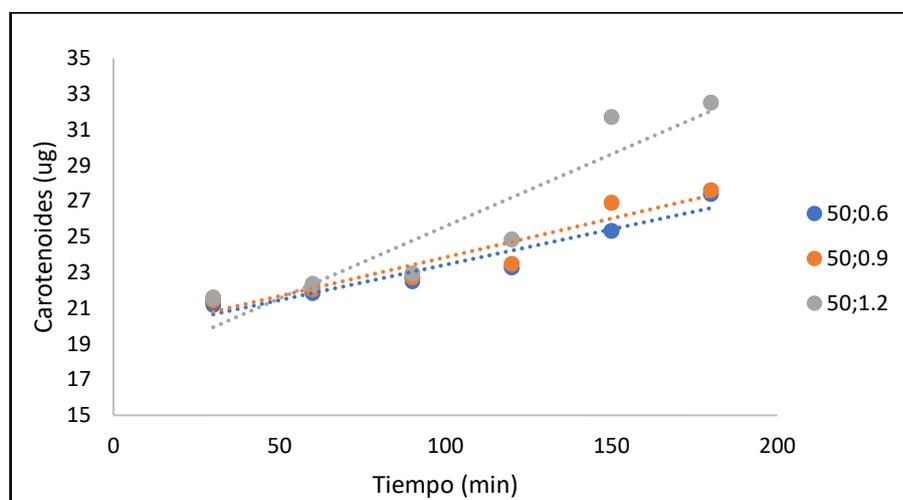
El contenido de carotenoides también aumenta a medida que aumenta la velocidad de aire, lo que indica que hay una mayor preservación de los carotenoides a mayores velocidades de aire. Esto se debe a que el secado es más rápido y eficiente, y se reduce el tiempo de exposición a altas temperaturas, que pueden degradar los carotenoides.

Figura 9. Cinética de la concentración de los carotenoides durante el secado de la piel de *C. sinensis* durante el proceso de secado a 45°C.



Según la figura 9 el contenido de carotenoides aumenta a medida que aumenta el tiempo de secado, lo que indica que hay una concentración de los carotenoides en el material seco. Esto se debe a que el secado reduce el peso del agua, pero no el de los carotenoides. El contenido de carotenoides se concentra a medida que aumenta la velocidad de aire, lo que indica que hay una mayor preservación de los carotenoides a mayores velocidades de aire. Esto se debe a que el secado es más rápido y eficiente, y se reduce el tiempo de exposición a altas temperaturas, que pueden degradar los carotenoides.

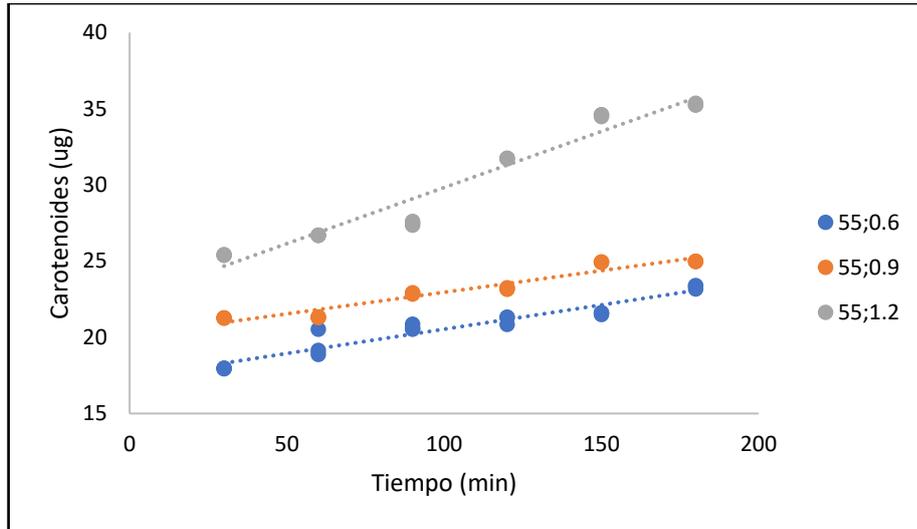
Figura 10. Cinética de la concentración de los carotenoides durante el secado de las pieles de *C. sinensis* durante el proceso de secado a 50°C.



Según la figura 10 la cantidad de carotenoides (ug) aumenta con el tiempo (Min), tanto para la misma velocidad de aire (m/s) como para distintas velocidades. Esto indica que el tiempo es un factor importante que influye en la acumulación de carotenoides en las pieles de cítricos.

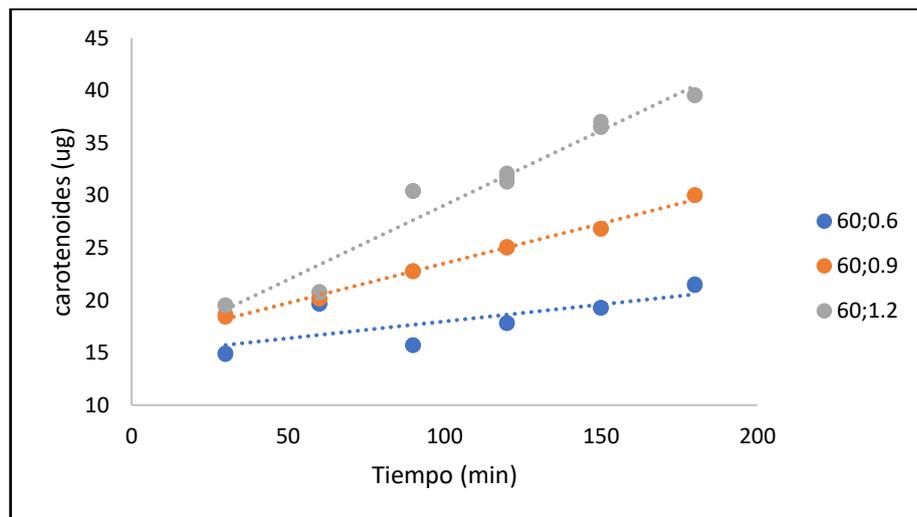
La cantidad de carotenoides (g) también aumenta con la velocidad del aire (m/s), especialmente para tiempos largos (120-180 Min). Esto sugiere que la velocidad del aire favorece la extracción de carotenoides de las pieles de cítricos.

Figura 11. Cinética de la concentración de los carotenoides durante el secado de las pieles de *C. sinensis* durante el proceso de secado a 55°C.



Según la Figura 11 la cantidad de carotenoides (ug) aumenta con el tiempo (Min), tanto para la misma velocidad de aire (m/s) como para distintas velocidades. Esto indica que el tiempo es un factor importante que influye en la acumulación de carotenoides en las pieles de cítricos. La cantidad de carotenoides (ug) también aumenta con la velocidad del aire (m/s), especialmente para tiempos largos (120-180 Min). Esto sugiere que la velocidad del aire favorece la extracción de carotenoides de las pieles de cítricos.

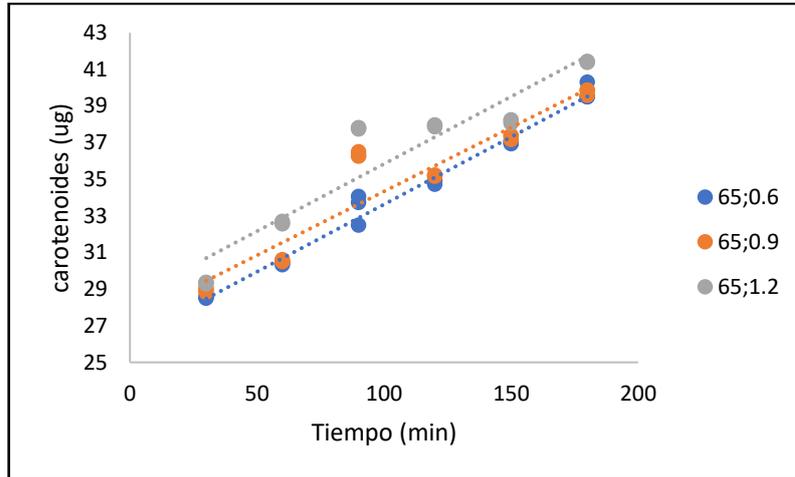
Figura 12. Cinética de la degradación de los carotenoides durante el secado de las pieles de *C. sinensis* durante el proceso de secado a 60°C.



De acuerdo a la figura 12 la cantidad de carotenoides (ug) aumenta con el tiempo (Min), tanto para la misma velocidad de aire (m/s) como para distintas velocidades. Esto indica que el tiempo es un factor importante que influye en la concentración de los carotenoides

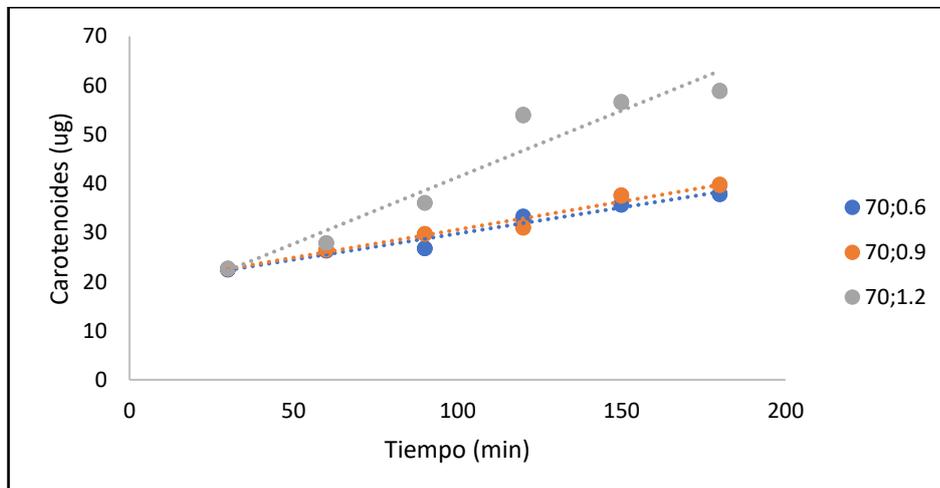
en las pieles de cítricos. La cantidad de carotenoides (g) también aumenta con la velocidad del aire (m/s), especialmente para tiempos largos (120-180 Min). Esto sugiere que la velocidad del aire favorece la extracción de carotenoides de las pieles de cítricos.

Figura 13. Cinética de la concentración de los carotenoides durante el secado de las pieles de *C. sinensis* durante el proceso de secado a 65°C.



De acuerdo a la figura 13 la cantidad de carotenoides (ug) aumenta con el tiempo (Min), tanto para la misma velocidad de aire (m/s) como para distintas velocidades. Esto indica que el tiempo es un factor importante que influye en la concentración de los carotenoides en las pieles de cítricos. La cantidad de carotenoides (g) también aumenta con la velocidad del aire (m/s), especialmente para tiempos largos (120-180 Min). Esto sugiere que la velocidad del aire favorece la extracción de carotenoides de las pieles de cítricos

Figura 14. Cinética de la concentración de los carotenoides durante el secado de las pieles de *C. sinensis* durante el proceso de secado a 70°C



En la figura 14 se observa la cantidad de carotenoides (ug) aumenta con el tiempo (Min), tanto para la misma velocidad de aire (m/s) como para distintas velocidades. Esto indica que el tiempo es un factor importante que influye en la acumulación de carotenoides en las pieles de cítricos.

La cantidad de carotenoides (g) también tiende a concentrarse con la velocidad del aire (m/s), especialmente para tiempos largos (120-180 Min). Esto sugiere que la velocidad del aire favorece la extracción de carotenoides de las pieles de cítricos.

En las figuras del 15 al 21 se observa el contenido de humedad frente al contenido de carotenoides para el proceso de secado de las pieles de cítricos.

Figura 15. Contenido de humedad frente al contenido de carotenoides para el proceso de secado de la piel de *C. sinensis* a 40°C

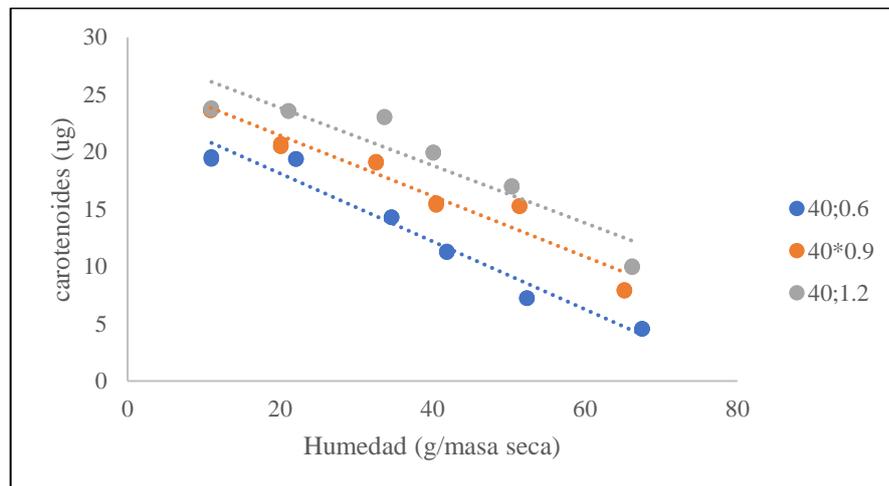


Figura 16. Contenido de humedad frente al contenido de carotenoides para el proceso de secado de la piel de *C. sinensis* a 45°C

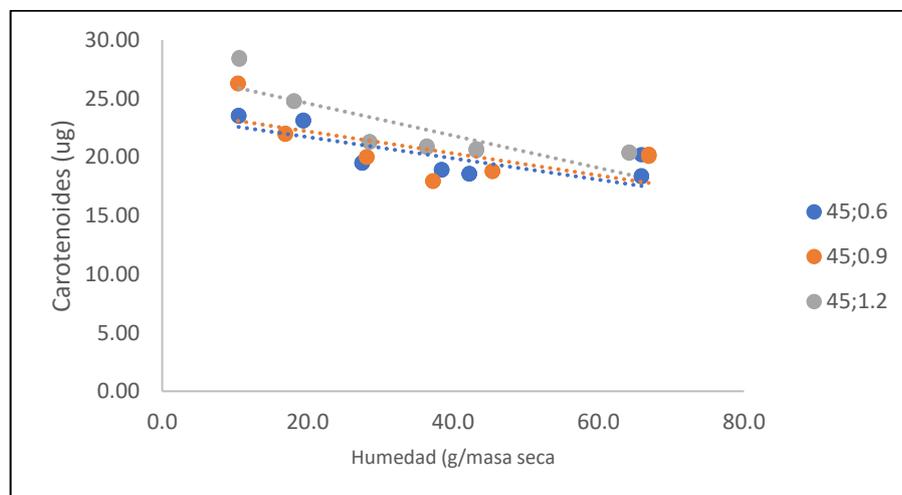


Figura 17. Contenido de humedad frente al contenido de carotenoides para el proceso de secado de la piel de *C. sinensis* a 50°C

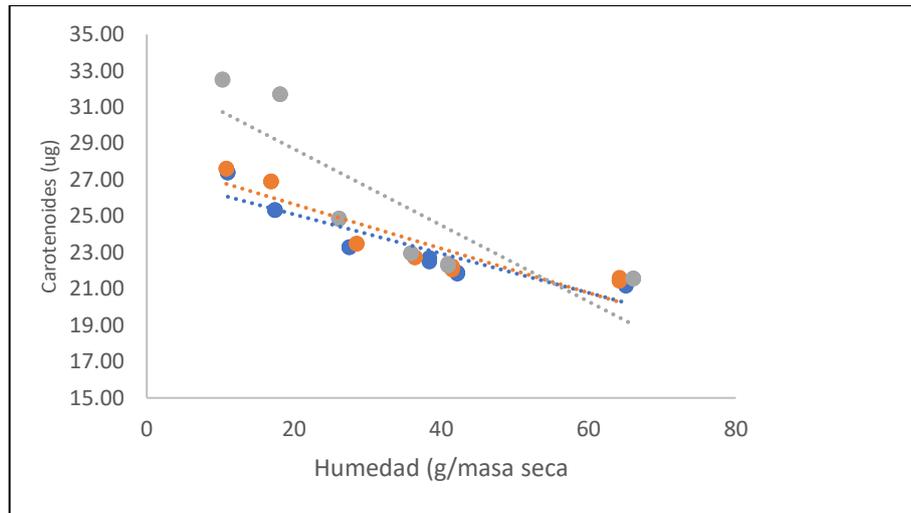


Figura 18. Contenido de humedad frente al contenido de carotenoides para el proceso de secado de la piel de *C. sinensis* a 55°C.

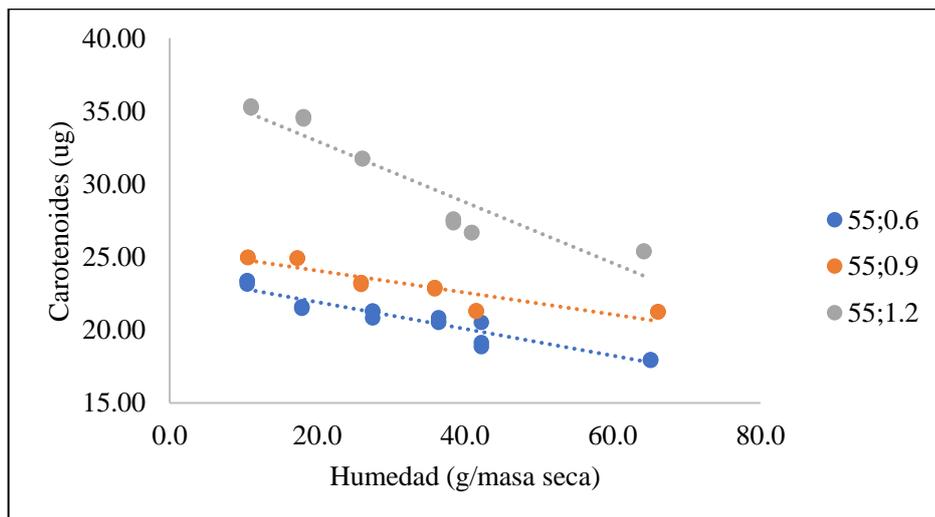


Figura 19. Contenido de humedad frente al contenido de carotenoides para el proceso de secado de la piel de *C. sinensis* a 60°C.

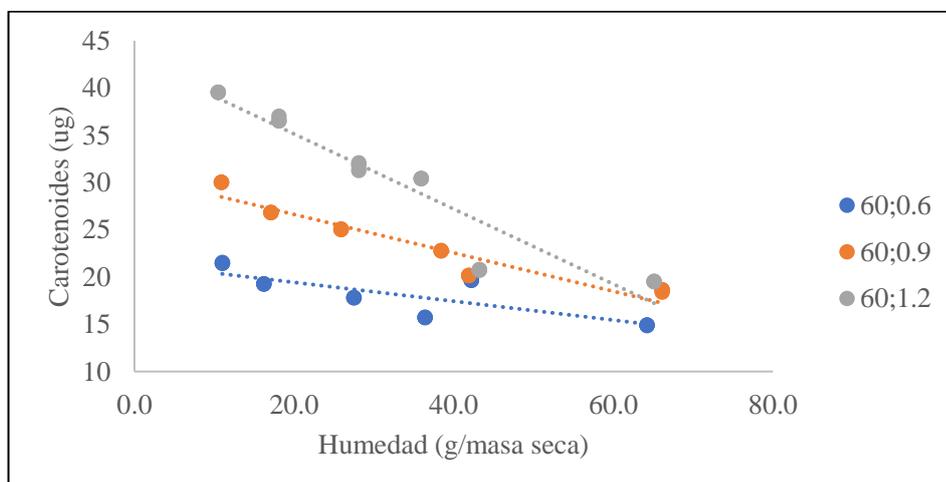


Figura 20. Contenido de humedad frente al contenido de carotenoides para el proceso de secado de la piel de *C. sinensis* a 65°C

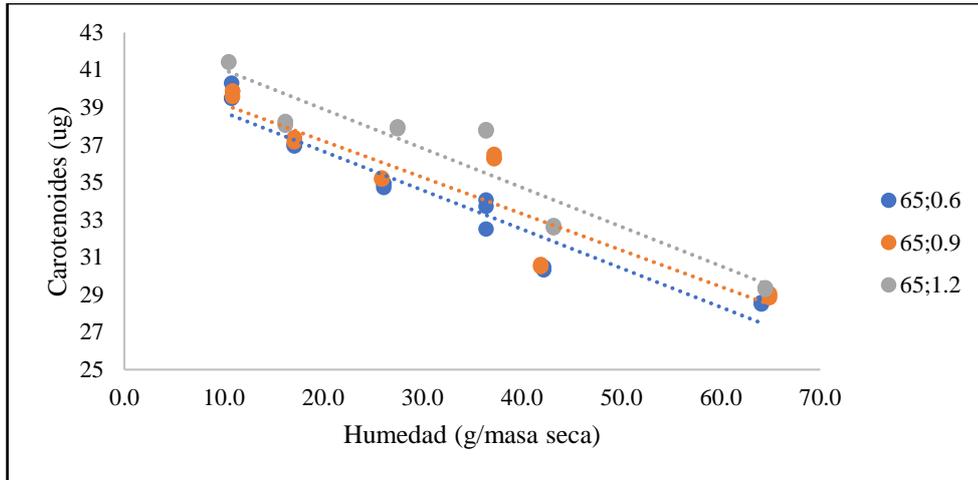
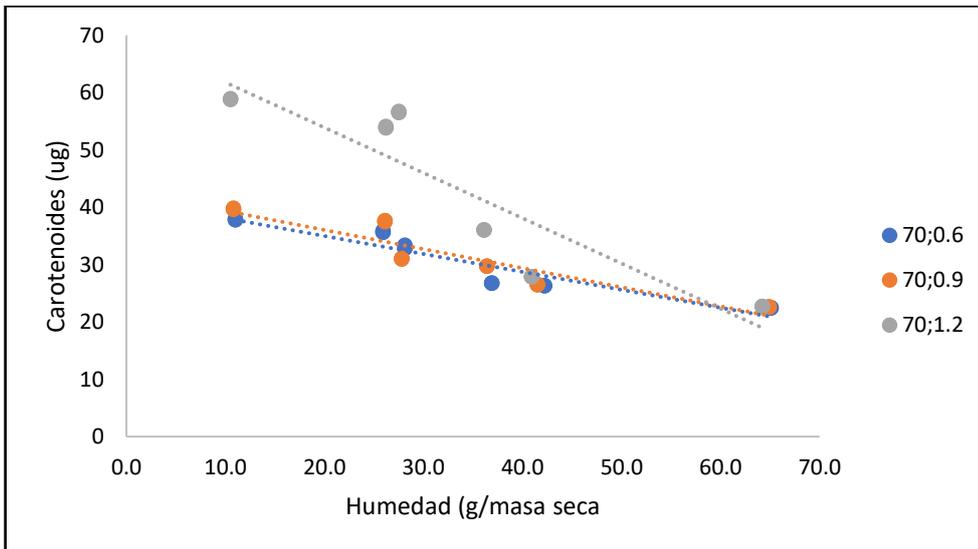


Figura 21. Contenido de humedad frente al contenido de carotenoides para el proceso de secado de la piel de *C. sinensis* a 70°C.



De acuerdo a las figuras, el contenido de humedad (g/masa seca) disminuye con el tiempo (Min), tanto para la misma velocidad de aire (m/s) como para distintas velocidades. Esto indica que el secado es más efectivo a mayor tiempo de exposición al aire caliente.

El contenido de carotenoides (g) se concentra con el tiempo (Min), tanto para la misma velocidad de aire (m/s) como para distintas velocidades. Esto sugiere que el secado no solo elimina el agua de las pieles, sino que también concentra los carotenoides en la masa seca. El contenido de carotenoides (g) también aumenta con la velocidad de aire (m/s), especialmente para tiempos largos (120-180 Min). Esto implica que la velocidad de aire

influye en la transferencia de calor y masa entre las pieles y el aire, favoreciendo el secado y la extracción de carotenoides.

Se observa que, a mayor temperatura, mayor es la pérdida de humedad y el aumento de carotenoides, pero también mayor es la variabilidad de los resultados. Esto puede deberse a que temperaturas más altas pueden acelerar el secado, pero también pueden degradar los carotenoides.

Tabla 10. Constante de reacción en la cinética de concentración los carotenoides durante el proceso de secado de la piel de cítricos a una velocidad de 0.6 m/s

Temperatura	K(h ⁻¹)	± SD	R ²	Error	T _{1/2} (minutos)
40	0.0473	5.46	0.92	2.227	30.00
45	0.0513	2.99	0.57	1.219	55.92
50	0.0556	2.57	0.90	1.050	109.26
55	0.0601	1.64	0.94	0.671	85.00
60	0.0647	4.27	0.99	1.741	91.24
65	0.0696	4.15	0.89	1.693	239.71
70	0.0747	6.50	0.98	2.652	176.42

La constante de velocidad (K) aumenta con la temperatura, lo que significa que la concentración de los carotenoides es más rápida a temperaturas más altas. Esto se debe a que el calor acelera las reacciones químicas que provocan la pérdida de carotenoides.

El coeficiente de determinación (R²) es alto para la mayoría de las temperaturas, lo que implica que el modelo cinético ajusta bien los datos experimentales. Sin embargo, el valor más bajo se obtiene a 45 °C, lo que sugiere que hay más variabilidad o factores que afectan a la concentración de los carotenoides a esa temperatura.

El error estándar es una medida de la precisión de las estimaciones de la constante de velocidad. Cuanto menor sea el error, más confiable será la estimación. Los datos muestran que el error estándar varía entre 0.671 y 2.652, siendo el menor a 55 °C y el mayor a 70 °C. Esto indica que la concentración de los carotenoides es más consistente a 55 °C y más variable a 70 °C.

El tiempo de vida media (T_{1/2}) es el tiempo que tarda en degradarse la mitad de los carotenoides iniciales. Los datos muestran que el tiempo de vida media disminuye con la temperatura, lo que significa que los carotenoides se concentran más rápido a

temperaturas más altas. El tiempo de vida media más corto se obtiene a 40 °C (30 minutos) y el más largo a 65 °C (239.71 minutos).

Tabla 11. Constante de reacción en la cinética de la concentración de los carotenoides durante el proceso de secado de la piel de cítricos a una velocidad de 0.9 m/s

Temperatura	K(h ⁻¹)	± SD	R ²	Error	T _{1/2} (minutos)
40	0.0476	6.179	0.971	2.523	78.39
45	0.0495	2.258	0.765	0.922	80.78
50	0.0514	2.319	0.923	0.947	139.86
55	0.0534	1.828	0.955	0.746	79.70
60	0.0553	2.501	0.524	1.021	30.86
65	0.0573	4.148	0.993	1.693	306.48
70	0.0593	6.067	0.966	2.477	234.35

La constante de velocidad (K) aumenta con la temperatura, lo que significa que la concentración de los carotenoides es más rápida a temperaturas más altas.

El coeficiente de determinación (R²) es alto para la mayoría de las temperaturas, lo que implica que el modelo cinético ajusta bien los datos experimentales. Sin embargo, el valor más bajo se obtiene a 60 °C, lo que sugiere que hay más variabilidad o factores que afectan a la concentración de los carotenoides a esa temperatura.

El error estándar es una medida de la precisión de las estimaciones de la constante de velocidad. Cuanto menor sea el error, más confiable será la estimación. Los datos muestran que el error estándar varía entre 0.746 y 2.523, siendo el menor a 55 °C y el mayor a 70 °C. Esto indica que la concentración de los carotenoides es más consistente a 55 °C y más variable a 70 °C.

El tiempo de vida media (T_{1/2}) es el tiempo que tarda en degradarse la mitad de los carotenoides iniciales. Los datos muestran que el tiempo de vida media disminuye con la temperatura, lo que significa que los carotenoides se concentran más rápido a temperaturas más altas. El tiempo de vida media más corto se obtiene a 60 °C (30.86 minutos) y el más largo a 65 °C (306.48 minutos).

Tabla 12. Constante de reacción en la cinética de concentración de los carotenoides durante el proceso de secado de la piel de cítricos a una velocidad de 1.2 m/s

Temperatura	K(h ⁻¹)	± SD	R ²	Error	T _{1/2} (minutos)
40	0.0578	5.379	0.833	2.1961	28.75
45	0.0689	3.223	0.774	1.3159	83.49
50	0.0816	4.874	0.865	1.9899	139.89
55	0.0961	4.243	0.949	1.7321	212.67
60	0.1127	8.174	0.953	3.3371	205.56
65	0.1316	4.395	0.882	1.7942	316.60
70	0.1529	15.781	0.931	6.4427	427.94

La constante de velocidad (K) aumenta con la temperatura, lo que significa que la concentración de los carotenoides es más rápida a temperaturas más altas.

El coeficiente de determinación (R²) es alto para la mayoría de las temperaturas, lo que implica que el modelo cinético ajusta bien los datos experimentales. Sin embargo, el valor más bajo se obtiene a 45 °C, lo que sugiere que hay más variabilidad o factores que afectan a la concentración de los carotenoides a esa temperatura.

El error estándar es una medida de la precisión de las estimaciones de la constante de velocidad. Cuanto menor sea el error, más confiable será la estimación. Los datos muestran que el error estándar varía entre 0.746 y 2.523, siendo el menor a 55 °C y el mayor a 70 °C. Esto indica que la concentración de los carotenoides es más consistente a 55 °C y más variable a 70 °C.

El tiempo de vida media (T_{1/2}) es el tiempo que tarda en degradarse la mitad de los carotenoides iniciales. Los datos muestran que el tiempo de vida media disminuye con la temperatura, lo que significa que los carotenoides se concentran más rápido a temperaturas más altas. El tiempo de vida media más corto se obtiene a 40 °C (28.75 minutos) y el más largo a 70 °C (427.94 minutos).

IV. DISCUSIÓN

Los carotenoides son considerados pigmentos naturales que son sintetizados por las plantas, algunos hongos y bacterias, además de ser los responsables del color característico de muchas frutas y verduras (Al-Aamri et al., 2018). La importancia del consumo regular de carotenoides es debido a que estos compuestos, principalmente el β -caroteno, α - caroteno y β -criptoxantina, poseen actividad provitamina A; es decir, se transforman en vitamina A (retinoides) cuando son ingeridos (Kırbaş et al., 2019). En el presente estudio se buscó determinar la influencia de la cinética de secado en la piel de *Citrus sinensis* ya que la biosíntesis de carotenoides es más activa en la piel; y, como consecuencia, se acumula una mayor cantidad de carotenoides que en la pulpa (Chen et al., 2020).

En las figuras 1,2,3,4,5,6 y 7 se muestran los datos experimentales de la relación existente entre la humedad y el tiempo de secado de las pieles de *Citrus sinensis* al que se le ha ajustado el modelo matemático de Page. Empleando este modelo se pudo predecir que las pieles de *C. sinensis* alcanzan la humedad de equilibrio a 70 °C con una velocidad de 0.6 m/s se alcanzó a 3.3 horas, a 0.9 m/s 3.9 horas y a 1.2 m/s 3.9 horas. Conforme se aumentan las temperaturas y velocidades de aire el tiempo va disminuyendo. Lo cual coincide con los estudios realizados por (Rahman et al., 2018) y (Shofinita et al., 2020) que mencionan que a medida que la velocidad de secado aumenta, el tiempo necesario para que un material se seque disminuye ; esto prueba que el aumento de temperaturas favorece la tasa de eliminación de agua en las pieles de *C. sinensis*.

El modelamiento cinético es una de las herramientas más empleadas para predecir el efecto del proceso térmico en la degradación de carotenoides (Soto et al., 2020). La literatura reporta diversos modelos matemáticos como es el caso de Lewis, Page, Henderson-Pabis, Newton, Wang-Singh, logarítmico, Midilli-Kucuk y Weibull (Dao et al., 2022). En este estudio se ajustaron diferentes modelos cinéticos (Tabla 2) de los cuales el modelo matemático de Page fue el que mejor represento el proceso de secado de las pieles de *C. sinensis* ya que este tuvo un mejor ajuste, mostrando un R^2 que variaba de 0.989 a 0.998 y RMSE de 0.085 a 0.165. En otros estudios realizados por (Grández-Yoplac et al., 2021) en la cinética de degradación de antocianinas en zarzamora muestra que el modelo de mejor ajuste fue el modelo

de logarítmico presentando unos valores de R^2 de 0.909 a 0.943. En el trabajo de (Ross et al. 2020) cinética de secado de las bayas de aguaymanto, el modelo de Page se ajusta mejor a los datos experimentales 0.908 y 0.996. Con base a los resultados obtenidos, podemos afirmar que el modelo matemático de Page se puede utilizar para predecir el proceso de secado de las pieles de *Citrus sinensis*.

Los carotenoides no solo son los responsables de la apariencia y color de las frutas y verduras sino que también poseen una amplia gama de compuestos benéficos para la salud (Ben Hsouna et al., 2023). De acuerdo a los experimentos realizados podemos decir que el tratamiento en el que existe menor degradación de carotenoides fue a una temperatura de 70°C, velocidad de 1.2 m/s y un tiempo de 180 minutos de modo que presentaron la mayor cantidad de carotenoides 58.84 ug/g. Sin embargo, Vega et al. (2019), en su estudio sobre los carotenoides presentes en las bayas de aguaymanto (*Physalis peruviana* L) empleando un secador de bandejas, que se accionó a una temperatura de 60 °C y una velocidad de 3 m/s y una estufa en las mismas condiciones, se obtuvo entre 136.96 y 149.26 µg/g siendo superior a nuestros hallazgos, Yoo y Moon (2018), investigaron el contenido neto y composición comparativa de carotenoides, de tres variedades de cítricos sometidas a un proceso de secado a 70°C, 1.2m/s y 150 minutos . De los siete carotenoides identificados en estos frutos los predominantes fueron la β-criptoxantina 55.64 ug/g, la astaxantina 48.44 ug/g y la zeaxantina 40.21 ug/g en las variedades de cítricos relevando una cantidad alta de los carotenoides en las tres variedades Gea-Botella et al. (2021). Los resultados obtenidos por otros autores difieren de los encontrados por múltiples factores incluyendo las condiciones de procesamiento, la naturaleza específica de los carotenoides y la matriz alimentaria. Cada estudio o caso particular puede presentar resultados diferentes debido a estas variaciones inherentes. Los carotenoides son compuestos susceptibles a la acción del oxígeno y se degradan con mucha facilidad en presencia de esta molécula (Ma et al., 2018).

Debido a la gran cantidad de carotenoides que existen en la naturaleza, la solubilidad de los mismos puede ser muy variada, por lo que lo más apropiado es usar disolventes que sean poco polares como el hexano, éter de petróleo y diclorometano, ya que estos carotenoides están constituidos por carbono e

hidrógeno, mientras que para las xantofilas lo más apropiado es usar disolventes polares como acetona, metanol y etanol (Khandare et al., 2021). Tanto los contenidos como el perfil de carotenoides están determinados por el genotipo de las diferentes especies y variedades, pero, además, las condiciones ambientales (exposición a la luz, temperatura, etc.) y prácticas de cultivo pueden tener un importante efecto en la composición de carotenoides en el fruto (Zacarías-García et al., 2021)

V. CONCLUSIONES

Se evidenció que tanto la temperatura como la velocidad de aire tienen efecto significativo en la humedad. Siendo el mejor tratamiento con menor degradación de carotenoides a una temperatura de 70°C, velocidad de 1.2 m/s y un tiempo de 180 minutos obteniendo 84 ug/g.

El mejor modelo que gobierna la cinética de degradación de los carotenoides de las pieles de cítricos durante el secado es el de Page porque fue el que mejor se ajustó con R^2 que variaba de 0.991 a 0.998 y RMSE de 0.09 a 0.1603. Con este método se pudo predecir que las pieles de los cítricos pueden alcanzar la cantidad de humedad de equilibrio a 70 °C y a una velocidad de 0.6 m/s en 3.3 horas, a 0.9 m/s en 3.9 horas y a 1.2 m/s en 3.9 horas.

La Tabla 8, 9 y 10 resume los parámetros cinéticos calculados para cada temperatura evaluada. Se puede notar que la k aumenta a medida que aumenta la temperatura de secado, estos valores varían de $1.51 \times 10^{-2} \pm 3.82 \times 10^{-3}$ a $1.21 \times 10^{-1} \pm 2.31 \times 10^{-2} \text{ h}^{-1}$.

Cuando disminuye el porcentaje de humedad, los carotenoides tienen una tendencia a aumentar por la concentración, la pérdida de agua que concentra los carotenoides presentes, y posiblemente algunas respuestas de estrés que activan la síntesis de carotenoides.

VI. RECOMENDACIONES

Es necesario llevar a cabo estudios adicionales que permitan analizar la retención de compuestos bioactivos adicionales presentes en las pieles de *Citrus sinensis* debido a su importancia económica y beneficios para la salud. Esto implica investigar la cinética de secado y examinar cómo este proceso afecta las propiedades fisicoquímicas de la piel de *Citrus sinensis*.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Al-Aamri, M. S., Al-Abousi, N. M., Al-Jabri, S. S., Alam, T., & Khan, S. A. (2018).

Chemical composition and in-vitro antioxidant and antimicrobial activity of the essential oil of *Citrus aurantifolia* L. leaves grown in Eastern Oman. *Journal of Taibah University Medical Sciences*, *13*(2), 108-112.

<https://doi.org/10.1016/j.jtumed.2017.12.002>

Balta, M., Kirit, B. D., Ağçam, E., & Akyildiz, A. (2023). Determination of the effect of different atmospheric conditions on bioactive components of various citrus juices. *Journal of Food Composition and Analysis*, *115*, 105006.

<https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.105006>

Ben Hsouna, A., Sadaka, C., Generalić Mekinić, I., Garzoli, S., Švarc-Gajić, J.,

Rodrigues, F., Morais, S., Moreira, M. M., Ferreira, E., Spigno, G., Brezo-

Borjan, T., Akacha, B. B., Saad, R. B., Delerue-Matos, C., & Mnif, W. (2023).

The Chemical Variability, Nutraceutical Value, and Food-Industry and Cosmetic Applications of Citrus Plants: A Critical Review. *Antioxidants*, *12*(2), Article 2.

<https://doi.org/10.3390/antiox12020481>

Chen, C., Venkitasamy, C., Zhang, W., Khir, R., Upadhyaya, S., & Pan, Z. (2020).

Effective moisture diffusivity and drying simulation of walnuts under hot air.

International Journal of Heat and Mass Transfer, *150*, 119283.

<https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.119283>

Daliran, A., Taki, M., Marzban, A., Rahnama, M., & Farhadi, R. (2023). Kinetic

analysis, mathematical modeling and quality evaluation of mint drying in

greenhouse solar dryer. *Thermal Science and Engineering Progress*, *46*, 102252.

<https://doi.org/10.1016/j.tsep.2023.102252>

- Dao, T. P., Tran, N. Q., Tran, T. T., & Lam, V. T. (2022). Evaluación del modelo cinético de extracción de aceite esencial y composición química de la cáscara de limón (*Citrus aurantifolia*) por proceso de hidrodestilación. *Materials Today: Proceedings*, *51*, 172-177. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.05.069>
- Dufera, L. T., Hofacker, W., Esper, A., & Hensel, O. (2021). Experimental evaluation of drying kinetics of tomato (*Lycopersicon Esculentum* L.) slices in twin layer solar tunnel dryer. *Energy for Sustainable Development*, *61*, 241-250. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2021.03.003>
- Gea-Botella, S., Agulló, L., Martí, N., Martínez-Madrid, M. C., Lizama, V., Martín-Bermudo, F., Berná, G., Saura, D., & Valero, M. (2021). Carotenoids from persimmon juice processing. *Food Research International*, *141*, 109882. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109882>
- Grández-Yoplac, D. E., Mori-Mestanza, D., Muñoz-Astecker, L. D., Cayo-Colca, I. S., & Castro-Alayo, E. M. (2021). Kinetics Drying of Blackberry Bagasse and Degradation of Anthocyanins and Bioactive Properties. *Antioxidants*, *10*(4), Article 4. <https://doi.org/10.3390/antiox10040548>
- Khandare, R. D., Tomke, P. D., & Rathod, V. K. (2021). Kinetic modeling and process intensification of ultrasound-assisted extraction of d-limonene using citrus industry waste. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, *159*, 108181. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2020.108181>
- Kırbaş, İ., Tuncer, A. D., Şirin, C., & Usta, H. (2019). Modeling and developing a smart interface for various drying methods of pomelo fruit (*Citrus maxima*) peel using machine learning approaches. *Computers and Electronics in Agriculture*, *165*, 104928. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.104928>

- Leporini, M., Tundis, R., Sicari, V., & Loizzo, M. R. (2021). Citrus species: Modern functional food and nutraceutical-based product ingredient. *Italian Journal of Food Science*, 33(2), 63-107. <https://doi.org/10.15586/ijfs.v33i2.2009>
- Li, W., Gou, G., He, Y., & Tan, S. (2022). Innovative air-impingement jet drying of red cabbage: Kinetic description and prediction of the degradation of cyanidin-3-diglucoside-5-glucoside and cyanidin. *Food Chemistry: X*, 15, 100422. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100422>
- Ma, G., Zhang, L., Kudaka, R., Inaba, H., Murakami, K., Yamamoto, M., Kojima, N., Yahata, M., Matsumoto, H., & Kato, M. (2021). Auxin induced carotenoid accumulation in GA and PDJ-treated citrus fruit after harvest. *Postharvest Biology and Technology*, 181, 111676. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2021.111676>
- Ma, G., Zhang, L., Yungyuen, W., Sato, Y., Furuya, T., Yahata, M., Yamawaki, K., & Kato, M. (2018). Accumulation of carotenoids in a novel citrus cultivar «Seinannohikari» during the fruit maturation. *Plant Physiology and Biochemistry*, 129, 349-356. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.06.015>
- Meryem, S., Mohamed, D., Nour-eddine, C., & Faouzi, E. (2023). Chemical composition, antibacterial and antioxidant properties of three Moroccan citrus peel essential oils. *Scientific African*, 20, e01592. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2023.e01592>
- Özcan, M. M., Ghafoor, K., Al Juhaimi, F., Uslu, N., Babiker, E. E., Mohamed Ahmed, I. A., & Almusallam, I. A. (2021). Influence of drying techniques on bioactive properties, phenolic compounds and fatty acid compositions of dried lemon and orange peel powders. *Journal of Food Science and Technology*, 58(1), 147-158. Scopus. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04524-0>

- Rafiq, S., Singh, B., & Gat, Y. (2019). Effect of different drying techniques on chemical composition, color and antioxidant properties of kinnow (*Citrus reticulata*) peel. *Journal of Food Science and Technology*. Scopus. <https://doi.org/eff>
- Rahman, N. F. A., Shamsudin, R., Ismail, A., Shah, N. N. A. K., & Varith, J. (2018). Efectos de los métodos de secado sobre el contenido fenólico total y la capacidad antioxidante del pomelo (*Citrus grandis*(L.) Osbeck) cáscaras. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 50, 217-225. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.01.009>
- Shofinita, D., Feng, S., & Langrish, T. A. G. (2020). Comparing yields from the extraction of different citrus peels and spray drying of the extracts. *Advanced Powder Technology*, 26(6), 1633-1638. <https://doi.org/10.1016/j.appt.2015.09.007>
- Soto, M., Dhuique-Mayer, C., Servent, A., Jiménez, N., Vaillant, F., & Achir, N. (2020). A kinetic study of carotenoid degradation during storage of papaya chips obtained by vacuum frying with saturated and unsaturated oils. *Food Research International*, 128, 108737. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108737>
- Suri, S., Singh, A., Nema, P. K., Malakar, S., & Arora, V. K. (2022). Sweet lime (*Citrus limetta*) peel waste drying approaches and effect on quality attributes, phytochemical and functional properties. *Food Bioscience*, 48, 101789. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101789>
- Wang, Z., Zhong, T., Mei, X., Chen, X., Chen, G., Rao, S., Zheng, X., & Yang, Z. (2023). Comparison of different drying technologies for brocade orange (*Citrus sinensis*) peels: Changes in color, phytochemical profile, volatile, and biological availability and activity of bioactive compounds. *Food Chemistry*, 425, 136539. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136539>

- Yoo, K.-M., & Moon, B. (2018). Comparative carotenoid compositions during maturation and their antioxidative capacities of three citrus varieties. *Food Chemistry*, 196, 544-549. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.09.079>
- Zacariás-García, J., Lux, P. E., Carle, R., Schweiggert, R. M., Steingass, C. B., Zacariás, L., & Rodrigo, M. J. (2021). Characterization of the Pale Yellow Petal/Xanthophyll Esterase gene family in citrus as candidates for carotenoid esterification in fruits. *Food Chemistry*, 342, 128322. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128322>
- Zhu, K., Chen, H., Zhang, Y., Liu, Y., Zheng, X., Xu, J., Ye, J., & Deng, X. (2022). Chapter Six—Carotenoid extraction, detection, and analysis in citrus. En E. T. Wurtzel (Ed.), *Methods in Enzymology* (Vol. 670, pp. 179-212). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/bs.mie.2022.01.006>

ANEXOS

Ilustración 1

Recepción de las pieles de Citrus sinensis



Ilustración 2

Cortado de las pieles de Citrus sinensis



Ilustración 3

Secado de las pieles de Citrus sinensis en el secador de Bandejas



Ilustración 4:

Medición de humedad de las muestras de Citrus sinensis



Ilustración 5

Sellado y rotulado de las muestras



Ilustración 6

Extracción de carotenoides con metanol como solvente

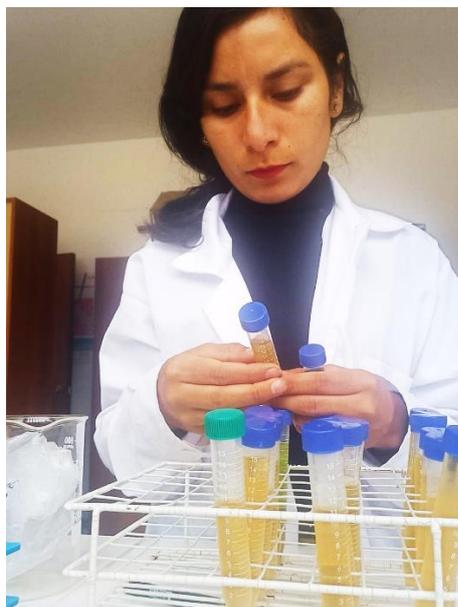


Ilustración 7

Cuantificación de catotenoides por Espectrofotometría

